

Actas de Trabajos Completos del **E-ICES 13**



Decimotercer Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra



27-30 de noviembre de 2018
Malargüe, Mendoza, Argentina

Actas de Trabajos Completos del

E-ICES 13



**Decimotercer Encuentro del
Centro Internacional
de Ciencias de la Tierra**

**27-30 de noviembre de 2018
Centro de Convenciones Thesaurus
Malargüe, Mendoza, Argentina**

Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA

Actas de Trabajos Completos del E-ICES 13: decimotercer encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra; compilado por Martín Pedro Gómez ... [et al.] ; editado por Martín Pedro Gómez ; Dino Filipussi ; Luis Lenzano ; prólogo de Martín Pedro Gómez. - 1a ed revisada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2019.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-1323-63-0

1. Ciencias de la Tierra. I. Gómez, Martín Pedro, comp. II. Filipussi, Dino, ed. III. Lenzano, Luis, ed. IV. Título.

CDD 550.1

ISBN 978-987-1323-63-0



E-ICES 13

Decimotercer Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra Actas de Trabajos Completos

AUTORIDADES DEL PROYECTO ICES

CONSEJO DE REPRESENTANTES

Dr. Alfredo Boselli (CNEA)

Prof. Luis Lenzano (UNCUYO)

Dr. Cesar Belinco (CNEA)

Dr. Manuel Tovar (UNCUYO)

PRESIDENTE DEL CONSEJO DE REPRESENTANTES

Dr. Alberto Vich

DIRECTOR CIENTÍFICO

Dr. Martín Pedro Gómez

SECRETARIA EJECUTIVA

María Isabel López Pumarega

Diseño y Compaginación:

Dino Filipussi

Ana Rosa Castaño Gañan

Florencia Lenzano

Martín Gómez

Impreso en Argentina - Printed in Argentina

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

ISBN 978-987-1323-63-0

© CNEA 2019

COMITÉ ORGANIZADOR

Gustavo Álvarez (CNEA Malargüe)
Graciela Blanco (CNEA)
Augusto Bonelli Toro (ICES CNEA)
Ana Rosa Castaño Gañán (ICES CNEA Malargüe)
Diego Cowes (ICES CNEA)
Dino Filipussi (ICES CNEA, UNSAM)
Martín Pedro Gómez (ICES CNEA, UTN, UNSAM)
Luis Eduardo Lenzano (ICES-UNCUYO-CONICET)
María Florencia Lenzano (ICES Regional Mendoza)
María Isabel López Pumarega (ICES CNEA)
Miriam Rocío Neyra Astudillo (ICES CNEA, UNSAM, UTN)
Nicolás Núñez (ICES CNEA)
Valeria Ortega Paredes (ICES CNEA)
Diego Pérez (CNEA)
Laura Salgán (CONICET)
Hernán Sánchez (ICES CNEA)
Adalgisa Scotti (ICES-CNEA-UTN)
Paula Vildoza (ICES UNCUIYO Regional Mendoza)
Hernán Xargay (ICES CNEA)

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Mariano Augusto (UBA-CONICET)
Dra. Gabriela Badi (SyM, UNLP)
Dr. Jorge Barón (ICES-UNCUIYO)
Dr. Dino Filipussi (CNEA, UNSAM)
Dr. Deyan Draganov (TU DELFT, Holanda)
Dr. Adolfo Gil (CONICET)
Dr. Martín Pedro Gómez (CNEA, UTN, UNSAM)
Dr. Diego González (IMM, Bologna, Italia)
Dra. María Isabel López Pumarega (CNEA)
Prof. Luis Eduardo Lenzano (ICES-UNCUIYO-CONICET)
Dr. Gustavo Neme (CONICET)
Dr. Mariano Raponi (CITEDEF)
Dr. Linilson Rodrigues Padovese (USP, San Pablo, Brasil)
Dr. José Ruzzante (UTN, UNTREF)
Dra. Adalgisa Scotti (ICES-CNEA-UTN)

PRÓLOGO

Entre los días 27 y el 30 de noviembre de 2018, se llevó a cabo, en el Centro de Convenciones Thesaurus de la Ciudad de Malargüe, el Decimotercer Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (E-ICES 13). Una vez más en esta ciudad, que además de ser la sede histórica de los E-ICES, es un lugar inigualable para su realización. El Encuentro se desarrolló respetando el objetivo fundacional que es el carácter totalmente multidisciplinario dentro del amplio espectro de las Ciencias de la Tierra.

Las sesiones se efectuaron a sala única con la asistencia de aproximadamente 140 científicos, más una gran presencia de la comunidad Malargüina, que participó especialmente en las Conferencias Plenarias abiertas. En total se presentaron 106 trabajos, entre los cuales se incluyeron 4 Plenarias, 73 Ponencias Orales, 8 de estas correspondientes al Concurso de Jóvenes Investigadores, y también 29 Pósteres. Una importante cantidad de esos trabajos fueron extractados en las presentes Actas.

Durante la realización del encuentro se recordó en un sentido homenaje al Profesor Eduardo Llambías, en el cual se evocaron fragmentos de su extensa, y valiosa trayectoria.

Respecto de las conferencias plenarias, la primera estuvo dictada por el Dr. Armando Fernández Guillermet y trató sobre la obra del Profesor Jorge Sabato. En la siguiente, los Dres. Adolfo Gil y Gustavo Neme, se refirieron a la creación de una nueva unidad Ejecutora CONICET en la ciudad de San Rafael. La tercera, fue un repaso de las tareas del Proyecto ICES realizadas durante los últimos años, y el cierre fue realizado por el Dr. Mariano Augusto con su conferencia sobre Gases Volcánicos en Peteroa y Copahue.

En el "Concurso de Jóvenes Investigadores" participaron 8 trabajos de gran nivel. Un Jurado formado por tres investigadores de trayectoria, luego de evaluar los trabajos escritos y las presentaciones orales de los participantes, otorgó un primer premio, un segundo premio compartido, y una Mención de Honor a las cuatro concursantes ganadoras. Los premios del Concurso fueron auspiciados por la Fundación Williams. Los trabajos participantes en el concurso están contenidos en este libro de Actas.

En representación de todos los organizadores del E-ICES 13, esperamos que quienes participaron del Encuentro en cualquiera de sus modalidades hayan cumplido sus expectativas científicas y humanas, y que hayan podido realizar todos los objetivos proyectados para esta reunión.

Además, en nombre del Proyecto ICES quiero agradecer a quienes sustentan y apoyan la realización de los Encuentros E-ICES, que son la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), la Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO), la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva a través de la Agencia Nacional de Promoción Científica, y Tecnológica por el subsidio para reuniones científicas RC-2018-0382, la Fundación Williams por los premios del concurso y muy especialmente a la ciudad de Malargüe por su hospitalidad y colaboración.

Dr. Martín Pedro Gómez
Director Científico del ICES

Índice

Concurso Jóvenes Investigadores

Geomorfología tectónica: evaluación de las evidencias neotectónicas y su impacto en la modificación de las características del recurso hídrico y la estabilidad de laderas en el valle de Chaschuil – Fiambalá Tinogasta <i>Acuña Leiva C.I., Niz A.E., Ortiz E.</i>	1
Descripción geomorfológica y fisicoquímica de la red hidrográfica en el Valle de Chaschuil <i>Cedrón Robledo D.G., Niz A.E., Ortiz E.V.</i>	12
Descripción geomorfológica e hídrica de la cuenca del Río Singuil- San Fernando del Valle de Catamarca-Argentina <i>Córdoba R.C., Niz A.E.</i>	25
Reconocimiento y evaluación preliminar de geositios asociados a dolinas en el departamento Malargüe Provincia de Mendoza <i>Cortéz Taillant V.S., Arroqui Langer A.A. (Tercer Premio compartido)</i>	38
Colección ictiológica del ladiza, registro, documentación y georeferencia <i>Larramendy L., Bender J.B. (Tercer Premio compartido)</i>	50
Forestación de suelos salinizados y factores ambientales incidentes en la potencialidad de restauración en Cuyo <i>Meglioli P.A. Villagra P.E., Lana B.N., Álvarez L.M., Álvarez J.A., Cony M.</i>	58
Arquitectura fluvial y análisis espacial mediante la aplicación de sistemas de información geográfica de uso libre <i>Paredes V.N., Herrera Oviedo E.P. (Segundo Premio)</i>	70
Procesamiento de imágenes satelitales para el mapeo de la geomorfología volcánica cuenca alta del Río Chaschuil- Fiambalá-Catamarca <i>Serra M., Herrera C.G., Niz A.E. (Primer Premio)</i>	82

Exposiciones orales

Geodiversidad y geoconservación en el proyecto de Parque Nacional Aconquija: propuestas y desafíos <i>Ahumada A.L., Ibáñez Palacios G.P., Toledo M.A.</i>	94
Riesgo y vulnerabilidad a inundaciones del Río Luján, Provincia de San Luis, Argentina <i>Aranda J., Sosa G. del R., Indelicato N., Muñoz L., López F., Larrégola E., Konickx W.</i>	105

Análisis por activación neutrónica para la determinación de metales pesados en suelos del Complejo Minero Fabril de San Rafael, Mendoza <i>Castaño Gañán A.R., Jasan R., Invernizzi R.</i>	114
Técnicas de ultrasonido para la caracterización de vidrios volcánicos <i>Cowes D.A., Salgán L., Mieza J.I, Gómez M.P.</i>	125
Caracterización de las etapas del perforado de probetas multicapas de geomateriales por análisis de la emisión acústica generada durante el proceso de taladrado <i>Ferrari G., Basgall A., Gómez M.</i>	137
Frecuencia esquina y evolución del wavelet b-value en bandas de frecuencia en señales de emisión acústica de un ensayo de compresión de roca andesita <i>Filipussi D.A., Muszkats J.P., Sassano M., Zitto M.E., Piotrkowski R.</i>	148
Diseño de protocolos de tratabilidad de suelos contaminados 2da parte <i>Gálvez J.A., Vardaro S.A., Cantero J.A., Alonso Molina V.P., López A.C., Pinedal I.C, Rivero L.</i>	160
Laboratorio de tratabilidad de suelos contaminados y diseño de procesos aplicados a los recursos naturales <i>Gálvez J.A., Vardaro S.A; Cantero J.A., López A.C., Pineda I.C.</i>	171
Comparación entre el ciclo de vida de los datos en yacimientos convencionales y no convencionales y su relación con la tecnología <i>Gómez Figueroa J., Calzetta D.</i>	178
La gestión del riesgo: recorrido por las prácticas a nivel local. Casos Pinamar y Necochea <i>Grana N.P., Puccio H.Y., Adaniya S., Marshall G.</i>	184
Predicción y alerta temprana de incendios forestales mediante integración de información satelital y de campo en un método paralelo de reducción de incertidumbre <i>Méndez Garabetti M., Bianchini G., Caymes-Scutari P., Elgueta R., Caylá I.B., Córdoba D., Peñasco A., Morelli J., Carrizo M., Giorlando A., Lujan A., Carballo N.</i>	195
Estudio del Ruido Magnético Barkhausen en rocas, resultados preliminares <i>Neyra Astudillo M.R., López Pumarega M.I., Geuna S., Gómez M.</i>	207
Evaluación probabilística del riesgo en destinos turísticos costeros. Diseño de un sistema de indicadores aplicados en la costa bonaerense <i>Puccio H., Grana N., Adaniya S., Marshall G.</i>	214
Riesgo sísmico en el distrito el Plumerillo, Las Heras, Mendoza <i>Robledo S., Alegre F., García P.</i>	224
Desarrollo y fabricación de un microsensor de gas de baja potencia para la detección de amoníaco a bajas concentraciones <i>Rodríguez D., Bonaparte J., Boggio N.G., Fascizcewski A.</i>	237
Laboratorio bioambiental de escalamiento ingenieril como herramienta para alcanzar niveles de maduración tecnológico del orden de desarrollo: Technology Readiness Levels (TRL) 6 y 7 <i>Scotti A., Cerioni J., Reviglio H., Visciglia M., Cerioni S., Biondi R., Castaño Gañán A.R., Gómez M.P., Genoves F.</i>	245

Geomicrobiología para prospección por uranio en areniscas y su asociación mineralógica en la Cuenca Neuquina <i>Scotti A., Rojas G., Servant M., Catálfamo P.</i>	258
Índices de diferenciación de hielo y nieve-caso de estudio: Volcán Incahuasi, Fiambalá, Catamarca <i>Serra M., Herrera C.G.</i>	265
Aplicación de un método de prospección geofísica para el conocimiento del subálveo del Río Los Ángeles en el tramo sur de la Subcuenca, Provincia de Catamarca <i>Tálamo E., Vilches F., Varela N., Sánchez M., Achá E., Córdoba C., Palomeque L.</i>	278
Modelo de sintonización computacional aplicado a la predicción de incendios <i>Tardivo M.L., Caymes Scutari P., Bianchini G., Méndez Garabetti M.A.</i>	286
Análisis de los datos procesados por un arreglo de sensores hidroacústicos: un caso particular <i>Veca A.C.</i>	298
Georreferenciación y digitalización de imágenes de la colección herpetológica del Iadiza <i>Videla L.M., Bender J.B.</i>	308
Efecto del agregado de nanopartículas en la intensidad de las señales de calcio en espectrometría LIBS <i>Vorobioff J., Boggio N., Nonino D., Rinaldi C., Toro C., Bojorge C., Azcarate M.L.</i>	320
Caracterización del recurso hídrico del Cinturón Verde del Departamento de Guaymallén (Mendoza, Argentina) <i>Zuluaga J., Cónsoli D., Haye A., Mirábile C., Drovandi A., Valdés A., Micheletti A., Dediol C., Pereyra M.</i>	326
Poster	
Efluentes con alto contenido de materia orgánica: impacto en los suelos por su uso en riego agrícola <i>Arreghini M., Peña Cervera M., Sebök M.A., Ojeda, G., Valero, A., Fernández Llano J., Gil A., Somonte A., Mamani N., Quiroga M.C.</i>	336
Implicancias sistemáticas y biogeográficas de trilobites (<i>Athabaskia anax</i> , Cámbrico de Precordillera, Mendoza, Argentina) según el tipo de fosilización <i>Bordonaro O.L., D'Angelo J.A., Camí G.</i>	348
Hallazgo de invertebrados fósiles (braquiópodos) en vallecitos, Parque Provincial Cordón del Plata, Mendoza, Argentina <i>Bordonaro O.L., Cruces E., Lech R., Mariotti D., Moyano L.</i>	359
Colección de invertebrados fósiles de la Fundación Miguel Lillo: patrimonio e investigación <i>Díaz Saravia, P.G., Benítez M.H., Ahumada A.L.</i>	370
Los glaciares de escombros como geopatrimonio en el Parque Nacional Campo de los Alisos, Tucumán, Argentina <i>Ibáñez Palacios G.P., Ahumada A.L., Toledo M.A.</i>	381
Parasitismo gastrointestinal en guanacos silvestres de los andes centrales <i>Moreno P.G., Sosa J., Fernandez R., Vélez L.</i>	391

Avance en el estudio de áreas de amenazas hídricas en la parte media de la Subcuenca del Río Los Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca. R.A. <i>Sánchez M.M., Vilches F.E., Tálamo E., Acha E.M., Córdoba G., Palomeque I., Ibáñez M.E.</i>	396
Uso de imágenes SAR de Sentinel-1 para el estudio de los bañados y esteros del Río Salado, Provincia de Santiago del Estero <i>Toledo M.A., Ibáñez Palacios G.P., Ahumada A.L.</i>	404
Soluciones para la producción de hormigón ambientalmente sustentable <i>Xargay H., Ripani M., Caggiano A., Folino P., Martinelli E.</i>	412
Riesgo de inundación: la información científica y ciudadana como herramienta de educación y prevención. Lujan, Provincia de San Luis <i>Sosa G. del R., Aranda J., Longar B., Cerizola A., Castellanos G., Dardanelli L., Valcarcel J. y Vicentini A.</i>	424

GEOMORFOLOGÍA TECTÓNICA: EVALUACIÓN DE LAS EVIDENCIAS NEOTECTÓNICAS Y SU IMPACTO EN LA MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO HÍDRICO Y LA ESTABILIDAD DE LADERAS EN EL VALLE DE CHASCHUIL - FIAMBALÁ TINOGASTA

Acuña Leiva C. I.^a, NizA.^a, Ortiz E.^a

^a Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG), FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: camilai_94@hotmail.com

RESUMEN

El área del trabajo se encuentra comprendida en el valle de Chaschuil que se ubica en la región occidental del valle de Fiambalá, a 500 km de la capital de Catamarca. Pertenece a la Provincia Geológica de Cordillera Frontal, integrada por bloques independientes de gran altitud, sin dirección general uniforme, de aparatos volcánicos, tipo estratovolcanes, y sedimentos Paleozoicos plegados y fracturados. La intensa actividad tectónica a la que estuvo sometida la región del Valle de Chaschuil, y sus reactivaciones durante el cuaternario, genera modificaciones en el relieve que impactan en el comportamiento del escurrimiento hídrico superficial y ocasionalmente en el aporte al recurso hídrico subterráneo. Para esta investigación se realizaron los planos geológicos y geomorfológicos, dentro de los cuales quedo descripta la hidrología superficial, la topografía de la zona, DEM (modelo de elevación digital), la tectónica antigua y Neotectónica, utilizando herramientas GIS. Se controló el nivel de detalle con el Software libre Google Earth Pro. Una vez generada la cartografía base, se realizaron los controles de campo, recorriendo la zona de investigación ajustando y corrigiendo los mapas confeccionados, con la observación directa en campo. Con la información recolectada se realizaron las conclusiones para cada resultado obtenido, constatando que la reactivación de la tectónica sobre los sedimentos modernos, causa impacto no tan solo en la hidrografía de la cuenca, si no también, en el modelado del paisaje actual.

Palabras Clave: Chaschuil, Fiambalá, neotectónica, deslizamientos, cuaternario.

INTRODUCCIÓN

La intensa actividad tectónica a la que estuvo sometida la región del Valle de Chaschuil, y sus reactivaciones durante el cuaternario, genera modificaciones en el relieve que impactan en el comportamiento del escurrimiento hídrico superficial y ocasionalmente en el aporte al recurso hídrico subterráneo.

El Valle de Chaschuil se encuentra situado en la parte occidental de la provincia de Catamarca. Dista aproximadamente 320 km de la capital de la provincia y forma parte del recorrido de la Ruta Nacional 60 que conduce hacia el Paso de San Francisco, límite con la República de Chile. (Ver Fig. 1)

El clima Cálido Andino Puneño es característico de la zona de Antofagasta de la Sierra y

el Valle de Chaschuil, hasta el límite sur con la provincia de La Rioja, donde el relieve es elevado y en las mesetas se originan bajas temperaturas, las lluvias son escasas puesto que los cordones montañosos impiden el paso de los vientos húmedos provenientes del Pacífico. (Niz, A. y Savio, M. 2017).

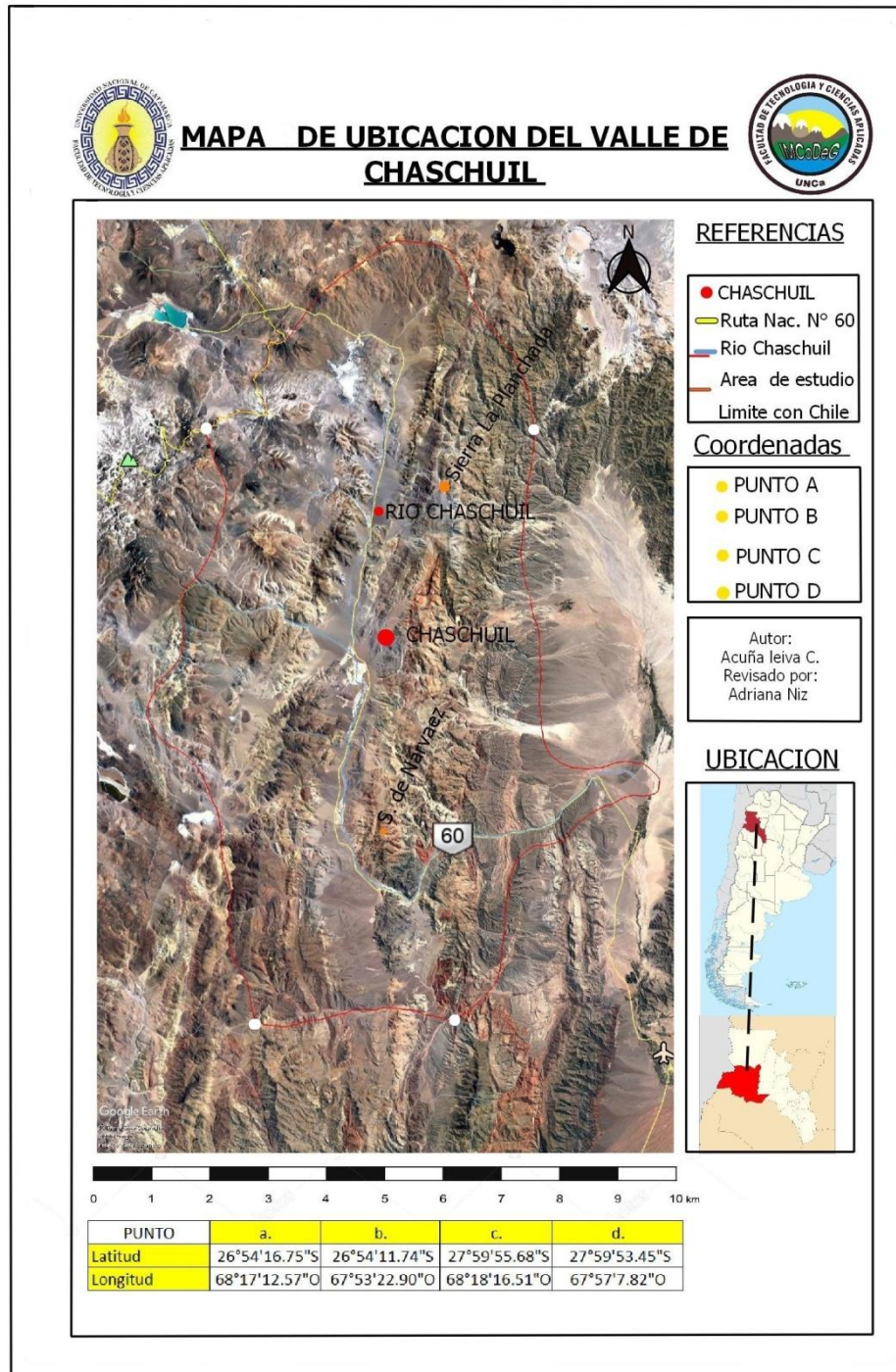


Fig.1 -Ubicación del área de estudio

El área de trabajo se encuentra inmersa en las Provincias Geológicas/Geomorfológicas de Cordillera Frontal y Sistema de Famatina, que serán descriptas con más detalle a continuación. (Ver Fig.2)

En nuestra provincia la Cordillera Frontal y la Precordillera se confunden en una unidad

morfoestructural, paulatinamente se van individualizando hacia el sur, fuera del territorio catamarqueño. Está integrada por bloques independientes de gran altitud, sin una dirección general uniforme, en general se trata de aparatos volcánicos, tipo estratovolcanes, separados por valles fluviales muy profundos. (Niz A. y Savio M. 2017)

El Sistema de Famatina está representada en nuestra provincia de N a S, por las Sierra de las Planchadas, Sierra de Narváez y Cerro Negro de Rodríguez, está constituido por rocas metamórficas e intrusivas del Precámbrico superior-Paleozoico inferior, sobre las que se asientan sedimentitas marinas y continentales, junto a vulcanitas Paleozoicas, Mesozoicas y Cenozoicas, en la Sierra de Narváez exhibe las características típicas de una estructura plegada con un significativo acortamiento cortical, lo cual es un factor determinante en sus rasgos morfológicos. (Niz A. y Savio M. 2017)

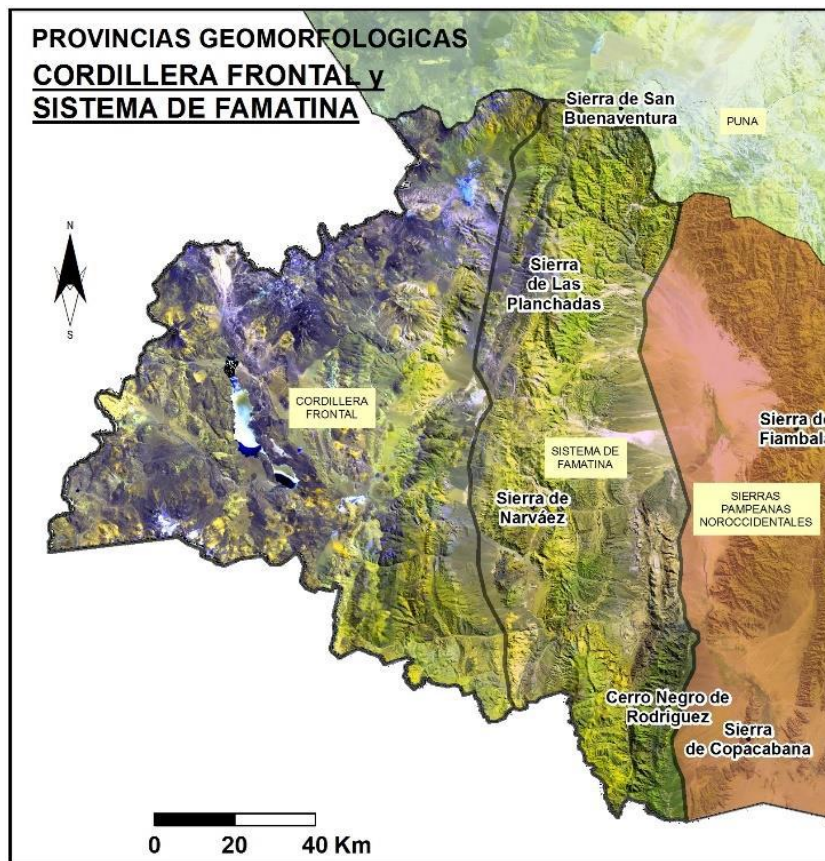


Fig.2-Provincias geomorfológicas de Cordillera Frontal y Sistema de Famatina. Tomado de Niz, Savio 2017.

METODOLOGÍA

Como primera instancia se realiza la búsqueda de antecedentes de la zona, para poder generar cartografía de apoyo que permita analizar de manera detallada el comportamiento hídrico, tectónico y el modelado del relieve que presenta el Valle en la actualidad.

Se prosigue con la confección de los planos geológicos y geomorfológicos. Para este procedimiento se utilizan imágenes cedidas por CONAE a IMCoDeG, de tipo: satelitales LANDSAT TM, LANDSAT ETM y LANDSAT 8 y, posteriormente se realiza la digitalización de la información con software AutoCAD, quedando definidos los planos correspondientes. La edición de la cartografía se realiza con el software libre QGIS 3.2.2.

De igual manera se obtiene el diseño de la hidrología superficial para entender en qué

medida afecta la neotectónica a la dinámica del recurso hídrico.

Para elaborar el modelo digital de elevación, se utiliza una imagen de tipo Shape file que es un archivo de tipo vectorial, el cual proporciona datos espaciales que se utilizan para representar la topografía del área que comprende la presente investigación. Utilizando el software Global Mapper se obtiene el modelo de elevación digital con su respectiva codificación. Una vez obtenido el modelo de elevación se realiza un análisis de las pendientes y su relación con la dinámica de los afluentes y el control estructural en la cuenca del Rio Chaschuil.

Para la obtención del mapa de tectónica antigua como así también el de neotectónica, se digitalizan todos los indicadores de deformaciones cuaternarias a lo largo del Valle de Chaschuil, en el software libre Google Earth a nivel de detalle. Luego de realizar el mapeo de los lineamientos y las geoformas producto de la reactivación tectónica, se confecciona el mapa final de estructuras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mapa geológico:

Desde la perspectiva geológica, presenta rocas correspondientes al Precámbrico, con presencia de Terciario y Cuaternario y sedimentos Paleozoicos (Ordovícico), que lo vinculan con el ambiente Precordillerano, Constituyen el límite entre los valles de Tinogasta y Fiambalá con el Valle de Chaschuil (Ver Fig.3). Se caracteriza por su basamento metasedimentario de bajo grado y una potente secuencia sedimentaria y vulcano sedimentaria Ordovícica, que lo diferencian de la Precordillera y Sierras Pampeanas (Niz A. y Savio M. 2017).

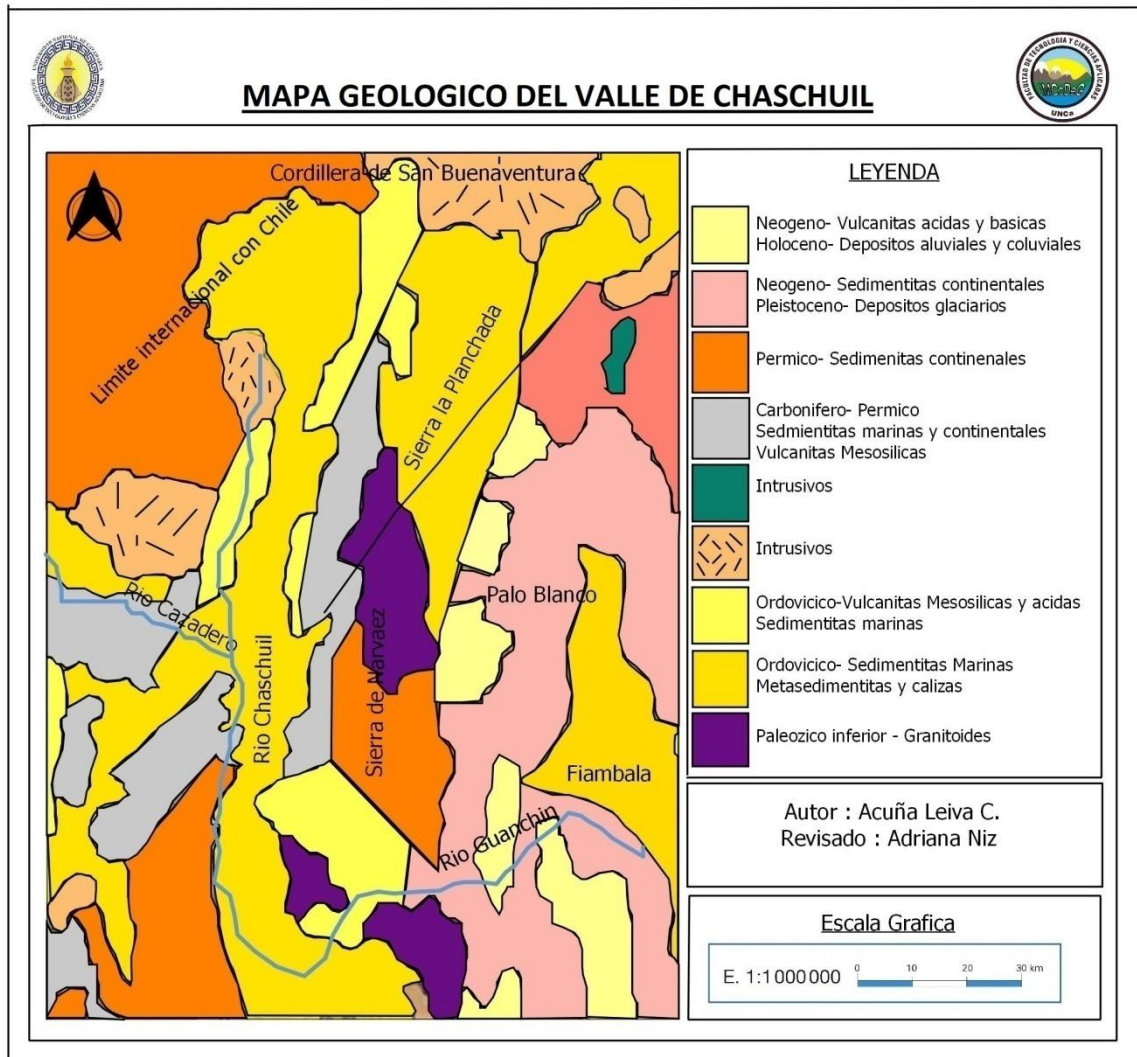


Fig.3-Mapa geológico del valle de Chaschuil

Mapa geomorfológico:

La región geomorfológica de la Cordillera Frontal, presenta un relieve con geoformas propias de ambiente volcánico, combinado con ambiente glaciario-periglaciario.

En las áreas deprimidas se observa la formación de depósitos pedemontanos, de tipo abanicos y conos aluviales, algunos niveles de glaciares de erosión. (Niz A. y Savio M. 2017)

En lo referido a la Asociación Geomorfológica de esta región, en general presenta un relieve escarpado, en el que los cursos de agua aprovechan tanto las líneas de debilidad estructural como la disposición de los estratos sedimentarios, y excavan profundos y estrechos valles, originando en algunos sectores gargantas de paredes verticales. (Ver Fig.4)

Se pueden observar geoformas relacionadas con pliegues erosionados de tipo sinclinal y anticlinal volcados. Los estratos sedimentarios muestran variada resistencia a la erosión, tales diferencias son destacadas por los procesos erosivos, manifestados a través de una morfología característica, esto es, erosión diferencial, común en muchas de las montañas plegadas del sistema alpino. (Niz A. y Savio M. 2017)

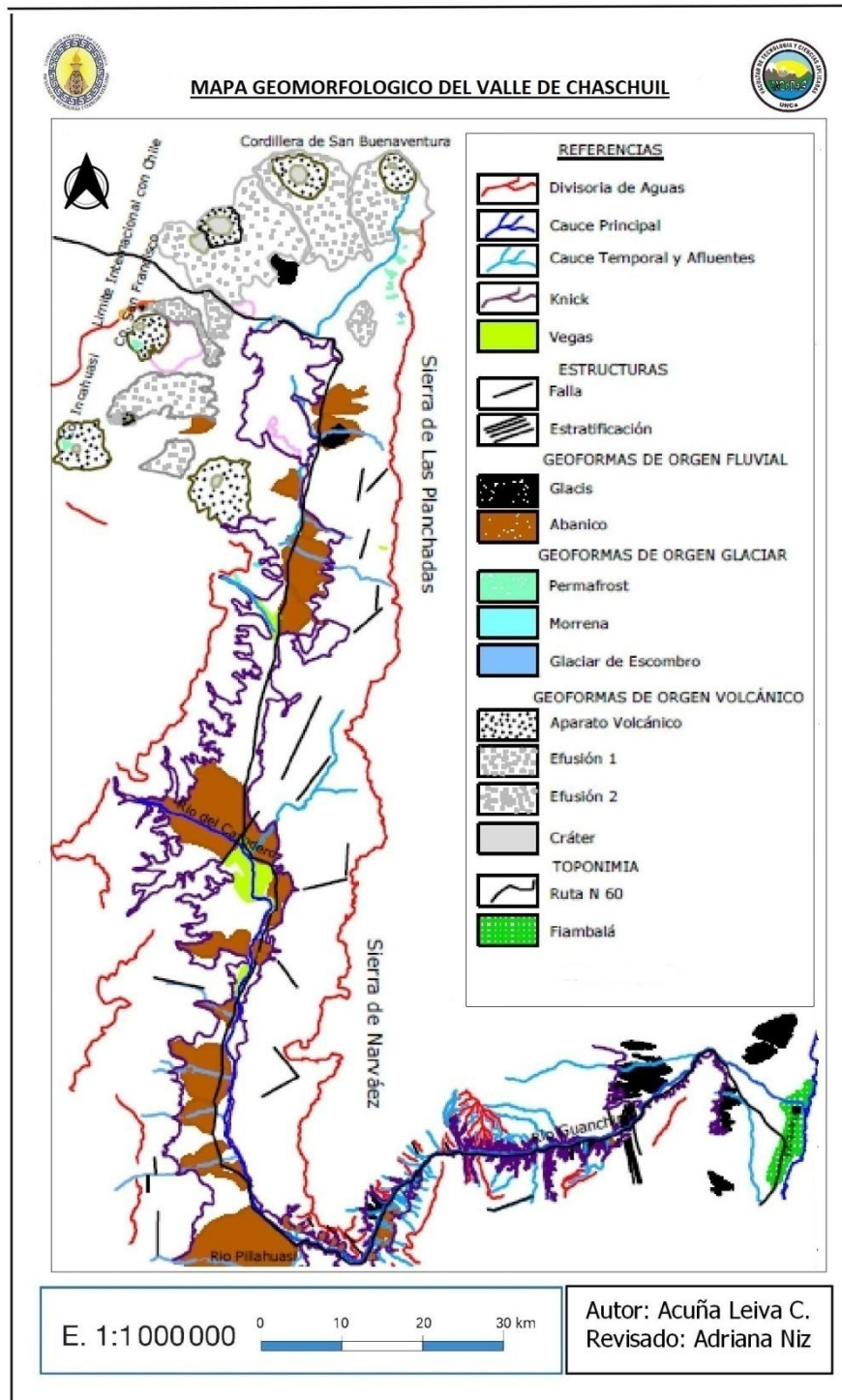


Fig.4-Mapa geomorfológico del valle de Chaschuil

Mapa de hidrología superficial:

El río Chaschuil se alimenta de torrentes y arroyos productos del deshielo y lluvias en la zona alta de la Cordillera de los Andes. Sus afluentes principales son Cazadero Grande, Las Lozas y San Francisco. Recorre en sentido norte sur, en la zona baja de la cuenca hace un giro hacia la derecha en donde a partir de allí toma el nombre de Río Guanchin. Debido a las condiciones climáticas y geomorfológicas el recurso hídrico en la cuenca es limitado. A lo largo del recorrido del río el agua se infiltra recargando el

sistema subterráneo. A consecuencia del fuerte control estructural de la cuenca los cauces toman los lineamientos producto de la actividad tectónica. (Ver Fig.5)

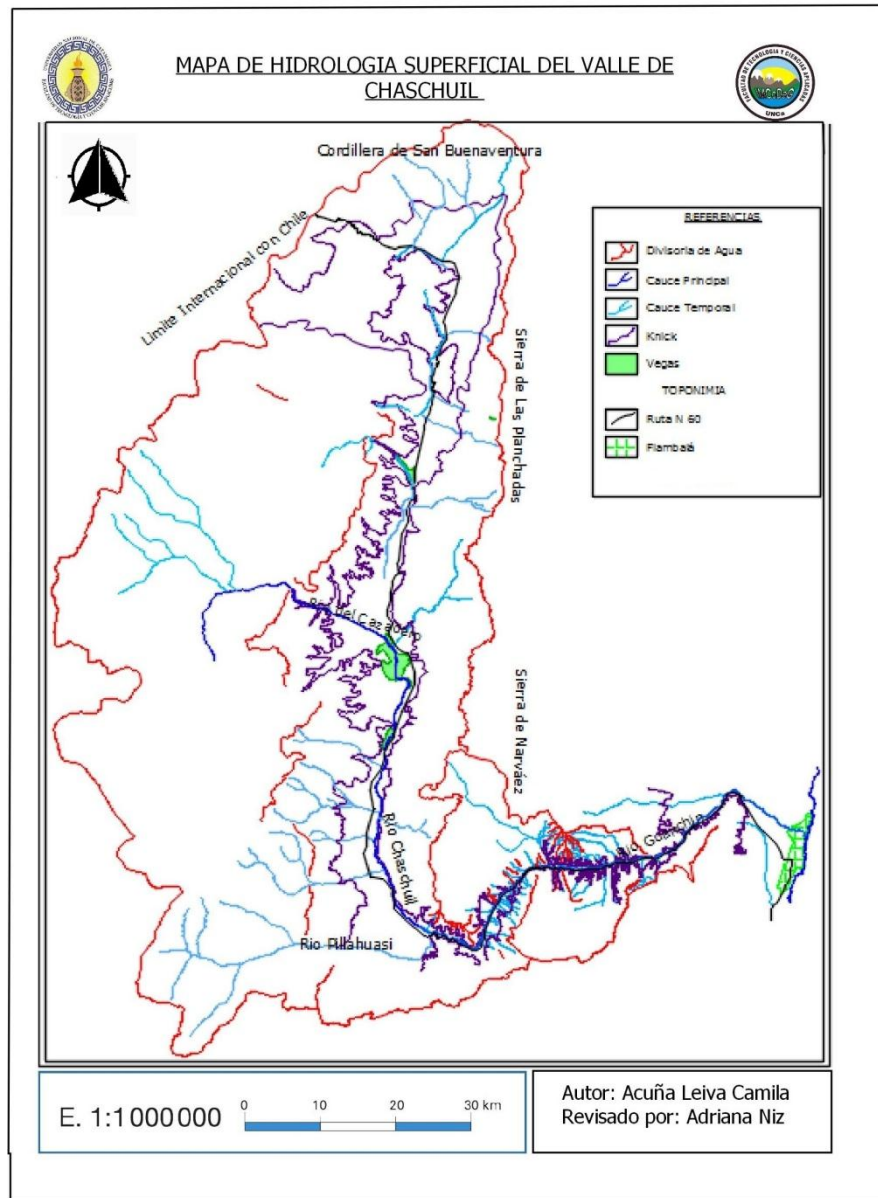


Fig.5- Mapa de hidrología superficial del Valle de Chaschuil

Modelo de elevación digital y curvas de nivel

El modelo de elevación digital y el de curvas de nivel (Ver Fig.6), indica que la pendiente topográfica disminuye hacia el sur. Las mayores alturas se encuentran en el sector noroeste de la cuenca que corresponde a la franja de los volcanes más elevados. Por otra parte, permiten distinguir claramente los lineamientos regionales y las reactivaciones tectónicas más relevantes.

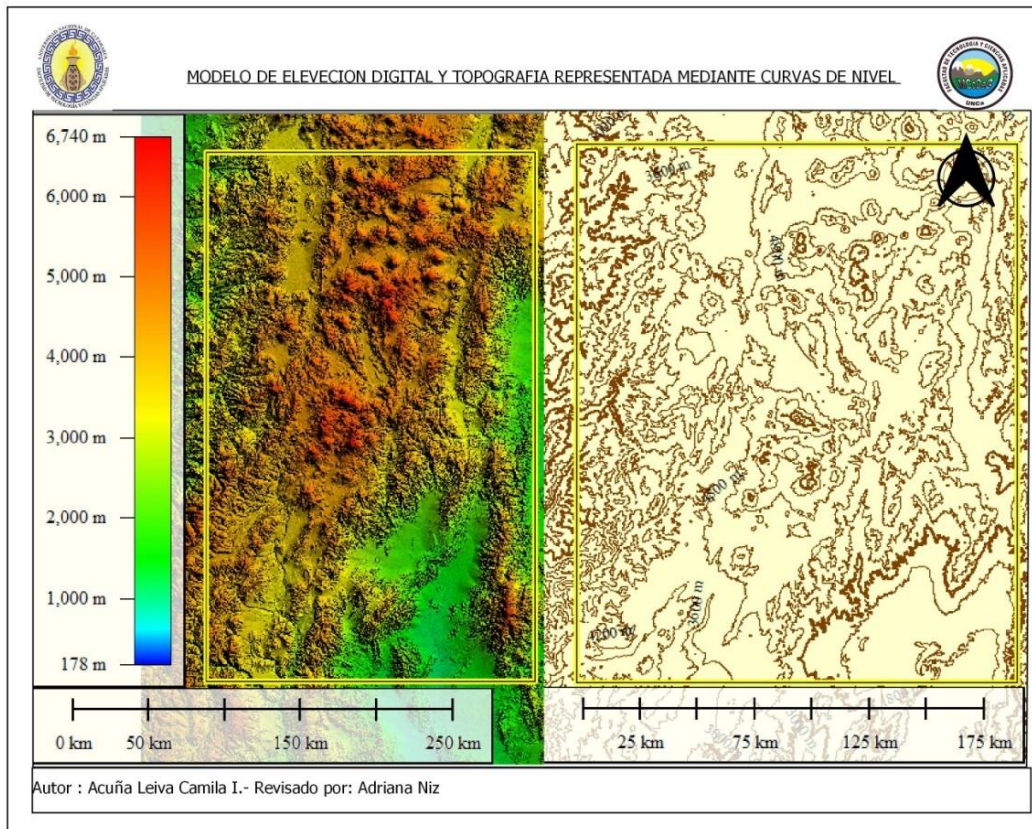


Fig.6- Modelo de elevación digital (DEM) y curvas de nivel

Evidencias de deformación cuaternaria

Las evidencias de deformación cuaternaria en el Valle de Chaschuil, se encuentran representadas mayormente en el sector centro y sur de la cuenca. Estas manifestaciones de reactivación tectónica, revelan en el sector sur de la cuenca un hundimiento de bloques, lo que produce el ascenso de algunas geoformas pedemontanas que, a diferencia de otras, se encuentran sobreelevadas. El área de trabajo se encuentra en un ambiente tectónico y de gran actividad que correspondía a un sistema de arco magmático. La neotectónica responde a algunos comportamientos de levantamiento de las principales fallas regionales, como así también a movimientos compresivos que generan el plegamiento de los sedimentos. (Ver Fig.7)

En algunos sectores de la cuenca se puede observar alineaciones en depósitos modernos que muchas veces rectifican los cauces, lo que da un indicio de actividad tectónica reciente. Otro aspecto que sirve de indicador son los deslizamientos de laderas cercanos a nuevas reactivaciones.

Un indicador que pone de manifiesto estos movimientos, son alineaciones que cortan de manera transversal las geoformas de pie de monte.

En diferentes sectores se puede observar hundimiento de los bloques de los cordones principales, lo que genera abanicos colgados.

Por último se puede atribuir a la neotectónica replegamientos en sedimentos y fuerte diaclasado propios de fuerzas compresivas.

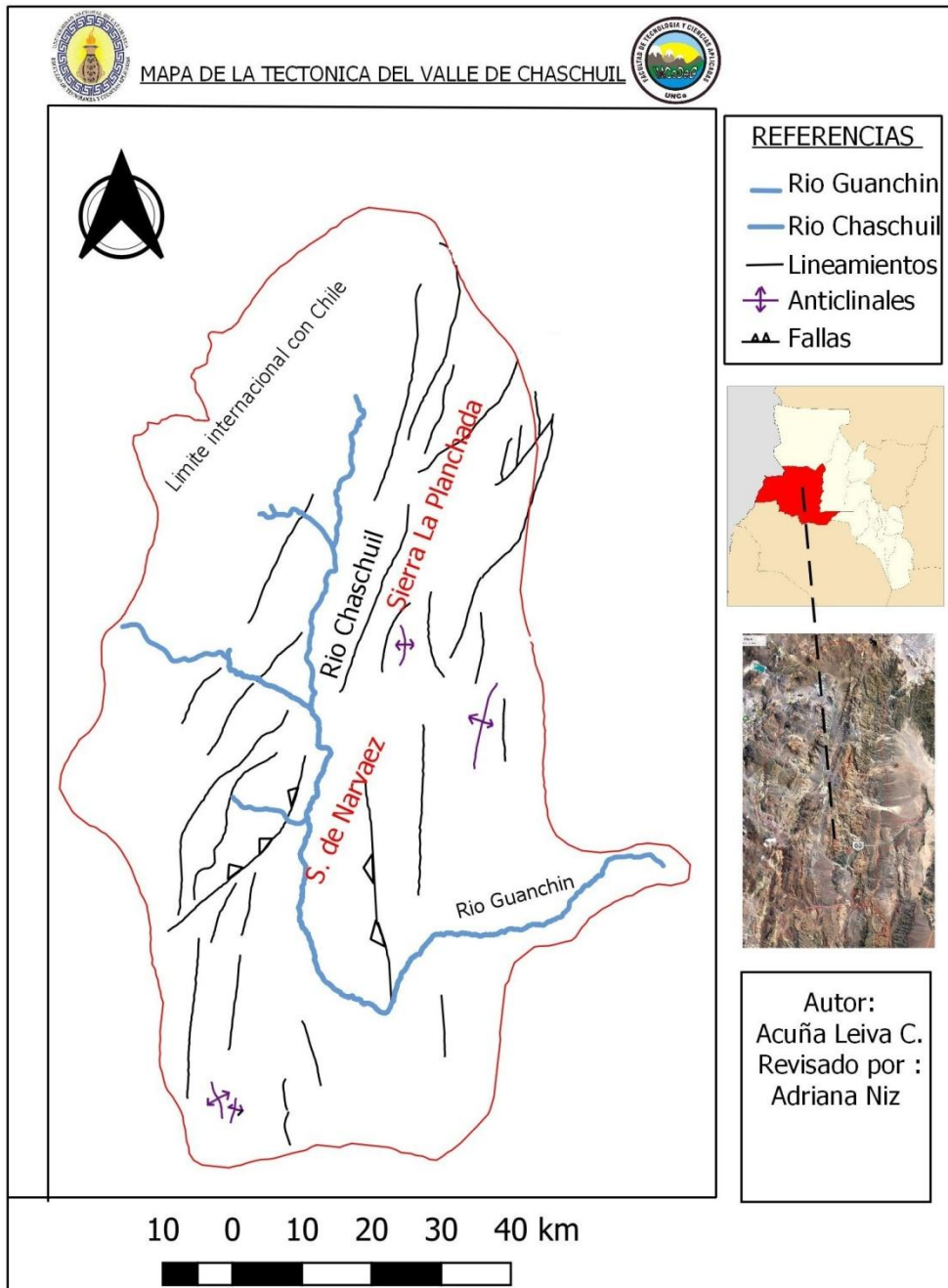


Fig.7- Tectónica del Valle de Chaschuil

Se muestra en el mapa de neotectónica el sector sur de la cuenca en donde se encuentran mejor representadas las manifestaciones de las deformaciones modernas. (Ver Fig.8)

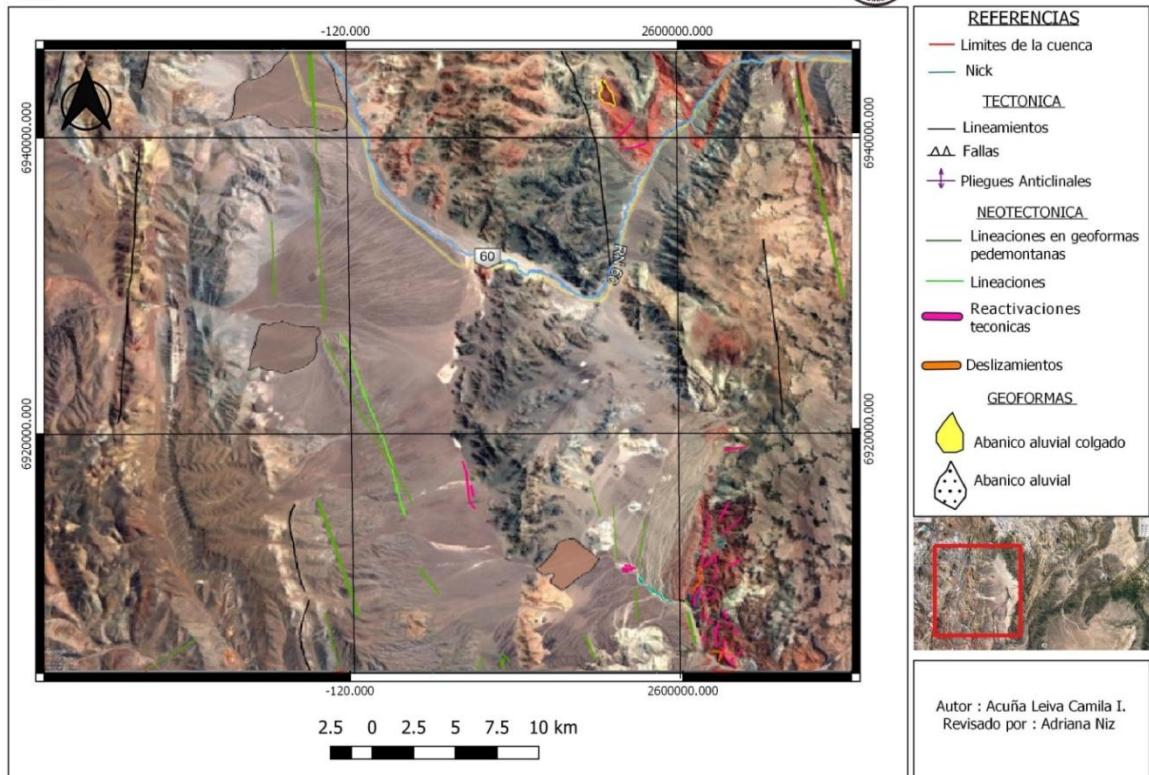


Fig.8- Mapa de neotectonica del Valle de Chaschuil

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados obtenidos en el trabajo queda de manifiesto, que el área de estudio presenta numerosas evidencias de eventos neotectónicos.

Queda demostrado en la cartografía, y a través de su interpretación, que el valle está sujeto a reactivaciones tectónicas que afectan la estructura y morfología del relieve, lo cual influye directamente sobre el diseño de drenaje y la dinámica hídrica.

Estos eventos provocan cambios estructurales, donde los cauces se adaptan a los lineamientos en su recorrido, o bien, el afluente se infiltra y recarga el sistema subterráneo. También es evidente que existe un hundimiento de los bloques, a consecuencia de esto las geoformas del pie de monte se ven sobreelevadas, lo que causa diferencias de nivel de varios metros.

La deformación cuaternaria también tiene influencia en la dinámica del cauce principal, donde, por tramos, este se rectifica siguiendo la estructura de las lineaciones.

REFERENCIAS

Niz, A. y Savio, M. Geomorfología general de la provincia de Catamarca. *Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino*, San Miguel de Tucumán: 804-828 (2017).

TRABAJOS CONSULTADOS

Perucca L. y Onorato R. Fallas con actividad cuaternaria en el corredor tectónico Matagusanos-Maradona-Acequion entre los ríos de La Flecha y del Agua, provincia de San Juan. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 68, Buenos Aires (2011).

Savio M., Lamas C.; Niz A. Caracterización geológica geomorfológica y valoración de riesgos geoambientales en el área glacial y periglacial del Valle de Chaschuil- Fiambalá-Catamarca (2016).

Cuenca del Río Abaucán, Colorado, Salado o Bermejo. *Documento de la Subsecretaría de recursos hídricos, dependiente de la Secretaría de Obras Públicas de la Argentina.* (2018).

Mangano G., Buatos L. y Aceñolaza L. Icnología de ambientes marinos afectados por volcanismo: la formación Suri, ordovícico del extremo norte de la Sierra de Narvaez, Sistema de Famatina, Argentina. *Asociación Paleontológica Argentina*, 69-88. Buenos Aires (1996).

Mpodozis, C.; Kay, S. M.; Gardeweg, M. C.; Coira, B. Geología de la región de Valle Ancho-Laguna Verde (Catamarca, Argentina): Una ventana al basamento del extremo sur de la zona volcánica de los Andes Centrales. *Simposio Final Proyecto IGCP 345 Evolución Litosférica de los Andes III, 1689-1693* (1997)

Cisterna C. y Mon R. Episodios diastróficos ordovícicos registrados en las sucesiones volcánicas - sedimentarias del tremadociano temprano en el norte del Sistema de Famatina. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 71, 393-403. Buenos Aires (2014).

SITOS WEB CONSULTADOS

<https://mapcarta.com/es/20068996/Mapa>

<http://naturalezaypaisajesdecataamarca.blogspot.com/2014/11/Cortaderas-Tinogasta.html>

http://www.atlas.catamarca.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=103:geomorfologia&catid=8&Itemid=272&showall=1&limitstart=

https://www.clarin.com/viajes/ruta-volcanes_0_SyZgesm6wme.html

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/chaschuil_argentina_3861661

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA DE LA RED HIDROGRÁFICA EN EL VALLE DE CHASCHUIL

Cedrón Robledo D. G.^a, Niz A. E.^a, y Ortiz E.V.^{a,b}

^aIMCoDeG, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

^bCONICET, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: danigcedron@gmail.com

RESUMEN

El área de investigación es el Valle de Chaschuil, se sitúa al norte del Departamento Tinogasta. Limita al norte con la Cordillera de Sanbuenaventura, que la separa de Dpto. Antofagasta de la Sierra, al este con el valle de Fiambalá y al oeste con la república de Chile. Se ubica en el marco de la región de Sistema de Famatina y Cordillera Frontal, esta condición caracteriza su relieve. El afluente principal es el Río Chaschuil, alimentado por los ríos Cazadero Grande, Las Lozas y San Francisco; por el centro de la cuenca. Las características físicoquímicas de los acuíferos permiten conocer su aptitud para consumo humano o para riego y determinar las áreas de alimentación de los mismos, que son estratégicas para el desarrollo socioeconómico de la región. Debido a esto, es necesario determinar el nivel de impacto que la actividad antrópica le produce al agua y su correlación con el agua proveniente de la ablación de glaciares expuestos y glaciares de escombros, como así también del agua proveniente de sectores de la cuenca afectados por actividades volcánicas pasadas. Se realizó un estudio teórico mediante el uso de equipos de informáticos y software apropiados para su interpretación y estudios experimentales que involucraron muestreos y análisis físicoquímicos. Debido a las características particulares del Bolsón de Fiambalá, el conocimiento de la litología del área y su influencia, permitió el análisis en la calidad del agua para sus diversos usos. Estos resultados muestran que es posible el desarrollo socio-económico de estas regiones con el buen uso del recurso hídrico, siendo apto para uso agrícola lo que representa un factor sustancial en la producción regional.

Palabras Claves: Valle de Chaschuil; Análisis físicoquímico, Recurso hídrico

INTRODUCCIÓN

El Valle de Chaschuil se encuentra al oeste de la localidad de Fiambalá, departamento Tinogasta de la provincia de Catamarca. Perteneció a la provincia geológica Sistema de Famatina y Cordillera Frontal en una zona de transición entre ambas, situada a más de 3500 m.s.n.m. El afluente principal es el Río Chaschuil alimentado por los ríos Cazadero Grande, Las Lozas y San Francisco. Es portador de un abundante caudal para el tipo de relieve persistente en la región, su promedio medio anual es de 20,83 mm, por lo cual el valle representa una excelente zona con buenas posibilidades para el asentamiento de una población estable y con la actividad agrícola como desarrollo sustentable.

El área se caracteriza por pertenecer a un clima semiárido riguroso, controlado por los fuertes vientos y baja precipitación pluvial. Tanto los factores climáticos como los geomorfológicos indican la susceptibilidad árida de la zona.

Para acceder al área de estudio se parte desde San Fernando del Valle de Catamarca por Ruta Provincial N°38, hasta llegar a la ruta Nacional N° 60, atravesando la localidad de Fiambalá, se continúa unos 60 km al noroeste. Ver Fig 1

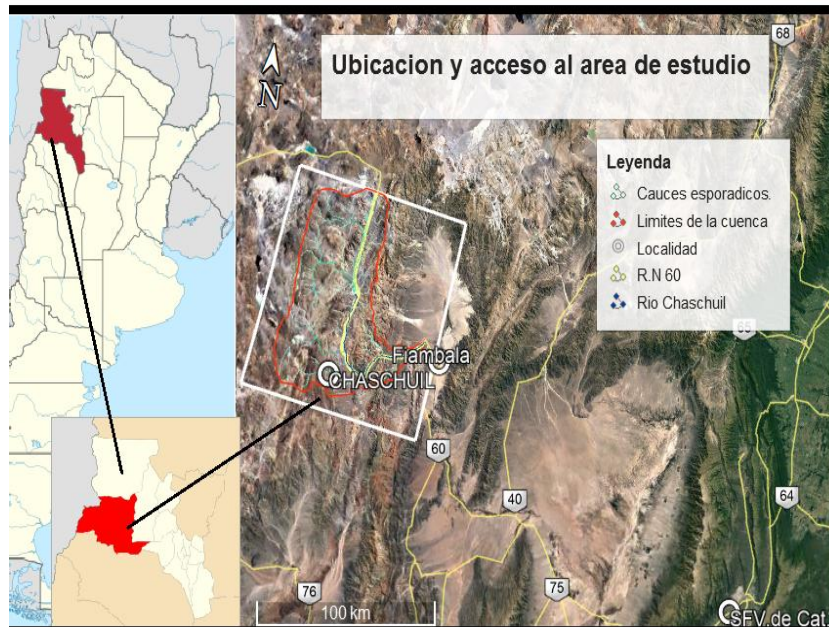


Fig. 1 Ubicación de la cuenca y vías de acceso desde S. F. del .Valle de Catamarca.

MÉTODOLOGIA

Se generó la base de datos que permitió la correlación de la información obtenida en la recopilación de antecedentes (estadísticos, bibliográficos, informes, publicaciones de investigaciones en la región) y la información generada, para así elaborar la cartografía geológica, hidrológica y geomorfológica utilizando herramientas GIS.

En el proceso de trabajo se comprobó, correlacionó y ajustó el mapa, con las coordenadas de los puntos donde se desarrolló la toma de muestras de agua. Posteriormente se realizó la descripción de las características particulares de las muestras en base a los resultados de los análisis fisicoquímicos del laboratorio, con apoyo de estudios experimentales, para los que se involucró el uso de equipos informáticos y softwares apropiados para la clasificación de agua en relación a sus propiedades químicas.

Fue necesaria para la interpretación del comportamiento hídrico de la cuenca una etapa de cálculo donde, con los datos físicos, se determinaron los parámetros morfo-métricos. Finalmente se analizó y correlacionó la información hídrica, geomorfológica y fisicoquímica del agua, en relación con el ambiente geológico para la interpretación de los resultados que se detallan en el informe final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

GEOLOGÍA DEL ÁREA

El área de estudio abarca dos Provincias Geológicas/Geomorfológicas de; cordillera Frontal y Sistema de Famatina.

Provincia Geológica/Geomorfológica de la Cordillera Frontal, constituye una franja de dirección norte-sur, de entre 50 a 70 Km de ancho, nace en el límite sur de la Puna y se

extiende hasta el río Diamante en la provincia de Mendoza. En nuestra provincia la Cordillera Frontal y la Precordillera se confunden en una unidad morfoestructural, paulatinamente se van individualizando hacia el sur, fuera del territorio catamarqueño. Está integrada por bloques independientes de gran altitud, sin una dirección general uniforme, en general se trata de aparatos volcánicos, tipo estratovolcanes, tales como: el Monte Pissis de 6.779 m s.n.m.; el Cerro Incahuasi 6.621 m s.n.m.; Cerro El Muerto, de 6.540 m s.n.m.; Cerro Ojos del Salado, de 6.934 m s.n.m., también son comunes los pasos ubicados entre los 3.500 ms.n.m y los 4.200 m s.n.m., separados por valles fluviales muy profundos. Debido a que prevalece el clima árido, en general, el límite de las nieves eternas se establece por encima de los 5.000 m, son frecuentes los procesos y eventos típicos de ambiente glaciario y periglaciario. (Niz, Savio 2017).

La Provincia Geológica/Geomorfológica del Sistema de Famatina se sitúa entre las provincias geológicas de Cordillera Frontal y las Sierras Pampeanas Noroccidentales, su rumbo general es NNO-SSE. Desde la perspectiva geológica, corresponde al Precámbrico, con presencia de Terciario y Cuaternario y sedimentos paleozoicos (Ordovícico), que lo vinculan con el ambiente Precordillerano y lo distinguen de las Sierras Pampeanas. La Provincia Geológica del Sistema de Famatina abarca un conjunto de Cerros y bloques serranos tales como la Sierra de Las Planchadas, el norte de la Sierra de Narvárez, Co. Ojo de San Antonio, Co Torres, Co. Blanco, Co. Bayo Co. Colorado entre otros. (Niz, Savio 2017).

Con base de las interpretaciones de las HOJA GEOLOGIA DE TINOGASTA 2696-III 250000 (SEGEMAR); HOJA GEOLOGICA DE FIAMBALA 2769 IV ESCALA 1 250000 (SEGEMAR); HOJA 13 b CHASCUIL se identificaron las unidades geológicas presentes en la cuenca. Ver Fig 2.

Cámbrico

- FORMACION LAGUNA LARGA basamento cámbrico fracturado en bloques

Ordovícico

- DEPOSITOS ORDOVISICOS INDIFERENCIADOS
- FORMACION LAS PLANCHADAS, rocas efusivas acidas
- FM SURI, tobas y lutitas en discordancia con el basamento, distinguidas por su coloración verdosa.
- GRANITO DE NARVAEZ,

Pérmico

- FORMACION AGUA COLORADA
- FM LA CIESTA MIEMBRO ROJO
- FM LA CUESTA MIEMBRO LACUSTRE

Terciario

- FM TAMBERIA, areniscas tobas pocos seleccionados,
- CUERPOS HIPABISALES, Dacitas andesitas
- COMPLEJO BASAL OJOS DEL SALADO
- FM GUANCHIN, psamitas de grano variables

Cuaternario

- DEPOSITOS CONGLOMERADICOS DEL VALLE DE CHASCHUIL, de ambiente continental de tipo poligmictico.
- LAVAS DEL CERRO WALTER PENCK dacitas lavas y andesitas
- CONOS MONOGENETICOS FLUJOS PIROCLASTICOS
- *DEPOSITOS ALUVIO COLOVIALES*

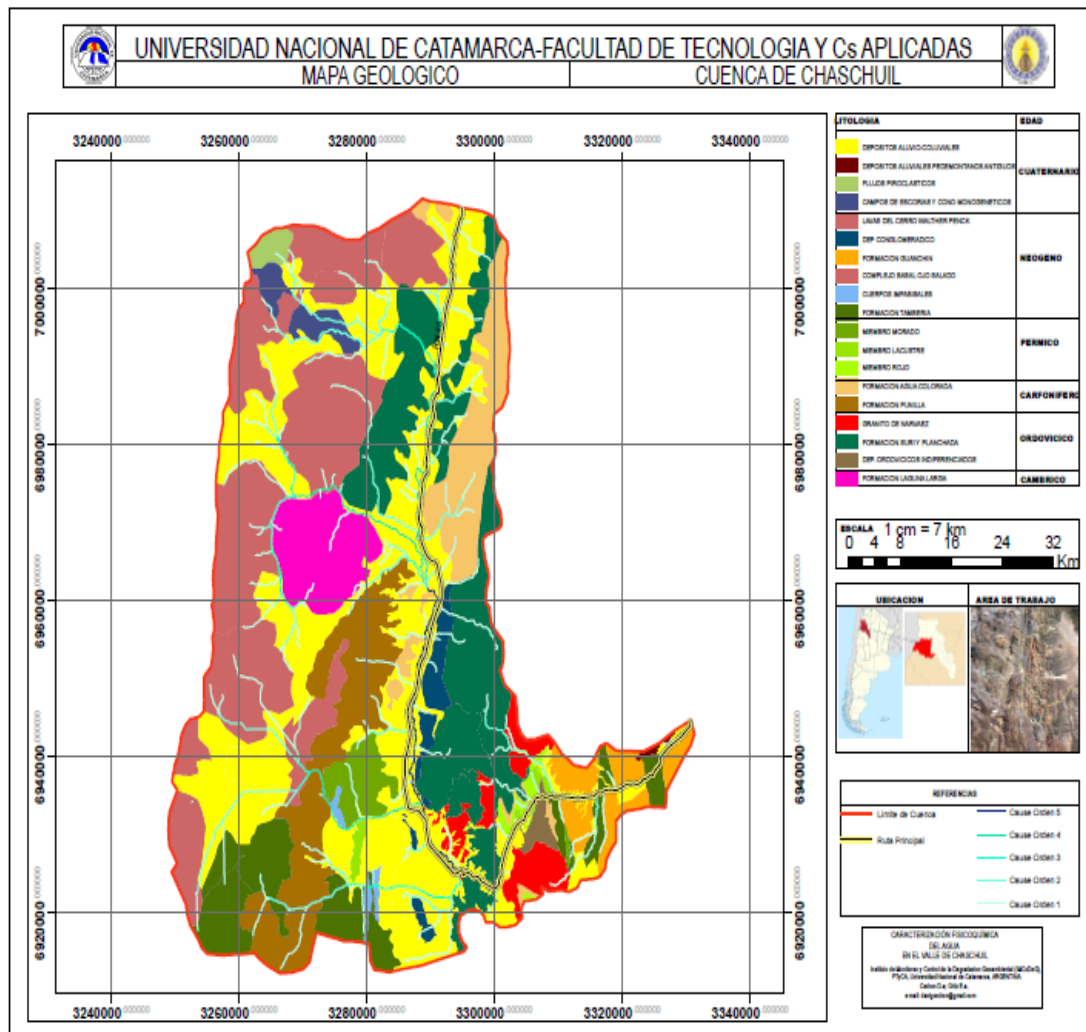


Fig. 2 Mapa geológico de la cuenca de Chaschuil

GEOMORFOLOGÍA

Área montana

- En la sección noroeste se presenta una serie de depresiones ocupadas y alimentadas con agua de deshielo.
- Otro tipo de geofomas que se destaca en la cuenca es la presencia de aparatos volcánicos, entre los cuales un grupo predominante proviene de un magma ácido, y otros de un magma básico. Se puede nombrar a los siguientes:
 - Aguas calientes
 - Ojo de las lozas
 - Las peladas
 - Morocho
 - Y la sección sur del Hicahuasi
- Además un grupo de menor envergadura de tipo monogenéticos

Área pedemontana

- Geofomas de tipo fluvial, con mayor extensión en el margen izquierdo del río Chaschuil. Por su presencia se podría inferir grandes eventos de escorrentía en épocas geológicas pasadas, las geofomas dominantes observadas son:

- Conos
- Abanicos
- Paleocenos
 - Geformas denutativas, glacis de erosión.

Área de valles

Escurre según un colector principal, el río Chaschuil, que en el paraje Guanchín cambia su nombre a río Guanchín, las geformas más representativas son:

- Terrazas, los menos dos niveles de terrazas en las secciones del río donde el lecho se enangosta, y tres niveles discontinuos en las secciones de mayor ancho.
- Vegas, en los márgenes de los causes principales, se ubican vegas de superficies variables asociadas a los estrechamientos del lecho del río. Ver Fig. 3.

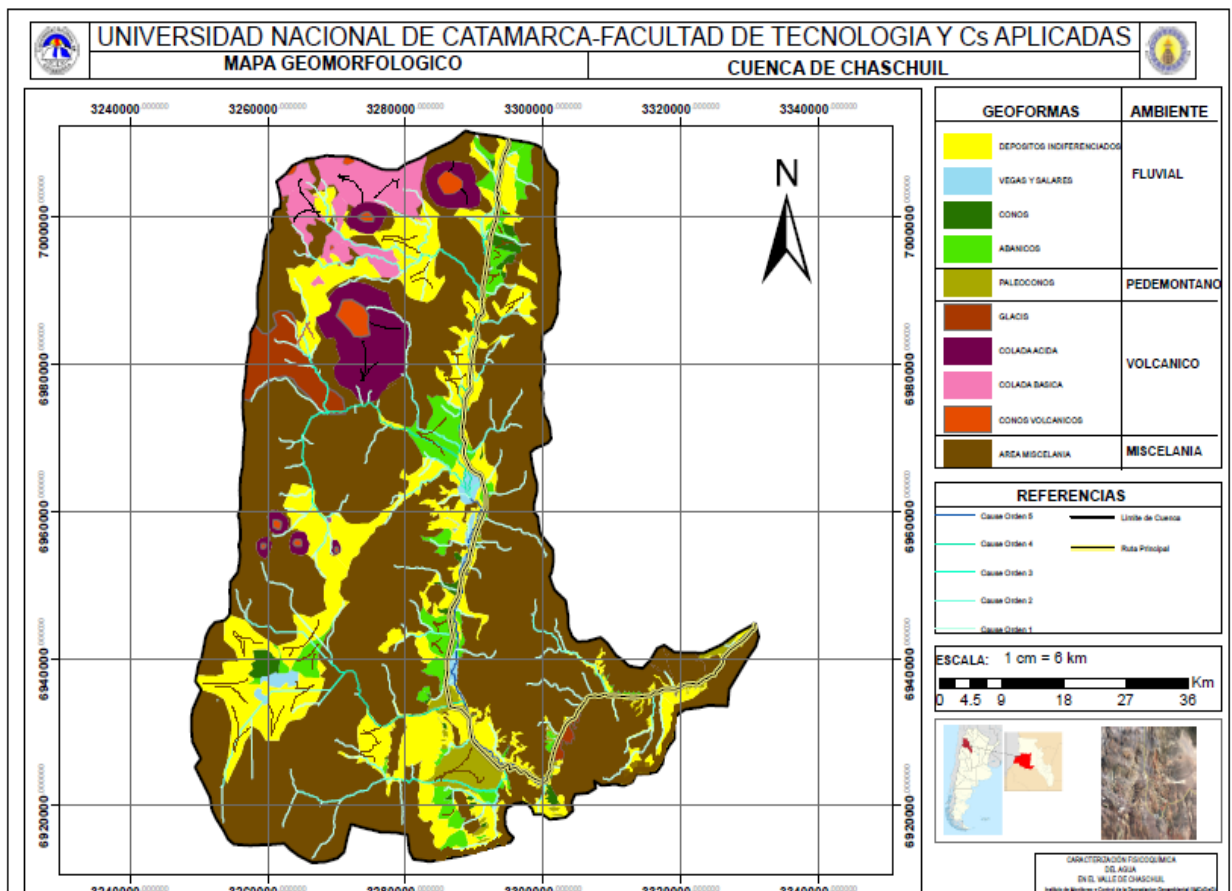


Fig. 3 Mapa geomorfológico del área de estudio

CONDICIONES GENERALES DE LA CUENCA

Morfometría:

Las características físicas de la cuenca determinan la forma de la misma y esta a su vez, influyen profundamente en su comportamiento hidrológico. Por este motivo se consideró relevante el cálculo de las siguientes características:

- Área de la cuenca: es el área en superficie englobada por la red de drenaje, es determinante para calcular la magnitud de características hidrológicas como el

volumen de agua que ingresa por precipitación, los caudales, etc. que son datos base para generar modelos hidrogeológicos.

Para este trabajo se ha adoptado como escala de clasificación la de Campos Aranda (1998), si el valor del área es $<25 \text{ Km}^2$, la cuenca es muy pequeña; si varía entre 25 y 250 Km^2 , es pequeña; entre 250 y 500 Km^2 es intermedia pequeña; entre 500 y 2500 Km^2 es intermedia grande; entre 2500 y 5000 Km^2 es grande; y $>5000 \text{ Km}^2$ es muy grande.

- Longitud de la cuenca (L) definida por la línea recta imaginaria, la cual posee una dirección paralela a la del cauce principal, entre un punto aguas abajo y otro punto aguas arriba.
- El Perímetro (P) Coincide con la distancia recorrida coincidente con la línea de parte aguas o divisoria. Establece los límites de área y sistema de drenaje de cuenca.
- El Ancho (W) es la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L). Ver Ec. 1

$$1. \quad W = A/L$$

Por medio del cálculo de estas características fue posible determinar la geometría de la cuenca, para analizar el movimiento, circulación y distribución del agua superficial, cuantificadas por índices o coeficientes matemáticos.

- El Índice de compacidad o índice de Gravelius (K), se definió como la relación entre el perímetro (P) y el perímetro de un círculo que contenga la misma área (A) de la cuenca hidrográfica. Ver Ec. 2

$$2. \quad K = 0.282 P/\sqrt{A}$$

En cualquier caso, el coeficiente será mayor que la unidad o tanto más próximo a ella, cuanto la cuenca se aproxime más a la forma circular, pudiendo alcanzar valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas.

- El factor de forma de Horton (Rf), se define como el cociente entre el área de la cuenca (A) y el cuadrado de su longitud (L). Ver ecu. 3 A su vez existen diferentes rangos de valores Ver tabla I.

$$3. \quad Rf = A/L^2$$

0,785	Circular
1	Cuadrado con salida central
0.50	Cuadrado con salida lateral
Menor 1	rectangular

Tabla I Rangos establecidos para la Variación de los valores del Factor de forma

- La relación de elongación (Re) es la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (L). Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) Ver. Ec. 4

$$4. \quad Re = 1,128 \sqrt{A/L}$$

Los valores de Re varían entre 0.60 y 1.00. Está relacionado al relieve de la cuenca, ya que valores cercanos a la unidad se corresponden con relieves bajos, mientras que valores entre 0.60 y 0.80 los relieves son fuertes y pendientes pronunciadas.

- La relación de circularidad (Rd), es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca. Ver Ec. 5

$$5. R_d = 4\pi A/P^2$$

Las operaciones y valores se obtuvieron, de manera gráfica y empírica por medio de uso de GIS. Se utilizó planilla Excel para los cálculos. Los resultados se muestran en la tabla II

Parámetro	Determinación por	Valor km ²	Observaciones
Área km ²	Medición directa	224	
Perímetro km	Medición directa	76.7	
Longitud km	Medición directa	24.93	Se realizó la medición correspondiente, dividiendo la longitud de la cuenca en tres secciones paralelas al cauce principal, de ; 17.6 km-5.93 km-1.4
Ancho	Relación Área/Longitud	8.99	
K	Índice de Gravelius	0.10	$K = 0.282 P/\sqrt{A}$
Rf	Factor de forma de Horton	0.36	$R_f = A/L^2$ resultado <1 la forma es Rectangular
Re	Fórmula de la Relación de Elongación	0.68	$Re = 1,128 \sqrt{A/L}$ el resultado se encuentra entre los valores de 0.60 y 0.80 y corresponde a relieves fuertes y pendientes pronunciadas.
Rd	Fórmula de la Relación de circularidad	0.48	$R_d = 4\pi A/P^2$ La cuenca no es circular

Relación altitudinal.

La relación entre el relieve y altitud de la cuenca es un tipo de respuesta hidrológica. La pendiente afecta propiedades como la infiltración, el escurrimiento, la distribución del flujo, desarrollo del suelo, e incluso en ocasiones llega a determinar las zonas de recarga. Además, permite obtener una idea de sus características climatológicas. Es por ello que se precisa de su identificación y análisis. Ver Fig.3

La misma corresponde con un relieve tipo serrano con escasa vegetación, condicionada por el clima. Las especies autóctonas son de tipo arbustivas, jarillales pastizales, concentradas en las vegas, llanuras y terrazas.

La diferencia altitudinal comprende alturas de entre 2500 m y 4800m. La cuenca se encuentra enmarcada por las sierras que son resultado de grandes plegamientos algunos asociados a fallamientos regionales y eventos volcánicos que caracterizan al Valle. Como se describe en la Hoja Geológica de TINOGASTA, 2969-II “La deformación andina y su migración hacia el este fue generando un clásico paisaje de cuencas y cadenas. Durante y después de su ascenso las sierras comenzaron a ser esculpidas por la meteorización y corrientes fluviales.”

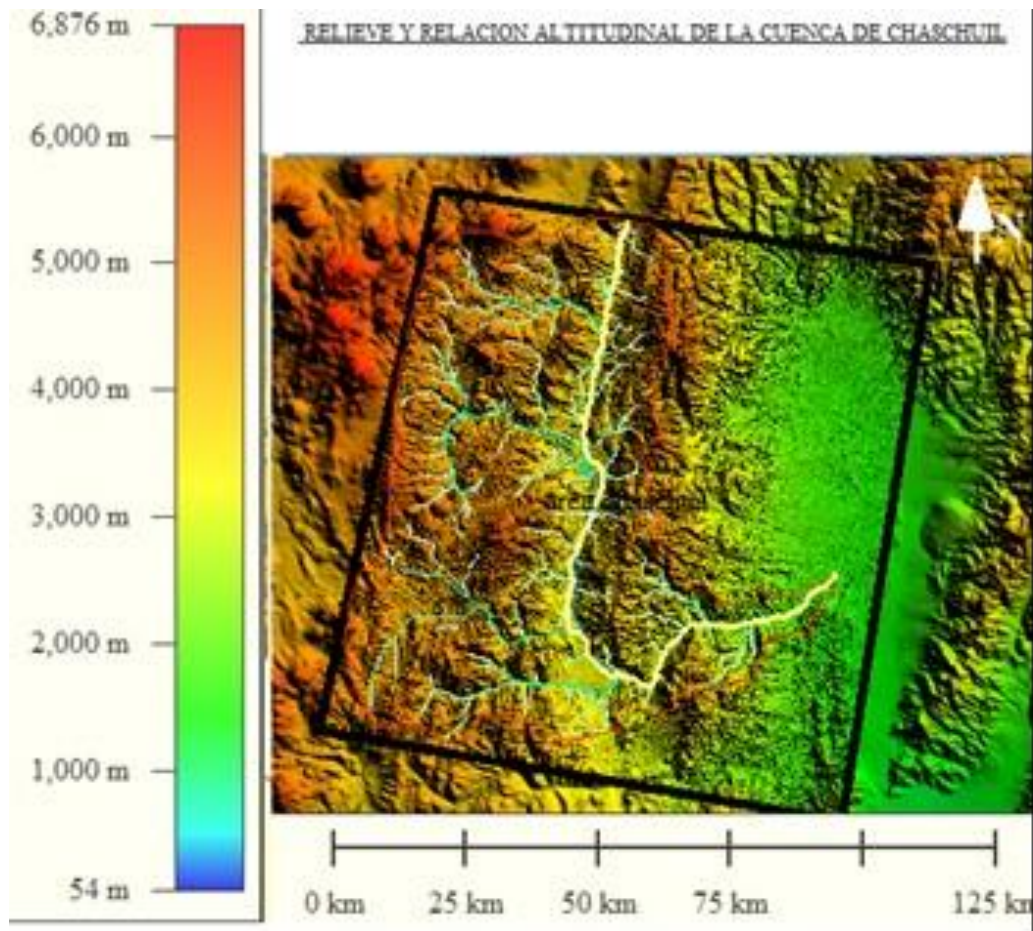


Fig. 4 Relieve del Valle de Chaschuil

Caracterización hidrográfica

El Rio Chaschuil nace en el norte de la cuenca, con un caudal importante por el gua naciente en sus cabeceras, este rio escurre longitudinalmente hasta el área sur de la cuenca donde su dirección cambia de manera transversal.

La mayoría de los cauces que drenan el área son transitorios o temporarios.

Los parámetros cuantificados en relación a la red de drenaje, miden en cierta manera, la influencia de la escorrentía superficial en el modelo de drenaje y sus características.

- Orden de corriente: es una jerarquía numérica que se le asigna a cada tributario, teniendo en cuenta la unión de los canales. Generalmente los segmentos de primer orden se ubican en las nacientes de la cuenca, el aumento en el orden se genera por la confluencia de dos canales de orden diferente, cuando se unen dos canales de primer orden, conforman un cauce de segundo orden; y la unión de dos canales de segundo orden, conforman un cauce de tercer orden; y así sucesivamente. Finalmente, el orden de la cuenca es el valor del cauce de mayor orden que coincide con el canal colector. Los órdenes mayores indican un mayor caudal en el cauce de salida de la red. Ver Fig4

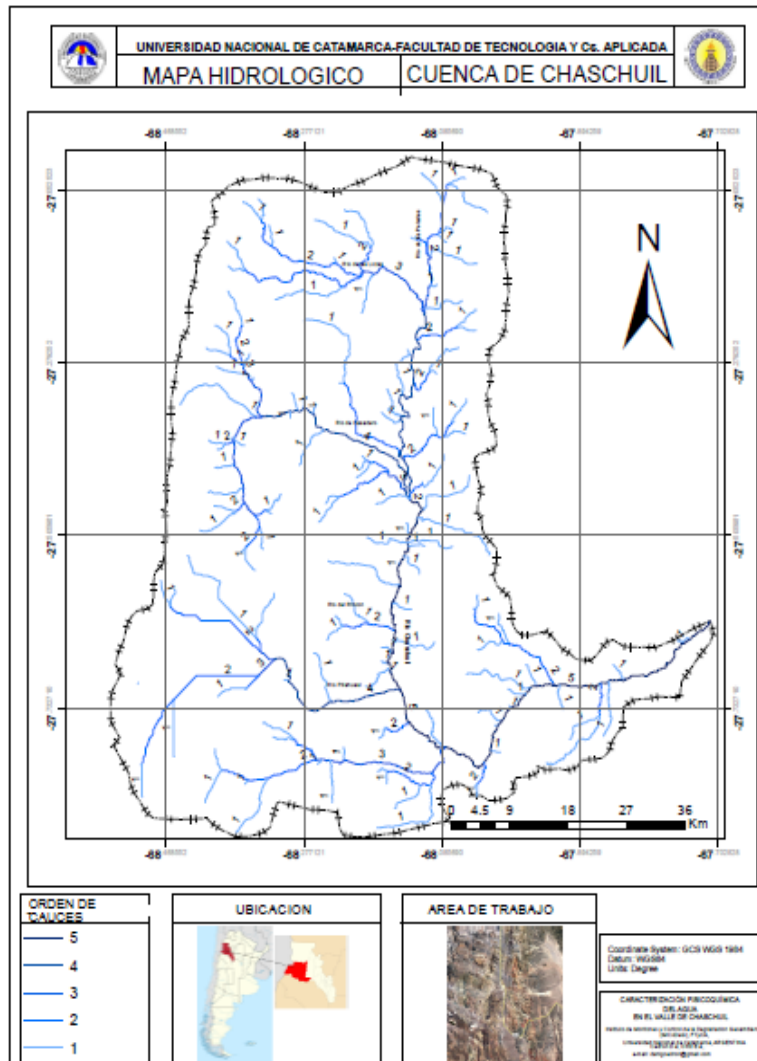


Fig. 5 Determinación gráfica por medio del uso de GIS el orden de la cuenca de Chaschuil , según Strahler (1964)

- **Diseño de drenaje:**

El diseño general del drenaje de la cuenca es controlado por los cauces de principal aporte al río Chaschuil y es de tipo dendrítico. El área alta de la cuenca presenta un drenaje pinnado, se puede observar que los cursos de agua forman una similitud a nerviación de hojas, los tributarios se unen formando ángulos casi rectos, que se agudizan aguas arriba, lo que indica elevado contenido de material fino en el suelo.

En rasgos generales la cuenca presenta textura baja con poca densidad en base a esto se infiere niveles intermedios de escorrentía y poca permeabilidad.

El área de la cuenca se enangosta en la zona cercana al ápice. Lo que se traduce como un aumento en el caudal a la salida de la cuenca por disminución del área.

La densidad del drenaje disminuye con la pérdida de la elevación en el terreno. Señalado en el mapa por el predominio de tributarios de órdenes menor en el ápice de la cuenca, Es posible diferenciar diseños de drenajes específicos que coinciden con las geoformas presentes en el terreno.

Por ejemplo: Red circular con canales paralelos procedentes de un punto elevado donde la corriente colectora principal que circula alrededor de la base de la elevación

topográfica coincidente con los volcanes y cerros aislados situados en el noroeste de la Cuenca.

Se identificó drenaje radial, pero los contactos o fracturas de la roca forman tributarios paralelos concéntricos en sectores de cerros de roca granítica o domos sedimentarios. Y depresiones que culminan en pequeñas lagunas que muestran un drenaje centrípeto en el cual el agua escurre hacia un punto central, una depresión como el centro.

FISICOQUÍMICA DEL AGUA

Se aseguró una toma de muestras llevando a cabo un tratamiento y conservación competente, con posicionamiento GPS. en puntos distribuidos estratégicamente, en el ingreso de la cuenca desde las cabeceras, en puntos de confluencia de cauces principales, en el rio Chaschuil y a la salida de la misma Ver Fig.5



Fig. 6 Croquis de la ubicación de la toma de muestras

El programa para los análisis hidrogeológicos se orientó en el seguimiento de las tareas a cumplir. Para la verificación de las correlaciones hidrogeológicas, cambios espaciales y cronológicos naturales, se requirió del estudio de los componentes básicos del agua cuyos resultados se muestran en la Tabla III.

Tabla II Resultados de los parámetros químicos de las muestras

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C.E. (uS/cm)	825	849	1344	1403	1389	1405	1334	1268	549	605
RAS	4.9	4.3	3.9	4	4.3	4.1	3.8	3.6	1.6	1.6
PH	8	7.7	8.3	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.3	8.2
Ca ⁺⁺ (mg/L)	40.4	40.4	44.9	49.4	58.4	40.4	44.9	62.8	35.9	44.9
Mg ⁺⁺ (mg/L)	8.2	16.3	59.9	54.5	40.9	62.6	62.6	43.6	30	30
Na ⁺ (mg/L)	130.7	129.3	171.4	171.9	175.8	177.2	166.8	151.6	54.2	57.8
K ⁺ (mg/L)	0.4	0.4	14.7	15	0	17.3	16.7	5	0	0
CO ₃ ⁻⁻ (o mg/L)	12	24	48	36	36	36	48	36	36	40
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	207.5	470.9	231.9	280.7	146.4	268.5	244.1	231.9	158.6	162.7
SO ₄ ⁻⁻ (mg/L)	61.5	78.3	134.4	136.8	183.4	137.3	124.4	121.5	40.9	53.9
Cl ⁻ (mg/L)	78	63.8	145.3	163.1	148.9	159.5	159.5	184.3	7.1	0
TDS(mg/L)	528	543.4	860.2	897.92	889	899.2	853.8	811.5	351.4	387.2
Co ₃ Ca(mg/L)	134.6	168.5	359.9	348.6	314.7	359.9	371.1	337.2	213.6	236

Se exponen los resultados de la interpretación de los valores en las siguientes gráficas. Ver Fig. 7.

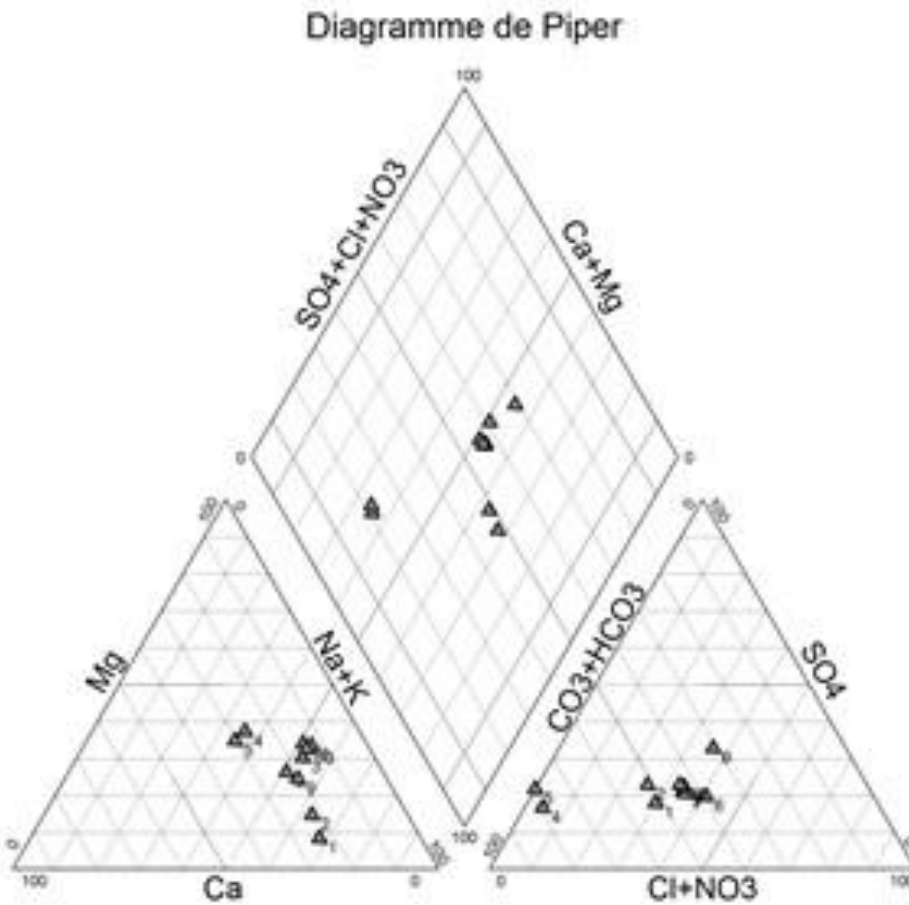


Fig. 7 Diagrama de Piper

En los diagramas equiláteros se representa los distintos porcentajes de aniones y cationes fundamentales, mientras que en la superficie rómbica se representa la combinación del conjunto de sales. Cada muestra se representa como un punto, el tipo de agua dependerá de la posición de los aniones y cationes representativos de cada muestra que se proyectan en el diagrama tipo rombo. En el diagrama triangular se puede observar la similitud de composición en las muestras tomadas dentro de los límites del valle. El agrupamiento de los puntos indican aguas del mismo origen.

CONCLUSIONES

- Los cálculos morfométricos permiten establecer que es una cuenca de gran extensión, de forma rectangular predominantemente alargada, con relieves fuertes y pendientes pronunciadas. Se destaca que los resultados son coincidentes con lo mapeado. Los valores calculados son una herramienta de aproximación y guía para entender el comportamiento de cuenca. Se puede establecer que el análisis fue objetivo, ya que se compararon los valores obtenidos con las relaciones espaciales analizadas por foto interpretación y características del ambiente hidrogeológico estudiadas.
- La información del ambiente hidrogeológico (clima, vegetación, topografía, geología) son de relevante importancia para la evaluación de los resultados, por su estrecha interrelación.
- Si bien en el informe no se detalló su influencia, no se descartó en la interpretación de la investigación, la acción de los movimientos tectónicos y sus estructuras resultantes, ya que estas generan agrietamiento, disgregación y alteraciones químicas superficiales de la roca y precipitación de mineralizaciones.
- Debido a las condiciones climáticas y ambientales, el escurrimiento superficial es mayor que las infiltraciones, que constituyen recargas en los niveles freáticos, por lo que las poblaciones del área se abastecen del consumo de agua superficial.
- En rasgos generales las muestras presentan baja peligrosidad sódica. Pero con contenidos de salinidad propios de la aridez de la zona de estudio. Si bien el agua es apta para cultivos. Se debe aplicar un uso racional y trabajar en la gestión del recurso hídrico, debido a que el caudal de agua del río Chaschuil-Guanchín aporta al caudal del Río Fiambalá
- El comportamiento geoquímico de las muestras se relaciona con la geología aflorante.

REFERENCIAS

- Caminos, L. F. (s.f.).(2006). Programa Nacional de Cartas Geológicas de la Republica Argentina 1:250000. Hoja Geologica 2969-II Tinogasta.
- Niz, Adriana; Oviedo, J. (2006). Valoración de los parámetros geomorfológicos en la cuenca alta del Río Abaucán - Catamarca. *V Jornadas Provinciales de Geología.*
- Niz, Adriana; Oviedo, J. (2007). CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y CARTOGRAFIA DE DEGRADACION GEOAMBIENTAL DE LA CUENCA MEDIA Y ALTA DEL RIO ABAUCAN - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA. *II Foro Latinoamericano de Montañas - Tilcara - Jujuy.*

- Niz, Adriana; Savio Marcelo (2017) Geomorfología general de la provincia de Catamarca e identificación de los riesgos geoambientales predominantes Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino, Tucuman.
- Savio Marcelo, N. A. (2006). Aplicacion de las herramientas SIG y TELEDETECCION para la generacion de cartografia tematica en la cuenca alta del Río Abaucan. Catamarca.
- Rubiolo, D. (2006). Programa Nacional de Cartas Geologicas de la Republica Argentina 1:250000. *Hoja Geologica Fiambala 2769-IV*. Buenos Aires.
- Túrner, J. C. (1967). Descripcion Geológica de la Hoja 13b, CHASCHUIL. *Carta Geologico - Economica de la Republica Argentina*. Buenos Aires.

DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA E HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO SINGUIL- SAN FERNANDO DEL VALLE DE CATAMARCA- ARGENTINA

Córdoba R. C.^{a,b} Niz A. E.^{a,b}

^a Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG), FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

^b Electiva II- Gestión y Manejo de Cuencas, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: caroinasaacordoba@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la cuenca del río Singuil ubicada en la Sierra de Ambato, se inserta en la Provincia Geomorfológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales. Se ubica al pie de la Cumbre de Narváez, entre valles intermontanos, cuyas divisorias de agua están conformadas por las cumbres de las Higueras al este y la Sierra de Humaya al oeste. Se delimitó la cuenca general, en la que se definieron los procesos geomorfológicos dominantes que actúan en ellas y los parámetros morfométricos. Esto permitió conocer en mayor medida el comportamiento hídrico y dinámico de la misma. Posteriormente, se realizaron los controles de campo correspondientes, obteniendo como resultado cartografía de base –geológica y geomorfológica- y temática del área de estudio, referida a las amenazas de origen hídricas y antrópicas presentes, tanto de deslizamientos de laderas como anegamiento.

Se concluyó que la zona de estudio presenta en el área de cuenca alta-media una sensible predisposición a los deslizamientos de ladera, lo cual proporciona sedimentos al cauce principal, y que en la cuenca baja domina la amenaza hídrica de anegamiento controlado por estructuras. En cuanto a la actividad antrópica, la vulnerabilidad se incrementa en la cuenca baja con los cultivos incontrolados, lo cual propende a la degradación de la tierra, y con los incendios forestales, en las áreas cumbrales principalmente, la mayoría de las veces producto de la quema intencional para el crecimiento de pastizales, para pastura del ganado local.

Palabras Clave: parámetros morfológicos, dinámica fluvial y antrópica, riesgo hídrico.

INTRODUCCION

Singuil es una localidad rural perteneciente al departamento Ambato, distante a 85 kilómetros al norte de San Fernando del Valle de Catamarca. La cuenca de Singuil se encuentra al pie de la cumbre de Narváez entre valles intermontanos cuyas divisorias de agua están conformadas por las cumbres de las Higueras al este y la Sierra de Humaya al oeste entre los 27°37'25.58"S y 65°57'21.17"O: “ver Fig. 1”

Esta área corresponde a la Provincia Geomorfológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales compuestas por un conjunto de cordones subparalelos con rumbo general NNW – SSE, separados por valles muy angostos y largos con el mismo rumbo general de las sierras. La orientación y la configuración preponderante de los cordones montañosos juegan un rol determinante en la distribución del clima y



Figura 1: Ubicación del sitio de estudio en el software Google Earth

consecuentemente en la de la vegetación, determinando alternancia de microclimas, relativamente húmedos, en las laderas orientales de las sierras y en los estrechos valles intermontanos, siendo las laderas con exposición norte - oeste relativamente más áridas. La vegetación predominante en el departamento corresponde a la provincia fitogeográfica Chaqueña, distrito Chaqueño Serrano (Cabrera, 1994; Morlans, 1995). En estas latitudes se encuentran bien desarrollados los bosques de *Schinopsis haenckeana* y los pastizales de *Stipa* y *Festuca*. En las quebradas más húmedas y frías se pueden observar los bosques de *Podocarpus parlatorei* pertenecientes al distrito de Los Bosques Montanos de la provincia fitogeográfica de las Yungas (Morlans, 1995) y en las zonas de lomadas, con altitudes superiores a los 3000 msnm se desarrolla el pastizal perteneciente al distrito de las Praderas Montanas de las Yungas.

Para esta investigación se utilizaron las diferentes herramientas de análisis espacial, caracterización hidrológica, interpolación y georreferenciación de imágenes ArcGIS de ESRI (se ha elegido esta herramienta de trabajo por ser una de las pioneras en el sector y con gran potencial para el tratamiento de datos en formato ráster y vectorial) y el software Google Earth como complemento para cartografiar a mayor detalle.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA – GEOMORFOLÓGICA

El relieve en general presenta un marcado contraste entre las formas de pendientes elevadas y las formas aplanadas, como expresión de los diversos procesos tectónicos, geomorfológicos e incluso eventos neotectónicos que afectaron la región durante el cuaternario, y que han actuado sobre las distintas litologías modelando el paisaje. La morfología del basamento de las sierras se encuentra fuertemente controlada por la estructura, presenta un relieve accidentado. El tramo superior del río Singuil, de rumbo N-S y drenaje sur, presenta un quiebre pronunciado en su recorrido entre las cumbres de las Higueras y Balcozna, para desembocar hacia el norte en el embalse de Escaba.

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

Para calcular los parámetros de la cuenca, se utilizó el software ArcGIS y sus componentes ArcCatalog (para gestionar los datos), ArcMap (utilización de herramientas y visualización y 2D) y ArcScene (visualización 3D). Este proceso se desarrolla de una forma estructurada de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1) Adquisición de datos: El principal conjunto de datos es el modelo digital de elevaciones (DEM) obtenido a través del servidor Aster GDEM ¹ mediante el cual, partiendo de las coordenadas conocidas de CEC, podremos adquirir el archivo TIFF5 donde se refleje la información de la elevación del terreno “Fig. 2”
- 2) Análisis de la cuenca: Otra referencia necesaria para calcular los distintos parámetros y procesos hídricos, fue la delimitación del área, esta se puede obtener directamente a través de Google Earth delimitándola con la herramienta Polígono e insertándola en el ArcMap, recortando el contorno con el DEM “Fig. 3”.

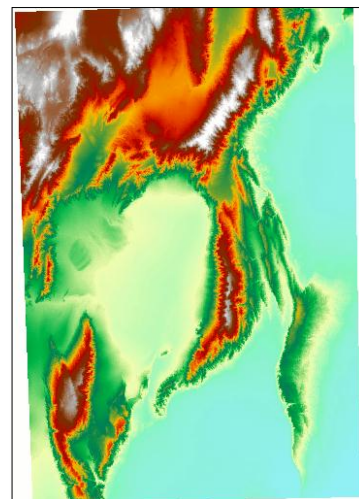


Figura 2: Aster GDEM donde se encuentra la zona de estudio.

- 3) Reproyección del DEM y eliminación de imperfecciones: Para poder trabajar con unidades métricas es necesario designarle una proyección al raster DEM. En este caso se hizo con proyección UTM, correspondiente a la zona 20 sur para trabajar con metros. Una vez definida la proyección se aplicó la herramienta Fill², que permitió rellenar vacíos en la superficie del ráster para quitar imperfecciones en la información del DEM.

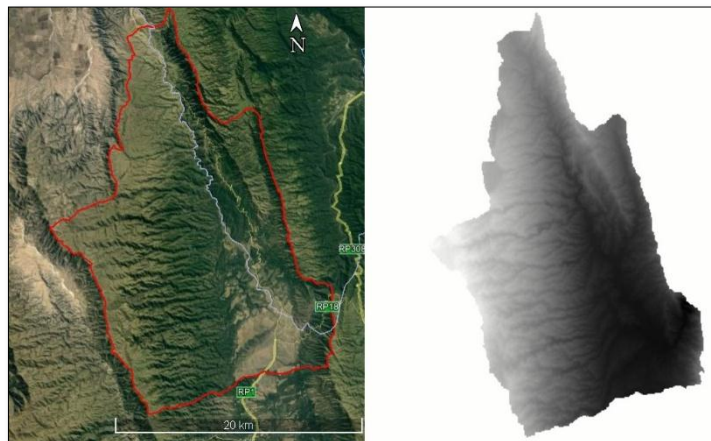



Figura 3: Imagen izquierda representa la delimitación de la cuenca en Google Earth, imagen derecha representa DEM delimitado en ArcMap

- 4) Dirección de la red hídrica: Por medio de la herramienta Flow Direction³, se creó un ráster con la dirección de flujo de cada una de sus celdas hasta su vecina con la

¹ <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/index.jsp>: Plataforma creada por la NASA de distribución gratuita de MDT del 99% de la superficie terrestre a partir de pares estereoscópicos ASTER con una resolución espacial de 30 m.

²  Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill

³  Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction

pendiente descendente más pronunciada, “ver Fig. 5” aquí se seleccionó el ráster generado anteriormente con la herramienta Fill. a salida de la herramienta Dirección del flujo es un ráster entero cuyos valores varían de 1 a 255, “ver Fig. 4. a” donde dirección de centro por celdas “ver Fig. 4. b”.

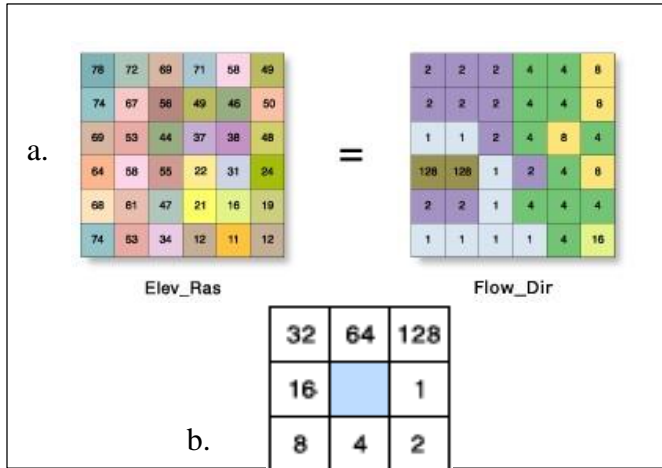


Figura 4.a. Proceso dirección de flujo. b. dirección de centro

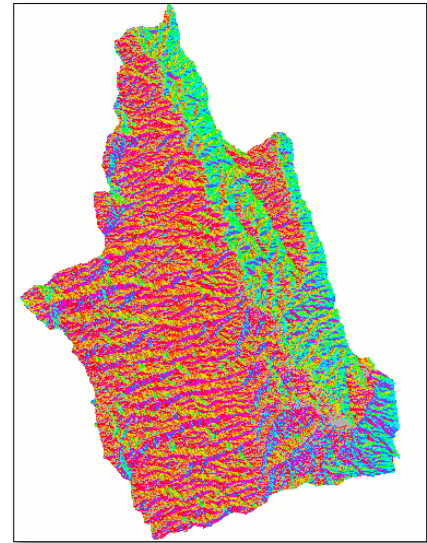


Figura 5: dirección de flujo generada en Arcmap

- 5) Acumulación de flujo: Con la herramienta Flow Accumulation⁴ se crea un ráster del flujo acumulado para cada una de sus celdas, determinado por la acumulación del peso de todas las celdas que fluyen hacia cada celda de pendiente descendente. . “ver Fig. 6”. La entrada de esta herramienta es el archivo ráster generado con la herramienta Flow Direction, y el resultado de acumulación de flujo es un ráster de flujo acumulado para cada celda, determinado por la acumulación del peso de todas las celdas que fluyen hacia cada celda de pendiente descendente. “ver Fig. 7”.

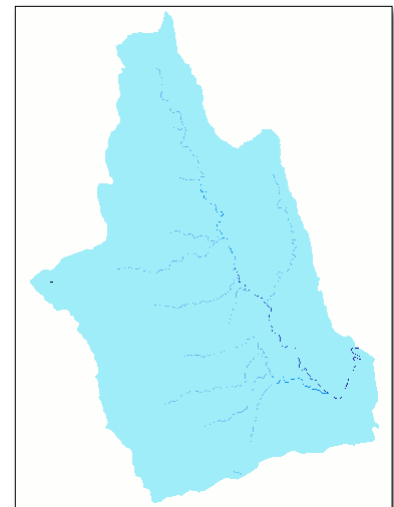


Figura 6: Acumulación de flujo en DEM

⁴ Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation

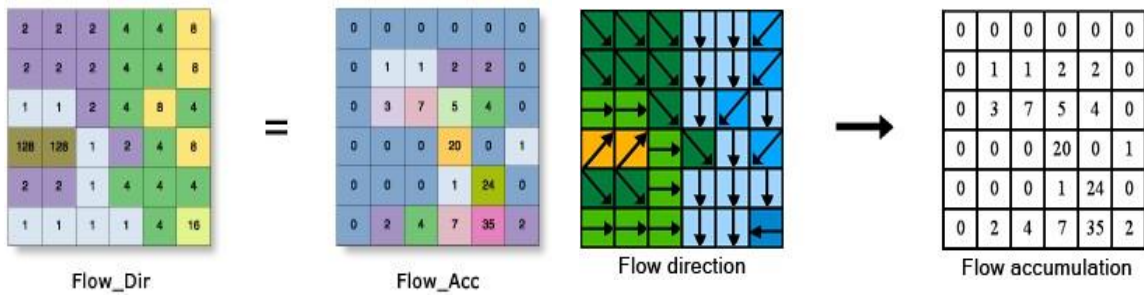


Figura 7: Proceso acumulación de flujo

- 6) **Red hídrica:** para la generación de la red hídrica se obtuvo la red de drenaje de la cuenca, por medio de un condicional (esto depende del tamaño del ráster) en “Input true raster or constant value”, con la herramienta Con⁵ (Conditional), como siguiente paso, se generó un vector entre el resultado de los rásters de la acumulación de flujo y el condicional con ayuda de la herramienta Stream to Feature⁶ “ver Fig. 8”.

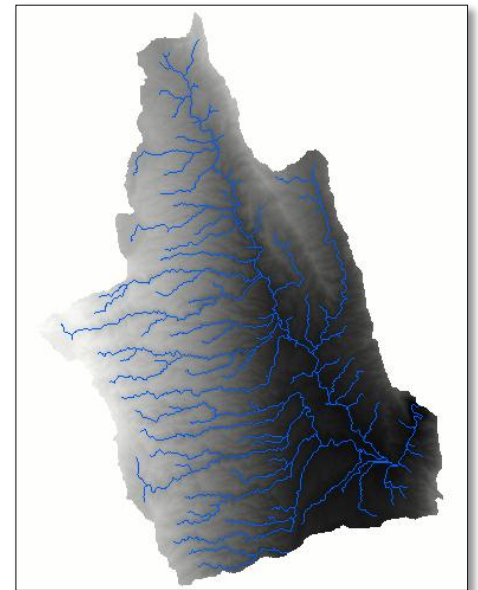


Figura 8: red hídrica generada a partir del DEM

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA

Para poder llevar a cabo la morfometría fue necesario realizar un análisis de las características morfométricas más representativas de la cuenca, las cuales se obtuvieron con herramientas de ArcGIS en paralelo con una hoja de cálculo para realizar cálculos externos.

Las propiedades superficiales calculadas son: el área, perímetro, cota máxima y mínima, curva hipsométrica, frecuencia de altitudes, altitud media y pendiente promedio; y las de carácter hídrico son la longitud del curso principal, el orden de la red de drenaje, la sumatoria de las longitudes de cada orden de la red hídrica, longitud total de la red hídrica.

Fueron necesarios 4 (cuatro) archivos bases para desarrollar estos parámetros, esto es: DEM “ver Fig. 9. a”, TIN “ver Fig. 9. b”, Dirección de Flujo y Acumulación de flujo.

TIN cuenca: A partir del archivo generado anteriormente se crea un modelo TIN⁷ (Red Irregular de Triángulos). “ver Fig. 9. a”. a.

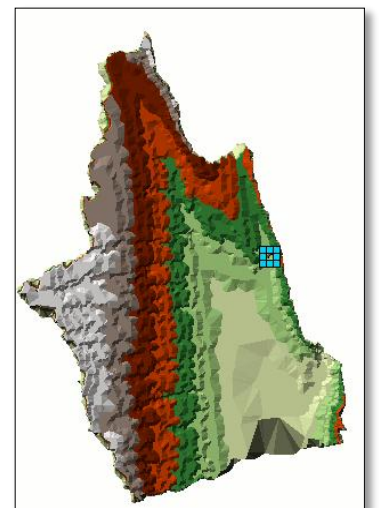
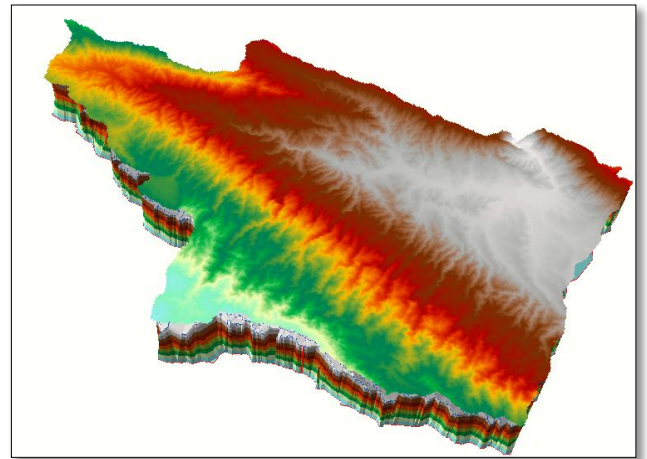


Figura 9.a TIN de la cuenca. b. DEM en 3D generado en ArcScene

⁵ Spatial Analyst tools > Conditional > Con

⁶ Spatial Analyst Tools > Hydrology > Stream to Feature

⁷ 3D Spatial Analysis Tools > Conversion > From Raster > Raster to TIN



Parámetros generales de carácter superficial

Área y perímetro: El área de la cuenca (A) está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Se obtuvo directamente desde la tabla de atributos del shapefile de la cuenca, añadiendo un nuevo campo llamado área, calculando su geometría de tipo doble y estableciendo como unidad de medida los kilómetros: El resultado obtenido es de 382.07 km². Del mismo modo se creó un nuevo campo para el perímetro obteniendo un resultado de 99.94 km

Ancho de la cuenca: es la relación que existe entre el área de la cuenca y lo longitud de su cauce principal, donde:

$$W = A/L \quad 382.1 \text{ km}^2 / 41 \text{ km} = 9.3$$

Cotas: Observando el valor del DEM extraído en la cuenca se comprobó el rango de los valores máximo y mínimo, siendo Zmax = 2843 m y Zmin = 1065 m lo cual corresponde a un desnivel de 1778 metros entre el punto más elevado y el punto más bajo. “ver Fig. 10”

Shape *	Id	z	x	minima	maxima
Polygon ZM	0	212.46093	212.46093	1065	2843

Figura 10: Tabla con valores de cotas máximas y mínimas

Altitudes: Seguidamente se calcularon las alturas más características (altura media, altura más frecuente y altura de frecuencia media). Para ello se requiere conocer las diferentes áreas entre curvas de nivel las cuales se puede obtener reclasificando⁸ el DEM raster de la cuenca con intervalos iguales. Una vez obtenidas las diferentes secciones de curvas de nivel se calcularon las respectivas áreas con la herramienta Zonal Statics as Table⁹ “ ver tabla I” permitiendo diseñar una tabla que relacione los valores obtenidos de las alturas con los valores de las áreas (área acumulada, porcentaje de área acumulada, Porcentaje de área entre curvas) “ver tabla II”

⁸ Spatial Analyst tools > Reclass > Reclassify

⁹ Spatial Analyst Tools > Zonal > Zonal Statistics as table

Tabla I: Valores estadísticos de área y altitudes

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	1	3939	3490240.602268	1064	1184	120	1166.262249	23.587888	4593907	119	1183	1065	1178
2	2	61748	54713220.794318	1185	1304	119	1250.076505	31.744055	7718972	120	1254	1193	1252
3	3	45886	40658334.672671	1305	1424	119	1359.824064	35.047011	6239688	120	1309	1416	1358
4	4	34248	30346219.889936	1425	1544	119	1482.899819	34.759253	5078635	120	1465	1514	1482
5	5	33807	29955461.802706	1545	1664	119	1605.160115	34.729436	5426564	120	1635	1574	1605
6	6	37140	32908742.312317	1665	1784	119	1725.550646	34.427576	6408695	120	1733	1707	1726
7	7	33778	29929765.692662	1785	1904	119	1842.844159	34.440672	6224759	120	1811	1893	1842
8	8	34564	30626218.882147	1905	2024	119	1966.621167	34.571921	6797429	120	2009	1910	1968
9	9	35601	31545076.334432	2025	2144	119	2084.067021	34.606366	7419487	120	2027	2111	2084
10	10	35983	31883556.128813	2145	2264	119	2202.757969	34.596374	7926184	120	2175	2257	2202
11	11	35865	31778999.543114	2265	2384	119	2321.953046	33.915284	8327684	120	2331	2379	2322
12	12	17100	15151844.198724	2385	2504	119	2436.909064	34.67941	4167114	120	2385	2485	2433
13	13	8714	7721238.032028	2505	2624	119	2557.648038	34.49771	2228734	120	2510	2574	2553
14	14	8526	7554656.353118	2625	2744	119	2690.744546	34.90243	2294128	120	2730	2685	2695
15	15	4300	3810112.868685	2745	2864	119	2779.959535	25.35268	1195382	118	2747	2853	2775

Tabla II: Cuadro relación altitudes y áreas.

N°	Cota			Area Km ²			
	Min	Max	Promedio	Área entre curvas	Acumulada	% Área	% Acumulado
1	1064	1184	1124	3.47	489	0.71	100
2	1185	1304	1245	5.47	486	1.12	99
3	1305	1424	1365	39.65	480	8.11	98
4	1425	1544	1485	30.34	440	6.20	90
5	1545	1664	1605	29.95	410	6.12	84
6	1665	1784	1725	30.9	380	6.32	78
7	1785	1904	1845	27.92	349	5.71	71
8	1905	2024	1965	30.12	321	6.16	66
9	2025	2144	2085	31.54	291	6.45	60
10	2145	2264	2205	30.88	260	6.31	53
11	2265	2384	2325	31.17	229	6.37	47
12	2385	2504	2445	13.15	198	2.69	40
13	2505	2624	2565	74.21	184	15.18	38
14	2625	2744	2685	75.14	110	15.37	23
15	2745	2864	2805	35.1	35	7.18	7

La altitud más frecuente se corresponderá con la cota promedio congruente con el mayor valor de “% Área entre curvas”. Con estos valores se dibujó un gráfico previo para indicar la proporción de superficie con relación a la altitud, que es la curva hipsométrica “ver Fig. 11”

- Altitud media = 1964
- Altitud más frecuente = 2685

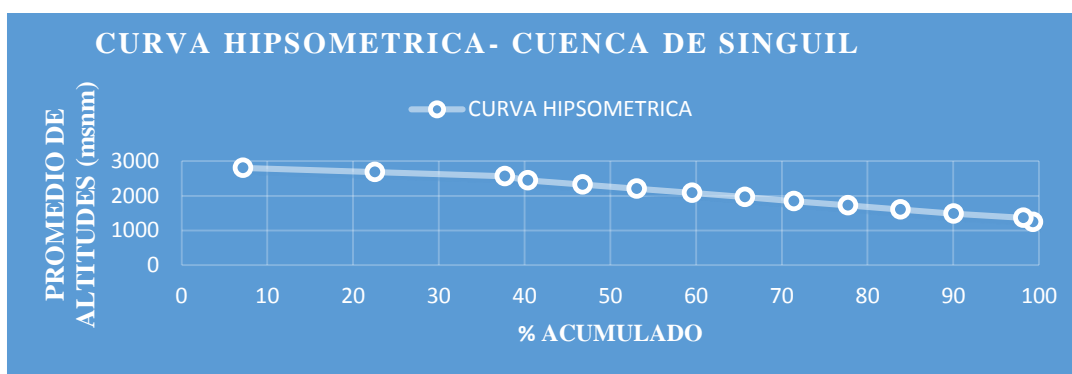


Figura 11: Curva hipsométrica de la cuenca

Mapa de pendientes: se obtiene a través del DEM raster de la cuenca utilizando la herramienta Slope¹⁰. Seguidamente se realizó una reclasificación según los intervalos de pendientes, en este caso se dividieron en intervalos de porcentaje de 10 en 10. “ver Fig. 12”. Realizando una consulta de las estadísticas de este último archivo junto con el DEM de la cuenca se obtuvo el número de repeticiones de cada intervalo (ocurrencias) “ver Tabla III” y así obtener la pendiente promedio. La pendiente promedio se calcula mediante una media ponderada:

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	1	3939	3490240.602268	1064	1184	120	1166.262249	23.587888	4593907	119	1183	1065	1178
2	2	61748	54713220.794318	1185	1304	119	1250.076505	31.744055	7718972	120	1254	1193	1252
3	3	45886	40658334.672671	1305	1424	119	1359.824064	35.047011	6239688	120	1309	1416	1358
4	4	34248	30346219.889936	1425	1544	119	1482.899819	34.759253	5078635	120	1465	1514	1482
5	5	33807	29955461.802706	1545	1664	119	1605.160115	34.729436	5426564	120	1635	1574	1605
6	6	37140	32908742.312317	1665	1784	119	1725.550646	34.427576	6408695	120	1733	1707	1726
7	7	33778	29929765.692662	1785	1904	119	1842.844159	34.440672	6224759	120	1811	1893	1842
8	8	34564	30626218.882147	1905	2024	119	1966.621167	34.571921	6797429	120	2009	1910	1968
9	9	35601	31545076.334432	2025	2144	119	2084.067021	34.606366	7419487	120	2027	2111	2084
10	10	35983	31883556.128813	2145	2264	119	2202.757969	34.596374	7926184	120	2175	2257	2202

Figura 12: Cruce estadístico DEM y pendientes

Tabla III: Cuadro del rango de pendientes

N°	Rango de pendientes			Número de ocurrencias (2)	1X2
	Inferior	Superior	Promedio (1)		
1	0	10	5	51710	258550.0
2	10	20	15	93491	1402365.0
3	30	30	30	102094	3062820.0
4	40	40	40	40.0	1600
5	50	50	50	55728	2786400.0
6	60	60	60	28369	1702140.0
7	70	70	70	10714	749980.0
8	80	80	80	2865	229200.0
9	90	90	90	529	47610.0
10	100	100	100	53	5300.0
Total				345593	10245965.0

¹⁰ Spatial Analyst tools > Surface > Slope.

$$\text{Pendiente promedio} = \frac{\sum(\text{Num Ocuurrencias} * \text{promedio})}{\sum \text{Num Ocuurrencias}} = 29.6 \%$$

Parámetros de la red hídrica

La morfología de los canales fluviales naturales depende de la interacción entre el flujo y los materiales erosionables en el límite del canal. Por su parte, el flujo de agua está sometido a dos fuerzas principales: la gravedad y la pendiente del canal, mientras que la fricción se opone al movimiento del agua.

Longitud del curso principal: La longitud L de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal, que es la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba.

Se calculó mediante la herramienta Stream To Feature ¹¹ “ver Fig. 13”. Como resultado se adquieren distancias desde los puntos más alejados hasta la salida de la cuenca. En este caso la distancia más larga es de 41 km, que sería la longitud del cauce principal de la cuenca

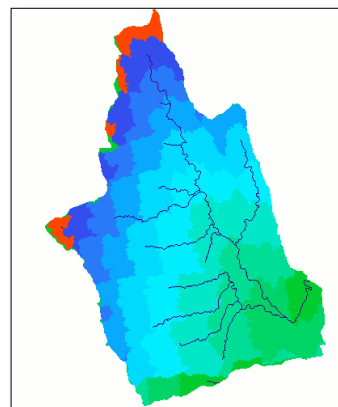


Figura 13: Longitud de los cauces

Orden de la red hídrica: para diferenciar el orden de la red se utilizó la herramienta Stream Order introduciendo como raster de entrada el calculado anteriormente y la dirección de flujo de la cuenca. El archivo resultante destaca en diferentes colores cada nivel del orden de la red. Para ordenarlo de una manera adecuada se convirtió a formato shapefile “ver Fig. 14. b”.

Longitud de cada orden: En la tabla de atributos del último shapefile creado (red orden) “ver figura 15”, se añadió un nuevo campo llamado longitud, en el que se calculó su geometría de propiedad Length. “ver Tabla IV”

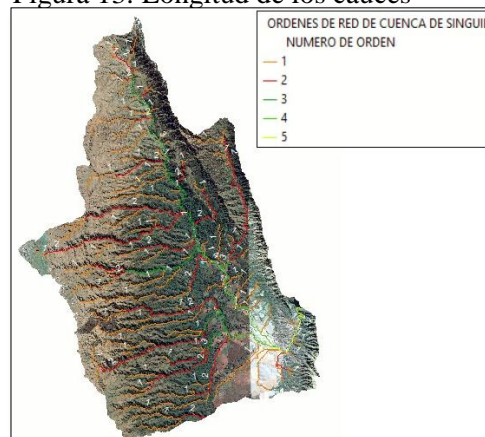


Figura 14: ordenes de redes generadas

Tabla IV: Sumatoria total de cada orden de red

Nº de red de orden	Longitud (Km)
1	211.543125
2	110.123779
3	35.122663
4	17.33947
5	6.156064
Total	380.285101

TABLA DE RED DE ORDENES DE CUENCA				
OID	GRID CODE	Count	GRID CODE	Sum JERARQUIZA
0	1	107		211.543125
1	2	49		110.123779
2	3	32		35.122663
3	4	16		17.33947
4	5	8		6.156064

Figura 15: Tabla de atributos de la red de ordenes

¹¹ Spatial Analyst Tool > Hidrology > Stream to Feature

Densidad de drenaje: La densidad de drenaje (Dd), según (HORTON, 1945) es otra propiedad fundamental de una cuenca, que controla la eficiencia del drenaje y señala el estado erosivo

Dónde: $Dd = L/A = 380.285101 / 382.077 = 0.99$

L: Σ longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y continuas de la cuenca en km.
 A: superficie de la cuenca en km²

Un valor de Dd = 0.99, indica que las precipitaciones generan una respuesta más lenta. Esto quiere decir que la cuenca presenta una densidad de drenaje media

Ley de Bifurcación (Ley de Horton)

La ley de bifurcación se establece a partir de la relación existente entre el número de segmentos de un orden dado y los de orden inmediatamente superior.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu+1}$$

Donde **Rb** es la relación de bifurcación, **U** es el orden del canal y **Nu** es el número de canales según el orden considerado. La relación de bifurcación de la cuenca se calcula sacando el promedio de las Rb. “ver Tabla V”.

Tabla V: Orden jerárquico de la cuenca

Orden Jerárquico	Total de Ordenes	Rb
Nº de orden 1	107	2.18367347
Nº de orden 2	49	1.53125
Nº de orden 3	32	2
Nº de orden 4	16	2
Nº de orden 5	8	8
Total	212	

Factor de forma de Horton

$Rf = A/L = 382.1 / 380 = 1.0$

Teniendo en cuenta la tabla o clasificación tal, el resultados >1 implica una forma de tipo **Rectangular**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cuenca presenta los siguientes parámetros

Tabla VI: Parámetros obtenidos

Descripción	Determinación por	Valor	Unidad
Área	Medición directa	382.1	km ²
Perímetro	Medición directa	99.94	Km
Longitud cauce principal	Medición directa	41	Km
Pendiente promedio	$\frac{\sum(\text{Num Ocurencias} * \text{promedio})}{\sum \text{Num Ocurencias}}$	29.6	%
Σ Longitud de los cauces	Medición directa	380.3	Km
Ancho	Relación Área/Longitud	9.3	
Densidad de drenaje	Longitud/ Área	0.99	
Orden de la red de drenaje	Medición directa	5	
Factor de forma de Horton	Area /Longitud de los cauces	1.0	
Total de ordenes	Medición directa	212	

CONCLUSIONES

- Se realizaron los controles de campo correspondientes, obteniendo como resultado cartografía de base y temática del área de estudio, referida a las amenazas de origen hídricas y antrópicas presentes

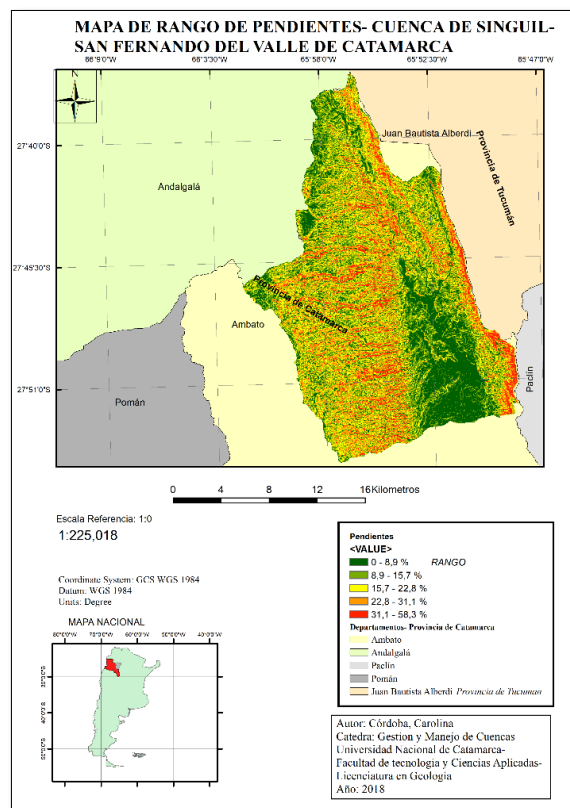
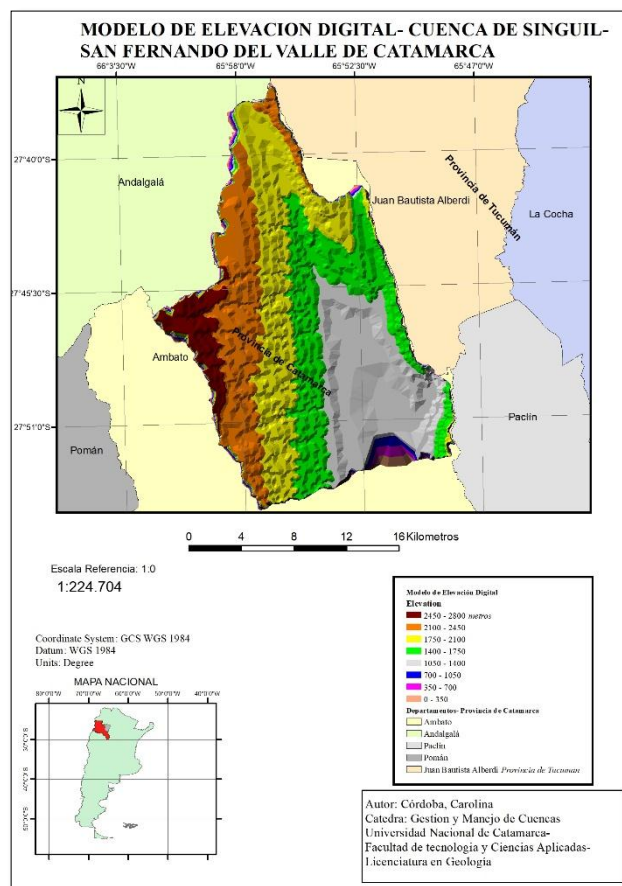
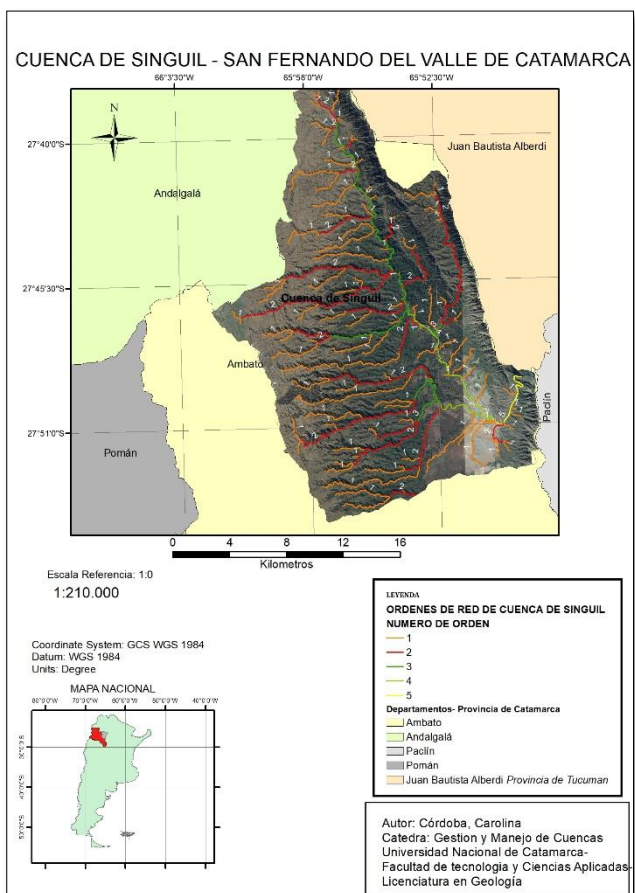
-Mediante la aplicación de los softwares se han podido establecer los parámetros hídricos y geomorfológicos de la cuenca hidrológica del río Singuil, lo cual ha permitido caracterizar la misma tanto desde la perspectiva de la dinámica geomorfológica como de la hidrología superficial

-La variación altitudinal de la cuenca hidrográfica incidió directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes en la cual tiene una gran variación de altitud.

-Se concluyó que la zona presenta en el área de cuenca alta-media una sensible predisposición a los deslizamientos de ladera, lo cual proporciona sedimentos al cauce principal, y que en la cuenca parte baja domina el riesgo hídrico de anegamiento controlado por estructuras.

- Los resultados obtenidos sirven de base para obtener diferentes controles a realizar tanto en riesgo geológico como el manejo de la cuenca.

Anexos



REFERENCIAS

Caracterización hidroclimática de siete localidades del departamento Ambato. Provincia de Catamarca. Argentina. Palmieri, C. N.; Olmos, L. R.; Quiroga A.; de la Orden, E .y Carma, M. I.

Degradación de laderas y su influencia en la sedimentación en cauces debido a incendios forestales - sierra de Ambato-Catamarca Argentina. Adriana Niz 1,2, Jorge Oviedo 2 y Cinthia Lamas 1,2

RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE GEOSITIOS ASOCIADOS A DOLINAS EN EL DEPARTAMENTO MALARGÜE PROVINCIA DE MENDOZA

Cortéz Taillant Valeria S.^a, Arroqui Langer Agustín A.^b

^a *Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales FCEFyN. Universidad Nacional de San Juan UNSJ. Av. José Ignacio de la Roza 590 (O), J5402DCS San Juan – Argentina.*

^b *Instituto de Investigaciones Mineras IIM. Facultad de Ingeniería FI. Universidad Nacional de San Juan UNSJ. Av. Lib. General San Martín 1109 (O), J5400ARL San Juan – Argentina.*

e-mail: vale_717_7@hotmail.com

RESUMEN

Como resultado del Trabajo Final de Licenciatura se reconocen en la región noroeste de Malargüe, geoformas kársticas que por sus singularidades merecen ser señaladas como sitios de interés geológico. En general las geoformas corresponden a dolinas, en las cuales se conjugan características litológicas, geomorfológicas, científicas y estéticas de gran relevancia. Las mismas podrían ser consideradas para su presentación al proyecto Global Geosites, de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS).

En el área se han reconocido 1999 geoformas kársticas las cuales han sido caracterizadas en base a su génesis, tipo, morfología, entre otros aspectos. De las mismas se ha realizado una selección en función de distintos criterios tales como: valor científico, valores adicionales y valor de uso de las geoformas. En función de esta se proponen 15 sitios de interés geológico distribuidos en dos recorridos. Se propone con esta publicación propiciar la conservación, valorización, estudio y difusión del mismo en el marco del desarrollo sustentable.

Palabras clave: *Yeso, Dolina, Geositio*

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra en el sector noroeste del departamento Malargüe en los distritos de Río Grande y Ciudad de Malargüe, suroeste de la provincia de Mendoza, República Argentina (ver Fig. 1).

Se accede desde San Rafael hacia el suroeste por Ruta Nacional N°144 hasta el empalme con Ruta Nacional N°40. Luego se debe tomar hacia el sur hasta llegar a Ruta Provincial N°222. A través de la misma en dirección oeste se accede al sector centro - norte del área de estudio; pasando por el paraje de Los Molles, el Valle de Las Leñas y Valle Hermoso. El sector sur del área se puede recorrer partiendo desde la ciudad de Malargüe, hacia el oeste y transitando por el camino que conduce al atractivo turístico de los Castillos de Pincheira.

La presente contribución se encuentra enmarcada en el Trabajo Final de la Licenciatura en Ciencias Geológicas (Cortéz Taillant V., 2017). Metodológicamente se abordó el estudio de las geoformas kársticas mediante un exhaustivo trabajo de interpretación de imágenes satelitales (con la identificación de 1999 geoformas) y posterior control de campaña. Se propone en este trabajo destacar y valorizar 15 dolinas que por sus características relevantes alientan su propuesta como sitios de interés geológico.

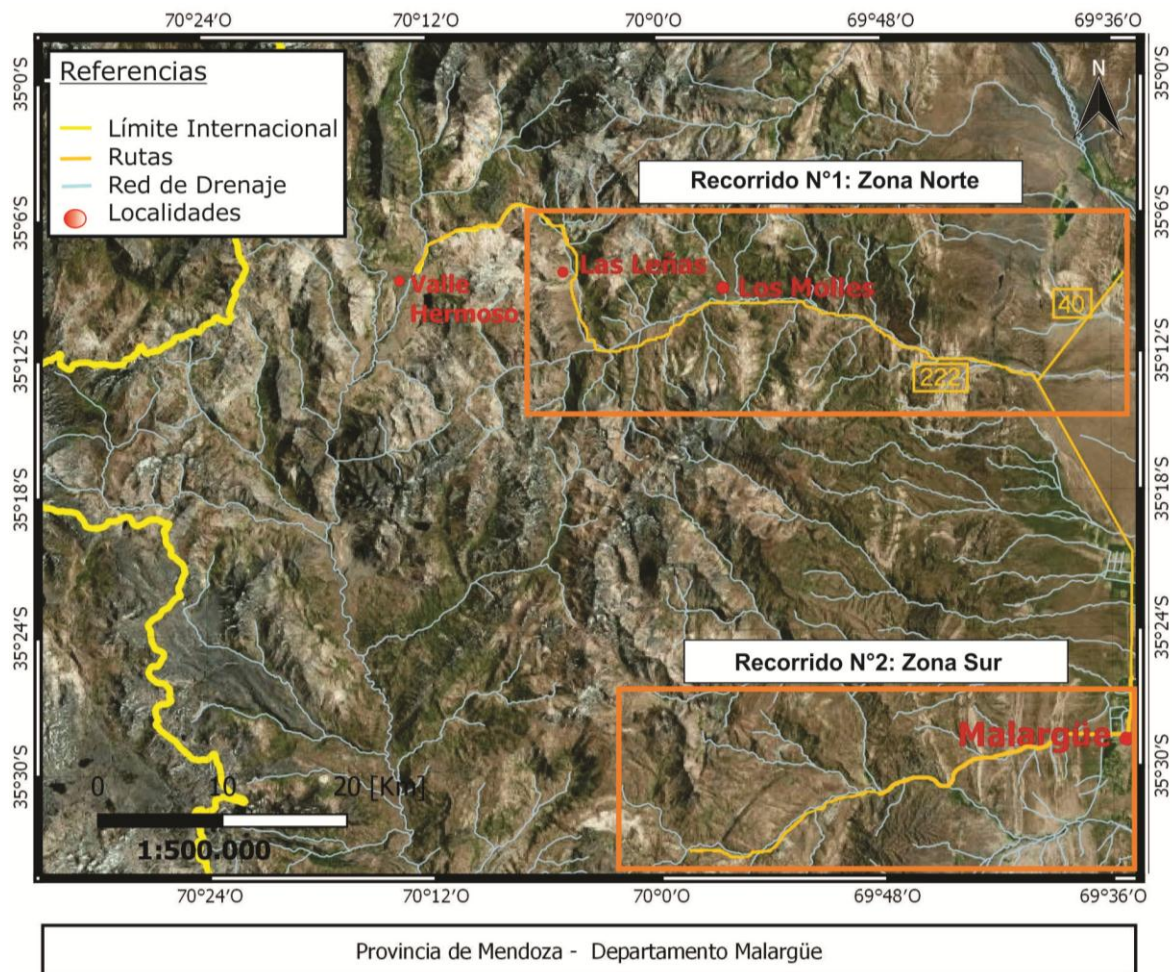


Figura 1: Área de estudio, en recuadros naranja se muestra los recorridos con geositos propuestos.

DOLINAS VINCULADAS A GEOSITOS EN EL MUNDO

Las dolinas siempre han sido consideradas geoformas llamativas y distintivas por diversas culturas del mundo. Normalmente, los términos específicos o locales para nombrar estas geoformas kársticas son sumidero y dolina. En áreas donde las dolinas son abundantes y/o de tamaños considerables los habitantes suelen crear historias o leyendas sobre su aparición o formación. Su valor mitológico o místico, su importante historia en un sentido amplio y su valor escénico; han favorecido a la designación como áreas protegidas (e.j., Lewis 2008; Kiernan 2010; Vdovets et al. 2010; Fassoulas et al. 2012). El área protegida más importante del mundo que está vinculada con dolinas es el Bottomless Lakes State Park de Nuevo México (Estados Unidos). Este parque incluye un área con dolinas formando lagos, generadas en un entorno hidrogeológico particular.

La protección de estas áreas está basada en el valor ecológico; las geoformas kársticas y su hidroquímica son esenciales en el ecosistema de estos lugares. El área del León en la Florida (Estados Unidos) es un parque regional centrado en dolinas, las cuales tienen características del paisaje muy comunes en la península de la Florida. Lagunas de Cañada del Hoyo es un parque regional en España dedicado exclusivamente a dolinas. En Croacia una de las dolinas más grandes tiene 520 metros de profundidad llamado Modro Jezero (Lago Rojo) que se ha convertido en una importante atracción turística. También los

cenotes, que son dolinas de colapso con agua en su interior en la Península de Yucatán (México) han sido intensamente visitados por turistas. En la región del Caribe, las dolinas llamadas blue holes se han convertido en lugares fantásticos para las prácticas de buceo y sus imágenes aéreas son conocidas en todo el mundo (Coratza et al., 2012).

RECONOCIMIENTO GENERAL DE DOLINAS COMO POSIBLES GEOSITIOS

Para el área de estudio se proponen dos recorridos, uno en la zona norte y otro en la zona sur (ver Fig. 1). Ambos involucran una serie de dolinas y uvalas; donde se conjugan tanto geoformas kársticas conocidas como atractivos turísticos, como desconocidos hasta el momento. A continuación se muestran los recorridos con sus respectivas paradas.

-Recorrido N°1: Zona Norte

Al mismo se accede por Ruta Provincial 222 hacia el oeste y luego hacia el norte camino al Complejo Las Leñas. La primera parada corresponde a la dolina aislada N° 1 (*canyon karst*), ubicada sobre la misma Ruta 222, frente al valle de Las Leñas. La parada 2 es la más importante ya que involucra al “Pozo de las Ánimas”, el cual ya es un sitio de interés geológico de Malargüe. Este corresponde al campo de dolinas N°1, dolinas 2 y 3.

Parada 3: Situada en la localidad de Los Molles, concierne a el “Pozo de las Animitas” el cual pertenece al campo N° 2, dolinas N° 4 y 5. Y por último, también en la localidad de Los Molles se ubica el sitio de interés más popular, que es la Laguna de la Niña Encantada y Lagunita (propuesta en este trabajo). Ambas constituyen el campo N° 3 y son las dolinas N° 6 y 7. En este recorrido además de las dolinas también se pueden apreciar atractivas coladas basálticas y basaltos columnares sobre las laderas de Los Molles, convirtiendo a este recorrido en un paisaje con un importante atractivo turístico (ver Fig. 2).

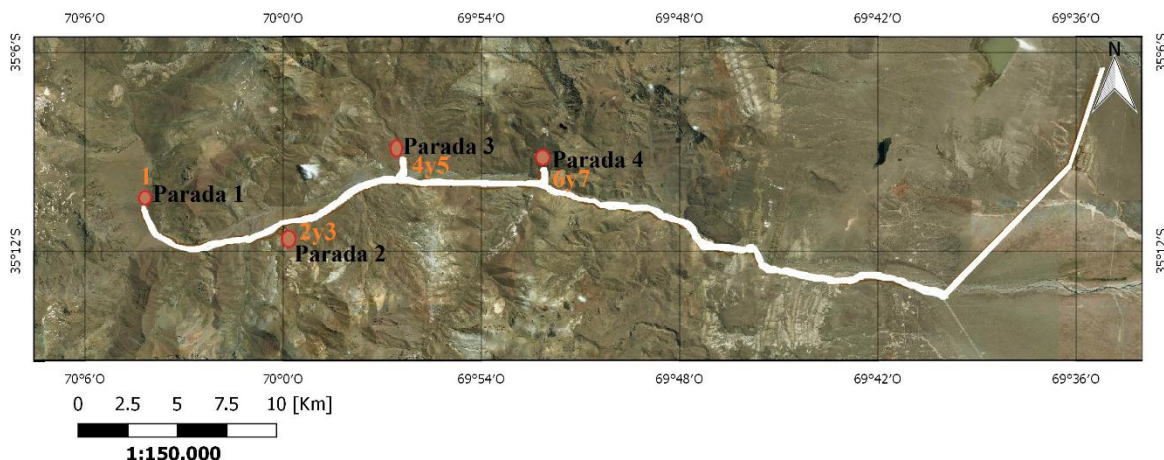


Figura 2: Recorrido N° 1 en Ruta 222, zona norte con paradas y dolinas enumeradas de 1 a 7.

-Recorrido N°2: Zona Sur

Este recorrido que se propone en la zona sur del área de estudio, es en dirección oeste de la ciudad de Malargüe por camino hacia Los Castillos de Pincheira. Este sitio de interés geológico (no kárstico) se trata de un área protegida de unas 650 hectáreas cuyas formaciones geológicas, conocidas como “castillos”, fueron declarados Monumentos Naturales por su gran belleza escénica y su valor geomorfológico. La unidad de conservación está comprendida dentro de la eco región patagónica (Municipalidad de Malargüe - Turismo).

Desde la Parada 1 hasta la parada 2 se podrán observar 8 dolinas aisladas las cuales están enumeradas desde 8 a 15 respectivamente. Todas, se ubican cerca del camino, algunas pueden apreciarse a simple vista desde un vehículo y a otras se accede caminando no más de 20 metros (ver Fig. 3).

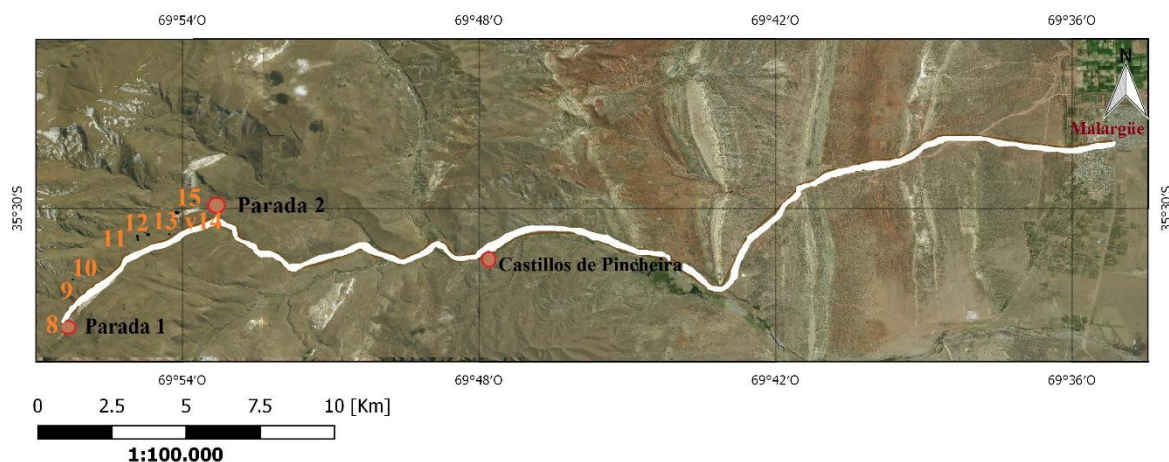


Figura 3: Recorrido N° 2 en camino a Castillos de Pincheira en zona sur, con paradas y dolinas enumeradas de 8 a 15.

VALORES Y CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE GEOSITIOS

Numerosos métodos, tanto cualitativos como cuantitativos, para evaluar a dolinas como geositios están disponibles en la literatura científica. La metodología aquí aplicada se desarrolla sobre la base de trabajos previos (Panizza y Piacente 1993, Reynard et al., 2007, Pereira et al., 2007, Zouros 2007, Coratza, P., et al., 2012) y se basa en tres conjuntos de valores (Valor Científico, Valor Adicional y Valor de Uso). Así mismo cada valor posee distintos criterios de evaluación (Tabla I).

El **Valor Científico**: está basado en cuatro criterios que son sugeridos por Reynard et al. (2007): 1- Modelo Paleogeomorfológico se refiere a la importancia del sitio para el clima de la Tierra en la historia; 2- Raridad / Unicidad se refiere a su rareza con respecto a un espacio de referencia; 3- Representatividad se refiere a su ejemplaridad con respecto a un espacio de referencia; finalmente 4- Integridad se refiere a su estado de conservación que depende de factores naturales y antropogénicos.

Los **Valores Adicionales** toman en cuenta los aspectos ecológicos, estéticos y culturales (Panizza y Piacente 1993). Este parámetro pone de relieve los posibles vínculos entre las características geomorfológicas y otros aspectos naturales y culturales.

El Valor Ecológico toma la importancia del geomorfosito por sus implicancias ecológicas (exclusivamente si tienen una particular fauna o vegetación) Con referencia a las normas de protección existentes por razones ecológicas.

El Valor Estético tiene en cuenta la percepción de la belleza del paisaje y por lo tanto su evaluación es la más subjetiva (Regolini-Bissig 2010). Por esta razón, con el fin de reducir la subjetividad involucrada - basada en Reynard et al. (2007), Pralong (2005), Coratza et al. (2012) - se ha introducido una serie de parámetros objetivos en la evaluación. Éstos consisten en:

- I) diversidad de color (por ejemplo, contraste debido a cambios litológicos).
- II) naturalidad del sitio (por ejemplo ambientes prístinos).

El **Valor Cultural** incluye diferentes subcriterios (Panizza, 1996):

- I) importancia religiosa;
- II) importancia histórica en un sentido amplio incluyendo arqueología, prehistoria e historia;

El **Valor de Uso** de un sitio se define a partir de cuatro criterios principales: accesibilidad, visibilidad, servicios (en cuanto a la presencia de equipos y servicios de apoyo en los alrededores) e importancia para la educación (escuela, universidades).

En el área de estudio solo se ponderaron las dolinas que forman parte de los dos recorridos propuestos. El valor total de una geoforma (dolina) puede resultar de la suma de las puntuaciones de todos los criterios, siendo 10 la puntuación más alta.

Tabla I: Simbología aplicada a la clasificación de geositios modificado de Coratza, P., et al. (2012).

Valor	Criterios		Símbolo	Puntuación
Científico	Modelo Paleogeomorfológico		MP	0 - 1
	Raridad o Unicidad		R - U	0 - 1
	Representatividad		R	0 - 1
	Integridad		I	0 - 1
Adicionales	Ecológico		Ec	0 - 1
		Ecología	Eco	0 - 1
	Estético		Es	0 - 1
		Diversidad de color	D	0 - 1
		Naturalidad del sitio	N	0 - 1
	Cultural		C	0 - 1
		Importancia Religiosa	IR	0 - 1
	Importancia Histórica	IH	0 - 1	
Uso	Accesibilidad, visibilidad, servicios e importancia para la educación.		U	0 - 1

RESULTADOS

Evaluación preliminar de Geositios propuestos

Luego de haber aplicado la clasificación propuesta a las dolinas se obtuvo la valoración total para cada una de estas. Se destaca que en los casos de valor cero es por no poseer nada de puntuación o por no haber datos de los mismas.

Recorrido N°1: Zona Norte (Tabla II)

De acuerdo a los geositios propuestos en este recorrido se valora a la dolina 1 (*canyon karst*) con 4,5; con valor máximo en Raridad (por ser la única en su morfología) y Representatividad, el Valor de Uso es bajo porque solo se considera el acceso y su importancia para la educación por ser un ejemplar excelente de este tipo en el área, posee poca visibilidad y no brinda ningún tipo de servicio (ver Fig. 4).

El campo N°1 (Pozo de las Ánimas), ambas dolinas fueron valoradas en Raridad con 0,5 por ser común su ubicación en el área respecto a las otras dolinas, pero por poseer tamaños significativamente distintos a las demás (>200 metros de diámetro aproximadamente) (ver Fig. 5 y 6). En los Valores Estéticos se determinaron valor máximo por su inigualable

apariciencia; y en cuanto al Valor de Uso, también se les proporcionó valor máximo por poseer accesibilidad, información educativa y carteles de cuidado del medio ambiente.

En cuanto al Valor Cultural es de relevada importancia porque abarca tanto la Importancia Religiosa como Histórica. Los mapuches, llamaban a este lugar “Trolope-Co”, o “agua del gritadero de las ánimas”, de aquí que por siglos su nombre es protagonista de varias leyendas que han transcurrido en la historia de los pobladores rurales de generación en generación”.

Recorrido N°1 de Geositios propuestos

Parada N°1: Canyon Karst



Figura 4: Vista frontal de Parada N° 1, *Canyon karst*.

Parada N°2: Pozo de las Ánimas

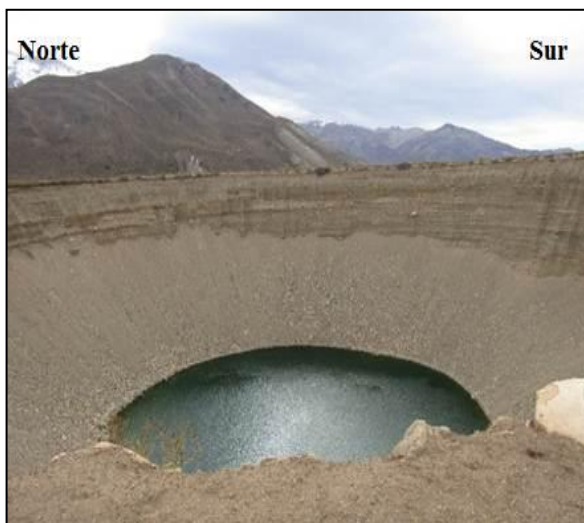


Figura 5: Vista frontal de dolina N° 2, "Pozo de las Ánimas"



Figura 6: Vista frontal de dolina N° 3, "Pozo de las Ánimas"

En el campo N° 2 los valores de ambas dolinas (4 y 5) son bajos, en el caso de la Representatividad es 0,5 por no ser el mejor ejemplo de la zona de acuerdo a su morfología; y el Valor de Uso es también bajo, porque solo se considera la huella cercana a su ubicación por la cual se puede acceder. Cabe destacar que si bien este sitio de interés no presenta ningún tipo de servicio ni señalización, se ubica próximo a un conocido Hostel de Los Molles (ver Fig. 7 y 8).

Por último el recorrido finaliza también en Los Molles, con la Laguna de la Niña Encantada y la Lagunita (ver Fig. 9 y 10). La dolina N° 6 es la que obtuvo mayor puntuación total siendo casi perfecta; con valoraciones máximas en casi todos los criterios, de acuerdo a sus características que la identifican como única en toda la zona de estudio en Raridad posee valor máximo al igual que en Representatividad.

Sus Valores Adicionales también son máximos; esta dolina en particular con respecto a las demás tiene importancia ecológica (Valor Ecológico), en ella hay un microclima tal que ha permitido el desarrollo de vida tanto vegetal como animal, con peces en su interior, patos y demás aves (ver Fig.11, 12 y 13). Parámetro estético máximo por su diversidad de colores y naturalidad del sitio.

En cuanto a su Importancia Religiosa (Valor Cultural) se destaca por tener una gruta de la Virgen María; y en el aspecto histórico, al igual que el “Pozo de las Ánimas”, posee su propia historia local, la cual ha ido tomando distintas versiones al pasar los años; la más conocida es la leyenda de Elcha (en lengua aborigen significa espejo), que trata de una hermosa princesa india. Otra de las versiones involucra a sirenas que vivían en la laguna.

Por último se puntúa el Valor de Uso siendo el valor máximo por constituir el sitio de interés geológico mejor dispuesto para los turistas, con buena accesibilidad, cartelera con información educativa y cultural, cuidado del ecosistema y medio ambiente a través de carteles y cestos de basura. Posee servicios como la atención de personal a la entrada del lugar, guía turístico, sanitarios, etc.

Parada N°3: Pozo de las Animitas



Figura 7: Vista oeste de dolinas 4 y 5, "Pozo de las Animitas"

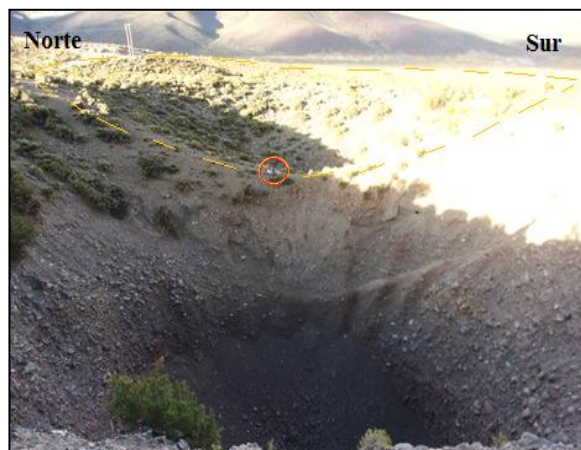


Figura 8: Vista este de dolinas 4 y 5, "Pozo de las Animitas"

Parada N°4: Laguna y Lagunita de La Niña Encantada



Figura 9: Vista frontal de dolina "Laguna de la Niña Encantada"



Figura N°10: Vista frontal de dolina "Lagunita Niña Encantada".



Figura N°11: Pez trucha "Arco iris"



Figura N°12: Pato nadando dentro de la laguna.



Figura N°13: Diversas especies de aves viven en el agua o forman nidos en los bordes de roca de la dolina.

Tabla II: Clasificación de geositos modificado de Coratza, P., et al. (2012), aplicado a recorrido 1.

Recorrido N°1			Clasificación de Geositos propuestos										
Campo N°	Dolina N°	Dolina Aislada N°	Valor Científico				Valor Adicional					Valor de Uso	Valoración Total
			MP	R-U	R	I	Ec	Es		C			
							Eco	D	N	IR	IH	U	
-	-	1 (ck)	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0,5	4,5
1	2	-	0	0,5	1	1	0	1	1	1	1	1	7,5
	3	-	0	0,5	1	1	0	1	1	1	1	1	7,5
2	4	-	0	0	0,5	1	0	0	1	0	0	0,2	2,7
	5	-	0	0	0,5	1	0	0	1	0	0	0,2	2,7
3	6	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	7	-	0	0	0	1	0	0,5	1	0	0	1	3,5

Recorrido N°2: Zona Sur (Tabla III)

De acuerdo a los geositos propuestos en este recorrido se valoró a estas dolinas aisladas con bajos valores. A diferencia del recorrido anterior, en éste, no hay ningún sitio de interés geológico establecido por la Municipalidad de Malargüe; y es éste uno de los principales motivos de la diferencia de valores de un recorrido a otro.

Los Castillos de Pincheira nombrados previamente son un sitio de interés geológico de origen no kárstico, el cual desde la ciudad de Malargüe posee su propio camino. Aprovechando éste, se puede acceder a las 8 dolinas propuestas como nuevos geositos. Si bien la zona es aun prístina, hay huellas en toda el área y es posible acceder a cada una de las dolinas sin dificultad.

De acuerdo a la Raridad en este caso se puntúa de forma media a las dolinas con agua (dolinas N° 8, 14 y 15), ya que la mayoría en esta zona no tienen agua en su interior (ver Fig. 14 a 17). Estas asimismo, al contener agua poseen estéticamente Diversidad de colores respecto a las demás. Los demás criterios que fueron valorados con puntuación cero, fue por motivo de no poseer valor o bien por no disponer de más datos.

Parada N° 1: Inicio del recorrido con dolina N° 8

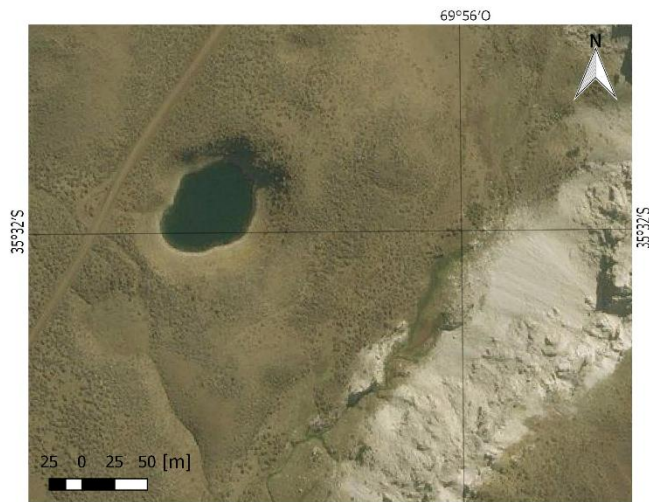


Figura 14: Dolina aislada N° 8, imagen satelital.



Figura 15: Vista frontal dolina aislada N° 8.

Parada N° 2: Fin del recorrido con dolina N° 15.

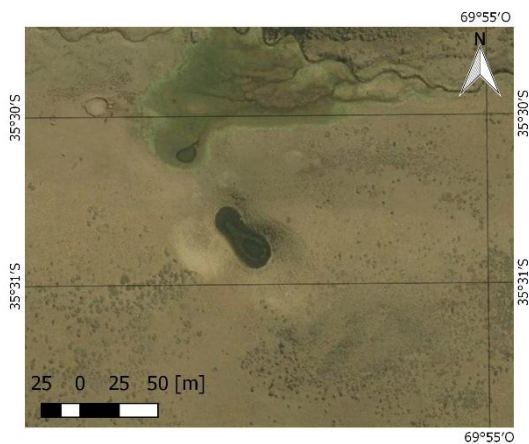


Figura 16: Dolina aislada N° 15 (uvala), imagen satelital.

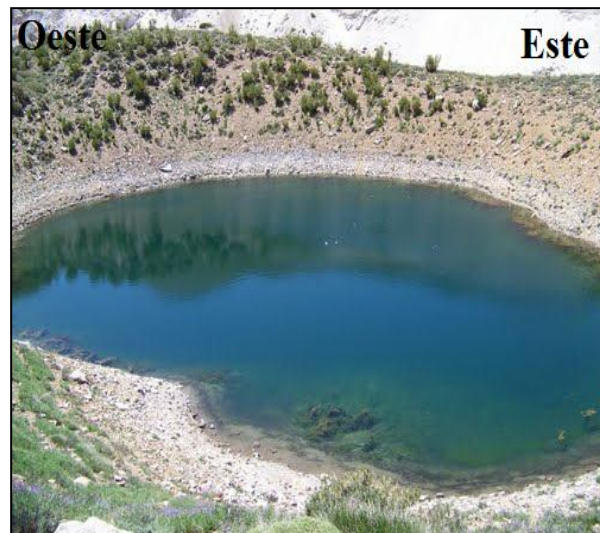


Figura 17: Vista frontal, uvala N° 15.

Tabla III: Clasificación de geositos modificado de Coratza, P., et al. (2012), aplicado a recorrido 2.

Recorrido N°2			Clasificación de Geositos propuestos										
Campo N°	Dolina N°	Dolina Aislada N°	Valor Científico				Valor Adicional					Valor de Uso	Valoración Total
			MP	R - U	R	I	Ec	Es		C		U	
							Eco	D	N	IR	IH		
-	-	8	0	0,5	0	1	0	0,5	1	0	0	0,2	3,2
-	-	9	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	10	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	11	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	12	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	13	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	14	0	0,5	0	1	0	0,5	1	0	0	0,2	3,2
-	-	15	0	0,5	0	1	0	0,5	1	0	0	0,2	3,2

CONCLUSIONES

Los datos obtenidos a partir de la valoración propuesta (Valor Científico, Adicionales y de Uso) sugiere que el primer recorrido propuesto, ubicado al norte del área de estudio, comprendido por las dolinas 1 a 7, es el más propicio para la determinación de geositos. La valoración más alta de este recorrido fue de 9 puntos, siendo casi perfecto en todos los criterios de clasificación.

En el recorrido propuesto N°2 ubicado al sur del área de estudio, comprendido por las dolinas 8 a 15, no hay ningún sitio de interés geológico establecido por la Municipalidad de Malargüe; este es uno de los motivos por el cual posee valores bajos con respecto al otro recorrido. La valoración máxima alcanzada en el mismo fue de 3,2; comparado con el recorrido N°1 este valor es muy bajo por lo que no sería propicio, hasta el momento, considerarlos como geositos.

Se recomienda que estos sitios de interés geológico, deberían ser evaluados por especialistas de diferentes disciplinas (Método Delphi) tales como: geólogos, biólogos, antropólogos, licenciados en turismo, etc, (Linstone y Turoff, 1975) con el fin de caracterizarlos en detalle y proponerlos de manera formal ante la IUGS. A su vez se sugiere continuar con estudios de las geoformas exokársticas (dolinas) ya que estos son muy escasos en el área de Malargüe. Los mismos serán de gran utilidad ya que servirán para fomentar el turismo, la conservación y la difusión en el marco de un desarrollo sustentable para el Departamento.

REFERENCIAS

- Coratza, P., Galve, J., Soldati, M. Y Tonelli, T., (2012). *Recognition and assessment of sinkholes as geosites: lessons from the Island of Gozo (Malta)*. University of Modena and Reggio Emilia, Department of Earth Sciences, Modena, Italy.
- Cortez Taillant V., (2017). Fenómenos Kársticos Asociados A Dolinas En El Departamento Malargüe, Mendoza: Su Interpretación Para La Gestión Territorial.
- Fassoulas C., Mouriki D., Dimitriou-Nikolakis P. Y Iliopoulos G., (2012). *Quantitative Assessment of Geotopes as an Effective Tool for Geoheritage Management*. *Geoheritage (in press)*, DOI: 10.1007/s12371-011-0046-9.
- Kiernan K., (2010). *Human Impacts on Geodiversity and Associated Natural Values of Bedrock Hills in the Mekong Delta*. *Geoheritage*, 2: 101–122.
- Lewis I.D., (2008). *Australia's Kanawinka Geopark – volcanoes and lakes, limestone and sinkholes*. *Inaugural Global Geotourism Conference, 'Discover The Earth Beneath Our Feet', Fremantle, Western Australia, 17–20 August 2008*: 251–256.
- Linstone H.A., Turrof, M., (1975). *The Delphi method, techniques and applications*, Addison wesley publishing.
- Panizza M. Y Piacente S., (1993). *Geomorphological assets evaluation*. *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F.*, 87: 13–18.
- Panizza M., (1996). *Environmental Geomorphology*. Elsevier, Amsterdam.
- Pereira P., Pereira D. Y Caetano Alves M.I., (2007). *Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal)*. *Geographica Helvetica*, 62(3): 159–168.
- Pralong J. P., (2005). *A method for assessing tourist potential and use of geomorphological sites*. *Géomorphologie: relief, processus, environment*, 3: 189–196.
- Regolini-Bissig G., (2010). *Mapping geoheritage for interpretative purpose: definition and interdisciplinary approach*. In: Regolini-Bissig G., Reynard E. (eds.), *Mapping Geoheritage*. Institut de géographie, Géovisions, Lausanne, 35: 1–13.
- Reynard E., (2007). *The assessment of geomorphosites*. In: Reynard E., Coratza P., Regolini-Bissig G. (eds.), *Geomorphosites*. Pfeil, Munich: 63–71.
- Reynard E., Fontana G., Kozlik L. Y Scapozza C., (2007). *A method for assessing .scientific. and .additional values. of geomorphosites*. *Geographica Helvetica*, 62(3): 148–158.
- Vdovets M., Silantiev V. Y Mozzherin V., (2010). *A National Geopark in the Republic of Tatarstan (Russia): a Feasibility Study*. *Geoheritage*, 2: 25–37.
- Zouros N. C., (2007). *Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece. Case study of the Lesvos island – coastal geomorphosites*. *Geographica Helvetica*, 62(3): 169–180.

COLECCIÓN ICTIOLÓGICA DEL IADIZA, REGISTRO, DOCUMENTACIÓN Y GEOREFERENCIA

Larramendy L.^a y Bender J.B.^b

^aIngeniería en Recursos Naturales Renovables, FCA, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

^bIADIZA, ARGENTINA

e-mail: coleccion.vertebrados.iadiza@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

Las colecciones biológicas constituyen repositorios de especímenes e información primaria para la conservación de la biodiversidad. En este trabajo se presenta el proceso de registro, documentación y georeferenciación de la Colección Ictiológica del Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA) CCT CONICET Mendoza. Los primeros ejemplares fueron colectados entre los años 1979 y 1982, estaban conformados por 172 lotes de peces, actualmente la colección cuenta con 1948 individuos pertenecientes a 11 familias distribuidas en 15 localidades. Entre 2017 y 2018 se han realizado nuevas tareas de determinación taxonómica, georeferenciación, compilación de documentación y fotografía de especímenes. La información ha sido normalizada sobre estándares para el intercambio de datos biológicos basada en el sistema Darwin Core (versión 2015-06-02) recomendado por Biodiversity Information Standards (TDWG), lo cual permitirá asociar esta colección al portal del Sistema Nacional de Datos Biológicos (SNDB). Con esta colección se incrementa la formación y actualización de bancos de datos biológicos ampliando de esta manera el conocimiento de la biodiversidad de la ictiofauna argentina propiciando herramientas más adecuadas para la toma de decisiones políticas a nivel regional, nacional e internacional.

Palabras clave: Colecciones biológicas, ictiología, bases de datos, georeferencia, biodiversidad.

INTRODUCCIÓN

Las colecciones biológicas, relacionadas con las actividades científicas, constituyen una parte fundamental de los centros de investigación y de información de la biodiversidad. Se componen de ejemplares que se han recolectado en un tiempo y lugar determinados, registrando la información geográfica, ecológica y taxonómica. Las colecciones biológicas se pueden comparar con una biblioteca o un centro de información especializada que puede servir para proponer y validar hipótesis sobre diferentes disciplinas biológicas. También sirven como marco de referencia para el trabajo de los taxónomos y otros especialistas relacionados con el estudio de la biodiversidad (Navarro-Sigüenza, A.G y Llorente-Bousquets, 1991; Llorente, J.E et al., 1999; Llorente, J.E et al., 2000).

Una colección biológica cumple su función cuando es utilizada, ya sea como unidad docente para diferentes niveles de la enseñanza e incluso por especialistas que se encuentran en formación o por la información que contiene asociada a una especialidad de interés en botánica, zoología u otros temas relacionados con la biología. Por lo general el acceso a los ejemplares que albergan las colecciones es a través del contacto con la institución que la custodia y su revisión es in situ. También existe la posibilidad de préstamo de ejemplares siempre y cuando se cumpla con las políticas de la institución y

la legislación de su país. Estos bancos de datos brindan información básica y única sobre la biodiversidad de una región, tanto en el aspecto espacial como temporal. Ante la situación actual de pérdida de biodiversidad, las colecciones se transforman en una herramienta fundamental para llevar a cabo estudios taxonómicos y biológicos. Las interpretaciones de la información extraída de sus ejemplares son puestas a disposición de la ciudadanía, tanto a nivel científico como político-social.

Una herramienta imprescindible para gestionar el uso de las colecciones es la digitalización, que consiste en incorporar la información a ficheros digitales y manejarla en un entorno virtual, así como desarrollar aplicaciones que relacionen todos los archivos, en un sistema informático o a través de una web. Desde hace años se están desarrollando infraestructuras y políticas culturales a escala mundial para facilitar el acceso a datos alojados en colecciones de bienes patrimoniales.

El presente trabajo ofrece un panorama sobre las tareas y políticas llevadas a cabo en la elaboración de una colección institucional en la provincia de Mendoza, república Argentina, su función e importancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con muestras de peces depositados en el Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas (IADIZA, CONICET). El origen de estas muestras se remonta a los años comprendidos entre 1979 y 1981, y fueron colectadas por María Beatriz Peñafort en el marco de una beca doctoral con una cantidad inicial de 172 lotes y un número aproximado de 1940 individuos.

En el marco de los trabajos realizados en la pasantía en el IADIZA durante 14 meses se desarrollaron tareas de curaduría sobre las citadas muestras. Entre las labores realizadas se realizó la revisión taxonómica, el recambio de etiquetas con el ordenado de datos a partir del modelo de la figura 1, el acondicionamiento de individuos, la organización de los lotes y separación de ejemplares, el conteo, la georreferenciación de los individuos, el recambio de material de fluido (utilizando alcohol al 75%) y principalmente la digitalización de los datos.

► Acrónimo de la colección - N° de la colección (6 dígitos) será asignado CVI

► Nombre científico en lápiz

○ ○	Colección de Vertebrados IADIZA - CCT CONICET Mendoza		
	Sexo:	Acrónimo-N°:	Colector: Preparador:
	Localidad:		
	Lat.:	Altura:	
	Long.:	Fecha: / / ;	Hs.
	Medidas:		

Figura 1. Rótulo para fluidos. Se detalla la forma de ingreso de información a completar de acuerdo a los siguientes ejemplos: Sexo (con signo ♀ o ♂); Acrónimo-N°: MBP-115; Colector: María Beatríz Peñafort; Preparador: María Beatríz Peñafort; Localidad: País, Provincia, Departamento, Localidad, otros datos; Lat.: latitud en grados decimales S -35.167952° / Long.: longitud en grados decimales W -58.237399°; Altura:

en metros sobre el nivel del mar; Medidas: de acuerdo a la taxa ver estandares; Fecha: día en número/mes en letra/ año en número / Hs. : Fecha de colecta (20/Marzo/1981; 23:15)

La digitalización mejoró el acceso a la información que contenía dicha colección lo que hará posible que estudiantes y especialistas tengan disponibles las bases de datos, mediante cualquier dispositivo con acceso a Internet, esto minimiza la posibilidad de examinar *in situ* cualquier ejemplar, acortar tiempos y minimizar gastos asociados.

Tomando como punto de partida los datos presentes en la etiquetas asociados a la colecta en campo de los ejemplares, se cargó una planillas de cálculo con la implementación del sistema de estandarización de datos Darwin Core el cual proporciona una referencia estándar y estable para compartir información sobre diversidad biológica. Este núcleo es un cuerpo de normas y términos a seguir para generar bases de datos destinadas a facilitar el intercambio de información. Proporciona definiciones de referencia, ejemplos y comentarios además de incluir un glosario de términos que pretenden facilitar el proceso de carga de los diferentes campos. Para la carga de datos utilizando este sistema se incorporaron los elementos recomendados por Sistema Nacional de Datos Biológicos (SNDB) que es una iniciativa del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva conjuntamente con el Consejo Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (CICyT) enmarcada dentro del Programa de Grandes Instrumentos y Bases de Datos. El SNDB recomienda tener presente los siguientes campos tales como:

➤ Identificador del registro

Identificador global único, Fecha de última modificación, Tipo de registro, Código de la institución, Código de la colección, Número de catálogo.

➤ Elementos taxonómicos

Nombre científico, Reino, Phylum, Clase, Orden, Familia, Género, Epíteto específico, Categoría infraespecífica, Epíteto infraespecífico, Autor del nombre científico y año de publicación.

➤ Elementos de identificación

Calificador de la identificación.

➤ Elementos de localidad

Cuerpo de agua, País, Provincia o Estado, Localidad.

➤ Elementos de evento de colecta

Colector.

➤ Extensión curatorial

Número de registro del colector.

➤ Georeferenciación

Latitud decimal, Longitud decimal, Datum geodético, Error de coordenadas (m), Protocolo de georeferenciación, Fuentes de georeferenciación.

Para la georeferenciación, dato que no estuvo presente en la información asociada a la colecta inicial, y basándose en la descripción de la localidad de los ejemplares se usó el

método de Punto-Radio. Éste describe a una localidad como un par de coordenadas y una distancia desde ese punto, que delimita el radio de una circunferencia (Wieczorek et al, 2004). La combinación de ambas comprende la descripción numérica de la localidad y su incertidumbre asociada o distancia máxima del error. Al ser la mayoría de los sitios cuerpos de agua (ríos y arroyos), la incertidumbre asociada fue la comprendida entre el inicio del cauce hasta su desembocadura. Los datos de coordenadas geográficas se obtuvieron utilizando las herramientas web Google earth y Geolocate basándose en el sistema WGS84 (World Geodetic System 1984).

RESULTADOS

A partir de las muestras comprendidas entre los años 1979 y 1981, y evaluando la integridad del material, el valor referencial, el número de ejemplares y la calidad de datos asociados se crea la Colección Ictiológica del Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA), que operara con el acrónimo CII. Esta colección queda compuesta por 1948 individuos los cuales pertenecen a nueve familias: Anablepidae, Characiformes, Cyprinidae, Galaxiidae, Heptapteridae, Percichthyidae, Poeciliidae, Salmonidae y Trichomycteridae (Tabla 1). Durante el trabajo se hizo una revisión taxonómica no exhaustiva de nombres genéricos y epítetos específicos donde se encontró que algunos géneros y epítetos habían sido modificados desde la fecha de colecta al presente, incorporando estos cambios a la base datos. Esta revisión arrojó la presencia de 11 géneros de los cuales se llegó a una determinación de 4 epítetos o nombres específicos en la CII (Tabla II).

Tabla I. Familias y N° de registros pertenecientes a la Colección Ictiológica IADIZA (N/A aparece cuando no estar disponible dicha información y no pudo realizarse la revisión taxonómica)

FAMILIA	N° DE REGISTROS
<i>Anablepidae</i>	379
<i>Characidae</i>	46
<i>Cyprinidae</i>	14
<i>Galaxiidae</i>	38
<i>Heptapteridae</i>	34
N/A	3
<i>Percichthyidae</i>	89
<i>Poeciliidae</i>	5
<i>Salmonidae</i>	5
<i>Trichomycteridae</i>	1338

Tabla II. Tabla de clasificación Taxonómica de la Colección Ictiológica IADIZA

Class	Order	Family	Genus	Specific Epithet	N° ejemplares
Actinopterygii	Cypriniformes	Cyprinidae	Cyprinus	N/A	3
Actinopterygii	Cyprinodontiformes	Anablepidae	Jenynsia	N/A	379
Actinopterygii	Cyprinodontiformes	Characidae	Cheirodon	N/A	48
Actinopterygii	cyprinodontiformes	Poeciliidae	Cnestorodon	decemmaculatus	5
Actinopterygii	Osmeriformes	Galaxiidae	Galaxias	platei	38
Actinopterygii	Perciformes	Percichthyidae	Percichthys	N/A	89
Actinopterygii	Salmoniformes	Salmonidae	Salmo	N/A	5
Actinopterygii	Siluriformes	Heptapteridae	Heptapterus	N/A	34
Actinopterygii	Siluriformes	Trichomycteridae	Trichomycterus	mendocensis	563
Actinopterygii	Siluriformes	Trichomycteridae	Hatcheria	macraei	775
Actinopterygii	Cypriniformes	Cyprinidae	Carassius	N/A	11

Se encontraron 16 localidades las cuales son reflejadas en la figura 2 para Argentina. En la figura 3 a. y b. se compara distribución en Mendoza arrojada por el método punto radio con los puntos de localidades citado en la publicación de G. Arratia 1983, estos puntos no pueden asignarse a ejemplares por carecer de la información relacional en cada caso, pero coinciden con las fechas de colecta de B. Peñafort por lo que podría asumirse que esos puntos son la localidad original de muestreo para algunos de los ejemplares. Se detectó en esta colección nuevas distribuciones potenciales de algunas especies que hasta el momento no se encuentran citadas en la biografía consultada. Esto podría darnos un panorama acerca de las distribuciones pasadas con respecto a las presentes e indicarnos cambios en las distribuciones de las mismas que podrían establecerse en futuros análisis.

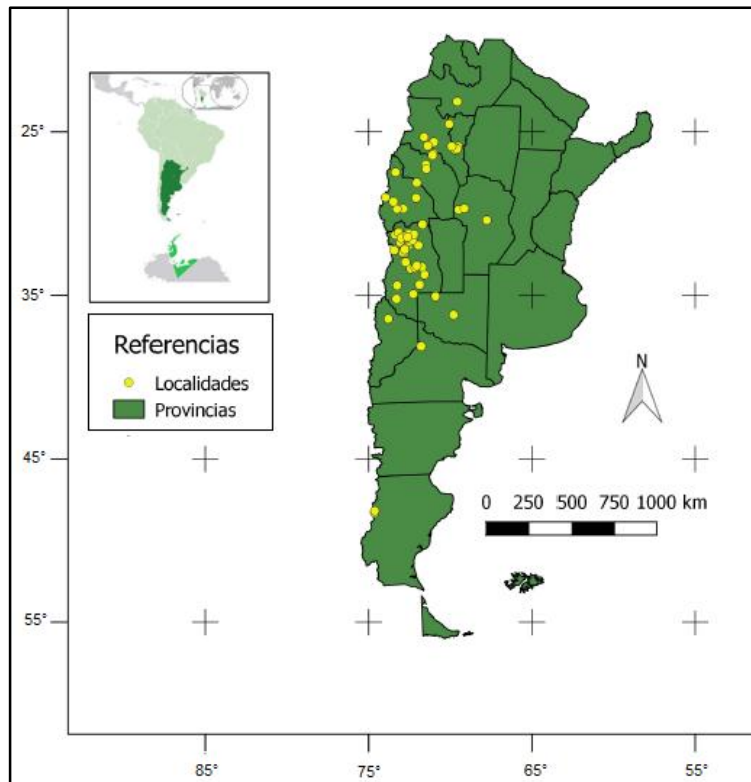


Figura 2. Mapa de localidades correspondientes a la Colección Ictiológica IADIZA.

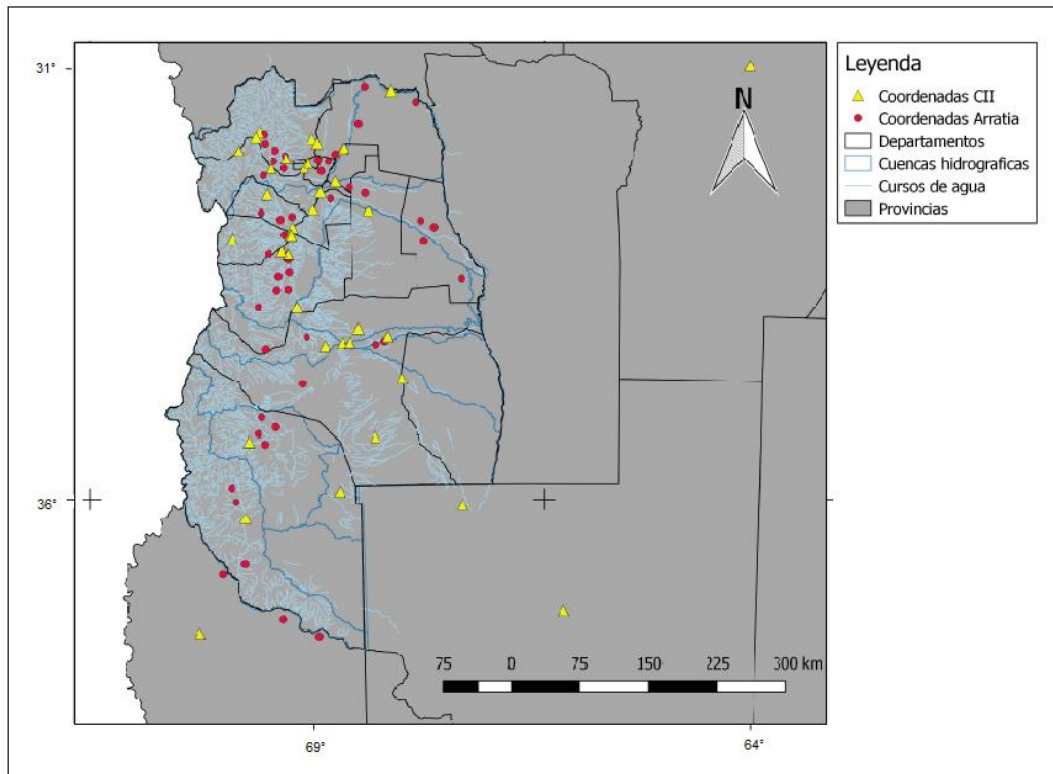


Figura 3. Mapa de sitios de muestreo y distribución de peces de la colección generada a partir del método punto-radio y los de Arratia (1983)

En general, el contenido de las colecciones es documentado y difundido con el objetivo de ponerlo a disposición de otros miembros de la comunidad científica para su estudio. Es por ello que finalizadas las tareas de digitalización y revisión de la base serán subidas al Sistema Nacional de Datos Biológicos (<http://www.datosbiologicos.mincyt.gob.ar/>) que es un portal que permite el acceso a la información de las colecciones biológicas, y otras fuentes de datos, a los organismos e instituciones que integran el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) (<http://datos.sndb.mincyt.gob.ar/>). De esta manera da respuesta a la necesidad de generar una red nacional de datos unificada de información biológica. Este Sistema comparte información con Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (www.gbif.org) que es una organización internacional para promover la disponibilidad pública de los datos de biodiversidad a través de internet. Los datos son proporcionados por muchas instituciones alrededor del mundo y la estructura de información de GBIF hace estos datos accesibles y permite búsquedas en un único portal. El objetivo de la carga de la base a esta organización es facilitar el acceso libre y abierto a los datos de biodiversidad.

CONCLUSIONES

La función e importancia de las colecciones biológicas radica en los objetos de naturaleza única que contienen, materia prima para generar y validar conocimiento científico. Las colecciones preservan, conservan y mantienen disponible la información. Con ello, protegen el patrimonio más preciado de la sociedad: el conocimiento científico de al menos una parte de la naturaleza y sus beneficios sociales.

Estos reservorios de biodiversidad son a menudo re-analizados a partir del uso de nuevos instrumentos y técnicas, proporcionando nuevos datos y conocimientos a partir de ejemplares estudiados previamente. A través de este procedimiento también es posible detectar errores incurridos durante la toma de datos y de esta manera poder generar conciencia y recomendaciones a la hora de generar este tipo de información. Con el acondicionamiento y puesta en funcionamiento de la colección ictiológica del IADIZA se permite que en un futuro cercano nuevos trabajos relacionados a la fauna ictícola y sus distribuciones tengan una referencia disponible y de confianza para poder llegar a comparaciones, distribuciones e inclusive cambios temporales ya que proporcionan evidencia irremplazable de las tendencias históricas a largo plazo, permitiendo a los investigadores realizar predicciones para el futuro. Para ello la existencia de estas “bibliotecas digitales” tiene como función brindar a los usuarios un servicio eficiente, de calidad, con rápido acceso a la información seleccionada y en el menor tiempo posible, lo cual significa contar con infraestructura y personal provenientes de diversas disciplinas que lo permitan. El crecimiento acelerado de las colecciones digitales ha exigido replanteamientos en los modos de producir, organizar, almacenar, preservar, difundir y adquirir la información asentada en formatos digitales. El creciente aumento que han alcanzado los proyectos de digitalización en diversas instituciones de educación superior, en las bibliotecas, en los centros de información y en las oficinas gubernamentales, plantea un problema serio para los directivos, curadores, informáticos y el personal relacionado en general a estos ámbitos, sobre todo si se toma en cuenta que en pocos de esos lugares se cuenta con prácticas y procedimientos estandarizados a nivel internacional y con la renovación de equipamiento necesario para la guarda y difusión a largo plazo, por ello es recomendable que en el corto a mediano plazo se implementen mejoras en el entendimiento de estas prácticas e inversión en el desarrollo de estos repositorios institucionales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas que me han brindado su ayuda, sus conocimientos y su apoyo. Quiero agradecerles a todos ellos cuanto han hecho por mí, para que este trabajo saliera adelante de la mejor manera posible.

Principalmente al IADIZA por brindarme la posibilidad de realizar una pasantía en la Colección de Vertebrados del IADIZA y por todo el conocimiento transmitido por su personal, por contestar a muchas dudas y ofrecerme su apoyo en todo momento. A Daniela Fuch del Museo de Ciencias Naturales de La Plata le agradezco las revisiones taxonómicas, comentarios y sugerencias.

REFERENCIAS

- Arratia Gloria, Peñafor M. Beatriz, Marque Menú Silvina. (1983). Peces de la región sureste de los Andes y sus probables relaciones biogeográficas actuales. *Deserta* 7(1): 48-108.
- Cristín, Alejandro. (2011). Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen 63, núm., pp. 421-427.

- Darrigran, Gustavo. (2012). Las colecciones biológicas ¿Para qué? Boletín Biológica N°23, pp. 28-31.
- GEOLocate - Software for Georeferencing Natural History Data. Geo-locate.org. <http://www.geo-locate.org/> Google Earth. <https://www.google.com.ar/intl/es/earth/>
- Gómez, Sebastián. (2013). Georreferenciación de la base de datos del Museo de La Plata mediante el método punto-radio. [Jornadas de la Vicedirección de Colecciones y Documentación I](#). Madrid, 4-5 de febrero de 2014. Museo Nacional de Ciencias Naturales.
- Lara, G., Castro, A., López, C., Chávez, G., Ortiz, D., (2008). Digitalización de colecciones: Texto e imagen, Vol. 1. UNAM, Dirección General de Bibliotecas, Dirección General de Servicios de Cómputo Académico, Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia. México.
- Navarro-Sigüenza, A.G., J.E. Llorente-Bousquets. (1991). Museos, colecciones biológicas y la conservación de la biodiversidad: una perspectiva para México. Pp. 1-31. In: Memorias del Seminario sobre Conservación de la Diversidad Biológica de México No. 3. UNAM-WWF. México.
- Pérez-Mayorga, M.A, Padra-Pedrerros, S. (2006) Metadato de la colección de peces del museo Javeriano de historia natural “Lorenzo Uribe”, S.J. Revista de la Facultad de Ciencias, Edición especial I, Vol. 12, 143-153. Bogotá, Colombia.
- Villanueva, Martín, Roig, V (1995). La ictiofauna de Mendoza, reseña histórica, introducción y efectos de especies exóticas. Multequina 4: 93-104. Mendoza, Argentina.

FORESTACIÓN DE SUELOS SALINIZADOS Y FACTORES AMBIENTALES INCIDENTES EN LA POTENCIALIDAD DE RESTAURACIÓN EN CUYO

Meglioli P. A.^{ab}, Villagra P. E.^{ab}, Lana B. N.^{ac}, Álvarez L. M.^a, Álvarez J. A.^{ab} y Cony M.^d

^a IANIGLA, Centro Científico y Tecnológico-CONICET, Mendoza, ARGENTINA

^b Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

^c Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

^d IADIZA, Centro Científico y Tecnológico-CONICET, Mendoza, ARGENTINA

e-mail: pmeglioli@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

*La degradación de suelos por salinización afecta más de 900 millones de hectáreas de tierra productiva en el mundo. Esta problemática, sin planes de manejo de recursos, ni estrategias de restauración, conduce a estados críticos de desertificación. En el oasis cuyano, grandes superficies son excluidas del sistema productivo regional. La forestación de estas tierras, utilizando algarrobos resistentes al estrés salino, podría recuperar los suelos improductivos; no obstante, requiere del conocimiento integral de los factores incidentes en la potencialidad de restauración de cada sitio. El objetivo fue analizar cómo los factores edáficos e hídricos inciden sobre las forestaciones de *Prosopis* sp. sometidas a diferentes condiciones de salinización en el oasis cuyano. En cuatro fincas implantadas de Media Agua (San Juan) se monitoreó anualmente la supervivencia y el crecimiento de algarrobos. Se realizaron perfiles edáficos, hasta alcanzar el nivel freático (2-4m de profundidad), los que permitieron recolectar suelos y agua subterránea para analizar la salinidad, iones mayoritarios, pH y RAS. También, se registraron bimensualmente las variaciones de niveles freáticos y conductividad eléctrica del acuífero. El nivel de sales es un factor determinante de la productividad de las forestaciones, encontrándose en parcelas altamente salinizadas, una baja supervivencia y reducido crecimiento de plantines. Los suelos superficiales (0,25m) mostraron gran variabilidad en su salinidad, con conductividad eléctrica de 4 a 80 mS/cm. La salinidad disminuyó con el incremento de la profundidad edáfica, aunque se observó que esta variable en la freática puede superar los 30 mS/cm. La freática es sulfatada sódica, mientras que el agua de riego es bicarbonatada cálcica. El análisis de niveles freáticos sugiere dinámicas del acuífero con influencia local. Las mediciones de estos factores ambientales en el largo plazo, sin duda contribuirán con la generación de herramientas conceptuales para maximizar la eficiencia de restauración de suelos salinizados, mediante la fitorremediación con *Prosopis*.*

Palabras Clave: Bioremediación, Forestaciones, Monitoreo Ambiental, Salinización

INTRODUCCIÓN

La salinización, o el desarrollo de suelos afectados por la salinidad, constituye un problema ambiental que afecta a casi 950 millones de hectáreas (8% de la superficie terrestre) de tierra productiva en todo el mundo (Singh 2009). La excesiva concentración de sales en la zona radicular del suelo no sólo disminuye la producción agrícola de la mayoría de los cultivos (Qadir et al. 2007) sino que también afecta las propiedades fisicoquímicas de los suelos (Metternicht and Zinck 2003) y repercute sobre la valorización de la tierra (Mirzabaev et al. 2015). En las regiones áridas y semiáridas, la elevada evaporación de agua en profundidades edáficas cercanas

a la superficie sumado a la baja precipitación anual favorece la acumulación excesiva de sales, resultando estas tierras altamente improductivas.

La salinización, sin planes de manejo de los recursos, ni estrategias de restauración, conduce a estados críticos de desertificación, determinando que el suelo pierda su capacidad productiva (D'Odorico et al. 2013). Así, por ejemplo, los oasis irrigados de Cuyo conforman una importante región de desarrollo productivo que se destina esencialmente al cultivo de especies tradicionales (vides, frutales y hortalizas), a la forestación con álamos y a la ganadería extensiva. Sin embargo, debido a la salinización, el 25% y 40% de las áreas irrigadas de Mendoza y San Juan, respectivamente, son tierras agrícolas excluidas del sistema productivo regional. Por lo tanto, resultan sumamente valioso encarar programas de manejo integrado de recursos que permitan restaurar los ambientes degradados y que, a la vez, recuperen su capacidad productiva (Metternicht and Zinck 2003, Zuleta et al. 2015).

La forestación de tierras marginales, utilizando especies vegetales resistentes al estrés hídrico y salino, surge como una factible alternativa de restauración para el oasis cuyano (Taleisnik and Launstein 2011, Guida-Johnson et al. 2017). En este sentido, los recursos forestales nativos conforman reservorios biológicos de alto valor que pueden asegurar la adaptación a las condiciones de estrés ambiental (Villagra et al. 2017). Particularmente, los algarrobos del Monte (*Prosopis spp*) presentan gran potencial en los programas de restauración debido a que tienen adaptaciones a ambientes extremos, ofrecen múltiples usos a los lugareños (provisión de forraje, leña, madera) y beneficios ambientales (fijación biológica de N₂ atmosférico, regulación hidrológica) (Alvarez and Villagra 2009).

No obstante, para lograr la sostenibilidad de las plantaciones forestales se requiere de una visión integrada, donde los factores ambientales incidentes en la potencialidad de restauración sean incorporados en su evaluación (Qadir et al. 2007). En las zonas áridas, las forestaciones comúnmente fracasan debido al desconocimiento del ecosistema o agroecosistema a forestar, las especies a probar, como de las técnicas de implantación a utilizar, implicando pérdidas de dinero y tiempo (Cony 1995, Ferrari and Wall 2004). En consecuencia, el éxito de la restauración en los suelos salinos debería aumentar si consideramos los conocimientos combinados tanto de las plantas involucradas en las forestaciones como de las condiciones ambientales de cada sitio (Fernández et al. 2016, Bhuiyan et al. 2017).

En este contexto, resulta sumamente valioso conocer la distribución espacial de las sales, la relación adsorción de sodio (RAS), la textura de suelos, la profundidad de los niveles freáticos, entre otras variables ambientales a nivel de lote, y establecer su relación con la supervivencia y el crecimiento de las especies implantadas, con el fin de generar herramientas conceptuales tendientes a recuperar los suelos degradados por salinización (Bhuiyan et al. 2017, Debez et al. 2017). Por ejemplo, los suelos de texturas más finas (arcillosos) se relacionan con una mayor capacidad de retención de agua que los suelos de textura gruesa (arenosos) y esto, combinado con un drenaje más lento, conduce a una mayor retención de sales, especialmente durante los períodos de alta evaporación del suelo. Bajo estas condiciones texturales, las procedencias de algarrobos que estén adaptadas a un tipo de suelo particular en los sitios afectados por la salinidad serán más exitosas para su uso en las forestaciones. La identificación de especies tolerantes en los ambientes salinos sin duda necesita del conocimiento de los factores ambientales incidentes en la potencialidad de restauración (Villagra et al. 2017).

El presente estudio forma parte del “Programa de restauración de los servicios ecosistémicos y recuperación de la capacidad productiva de ambientes degradados”, para la región de Cuyo. Por consiguiente, esta investigación, en complemento con otros trabajos relacionados, no tan sólo generarán conocimientos para planes de manejo integrados de recursos, sino también ofrecen una alternativa para recuperar tierras salinizadas, mediante la forestación con especies tolerantes y el

manejo apropiado. El objetivo general fue analizar cómo los factores ambientales inciden sobre las forestaciones de *Prosopis sp.* sometidas a diferentes condiciones de salinización de suelos en el oasis cuyano.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la localidad de Media Agua, en la depresión de la travesía del río San Juan, ubicada al sur del oasis agrícola del valle del Tulum (Fig. 1a). Las zonas del oasis con buenos suelos se dedican fundamentalmente a las plantaciones de álamos y, en menor medida, a los cultivos de olivos, vides y frutales. También, se encuentran áreas irrigadas que contienen una gran proporción de sus terrenos con suelos extremadamente salinos y/o con problemas de riego. En estas áreas llevamos a cabo ensayos de forestación con plantines de *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis* de distintas procedencias del Monte sobre cuatro fincas que pertenecen a una empresa “Frutos del Sur S.A” dedicada a la producción forestal de álamos (Fig. 1a y Fig. 1c). Se trabaja en cooperación con personal de dicha empresa, la cual dispone de aproximadamente 300 ha de tierras en la zona.

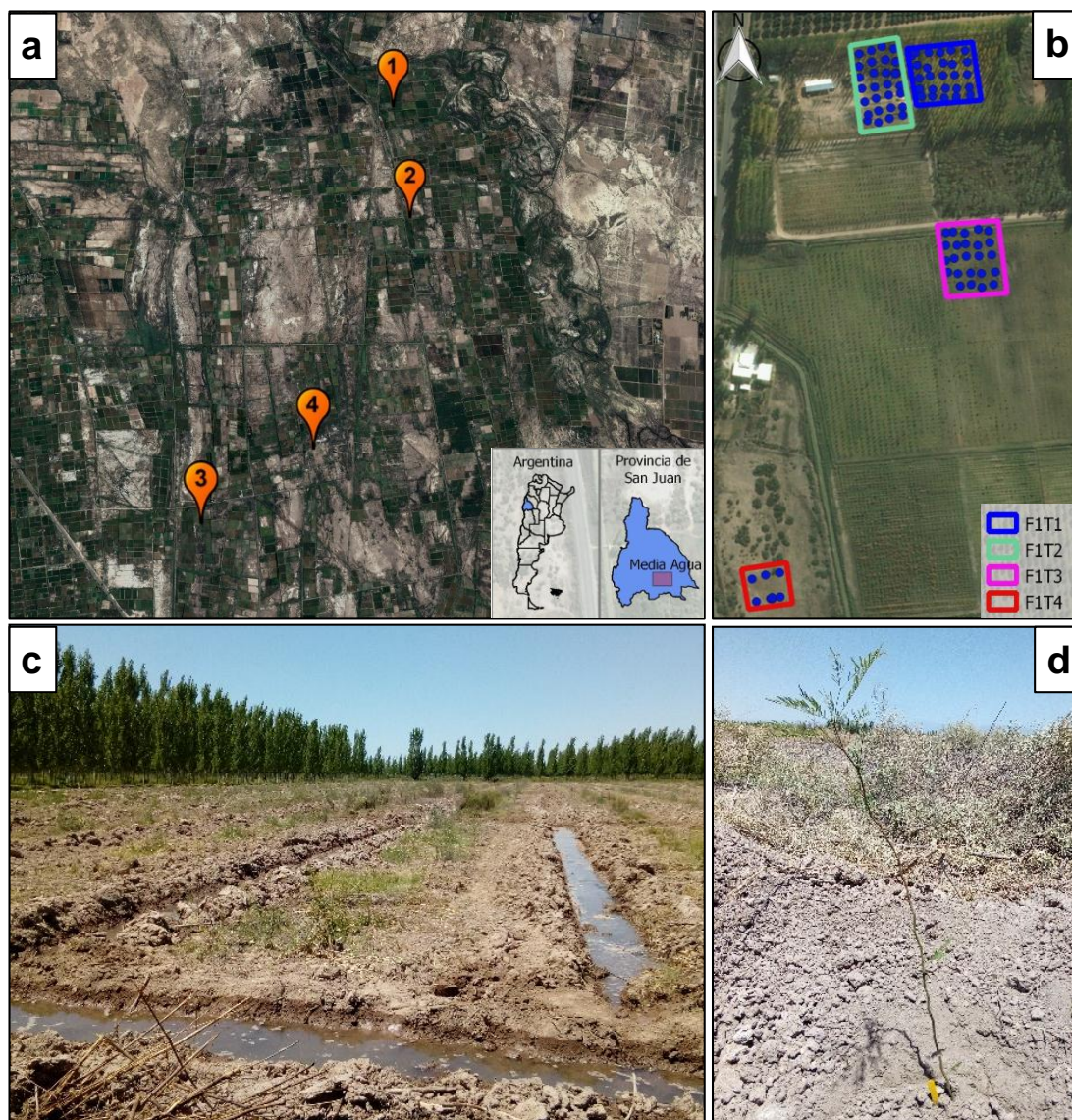


Figura 1. a. Imagen satelital con la ubicación de las cuatro fincas donde se realizan las forestaciones; se aprecian las tierras cultivadas que se alternan por los suelos salinizados. b. Delimitación de los tratamientos para la finca 1, considerando cuatro condiciones de salinidad de suelo. c. Ensayo de forestación para la finca 1; se ven los surcos de riego que alimentan la plantación. d. Plantín de algarrobo recién implantado en el suelo salino

Diseño experimental de la plantación

Se desarrolló la forestación de acuerdo al siguiente diseño experimental con los siguientes factores de comparación: a) **Dos especies:** *P. flexuosa* y *P. chilensis*; b) **Tres procedencias:** procedencia de ambientes altamente salinos (Chilecito), procedencia local (Mogna) y procedencia con alta tasa de crecimiento (Fiambalá), según ensayos previos (Cony and Trione 1996); y c) **Cuatro condiciones de salinidad** o tratamientos, según observaciones a campo: sitio con baja salinidad, apto para producción de álamos (T1), sitio con mediana salinidad, no apto para producción de álamos (T2), sitio con elevada salinidad (T3), sitio extremadamente salino (T4) (Fig. 1b). Los factores aleatorios fueron 4 fincas (F1, F2, F3, F4 consideradas repeticiones), 5 bloques y 20 plantas por repetición. Sobre las plantas se evalúa la supervivencia y crecimiento (Fig. 1d).

Mediciones ambientales

Suelos superficiales

Por finca, en los cuatro tratamientos de calidad de suelo se determinaron parámetros físico-químicos del suelo superficial. Este muestreo edáfico cubrió toda la superficie de las parcelas forestadas, mediante transectas lineales dispuestas en forma perpendicular a los surcos de implantación. En el 2016, se recolectaron suelos superficiales (<0,25 m prof.), usando barrenos manuales, en cada tratamiento de suelo (Fig. 2a). En el laboratorio (Fitoquímica del IADIZA-CCT-Mendoza) se analizó la conductividad eléctrica (CE), la textura, el pH, el contenido de sodio, calcio y magnesio de los suelos, a partir de métodos tradicionales (Carter et al. 2007). Los resultados obtenidos fueron diagramados con el Groundwater Modeling System (GMS 6.5 software) usando interpolación lineal. De esta manera, se obtuvo un valor de salinidad interpolado para cada planta de los ensayos. Mediante modelos de regresión logística se evaluó el efecto de variables explicativas (salinidad del suelo, especie y procedencia) sobre la supervivencia de plantas (variable de distribución binomial). A partir del criterio de información de Akaike (AIC), se seleccionó del conjunto de modelos el que presentó mejor ajuste (menor valor AIC).

Suelos profundos

En los cuatro tratamientos de calidad de suelo de cada finca se realizó un perfil edáfico profundo. Para ello, se tomaron sistemáticamente muestras de suelo (cada 0,25 m el primer metro, y luego cada 0,50 m) hasta alcanzar el nivel freático (2 a 4,5 m de profundidad), usando barrenos manuales (Fig. 2a). El perfil edáfico fue profundizado un metro por debajo del nivel freático para lograr acceder al agua subterránea en forma permanente. Después, se encamisaron 19 pozos con caños de PVC de 11 cm de diámetro (16 pozos del diseño experimental más 3 pozos en parcelas destinadas a tratamientos con aplicación de poda). Este trabajo fue llevado a cabo durante mayo del 2017. Las muestras de suelos recolectadas fueron secadas en estufa, mezcladas y molidas por estrato y luego se determinaron los parámetros físico-químicos (Fig. 2b).

Agua freática y superficial

Se realizaron muestreos freáticos en los pozos encamisados, utilizando un Bailer, en noviembre de 2017 y mayo de 2018 (Fig. 2c). También, se recolectó agua de canales de riego en la Finca 3 y 4 en mayo de 2018. Una vez en laboratorio, las muestras fueron analizadas mediante técnicas de espectrofotometría de absorción atómica, fotometría de llama, electrodos de ion selectivo para diversos elementos y métodos de titulación siguiendo los protocolos establecidos de los métodos estándares (APHA, 1992). Por su parte, se realizaron mediciones “*in situ*” de la conductividad eléctrica (CE) del agua freática, con el equipo multiparamétrico Thermo, desde mayo de 2017 a

agosto de 2018 con frecuencia bimensual (Fig. 2d). En estas campañas, se relevó la profundidad del nivel freático de cada pozo, previo al purgado.

Los resultados hidroquímicos se sometieron a controles de calidad que incluyeron el balance de aniones y cationes (Custodio y Llamas 1983). La información hidroquímica se representó mediante diagramas de Piper (Hem 1992) usando el software libre Easy-Quim 5.0.

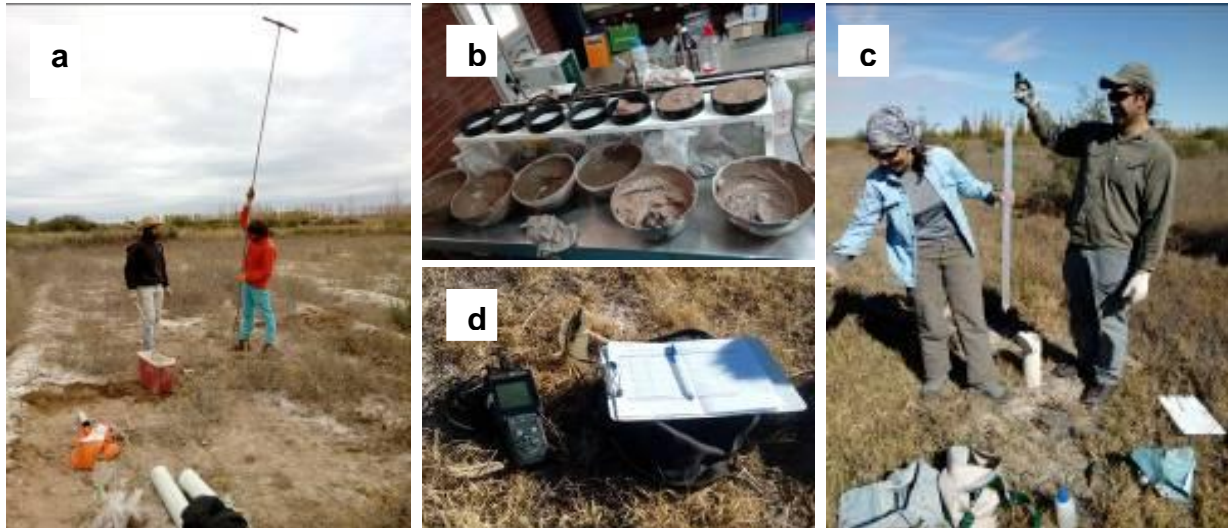


Figura 2. a. Muestreo de suelos, con barrenos manuales. b. Elaboración de la pasta de saturación para determinar la salinidad del suelo. c. Muestreo de agua subterránea de los pozos encamisados, utilizando el Bailer. d. Determinación de la conductividad eléctrica *in situ* del agua freática, con equipo multiparamétrico portátil

RESULTADOS Y DISCUSIONES

¿Se encuentra heterogeneidad espacial en los suelos superficiales?

Los suelos superficiales de la zona de Media Agua muestran variabilidad en sus niveles de salinidad. Los valores promedios de conductividad eléctrica fueron de 11,3; 15,8; 42,2 y 80,4 mS/cm para los T1, T2, T3 y T4, respectivamente (Fig. 3). Es importante destacar que los coeficientes de variación fueron elevados para las fincas analizadas (superan el 100% en F1 y F3), indicando heterogeneidad espacial.

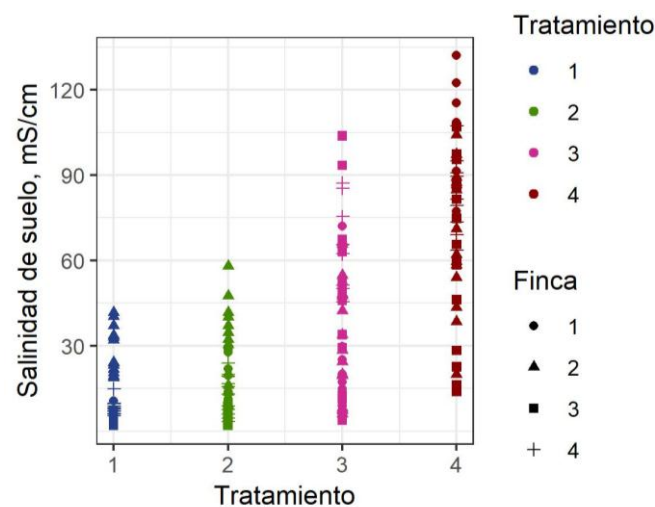


Figura 3. Salinidad del suelo superficial (0,25 m) para cuatro fincas de Media Agua implantadas con algarrobos, según cuatro condiciones de salinidad o tratamientos

Los análisis de interpolación espacial sustentan los resultados de heterogeneidad espacial, como se demuestra en los suelos de la finca 2 (Fig. 4). En un mismo tratamiento los Algarroberos implantados están sometidos a diferentes concentraciones de sales en la superficie (F2T3).

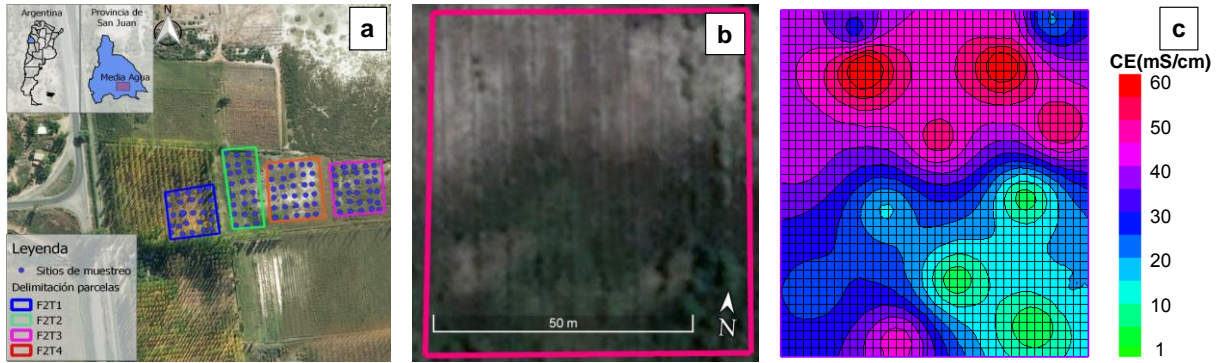


Figura 4. a. Delimitación de los tratamientos para la finca 2, considerando cuatro condiciones de salinidad de suelo. b. Imagen ampliada para F2T3, donde se realizó una implantación. c. Análisis de interpolación espacial con niveles de salinidad para F2T3

¿Cómo es la supervivencia de los algarroberos implantados en los suelos salinos?

La supervivencia de *P. flexuosa* y *P. chilensis* fue afectada negativamente por la salinidad de los suelos. En condiciones salinas y extremadamente salinas, como ocurre en T3 y T4, más del 50% de los plantines de las diferentes especies-procedencias muere al año de realizar la forestación. El análisis de regresión logística indica que la salinidad es el efecto con mayor importancia relativa sobre la supervivencia de los plantines (Fig. 5).

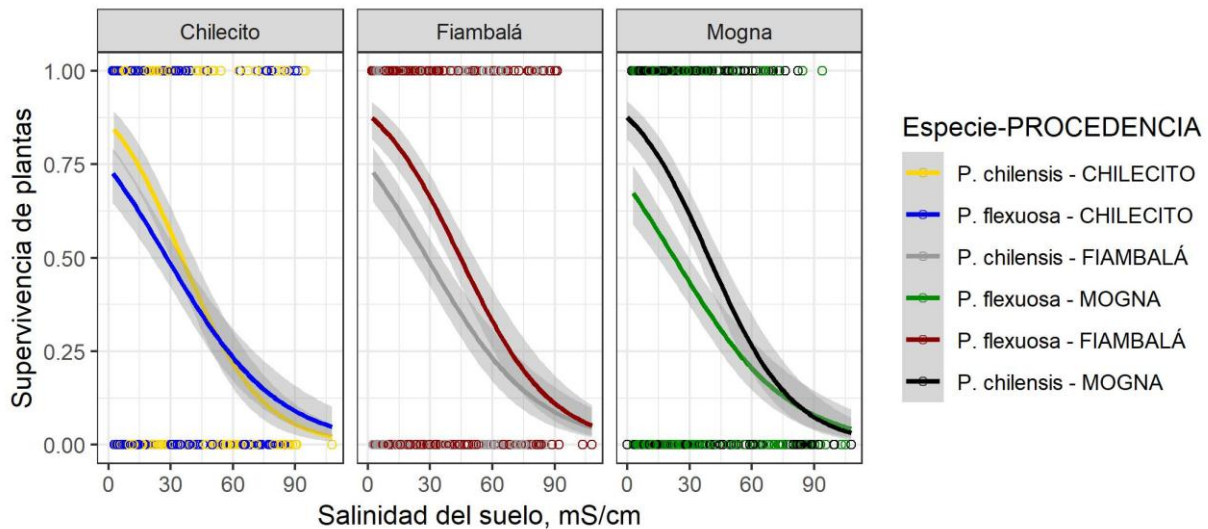


Figura 5. Efecto de la salinidad del suelo sobre la supervivencia de algarroberos de distintas procedencias

Los mejores modelos (menor AIC) fueron los que incluyeron la interacción de los efectos de la salinidad, especie y procedencia como variables explicativas de la supervivencia de las plantas (Tabla I). Esto sugiere que el incremento de la salinidad del suelo produce la disminución de la supervivencia de los algarroberos, aunque las especies y procedencias no serían afectadas de igual manera (Fig. 5). Al primer año de realizar la forestación, *Prosopis flexuosa* de Fiambalá muestra mayor porcentaje de supervivencia bajo condiciones salinas comparada con las otras procedencias evaluadas. El análisis de la forestación en un mayor periodo de tiempo permitirá evaluar la evolución de estas respuestas de supervivencia.

Tabla I. Selección de modelos logísticos para evaluar el efecto de la salinidad, especie y procedencia sobre la supervivencia de algarrobos. Los modelos se ordenaron de acuerdo al peso de Akaike (wAIC). dAIC es la diferencia de AIC con el mejor modelo (mínimo AIC); gl son los grados de libertad.

Modelos para la supervivencia	gl	AIC	dAIC	wAIC
~ Salinidad + Especie * Procedencia	7	1983,82	0,00	0,72
~ Salinidad * Especie * Procedencia	12	1985,72	1,91	0,28
~ Salinidad	2	2007,95	24,14	0
~ Salinidad * Especie	4	2007,98	24,16	0
~ Salinidad + Especie	3	2008,77	24,95	0
~ Salinidad + Procedencia	4	2008,91	25,09	0
~ Salinidad * Procedencia	6	2012,60	28,78	0
~ Procedencia * Especie	6	2585,55	601,73	0
~ Nulo	1	2601,24	617,42	0
~ Especie	2	2602,17	618,35	0
~ Procedencia	3	2603,01	619,19	0
~ Procedencia + Especie	4	2603,95	620,13	0

La evidencia de que la salinidad del suelo afecta la supervivencia y los diferentes procesos metabólicos de las plantas, como lo son la asimilación de CO₂, la síntesis de proteínas, la respiración, las relaciones hídricas, entre otros, se conoce desde hace mucho tiempo (Munns and Tester 2008, Negrão et al. 2017). Estos efectos causan, entre otros problemas, la disminución de la energía disponible para mantener el crecimiento y desarrollo de las plantas (Munns and Tester 2008, Taleisnik and Launstein 2011). El análisis preliminar de supervivencia de algarrobos bajo diferentes intensidades de salinidad del suelo nos muestra que hay procedencias de algarrobos que podrían soportar mejor las concentraciones elevadas de sales.

¿Hay salinización de los suelos profundos?

El análisis de salinidad del suelo, hasta alcanzar el nivel freático, mostró un patrón similar para los distintos perfiles edáficos, con niveles de CE que descienden con el incremento de la profundidad del suelo. Los mayores valores de CE fueron encontrados en las capas superficiales de T3 y T4, en concordancia con las observaciones a campo para el establecimiento de los ensayos de forestación (Fig. 6). No obstante, tales tratamientos extremos mantienen altas concentraciones de sales (>20 mS/cm) aún en profundidad. Estos resultados nos resaltan que la salinización del suelo es un problema que afecta tanto las capas superficiales como profundas.

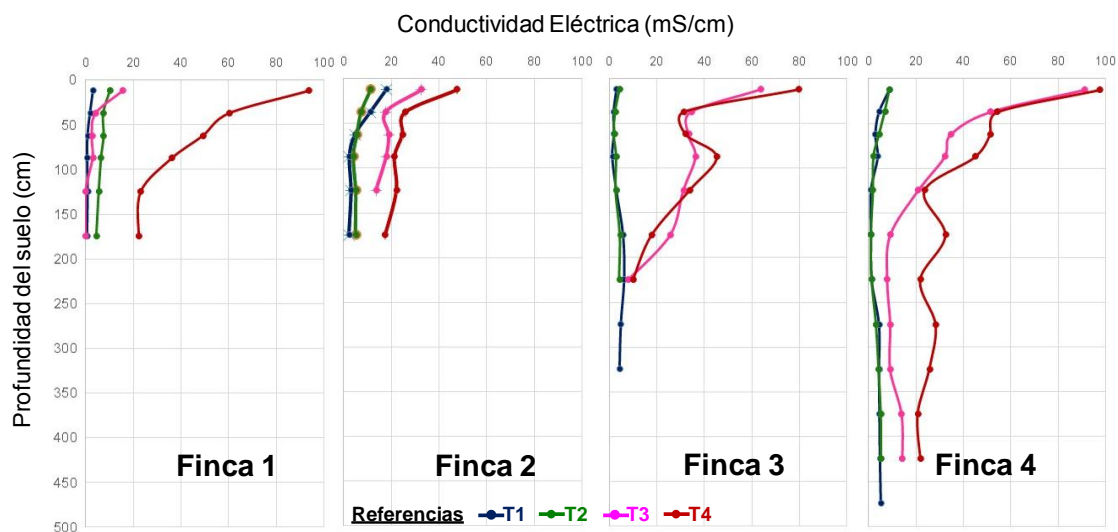


Figura 6. Variación de la salinidad en el perfil edáfico para cuatro fincas de Media Agua implantadas con algarrobos, según cuatro condiciones de salinidad o tratamientos

¿Cómo es la textura del suelo en las forestaciones?

El análisis textural fue variable en los distintos ensayos de forestación, mostrando cambios con la profundidad (Fig. 7). Los suelos de la finca 1 fueron de granulometría más gruesa, incluyendo perfiles edáficos arenosos, franco arenosos y francos. En la finca 2, los suelos de menor salinidad (T1 y T2) se relacionaron con texturas franca y arenosa, mientras que a mayor salinidad (T3 y T4) se asociaron las texturas franco arcillo limosa y franco limoso. En la finca 3, se encontraron los perfiles edáficos con las granulometrías más finas, predominando las texturas franco arcillo limosas, franco arcillosas e incluso arcillosas en profundidad. La finca 4 se caracterizó por suelos francos, franco arenosos y arenosos.

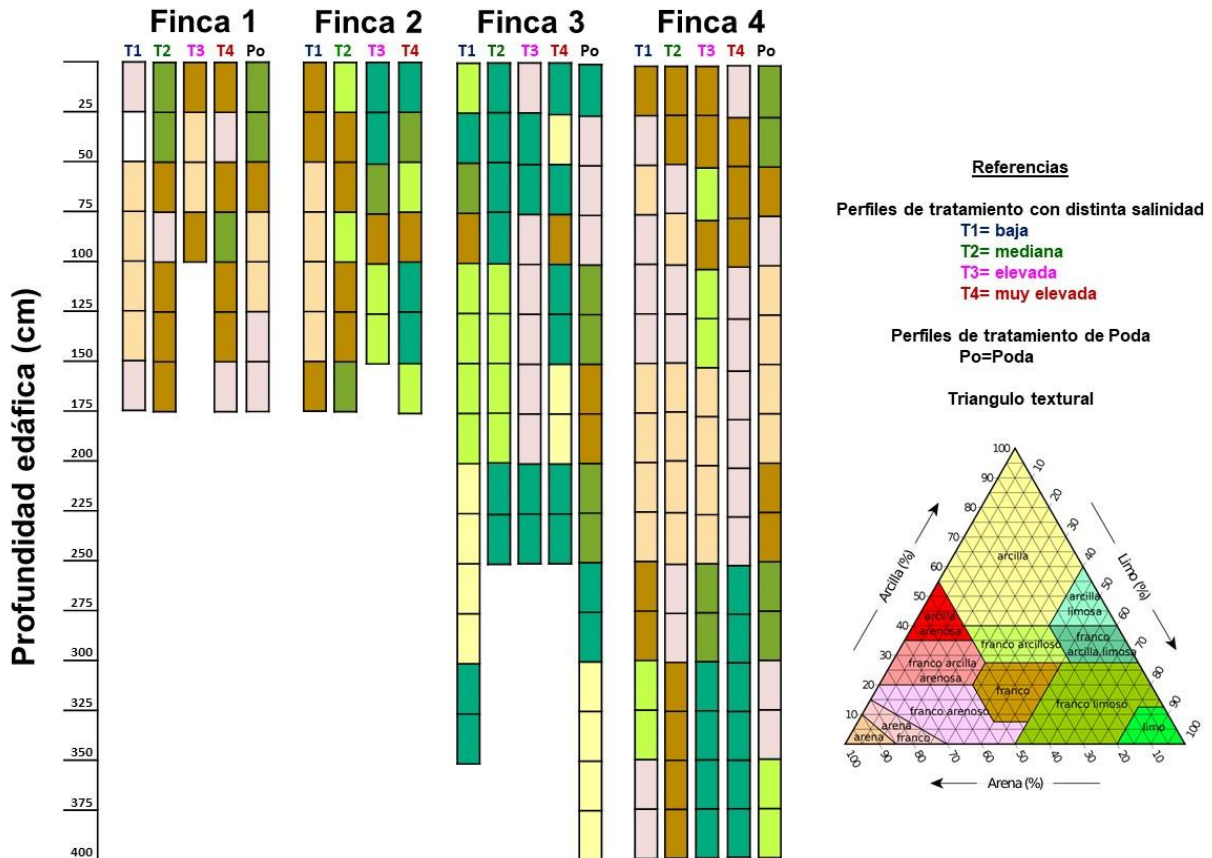


Figura 7. Variación de la textura en el perfil edáfico para cuatro fincas de Media Agua implantadas con algarrobos, según cuatro tratamientos con distinta salinidad.

Uno de los efectos de la salinización sobre la textura del suelo es la dispersión de las arcillas o desintegración de agregados los cuales causan el encostramiento y endurecimiento de la superficie del suelo. En los tratamientos extremos (T3 y T4) de los ensayos de forestación es común encontrar este tipo de encostramiento que reducen la infiltración del agua y los procesos de aireación. Consecuentemente, estos daños de la estructura del suelo y los problemas de infiltración del agua afectan la supervivencia y crecimiento de las plantas (Metternicht and Zinck 2003, Chenchouni 2017).

¿Cómo es la salinidad del agua freática en las distintas forestaciones?

Las mediciones de conductividad eléctrica “*in situ*” del agua subterránea para las distintas fincas indican que este recurso hídrico es variable espacial y temporalmente en la zona de Media Agua. En la finca 1 (con niveles estáticos a 1,50 m de profundidad en promedio), los pozos presentan valores de CE inferiores a 8,50 mS/cm durante todo el año; a excepción del F1T4 que es el más salino (60 mS/cm en promedio). En la finca 2 (con niveles estáticos a 1,0 m de profundidad), la

CE de la freática aumentó con los tratamientos o calidad de suelo de las forestaciones, alcanzando para F2T3 y F2T4 valores de 24,2 y 16,7 mS/cm, respectivamente. En la finca 3 (con niveles estáticos a 2,4 m de profundidad), los pozos presentan valores de salinidad similares entre sí y cercanos a los 7 mS/cm, aunque F3T4 es levemente superior. En la Finca 4 (con niveles estáticos a 4 m de profundidad), el agua subterránea presenta valores de CE que incrementan con los tratamientos de salinidad de suelos (Fig. 8).

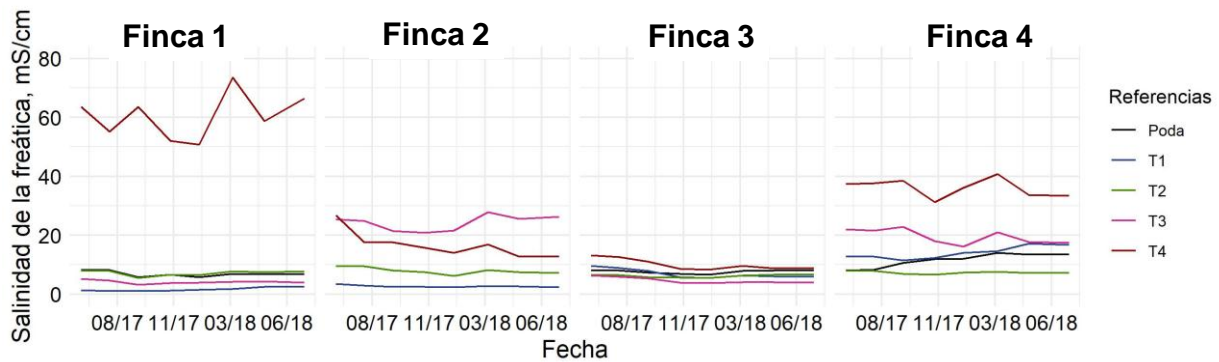


Figura 8. Niveles de salinidad del agua freática para cuatro fincas de Media Agua implantadas con algarrobos, según cuatro tratamientos con distinta salinidad.

La profundidad de la freática y la calidad del acuífero son aspectos hídricos de relevancia para encarar las forestaciones. En el caso de las plantaciones con algarrobos de Media Agua, la freática es relativamente superficial (entre 1 y 4 m de profundidad); por lo que, si las especies implantadas logran acceder a este reservorio de agua más estable, las probabilidades de supervivencia pueden aumentar. *Prosopis sp.* posee características particulares como son la gran plasticidad fenotípica y fisiológica y su capacidad de acceder al agua subterránea mediante su profuso sistema radicular (freatofismo) (Villagra et al. 2011, Meglioli et al. 2016). No obstante, como indican los resultados, la salinidad del agua freática es variable (Fig.8), lo que puede limitar la disponibilidad del agua para los algarrobos en casos de salinización muy extremos, como ocurre en T3 y T4. El monitoreo de la red de pozos en las forestaciones a largo plazo, sin duda nos ayudará a comprender la dinámica de fluctuaciones freáticas y los periodos críticos de mayor salinidad del acuífero.

¿Qué características químicas tiene el recurso hídrico en las distintas forestaciones?

Mediante el análisis del diagrama de Piper se clasifica las aguas freáticas como sulfatada sódica (Na-SO₄) en la mayoría de los sitios forestados. Se excluyen de esta tipología las aguas pertenecientes al tratamiento F1T1 cuyas aguas son del tipo Ca-HCO₃-SO₄; F1T3 del tipo Ca-Na-SO₄ y F2T1 del tipo Ca-SO₄ en ambos periodos de muestreo. Las aguas pertenecientes al tratamiento F3T3 presentaron una tipología Na-Mg-SO₄ durante el periodo 2017 pasando a Na-SO₄ durante 2018. En relación con las aguas utilizadas para el riego, las mismas son del tipo bicarbonatadas cálcicas (Fig. 9).

El ascenso del agua subterránea a través de la capilaridad puede elevar los niveles de salinidad de las capas más profundas. Una vez que el agua se evapora, las sales se acumulan en la capa superficial de acuerdo con su química: CaCO₃ en niveles más bajos; yeso, carbonato de sodio y Na₂SO₄ en niveles intermedios; y finalmente Na⁺ y Ca²⁺ y nitratos en los niveles superiores. Esto puede formar costras de sal en la superficie del suelo, como se observa en los tratamientos de salinidad extremos.

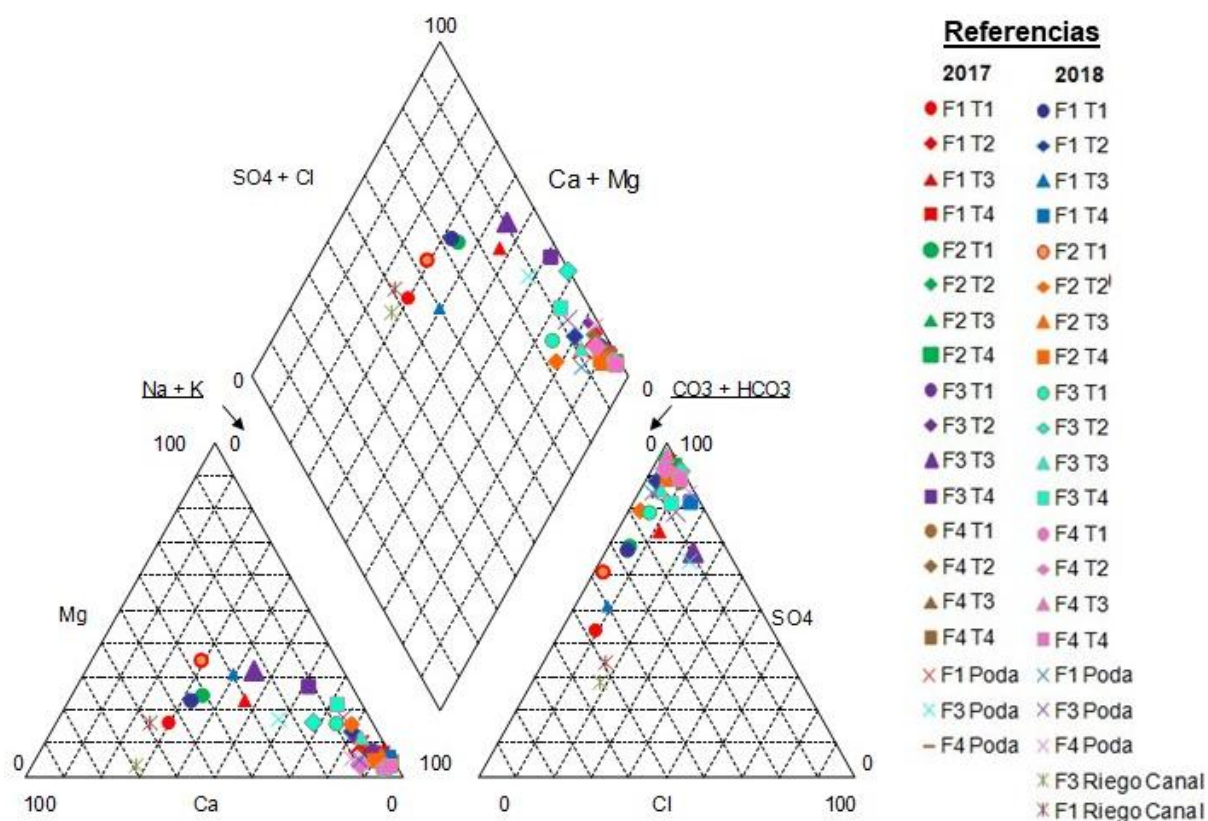


Figura 9. Diagrama de Piper para muestras de agua subterránea y de riego en fincas de Media Agua implantadas con algarrobos, según tratamientos con distinta salinidad de suelos.

CONCLUSIONES

A partir de esta investigación se han documentado los esfuerzos del grupo de trabajo y del personal de la empresa “Frutos del Sur” para comprender mejor los factores ambientales que inciden en la potencialidad de restauración de los suelos con problemas de salinización. Si bien los resultados preliminares presentados pueden no ser del todo concluyentes, arrojan luz hacia el entendimiento de cuáles son las condiciones ambientales que afectan las plantaciones de *Prosopis* en Media Agua.

La restauración de suelos salinizados en el oasis de Cuyo, mediante las forestaciones con algarrobos, necesita de estudios interdisciplinarios que amplíen nuestro conocimiento no tan sólo de las especies y procedencias a utilizar, las prácticas y tecnologías adecuadas de implantación, sino también de los factores ambientales con mayor incidencia en la recuperación productiva. En este sentido, este trabajo contribuye con información de relevancia geológica, hidrológica y edafológica para sustentar las forestaciones con algarrobos en Media Agua. La necesidad de encontrar umbrales de tolerancia a la salinidad de las distintas especies procedencia de *Prosopis* del Monte se convierte en una apasionante línea de trabajo para maximizar la eficiencia de restauración de los suelos salinizados.

El monitoreo ambiental de las plantaciones de Media Agua en el largo plazo podría orientar los esfuerzos hacia el perfeccionamiento y la implementación de herramientas y metodologías apropiadas que incluyan las mediciones de las variables ambientales relacionadas con las respuestas de supervivencia y el crecimiento de los algarrobos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al personal de la Empresa Frutos del Sur S.A, la Fundación Tikún por su contribución con los terrenos para los ensayos, la logística de las actividades. A las familias de las fincas de Media Agua donde se realizan las forestaciones, especialmente a Don Américo, Norma, Miguel, Marcelino, Agustín, Alberto que nos ayudan con el mantenimiento de las plantaciones. A Patricia Baldaccini, Érica Cesca, Hugo Debandi, Gualberto Zalazar, Diego Zeverini, Gisela Rábida, Cecilia Vega Riveros, Vanesa García, Georgina Marianetti, Sofia Hinrich, Alisa Álvarez, Vladimir Matskovsky por su contribución en el seguimiento de los ensayos en diversas campañas. Estos estudios recibieron financiamiento de CONICET, Universidad Nacional de Cuyo (Programa I+D+I Resol. 571/2015), UCAR- Ministerio de Agroindustria (PIA 14060).

REFERENCIAS

- Alvarez, J. A., and Villagra. P. E. *Prosopis flexuosa* DC. (Fabaceae, Mimosoideae) Juan. *Kurtziana* 35, 49–63 (2009).
- APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington DC. (1992).
- Bhuiyan, M. S., Raman A. and Hodgkins D. S. Plants in remediating salinity-Affected agricultural landscapes. *Proceedings of the Indian National Science Academy* 83,51–66 (2017).
- Carter, M. R., Gregorich, E. G, Pennock, D. Yates, T. and Braidek. J. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Second Edition. Page Measurement. (2007).
- Chenchouni, H. Edaphic factors controlling the distribution of inland halophytes in an ephemeral salt lake “ Sabkha ecosystem ” at North African semi-arid lands. *Science of the Total Environment* 575, 660–671 (2017).
- Cony, M. A. Reforestacion racional de zonas aridas y semiaridas con arboles de multiples propositos. *Interciencia* 20,249–253 (1995).
- Cony, M. A., and Trione, S. O. Germination with respect to temperature of two Argentinian *Prosopis* species. *Journal of Arid Environments* 33, 225–236 (1996).
- Custodio, E. and Llamas, M.R.. *Hidrología subterránea*. Sección 4. Principios básicos de química y radioquímica de aguas subterráneas. 177-282 (1983).
- D’Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., and Runyan, C.W. Global desertification, Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources* 51, 326–344 (2013).
- Debez, A., Belghith, I., Friesen, J. Montzka, C. and Elleuche, S. Facing the challenge of sustainable bioenergy production: Could halophytes be part of the solution? *Journal of Biological Engineering* 11, 1–19 (2017).
- Fernández, M. E., Passera C. B., and Cony, M. A. Sapling growth, water status and survival of two native shrubs from the Monte Desert, Mendoza, Argentina, under different preconditioning treatments. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 48,33–47 (2016).
- Ferrari, A. E., and Wall, L. G. Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía La Plata* 105,63–87 (2004).

- Guida-Johnson, B., E. M. Abraham, and Cony, M. A. Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: Perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 49, 205–215 (2017).
- Hem, D. Study and Interpretation the Chemical of Natural of Characteristics Water. Text 2254, 263 (1992).
- Meglioli, P. A., Villagra, P. E. and Aranibar J. N.. Does land use change alter water and nutrient dynamics of phreatophytic trees in the Central Monte desert? *Ecohydrology* 9, 738–752 (2016).
- Metternicht, G. I., and Zinck, J. A. Remote sensing of soil salinity, Potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment* 85, 1–20 (2003)
- Mirzabaev, A., Nkonya, E. and von Braun. J. Economics of sustainable land management. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 15, 9–19 (2015).
- Munns, R., Tester, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651–681 (2008).
- Negrão, S., Schmöckel, S. M. and Tester, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany* 119, 1–11 (2017).
- Qadir, M., Oster, J. D., Schubert, S., Noble, A. D. and Sahrawat, K. L. Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils. *Advances in Agronomy* 96, 197–247 (2007).
- Singh, G. 2009. Salinity-related desertification and management strategies: Indian experience.
- Taleisnik, E., and Launstein, D. L. Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. Una sinopsis de la contribución Argentina a este tema. *Ecologia Austral* 21, 3–14 (2011).
- Villagra, P. E., Giordano, C. Alvarez, J. A. Cavagnaro, J. B. Guevara, A. Carmen, S. Passera, C. B. and Greco. S. Ser planta en el desierto: Estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecologia Austral* 21, 29–42 (2011).
- Villagra, P. E., Passera, C. B., Greco, S., Sartor, C., Aranibar, J. N., Meglioli, P. A., Alvarez, J. A., Allegretti, L., Fernández, M. E., Cony, M. A., Kozub, P. and Vega Riveros, C. Uso de plantas nativas en la restauración y recuperación productiva de ambientes salinos de las zonas áridas de la región del Monte, Argentina. *Ambientes salinos y alcalinos de la Argentina*. 419–444 (2017).
- Zuleta, G., Rovere, A. E., Pérez, D., Campanello, P. I., Guida Johnson, B., Escartín, C. Dalmasso A., Renison, D., Ciano, N. and Aronson, J. Establishing the ecological restoration network in Argentina: From Rio1992 to SIACRE2015. *Restoration Ecology* 23,95–103 (2015).

ARQUITECTURA FLUVIAL Y ANÁLISIS ESPACIAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO DE USO LIBRE

Paredes V. N.^a y Herrera Oviedo E. P.^b

^aAlumna de la Licenciatura en Ciencias Geológicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, ARGENTINA

^bCátedra de Geología Regional, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, ARGENTINA

e- mail: vanish.0013@gmail.com

RESUMEN

El siguiente trabajo, describe la estratigrafía en perfiles que quedaron expuestos debido al trazado de un nuevo acceso a la capital de Jujuy y la superposición de fotografías montadas a partir de un DEM (Digital Elevation Model). Dichos perfiles, están ubicados en barrio los Huaicos, en la ciudad de San Salvador de Jujuy, en frente del edificio de Rectorado de la UNJu. El montaje DEM se realizó mediante fotografías usando el Drone (Hoverdrone I-Drone 2.0) y la cámara Panasonic DMC-FH12. Se seleccionó un bacht de imágenes satelitales desde el año 2004-2018 inclusive, provistas por Google Earth. La descripción geológica consistió, en la medición de los espesores, dirección de inclinación de los estratos y recolección de muestras, para su posterior análisis sedimentológico y petrográfico. En laboratorio, se separaron las fracciones con malla 0,50 mm, que luego se analizaron en la lupa Leica S series, para la interpretación de la arquitectura fluvial. Por último, se realizó el montaje de datos, en el software de distribución gratuita QGIS, diferenciando las condiciones ambientales que llevaron a la formación de esta secuencia. El análisis de los perfiles levantados, se presenta en una reconstrucción altimétrica 3D, la cual ha posibilitado identificar facies arenosas finas en la base, facies más gruesas de arena en la mitad de la secuencia, culminando en una gradación normal compuesta por conglomerados de fracción media, hacia el techo, marcado por una base erosiva de canales, para un ambiente fluvial.

Palabras Clave: perfiles, DEM, ambiental.

INTRODUCCION

El uso de Modelos de Elevación Digital (DEM) combinado para el análisis de la topografía, paisaje y geoformas se ha incrementado, gracias a los datos e imágenes satelitales, provenientes de Sistemas de información geográfica de distribución gratuita que posibilitan la generación de estos modelos y redimensionan los estudios relativos al modelado de procesos hidrológicos, movimientos de masa e inundaciones (Roa Lobo et al 2007). Las imágenes de satélite han demostrado ser una herramienta importante en la exploración

geológica – minera, las imágenes de satélite se han aplicado con mucho éxito en la geología estructural, los mosaicos de estas permiten la detección de grandes rasgos lineales y en los últimos años la aparición de una serie de sensores multiespectrales e hiperespectrales, han permitido discriminar entre distintos tipos de litológica, identificar minerales como la alunita, illita, clorita, caolinita, epidota, óxidos, entre otros. Las imágenes satelitales también son utilizadas en la elaboración de mapas geomorfológicos, actualización de cartas geológicas y mapas de subsidencia (Felicimo 1993). La utilización de drones presenta numerosas ventajas desde el punto de vista geológico para la obtención de información de los afloramientos, el cálculo y análisis de diferentes parámetros sobre la superficie terrestre o el estudio de las formas del terreno, entre otros. La diversidad de posibilidades que ofrece hace extensivo su uso en las diferentes ramas de las ciencias de la Tierra, gracias a las diferentes tecnologías que pueden incorporar —sensores láser, radar, sónar, sondas atómicas, cámaras, etc. Además se emplean para la elaboración de vídeos, modelos 3D y fotografías con puntos de vista y perspectivas diferentes que pueden ayudar a la visualización de estructuras complejas, permitiendo la interacción con el público. (Lozano 1994).

UBICACION

El área de estudio, está ubicado, en barrio los Huaicos de la Ciudad de San Salvador de Jujuy, departamento Dr. Manuel Belgrano, Provincia de Jujuy, Argentina. En los márgenes, de los recientes accesos a la ciudad cultural, frente del Rectorado de la Universidad nacional de Jujuy (Fig.1), coordenadas: Latitud: 24°10'49.62" S, Longitud: 65°19'35,82" O.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Materiales y métodos

Materiales:

1. Cinta métrica de 30 mt
2. Brújula geológica :Brunton
3. Celular con aplicaciones Map marker- Google earth- Drone AR FReeFLIGHt 2.4.15
4. Piqueta
5. Bolsa de muestras
6. EPP (casco, guantes, chaleco reflectivo naranja, gafas de seguridad 3M transparente).



Figura 1. Mapa geológico de ubicación de área de estudio, con Mesofacies de abanicos AA, de color lila y Mesofacies de cuerpo de canal CC, de color azul. Escala 1:3400 con base de imagen ESRI, La flecha azul indica el Norte.

7. Cámara Panasonic DMC-FH12.con diferentes perspectivas.
8. Drone (Hoverdrone I-Drone 2.0)

Métodos

Tareas de campo

1. En la primera etapa de las tareas de campo se tomó puntos previamente definidos de latitud y longitud, creando un registro de coordenadas y altitudes del área, mediante el uso de la aplicación y programa de uso libre y gratuito, Map Marker.
2. Se tomaron fotografías de la zona, empleando el Drone (Hoverdrone I-Drone 2.0) y la cámara Panasonic DMC-FH12.con diferentes perspectivas (Fig. 5).
3. En el perfil, se realizó la descripción y medición, de los espesores de los estratos.
4. Posteriormente se realizó un muestreo sistemático para realizar estudios sedimentológicos y petrológicos de los niveles.

Tareas de laboratorio

1. Para cada perfil levantado se efectuó una descripción de las litofacies y aflorantes (Tabla 1).
2. Para el grafico del perfil y la correlación se empleó el programa SedLog (Fig.6).
3. Se utilizó el programa Qgis para la elaboración de mapas geológico a diferentes escalas (Fig. 7).
4. Se proyectaron las fotografías de la cámara y el Drone en el programa Google Earth PRO (Fig8).
5. Se realizó un corte petrográfico de la muestra clasificada como limo-arenosa.

6. A partir de los datos obtenidos se elaboró un mapa geológico con indicación de contactos y facies.
7. Posteriormente se efectuó un análisis de las facies sedimentarias y su arquitectura, con la finalidad de realizar una reconstrucción paleoambiental.

DESARROLLO

ESTRATO 1

El nivel está compuesto por arenas con alternancia de bancos de limo arcilla de grano muy fino a medio, el contacto es neto. Se observa una variación de coloración parda rojiza (tabla 1). La superficie de separación con el siguiente estrato, es erosiva, se marca dos niveles (indicados en la Fig., como N1 y N2 respectivamente) que se distinguen por su espesor, continuidad y grado de consolidación.

N1: Se intercalan niveles conglomerádicos sub- redondeados compactos y de forma lenticular. Se aprecia una variación en el espesor, acuñaamiento lateral (tabla 1). En la base se observa pequeños conglomerados redondeados. Además se distinguen niveles sub redondeados de conglomerados compactos (Fig. 2).

N2: Se observan niveles conglomerádicos y arenosos granodecreciente y con acuñaamiento lateral. (Fig. 3)

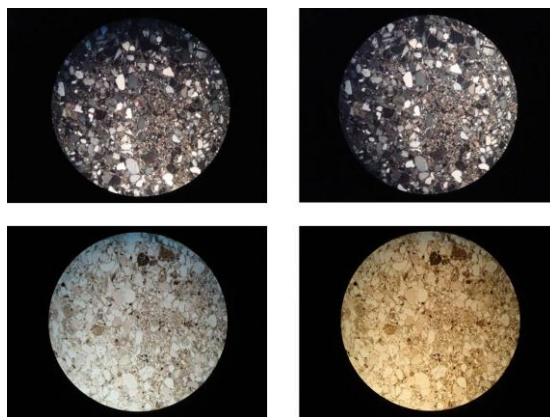


Figura 2. Imagen de corte petrográfico de arenisca de nivel 2.

ESTRATO 2

Constituido por variados tamaños de clastos y con mayor proporción de conglomerados del tamaño bloque (hasta de un metro de espesor). Se encontraron grandes fragmentos de rocas cuarcíticas (posiblemente pertenecientes al Grupo Mesón). Con intercalaciones niveles cuarcíticos y pelíticos, se observa acuñaamiento, (se reducen los espesores de varios niveles y algunos hasta desaparecen) de granodecreciente (tabla 1).

ESTRATO 3

Nivel arena de grano fino, de coloración pardo rojiza, maciza. (tabla 1).



Fig.3: Niveles de referencias. N1 (en negro) y N2 (en azul).

ANALISIS LITOFACIAL

El modelo de análisis facial y la nomenclatura utilizada han sido desarrollados modificando los modelos litofaciales propuestos por Miall, (1977) y por Bossi (2007), con la finalidad de establecer un criterio que permita la interpretación arquitectural. Los perfiles relevados fueron analizados con la finalidad de agrupar a las secuencias estratigráficas originales en facies. Cada facies fue denominada utilizando una letra mayúscula correspondiente a su litología, y una o dos letras minúsculas acompañantes que expresan las estructuras y/o composición de las secuencias descriptas (Fig.4).

Litologías principales identificadas:

S (Areniscas)

L (Limolitas)

F (Arcilitas)

C (Conglomerados)

Calificativos faciales más importantes:

m (Maciza)

p (Laminación paralela)

g (Textura gruesa)

Mesofacies: (Interpretación ambiental y facies comprendidas):

AA (Abanico Aluvial, Cg-Sm-Sp-Lm-Lp)

CC (Cuerpo Canal, Cg-Sm-Sp-Lm-Lp)



Fig.4: Análisis Facial. Mapa geológico con Mesofacies de abanicos AA, indicado con el número 1 y 2 y Mesofacies de cuerpo de canal CC, indicado con el número 3. Fotografía de Drone.



Fig 5.Imagen utilizando el dron para el montaje.

Tabla 1: Descripción de facies y asociación de mesofacies.

Estrato- espesor	Litologías	Estructura	Mesofacies	Descripción
ESTRATO 3-2,3 m	S	m	CC	Arenisca fina, sin estratificación, muy erosionables, poco consolidado. Depositación no afectada por procesos tectónicos, pero si por la erosión fluvial.
ESTRATO 2-1,2m	C	p	AA	Conglomerado medio a grueso, (incluyendo bloques). Depositado de forma muy caótica y a media que disminuye su espesor grano decreciente. Depositación no afectado por procesos tectónicos.
ESTRATO 1-3m	S	m	AA	Arena Fina. Consolidada. De color naranja amarillento
	C	p	CC	Conglomerado Fino con lentes de arena media (poco consolidada). De color castaño grisáceo
	S	m	AA	N2- Arena Media. Consolidada. De color castaño amarillento pálido.
	S	m	AA	Arenas Finas, cuarzosas, muy compactas. Con algunas intercalaciones de Conglomerados Finos. De color naranja rojizo
	Scg	p	AA	N1- Arena muy Fina, consolidada con intercalaciones de niveles conglomerádicos. De color castaño amarillento pálido.
	S	m	AA	Arenas Muy Finas, con niveles compactos. De colores castaños claros y amarillentos pálidos.
	S	p	AA	Arena Media a gruesa. Estrato muy obliterado, no es posible diferenciar niveles menores.
	S	m	AA	Arenas Muy Finas, niveles compactos limoarcillosa. De colores castaños claros y amarillentos pálidos.
	S	p	CC	Arena Media levemente consolidada. Con algunos pequeños conglomerados. De color gris castaño claro.
	S	p	CC	Arenas Muy Finas, niveles compactos. De colores castaños claros y amarillentos pálidos.
	F	m	AA	arcilla, medianamente consolidada. Con algunos pequeños conglomerados. De color gris castaño claro.
	S	m	AA	Arenas Muy Finas, niveles compactos. De colores castaños claros y amarillentos pálidos.
	LF	m	AA	Limoarcilla con algunas intercalaciones de Conglomerados Finos. De color naranja rojizo

RESULTADOS

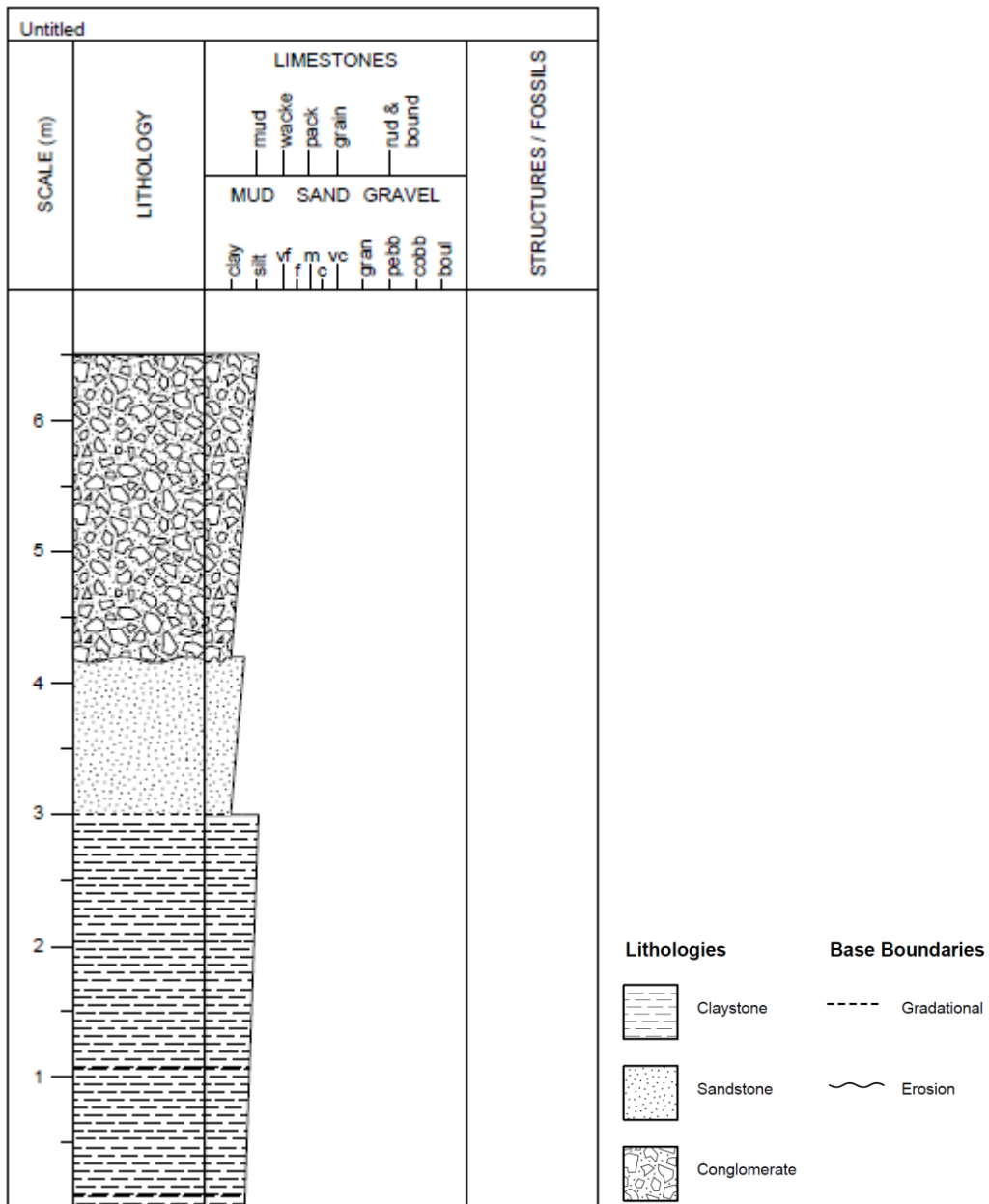


Figura 6. Perfil estratigráfico realizado con el programa SEDLOG. Escala 1:100

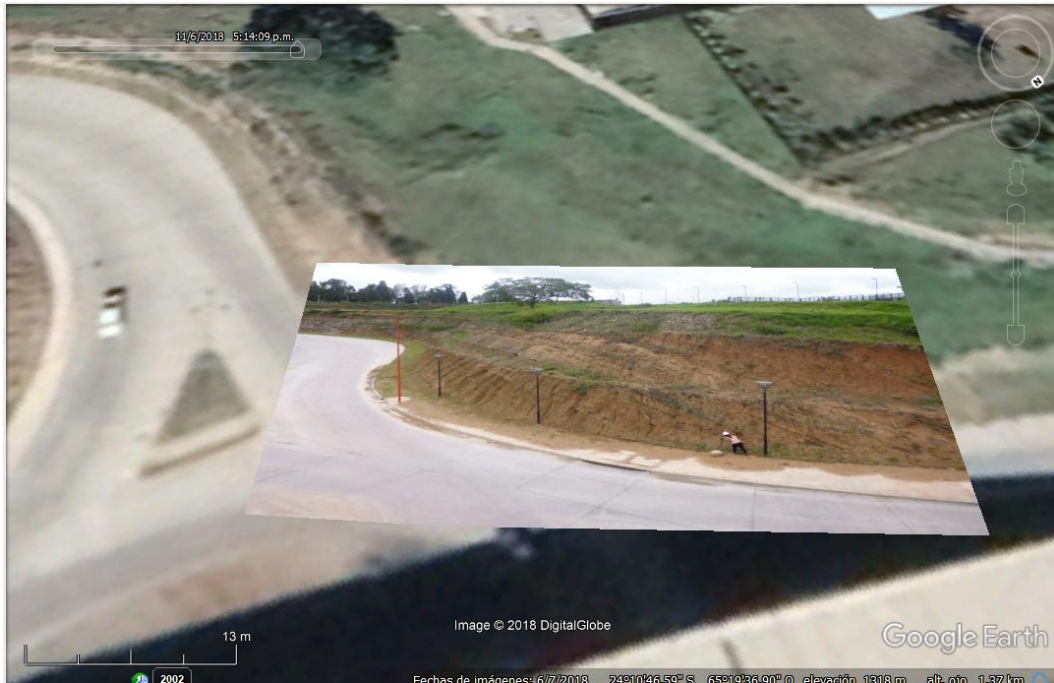


Figura 7. Proyección de imagen en Google earth Pro (DEM), en margen superior derecho se observa el norte, el poste de luz sirve de escala, además se eligió la imagen con un auto, en el borde izquierdo inferior.



Figura 8. Proyección de imagen en Google earth Pro (DEM), en perspectiva se ubica el árbol con la fotografía, con los niveles medios y superiores, mesofacias AA y mesofacias CC.

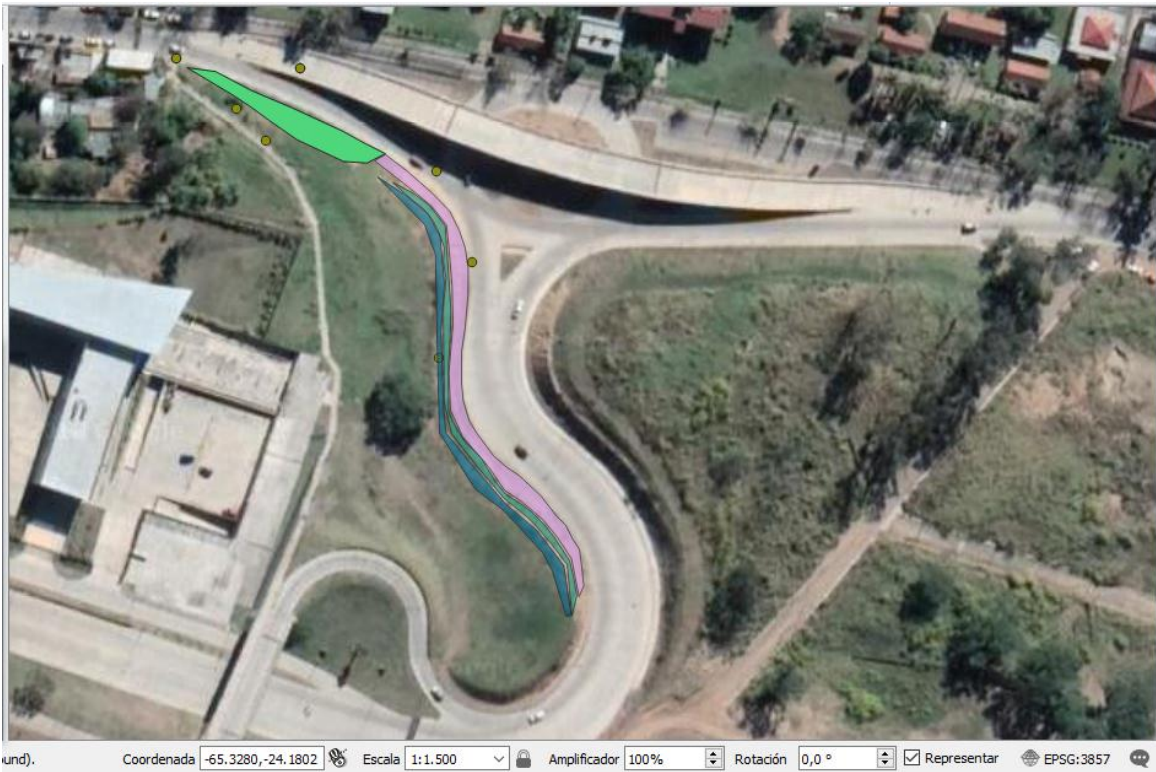


Figura 9. Mapa geológico con Mesofacias de abanicos AA, de color lila y Mesofacias de cuerpo de canal CC, de color azul. Escala 1:1500 con base de imagen Google earth.

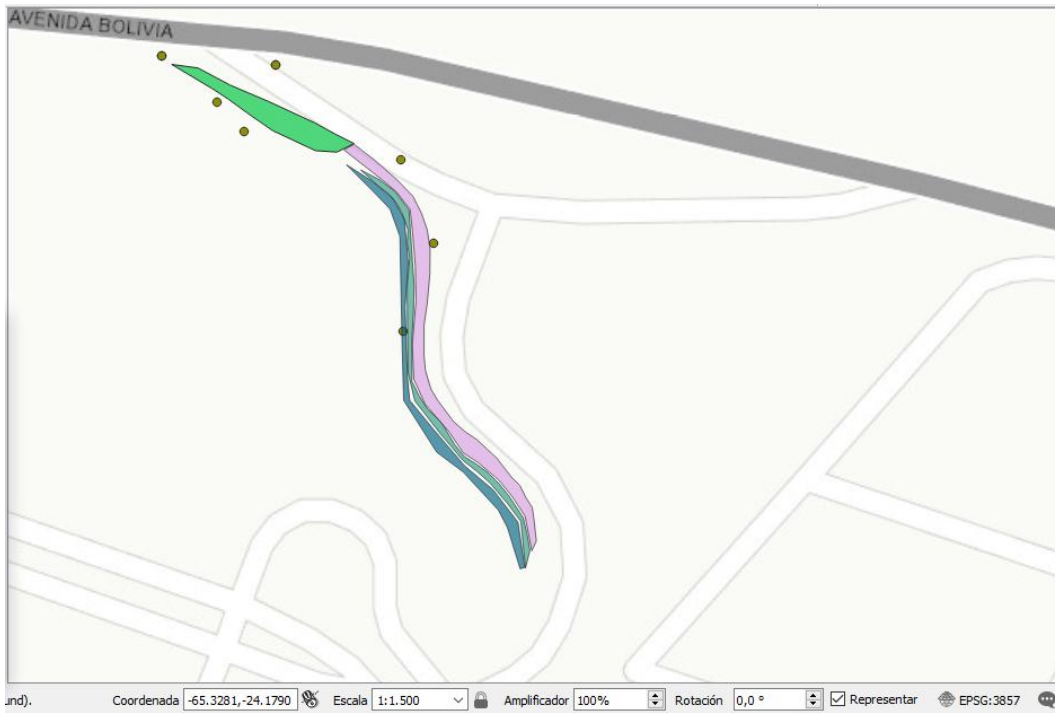


Figura 10. Mapa geológico con Mesofacias de abanicos AA, de color lila y Mesofacias de cuerpo de canal CC, de color azul. Escala 1:1500 con base de imagen Topográfica ESRI.

CONCLUSIONES

- 1-A partir de los datos obtenidos se elaboraron 3 mapas geológicos con indicación de contactos y facies, proyectados en Qgis (Figuras 1, 7, 8,9)
- 2-Las proyecciones de las fotos en DEM son coincidentes en la escala de trabajo y pueden ser proyectadas a mayores escalas.
- 3- El análisis y correlación de los perfiles levantados nos ha posibilitado identificar mesofacies de abanico aluvial y cuerpo de canal.
- 4-Los análisis preliminares indican que las facies estarían relacionadas a un megabanico aluvial de mayor escala.
- 5-La asociación de la forma sería correlacionable con la parte distal del megabanico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Geología y Minería de Jujuy, por el préstamo de microscopio, lupa y de las instalaciones para el desarrollo del trabajo. También se agradece a la Facultad de Ingeniería por el apoyo de las autoridades para la promoción de las actividades de investigación científica. Finalmente a la cátedra de Sedimentología Especial por el uso del Drone, brújula, piqueta, cinta métrica, EPP, que fueron indispensables para la recolección de los datos y muestras. Además vaya nuestro reconocimiento para todos los integrantes del ICES (International Center of Earth Sciences), Malargue, por la impecable organización del 13 encuentro internacional.

REFERENCIAS

- Bossi, G.E; 2007. Análisis de paleocorrientes pp. 22-47. Ediciones Magna. Tucumán. Friend, P.F., (1978): Distinctive features of some ancient river systems. In: Fluvial Sedimentology (Ed. By A.D. Miall). Mem. Can. Soc. Petrol. Geol., 5, 531-542.
- Castro Dorado, A. 1989. Petrografía Básica: Textura, clasificación y nomenclatura de rocas. Editorial Paraninfo, Madrid.
- Cónsole C. y Herrera Oviedo E. (2008). Paleoambientes de la formación Yacoraite (maastrichtiano – daniano) en el ámbito de la subcuenca de tres cruces, Jujuy, Argentina. Actas E-ICES 4.
- Felicísimo A. (1992). Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales.
- Jabbour, G., Márquez, R. y Guerra, I. (2009). Un modelo para la clasificación de areniscas. Escuela de Ingeniería de Sistemas Facultad de Ingeniería. ULA. Mérida, 5101 Venezuela.

Limarino C. y Galli C. (2015). Estratigrafía genética y Patrones de Sedimentación en Ambientes Continentales. Escuela de Posgrado en Ciencias Geológicas. Universidad Nacional de Salta. Facultad en Ciencias Naturales.

Lozano J. y Alonso (1994). Aplicaciones geológicas de los drones. Revista de la Sociedad Geológica de España 29 (1).

Miall A. D. (1989). Architectural elements and bounding surfaces in channelized clastic deposits: Notes on comparisons between fluvial and turbidite systems.

Miall, A.D. (1977): Fluvial Sedimentology: Fluvial lecture series notes. Can.Soc.Petrol.Geol., 111 págs.

Pettijohn, F.J. 1963. Rocas Sedimentarias. EUDEBA, Buenos Aires. 731p.

Roa Lobo J. y Kamp Ulrich (2007). Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la cordillera de Mérida-Venezuela.

Scasso, R.A. y C.O. Limarino 1997. Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas. Asociación Argentina de Sedimentología. Publicación Especial N°1. 259p.

Schumm, S.A, (1977): The fluvial system. Wiley Interscience. 338 pags.

Schumm, S.A, (1981): Evolution and response of the fluvial system, sedimentological simplification. S.E.P.M. Spec. Public., n° 31: 19-29.

Spalletti, L.A. 1980. Paleoambientes Sedimentarios. Serie "B", Didáctica y Complementaria N°8. Asociación Geológica Argentina, 175 p.

Tripaldi A. y Limarino C. (2008). Ambientes de interacción eólica-fluvial en valles intermontanos: ejemplos actuales y antiguos. Dto. De Ciencias Geológicas - CONICET - Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2. Ciudad Universitaria, C1428EHA, Buenos Aires, Argentina.

PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES PARA EL MAPEO DE LA GEOMORFOLOGÍA VOLCÁNICA-CUENCA ALTA DEL RIO CHASCHUIL- FIAMBALÁ-CATAMARCA

Serra M.^a, Herrera C. G.^{ab} y Niz A. E.^a

^a Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG), FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

^b Departamento de Formación Básica, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: malvinaserra@gmail.com

RESUMEN

La Cuenca del río Chaschuil se encuentra en las provincias geomorfológicas de Cordillera Frontal y Sistema de Famatina, y constituye uno de los principales afluentes del río Abaucan en la cuenca alta, se sitúa al oeste de la Localidad de Fiambalá, en el departamento Tinogasta, a 360 km de la Capital Provincial. La zona de estudio se extiende desde el límite superior de la cuenca del río Chaschuil, demarcado por el límite internacional con la República de Chile, a los 26°45'6.35" de latitud S y 68°2'22.15" de longitud O, hasta el volcán Aguas Calientes a los 27°13'25.81" de latitud S y 68°19'5.48" de longitud O, a 200 km de la localidad de Fiambalá. El objetivo principal del presente estudio se centra en la aplicación de imágenes satelitales para la generación de cartografía geomorfológica, que exprese las variaciones del relieve debido a procesos endógenos de tipo volcánico. Utilizando imágenes satelitales del área de estudio, se realizaron operaciones matemáticas sobre la información digital multiespectral, que permitió realzar la geomorfología volcánica, diferenciando los distintos pulsos de efusiones de lava por color y textura, tipo de estructuras volcánicas, litología, diseño de la red de drenaje. Este procesamiento digital permitió correlacionar las distintas coberturas para realizar la cartografía geomorfológica correspondiente.

Palabras Clave: estructuras volcánicas, cartografía geomorfológica, procesamiento digital.

INTRODUCCIÓN

Las geoformas que se realizaron son típicas del ambiente de tipo volcánico, en el que se diferenciaron las distintas coladas de lava debidas a diferentes pulsos de efusiones volcánicas, teniendo en cuenta color y textura, tipo de estructuras volcánicas, litología, diseño de drenaje y demás rasgos de la geomorfología volcánica de la zona a estudiar. Este procesamiento digital de las imágenes satelitales permitió diferenciar las coberturas para realizar la cartografía geomorfológica correspondiente del área de estudio.

El clima de la zona del valle de Chaschuil es semiárido frío, temperaturas nocturnas inferiores a 0°C durante todo el año y gran amplitud térmica diaria, por encima de los 4500 msnm presenta evidencias de hielos permanentes, de tipo glaciar y nieves, glaciares de escombros, suelos congelados, permafrost, y en el área pedemontana domina la actividad eólica, tanto de acumulación como de deflación. Se ubica al sur de la Puna austral, en el marco de la región de Cordillera Frontal, y su relieve es típico de esta provincia geológica.

El área se ubica en el noroeste del departamento Tinogasta, al oeste de la Provincia de Catamarca, dista 350 km de la capital catamarqueña. Es un valle longitudinal que se extiende al oeste de Fiambalá, cabecera del distrito homónimo, y al que se puede acceder desde Tinogasta por la Ruta Nacional N° 60 hasta llegar al paso de San Francisco, que conecta Catamarca con la República de Chile. Ver Fig. 1.

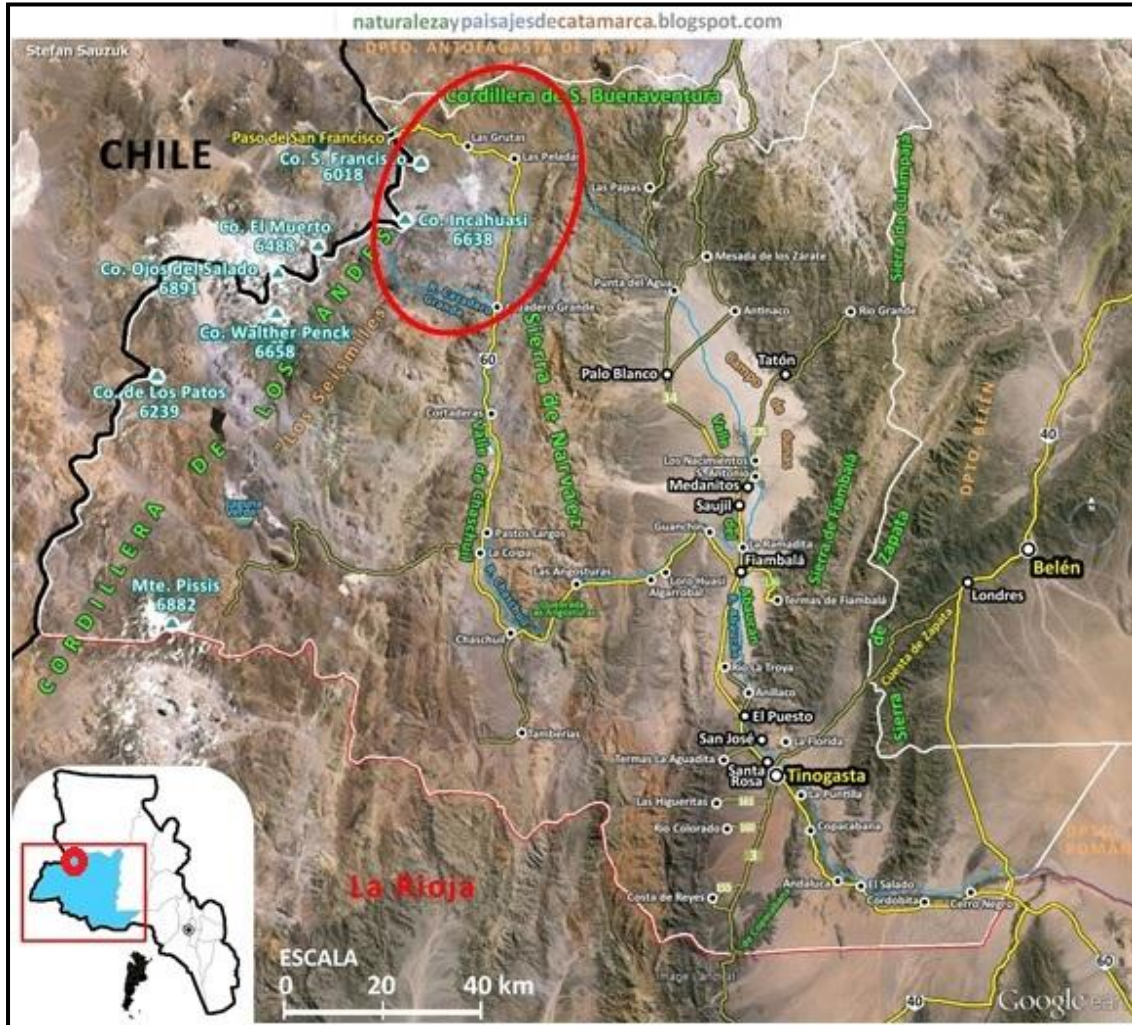


Figura 1: Ubicación y vías de acceso de la zona de estudio – Fiambalá, Catamarca, Argentina.

La zona de estudio se extiende desde el límite superior de la cuenca del río Chaschuil, a los 26°45'6.35" de latitud S y 68°2'22.15" de longitud O, hasta el volcán Aguas Calientes a los 27°13'25.81" de latitud S y 68°19'5.48" de longitud O, considerándose para esta investigación el sector sombreado en rosado que corresponde a la cuenca alta del río Chaschuil. Ver Fig. 2.

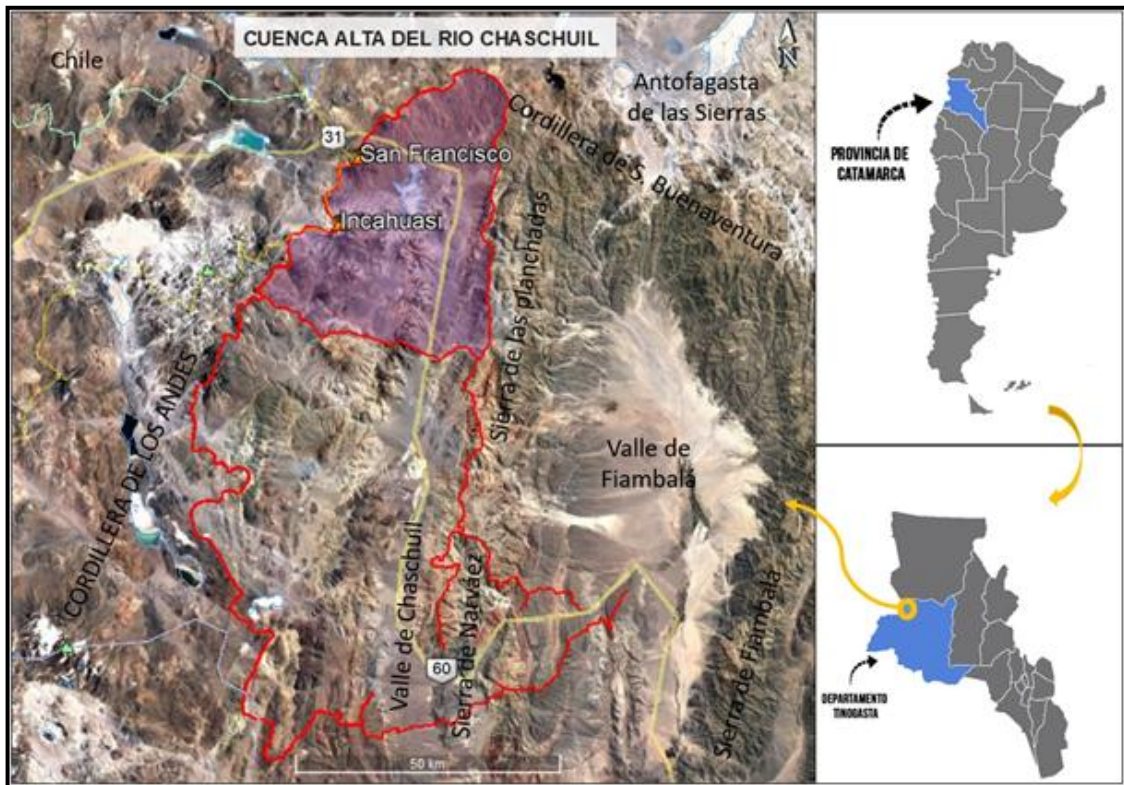


Figura 2: Croquis de la ubicación del área de estudio: cuenca alta del río Chaschuil – Fiambalá, Catamarca, Argentina.

La zona se inserta en el Cinturón de Fuego del Pacífico, que se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, donde se genera una intensa actividad sísmica y volcánica. Cuenta con sistemas montañosos superiores a los 6000 msnm en el sistema andino, como lo son, los volcanes San Francisco e Incahuasi, y con estructuras volcánicas que superan los 5000 msnm, como Bertrand, Pabellón, Chucula, Ojo de las Lozas, Morocho, etc.

El objetivo del presente trabajo fue definir y describir la geomorfología volcánica, a través del procesamiento digital de imágenes satelitales, en la cuenca alta del río Chaschuil, localidad de Fiambalá, para realizar la cartografía correspondiente y analizar la evolución de este ambiente.

MARCO TEÓRICO

Región Geomorfológica de la Cordillera Frontal

Presenta un relieve con geformas propias de ambiente volcánico, combinado con ambiente glaciár-periglaciár.

La Asociación Geomorfológica de la Cordillera Frontal (Fig. 3), en general, presenta un paisaje accidentado, definido por la presencia de relictos de estratovolcanes, fuertemente erosionados, que coexisten con los edificios volcánicos más altos que conforman el techo del mundo, en las áreas deprimidas se observa la formación de depósitos pedemontanos, de tipo abanicos y conos aluviales, algunos niveles de glaciér de erosión. Las geformas debidas a la acción glaciár más comunes son glaciéres de escombros en las laderas de los volcanes con mayor acumulación de nieve.

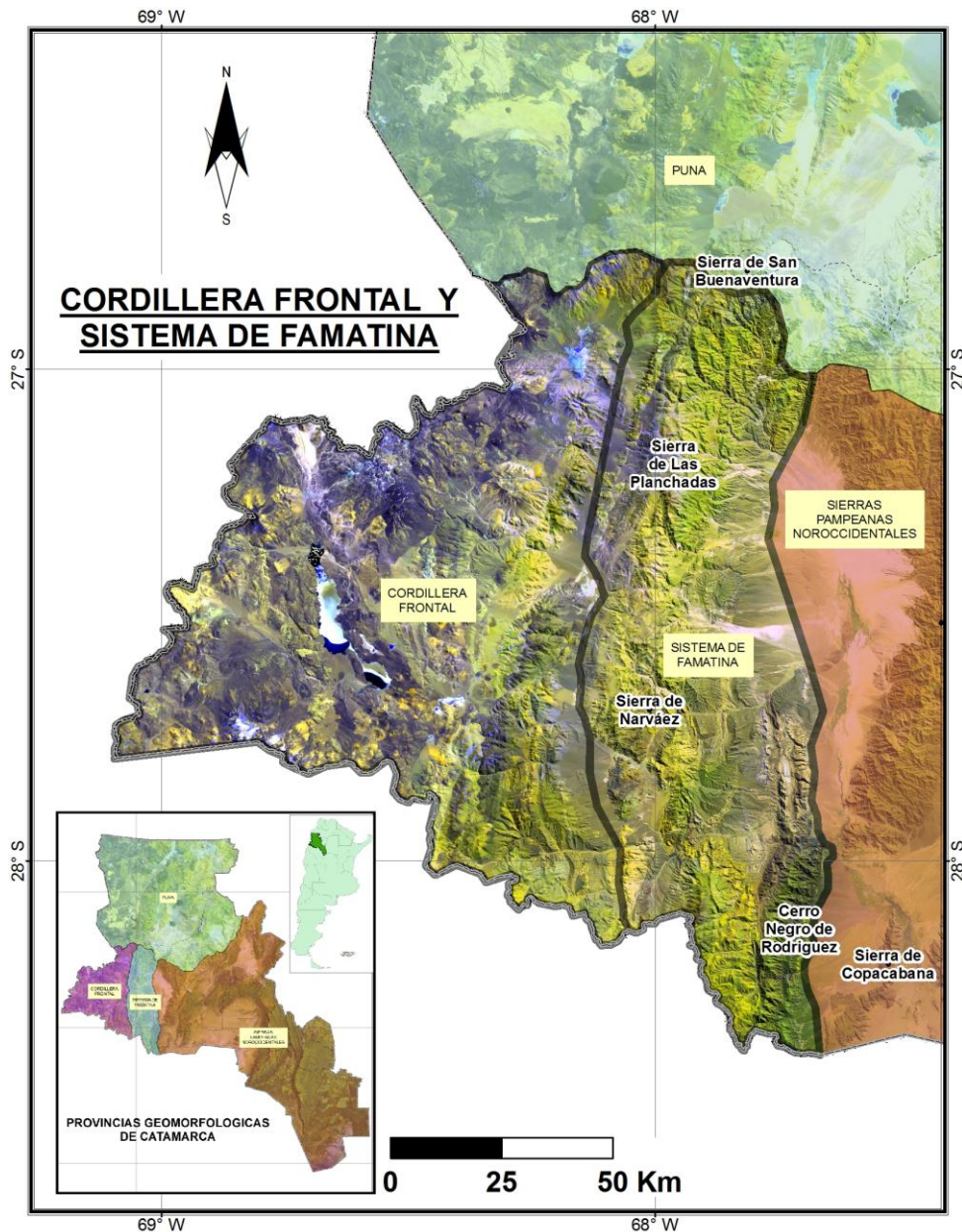


Figura 3: Región Geomorfológica de la Cordillera Frontal

En esta región se encuentran las nacientes de los afluentes principales del río Chaschuil y Guanchín, que a su vez es un afluente muy importante del río Abaucán, tales como los ríos Cazadero Grande, Las Lozas, San Francisco, Las Peladas; en general el avenamiento está pobremente jerarquizado, el aporte hídrico proviene principalmente del deshielo y son frecuentes las surgencias naturales o vegas. El conjunto conforma el valle más representativo de esta región, es el Valle de Chaschuil, situado por encima de los 3000 msnm. Niz, A. y Savio, M. (2017).

Volcanes

Un volcán es una montaña que ha sido construida por acumulación de productos emitidos desde el interior de la Tierra. Generalmente su forma es cónica y está construido alrededor de un foco de emisión conectado con reservorios de roca fundida y gases, los cuales al ser expulsados contribuyen a su formación. Los fenómenos

volcánicos, a diferencia de los emplazamientos de las rocas plutónicas, son manifestaciones en superficie de un evento subterráneo; y se caracterizan por su extrema rapidez. Los volcanes son la expresión morfológica superficial de un conjunto de fenómenos que se desencadenan durante la génesis, ascenso y erupción de magmas, pudiendo generar formas positivas o negativas, dependiendo de la naturaleza de las erupciones y los procesos tectónicos, gravitatorios y erosivos sin y post-eruptivos. Martí, J. (1993).

El término “activo” significa que el ser humano ha sido testigo ocular al menos de una erupción, es decir, cuando ha tenido una erupción en un lapso de años. El límite es arbitrario, aunque se considera un buen criterio el Holoceno (unos 10000 años).

La mayoría de los volcanes presentan largos periodos entre una erupción y otra; se dice entonces que éste está “dormido”; si no ha presentado actividad en tiempos históricos decimos que el volcán está “extinto”. Estos términos son relativos ya que un volcán que no ha presentado actividad en los últimos 5000 años podría entrar en erupción, al igual que uno que ha estado inactivo durante los últimos 25000 años. A nivel geológico hay edificios que han sido activos durante 20 Ma, por lo tanto, geológicamente el límite sería el Mioceno (unos 12 Ma). Por otro lado, se considera que existe una erupción cuando hay un registro documentado.

En el área de estudio, si se analiza la dinámica de formación, teniendo en cuenta su ubicación y el ambiente tectónico en el cual se encuentra, sabiendo además que se trata de un vulcanismo basáltico continental, el proceso comienza y está condicionado a la geometría del plano de subducción, debido a que cuanto mayor es el ángulo (>25) se genera mayor fricción, lo que a su vez produce la fusión de la loza subductada, que al provocar fuertes gradientes térmicos se transforma a un estado semi - líquido conocido como magma, éste se acumula en dichos reservorios, y puede permanecer allí por más de un millón de años, hasta que las presiones son tales que la cámara magmática ya no puede contenerlo, y se libera, en forma fluida o explosiva, hasta llegar a la superficie en forma de lava y generar los aparatos volcánicos.

Posteriormente, a través del segundo proceso, de disminución brusca de gradiente de presión, permite explicar cómo se produjeron las erupciones en este sector, asociados a fallas profundas que conectan con la superficie sus lavas de composición básica. Siendo la fase volátil (fase estromboliana) la causante de la emisión de material piroclástico durante la erupción.

Estratovolcán

En el caso de la zona de estudio, esta fase eruptiva estromboliana construye los edificios volcánicos que pueden estar constituidos por un único cono de escoria y una única colada, cuando es así se denomina volcanes monogénicos, de acuerdo a Llambías, E. (2003).

Coladas de lava

En primer lugar, es necesario aclarar la diferencia entre “Colada” y “lava”; este último se refiere al material fundido que fluye por la superficie, y colada es el cuerpo de rocas resultante del enfriamiento de la lava.

A medida que la lava se enfría y se inmoviliza o libera gases expansivos y se vuelve espumosa, su viscosidad aumenta y el movimiento se vuelve “perezoso”. Por lo tanto, las distancias que recorre dependen de su fluidez, además condicionan su movilidad factores como: la temperatura (los basaltos son de mayor temperatura), el contenido de gases (es mayor en lavas ácidas) y la composición (porcentaje de sílice). Las lavas basálticas tienden a fluir libremente a lo largo de grandes distancias incluso por

pendientes suaves antes de detenerse. El tamaño de las coladas depende del material emitido y de su viscosidad, siendo las erupciones de composición básica las de mayor superficie. Ver Fig. 4.

Según su aspecto superficial las coladas pueden ser:

- a) Pahoehoe o ropy lava o lavas cordadas.
- b) aa, block lavas o lavas en bloque o malpaís.
- c) Pillowlavas o lavas almohadilladas.



Figura 4: aspecto superficial de las coladas de lava de la zona de estudio. Lavas tipo pahoehoe (imagen izquierda) – lavas tipo aa (imagen derecha)

MÉTODOLOGÍA

El trabajo se llevó a cabo en el Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG) de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, en el marco del proyecto de investigación “Caracterización Geológica -Geomorfológica y Valoración de Riesgos Geoambientales en el Área Glaciar y Periglaciar del Valle de Chaschuil- Fiambalá-Catamarca, 02/J718-Resol 201”.

El mismo comprende tres etapas, que incluyeron tareas de gabinete y trabajos de campo complementarios: en la primera etapa se desarrollaron tareas de gabinete de recopilación y generación de información base, en la segunda etapa, se llevaron a cabo trabajos de control de campo y, por último, en la tercera etapa se realizó el procesamiento e interpretación de la información obtenida en las etapas previas.

En este estudio se utilizaron imágenes satelitales Landsat 7 y 8, correspondientes a los años 2002 y 2015.

Para realizar el procesamiento digital de las imágenes obtenidas de la zona de estudio se utilizó el software libre SoPI 3.0. Con la ayuda de este software se realizó un apilado de bandas y composición de color.

A partir de todo el análisis digital realizado con las imágenes Landsat, google Earth y las imágenes de alta resolución georreferenciadas descargadas de SAS.Planet, se aplica la metodología ITC, obteniéndose como resultado un mapa temático realizado con SoPI, digitalizado y editado con el software libre QGIS 3.2.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el estudio de la geomorfología y diferenciación de pulsos de lava, el mejor realce se observó en la combinación de bandas falso color 751 para las imágenes de verano del 2002 y para las imágenes de verano del 2015 con la combinación de bandas 762. El

contraste de colores que se observa en la roca desnuda facilito su diferenciación y permitió delimitar estructuras, coladas de lava y geformas. Así mismo, las distintas tonalidades de verde/amarillo observables con esta combinación, permiten discriminar que coladas pertenecen a los aparatos volcánicos principales y cuales a erupciones secundarias, ya que estas últimas muestran colores más claros por su composición ácida. Ver Fig. 5.

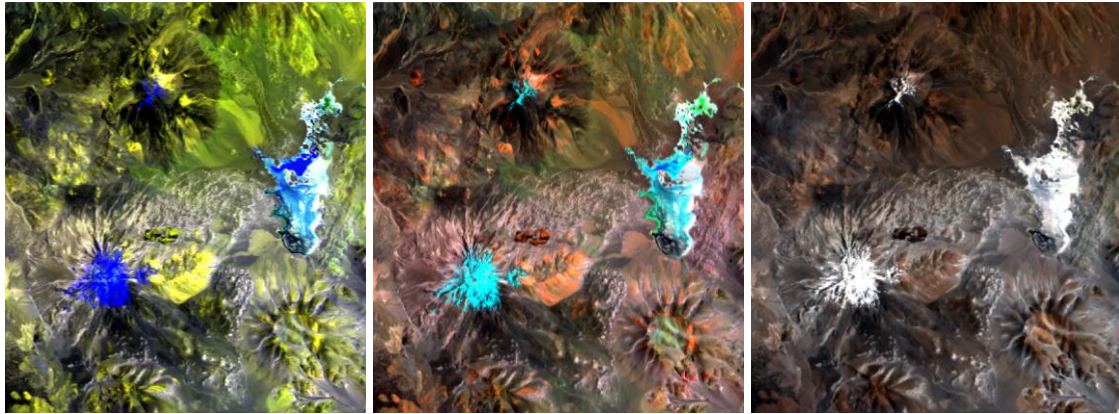


Figura 5: distintas combinaciones de banda para la diferenciación de geformas y litología volcánica en una imagen Landsat 7. Izquierda TM 751, Centro TM 742 y Derecha: TM 321.

Resultados cartográficos

La cartografía fue exportada en tamaño A4 a escala 1:250000 en coordenadas geográficas. Ver Fig. 6.

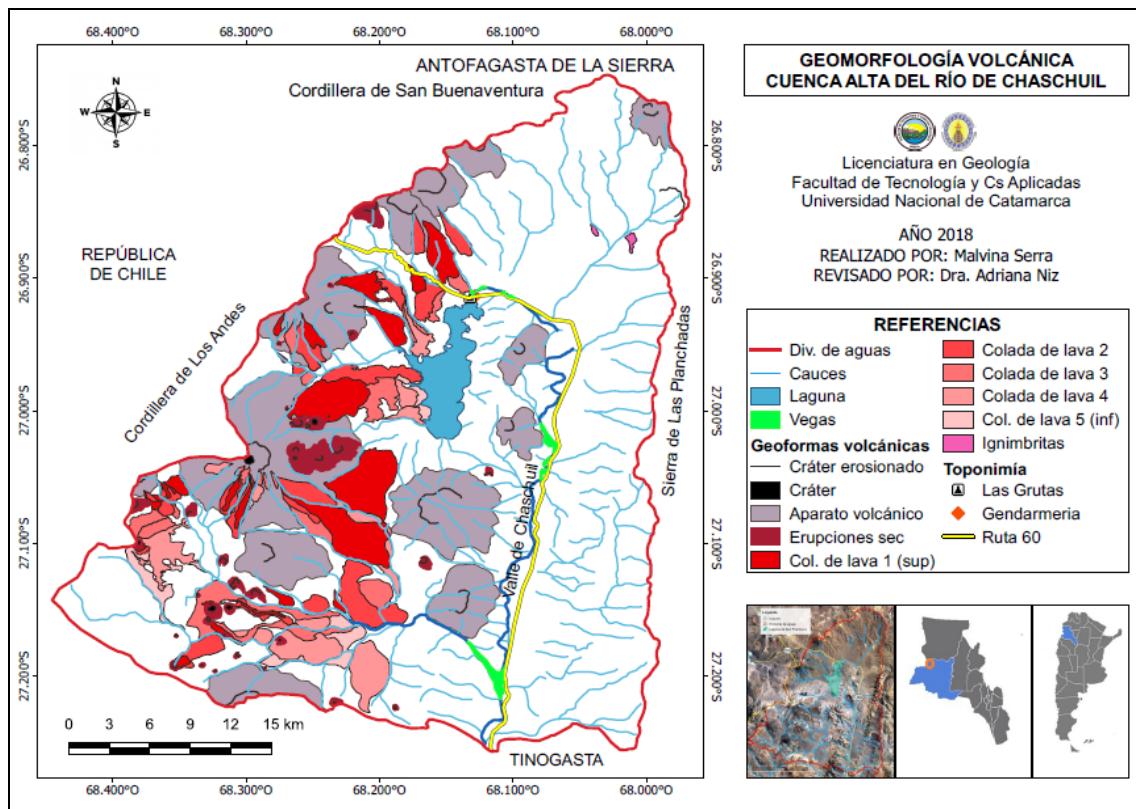


Figura 6: Mapa de geomorfología volcánica de la cuenca alta del río Chaschuil

Distribución y nombres de los principales volcanes de la zona de estudio

Los volcanes en la cuenca alta del río Chaschuil se encuentran distribuidos de dos maneras diferentes, según sean aparatos volcánicos principales o erupciones secundarias. Los primeros fueron numerados con la ayuda del MDE: Modelo Digital de Elevación 3D, que permite apreciar los aparatos volcánicos. La numeración corrida va de 1 a 13, iniciando al norte en el volcán Chucula siguiendo con los volcanes que conforman el límite oeste de la cuenca hasta el volcán aguas calientes, donde continúa el conteo hacia el centro de la cuenca hasta el volcán Falso Morocho. No se observa la presencia de volcanes al este del Valle de Chaschuil.

Para el caso de las erupciones secundarias, se ubican según lineamientos en sentido aproximadamente E-O, en el sector sur-oeste de la cuenca, conformando los llamados volcanes monogénicos. También se mencionan en este apartado los conos parásitos.

Para una mejor organización del presente informe se va a dividir la descripción de los volcanes según sean principales o secundarios.

Aparatos volcánicos principales

Se han encontrado dentro del área la mayoría de las estructuras típicas del vulcanismo básico continental del tipo fisural con fases estrombolianas, pudiéndose distinguir perfectamente coladas “aa”, “pahoehoe”, conos, bombas volcánicas, lapilli, conos monogénicos, conos con forma de escudo, cráter de volcanes con lagunas interiores, cráter aportillado, etc.

En la zona de estudio los fenómenos erosivos son más lentos, generando geoformas comunes a estas regiones áridas. Estamos ante una morfogénesis larga, porque opera sobre construcciones volcánicas relativamente antiguas, que no han sido perturbadas por nuevos paroxismos (es decir nuevos periodos de actividad), esas formas heredadas determinan el relieve volcánico, el modelado que actúa en estas rocas fue y es causado por procesos exógenos, que van desfigurando las formas propiamente volcánicas y elaborando relieves morfoclimáticos. Russo, V. (2010).

Como se mencionó, se han registrado un total de 13 focos efusivos principales en el área investigada, de los cuales se ha distinguido sus conos, cráteres y coladas de lavas asociadas. Ver Fig. 7.

Los aparatos volcánicos están orientados preferencialmente dentro del cuadrante Noroeste – Sudoeste y están relacionados principalmente a fracturas. Si bien, en la zona de estudio no se encuentran volcanes en actividad, poder observar hoy los vestigios de antiguas erupciones nos permite recrear el ambiente volcánico que dominó en épocas geológicas recientes el paisaje volcánico del Paso de San Francisco.

Al nor-noroeste de la cuenca se encuentran los volcanes: Chucula (1), Pabellón (2), Bertrand (3) y Peinado (4). Los mismos, poseen características similares por lo cual fueron agrupados. Son estratovolcanes de mas de 5000 msnm, presentan un cráter y cono altamente erosionado y sus coladas de lava son casi impermeables. El drenaje que desciende por sus laderas es radial y a la altura del nick termina perdiéndose a través de cárcavas, que en algunos casos exponen ignimbritas y son evidencia de la neotectónica que actúa en la cuenca.

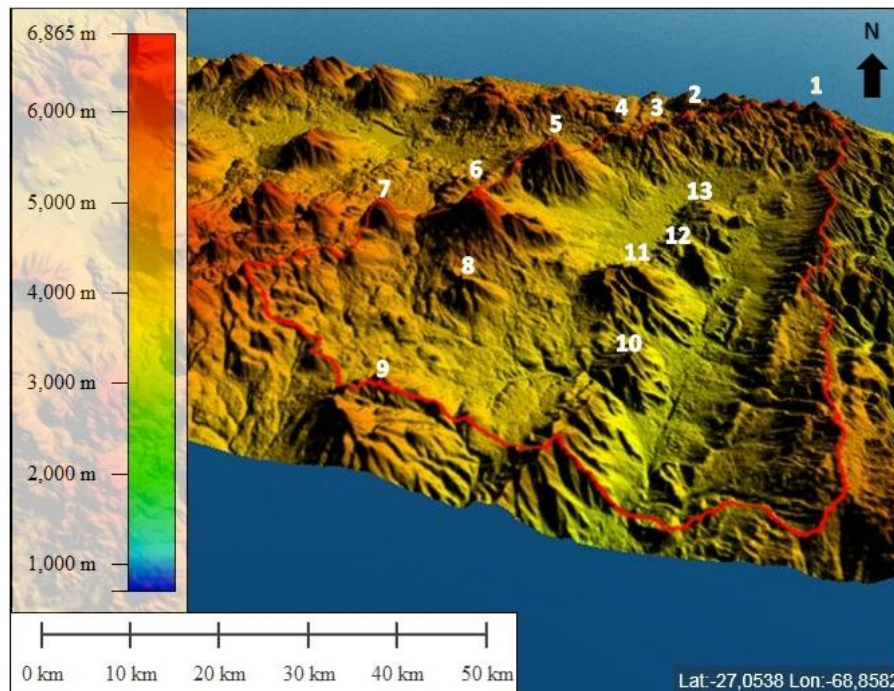


Figura 7: MDE: Modelo Digital de Elevación 3D - Identificación de aparatos volcánicos principales.

En el centro-oeste se encuentran los tres volcanes de mayor altura del área estudiada, los volcanes: Nevado de San Francisco (5), Incahuasi (6) y Nevado El Fraile (7), que constituyen el límite internacional con la república de Chile. Son estratovolcanes erosionados, en los que se distinguen entre las geoformas volcánicas: cono, crater y coladas pahoeoe. Además, presentan numerosos conos parásitos que emitieron pulsos de lava tipo aa sobre coladas basálticas más antiguas. En las laderas y cumbres de estos volcanes, que superan los 6000 msnm, hay vestigios de geoformas de un ambiente glacial y periglacial antiguo, se pueden describir circos glaciares, morrenas, drumlins, umbrales, glaciares de escombros, lagunas de deshielo, etc. Así mismo, en el modelado actual predomina la acción eólica, que acumula depósitos de arena en las depresiones de las coladas y en los conos parásitos principalmente.

Por último, en el sector sur-central de la cuenca alta del río Chaschuil se agrupan los volcanes: Ojo de las Lozas (8), Aguas Calientes (9), Las Peladas (10), Morocho (11), Morocho Chico (12) y Falso Morocho (13). Poseen entre 4000 y 5000 msnm y son los menos desarrollados de la zona de estudio, prácticamente no se distinguen ni su crater ni su cono, y las coladas de lava fueron erosionadas totalmente.

Los volcanes del área de estudio están asociados a un vulcanismo fisural con fases estrombolianas. Geomorfológicamente el área se caracteriza por una cuenca terminal endorreica típica de la Puna y Puna Transicional, con amplias mesetas volcánicas y volcanes coronando el paisaje, la zona está conformada por aparatos volcánicos de gran altura y extensas coladas que cubren una vasta superficie. Las mesetas volcánicas corresponden a antiguas coladas, ya que se observa un grado de disección fluvial muy alta, lo que indicaría su antigüedad al compararlas con las superficies volcánicas contiguas de excelente conservación.

Volcanes monogénicos

En el sector suroeste de la cuenca se ubican a lo largo de lineamientos aproximadamente de dirección este-oeste, volcanes monogénicos de coloración más oscura que los principales (por presencia de hierro). Se distingue para estas efusiones, conos y cráteres definidos y coladas de lava más rugosas de tipo aa, que demuestran la evolución del magmatismo en el área hacia magmas más ácidos. Debido a que estas efusiones se encuentran mejor conservadas, fue posible diferenciar con ayuda de imágenes satelitales, distintos pulsos de lava, discriminándose para esta cuenca hasta 5 emisiones superpuestas. Ver Fig. 8.

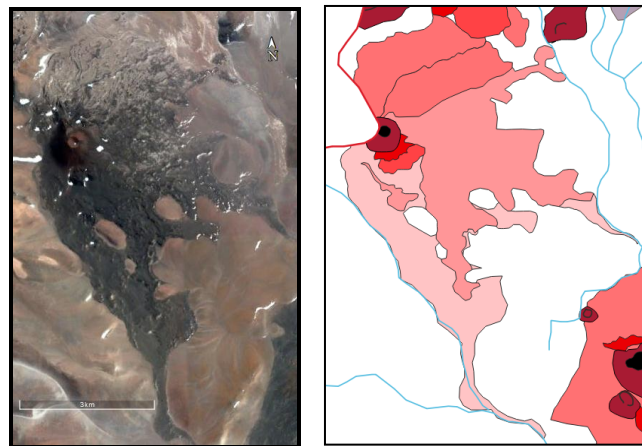


Figura 8: Vista en planta de un volcán secundario ubicado en el sector sur de la cuenca. Las coladas de lava fueron mapeadas en colores rojos-rosados, correspondiendo las más claras a las coladas más antiguas.

Cono parásito

Al igual que en los volcanes monogénicos, su coloración es oscura debido a la presencia de hierro y sus coladas de lava son de tipo aa, son las últimas manifestaciones derivadas de los volcanes principales, ubicadas en los conos muy erosionados y sobre coladas de tipo pahoeoe. Ver Fig. 9.

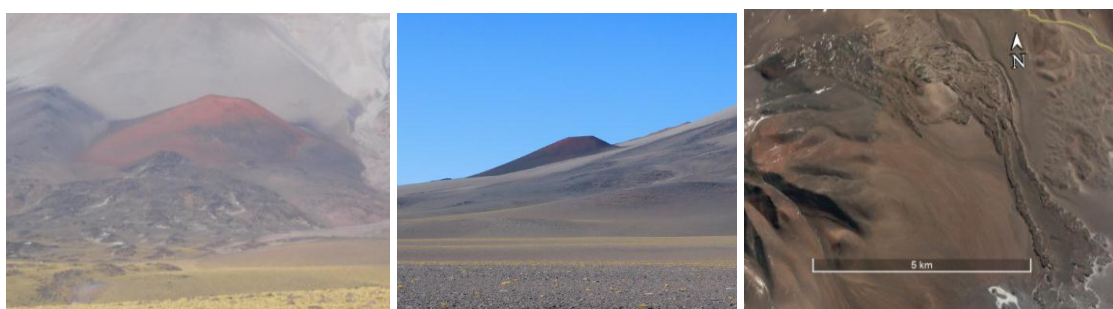


Figura 9: Distintas perspectivas de un cono parasito del volcán San Francisco

CONCLUSIONES

En el área de estudio, si se analiza la dinámica de formación, teniendo en cuenta su ubicación y el ambiente tectónico en el cual se encuentra y sabiendo que se trata de un

vulcanismo basáltico continental, el proceso comienza y está condicionado a la geometría del plano de subducción, debido a que cuanto mayor es el ángulo (>25) se genera mayor fricción, lo que a su vez produce la fusión de la loza subductada, que al provocar fuertes gradientes térmicos se transforma a un estado semi-líquido conocido como magma, éste se acumula en dichos reservorios, y puede permanecer allí por más de un millón de años, hasta que las presiones son tales que la cámara magmática ya no puede contenerlo, y se libera, en forma fluida o bien explosiva, hasta llegar a la superficie en forma de lava y formar los aparatos volcánicos.

Es evidente que la periodicidad de las erupciones se manifiesta en el sector estudiado, y permite plantear la hipótesis de que una gran cantidad de pulsos que han sido eructados durante las efusiones de los volcanes.

Aunque los magmas son mucho más viscosos que el agua, fluyen pendiente abajo, se concentran en canales y se ven detenidos por barreras topográficas que los obligan a adoptar superficies más o menos horizontales. Esta viscosidad tiene un límite elástico definido, pues las lavas se detienen al cesar la erupción, a diferencia del agua, que continúa su descenso pendiente abajo, aun cuando se interrumpa su abastecimiento.

Tal es el caso de los volcanes del área de estudio, siendo del tipo fisural o hawaiana con fases estrombolianas que son las que originan los conos de escoria.

Para los volcanes de la zona de estudio, el grado de explosividad es uno (1), en la escala este valor es casi despreciable, la columna eruptiva de esta última no excede los 1000 metros. El grado de dispersión de las bombas volcánicas es un indicador de la explosividad dentro de estos grandes volcanes.

En el caso de la zona de trabajo, esta fase eruptiva estromboliana construye los edificios volcánicos que pueden estar constituidos por un único cono de escoria y una única colada, cuando es así se denomina volcanes monogénicos.

Las geoformas volcánicas identificadas se ubican en el centro y oeste de la cuenca. Se describen 13 aparatos volcánicos principales, altamente erosionados y con lavas pahoeoe asociadas; y erupciones secundarias más recientes ubicadas a lo largo de lineamientos E-O, con lavas rugosas tipo aa sobrepuestas a las lavas más fluidas provenientes de los grandes estratovolcanes.

Los mejores resultados del procesamiento de imágenes satelitales se dieron en las bandas del Visible y mediante distintas combinaciones de bandas en RGB.

Para el estudio de la geomorfología y diferenciación de pulsos de lava, el mejor realce se observó en la combinación falso color 751 para las imágenes del 2002 y para las imágenes del 2015 con la combinación de bandas 762.

Recomendaciones

En vistas de que se presentan diversas litologías y estructuras volcánicas se recomienda que, si bien se han diferenciado en campo y a través del procesamiento de imágenes satelitales distintos niveles de coladas de lava, son necesarios mayores estudios para definir las características petro-estratigráficas de las mismas. En este trabajo, de acuerdo a las combinaciones de banda y análisis visual realizado, se definen coladas básicas provenientes de erupciones de los estratovolcanes y coladas ácidas provenientes de erupciones secundarias.

Por último, este trabajo constituye un aporte a la propuesta que se está formalizando desde IMCoDeG, para incluir el valle de Chaschuil en las nominaciones para ser declarado Parque Nacional de Argentina.

REFERENCIAS

- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de Teledetección Espacial (2da ed.). Ediciones Rialp. Madrid, España. ISBN 84-321-2680-2.
- Derruau, M. (1977). Las Formas del Relieve Terrestre, (Nociones de Geomorfología). Reedición y versión en castellano por Luisa Andrade Couce, 1990. Universidad Santiago de Compostela. Masson –Italia Editore. S.p A. Milán.
- Llambías, E. J. (2003). Geología de Cuerpos Ígneos. Cáp. 9: Procesos y rocas volcánicas. Pag.: 131-166.
- Martí J. y Araña V. (1993). La volcanología actual. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 578 p., Madrid.
- Niz, A. y Savio, M. (2017) “Geomorfología general de la provincia de Catamarca” en Relatorio Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA, editores, Claudia Muruaga y Pablo Grosse-del XX Congreso Geológico Argentino- San Miguel de Tucumán.
- Pandey, P. (2016). Remote Sensing of Mountain Glaciers and Related Hazards. In Environmental Applications of Remote Sensing. InTech.
- Russo, V. (2010). Caracterización y clasificación de las unidades geomorfológicas del ambiente volcánico de la cuenca media del río punilla. Antofagasta de La Sierra - Catamarca. Tesis de grado. Licenciatura en Geología. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca
- Selby, M. J. (1985). Earth's changing surface: an introduction to geomorphology. Oxford University Press.
- Teruggi, M. E. (1978). Rocas piroclásticas: interpretación y sistemática. Asociación Geológica Argentina. Publicación especial. Serie “B” N° 5.

GEODIVERSIDAD Y GEOCONSERVACIÓN EN EL PROYECTO DE PARQUE NACIONAL ACONQUIJA: PROPUESTAS Y DESAFÍOS.

Ahumada A. L. ^{ab}, Ibañez Palacios G. P. ^a, y Toledo M. A. ^{ac}

^a Instituto de Geología de Cuaternario y Paleoclimas, Fundación Miguel Lillo, ARGENTINA

^b CONICET, ARGENTINA

^c Subsecretaría de Asuntos Agrarios y Alimentos, Tucumán, ARGENTINA

e-mail: alahumada@lillo.org.ar

RESUMEN

Esta presentación analiza las propuestas y desafíos que se plantean en el recientemente creado Parque Nacional Aconquija para el desarrollo del geoturismo, registro de su geodiversidad y su geoconservación, poniendo énfasis en la importancia y densidad de las geoformas glaciales y periglaciales como geopatrimonio de su zona cumbral y sus connotaciones en la diversidad abiótica de su paisaje. Un buen número de características glaciales y periglaciales se han incluido en catastros con otros objetivos, constituyendo una base de datos para su geoconservación, tanto en características individuales como en forma de conjuntos o específicamente como regiones glaciales-periglaciales. La existencia de una base de datos de evaluación geoespacial adecuadamente sistemática, que proporcione registro, mapeo y ubicación geográfica ordenada y accesible, permitirá agregar ausencias o sesgos significativos en la lista de características de geositios glaciales y periglaciales que aportarán a su conocimiento y de esta manera facilitarán su evaluación y manejo para el desarrollo de este geopatrimonio en el nuevo Parque en vías de desarrollo. Se contribuirá también, a la integración de patrimonio abiótico al ya importante patrimonio biótico existente, consolidándolo como un parque natural de excelencia, concretando aspiraciones de varias generaciones de naturalistas y preservando el sistema de la principal fuente de recursos hídricos, Cuenca Salí-Dulce, para los habitantes de las provincias de Tucumán y Santiago del Estero.

Palabras Clave: geopatrimonio, Aconquija, geoturismo, geodiversidad, geoconservación.

INTRODUCCIÓN.

La reciente creación del Parque Nacional Aconquija es la concreción de aspiraciones de muchas generaciones de intelectuales y científicos de la provincia de Tucumán, que avizoraban, ya a principios del Siglo XX, a instancias de las primeras ideas conservacionistas en el exterior y el país, la extraordinaria significancia de la protección de la naturaleza acuñada en su dimensión geográfica, ya sea de carácter biológico o geológico.

Historia de su propuesta centenaria.

La provincia de Tucumán fue una de las primeras en proponer áreas protegidas para la conservación de la naturaleza ante el rápido desarrollo humano que amenazaba la estabilidad geocológica en su territorio. Es así que, en los albores del siglo XX, el Dr Julio López Mañán (1878-1922), legislador, ministro de Gobierno y diputado nacional por Tucumán, manifestó el 14 de diciembre de 1913, en un artículo del diario La

Nación, una propuesta para crear una considerable reserva para los festejos del Primer Centenario. La reserva debía comprender la falda del cerro San Javier y la región serrana situada al occidente de la misma hasta las altas cumbres del Aconquija. Uno de los primeros en alentar entusiastamente la idea fue el Dr Miguel Lillo (1862-1931). Aunque prefirió otra región a la propuesta, por lo que escribe a López Mañán (22-12-13): *“para mí la zona que debiera expropiarse para formar la reserva, sería la falda oriental del Aconquija, por ejemplo, entre el río Monteros y el río Seco, desde la cumbre, que tendrá unos 5000 metros, hasta la llanura. Allí se encuentra la vegetación forestal tal vez más exuberante de la República; hay ríos caudalosos, como son los nombrados, todas las variantes de flora y fauna, paisajes espléndidos como los que ofrecen los dos Ñuñohorcos y la vecindad inmediata de Tafí al norte...”* *“El acceso a esta reserva sería muy fácil, quedaría a dos horas de ferrocarril y tendría como cabecera a Monteros”* (Rougés, 1935).

Aunque esta propuesta no se concreta, posteriormente, en setiembre de 1935, se pone en venta la zona propuesta por Lillo, el Dr. Alberto Rougés presenta un Proyecto al Poder Ejecutivo de la provincia de Tucumán en setiembre de 1935 para obtener los fondos pertinentes: *...” de una extensión de cerca de 10000 hectáreas, el inmueble aludido se extiende hasta las altas cumbres que colindan con Catamarca, donde alcanza, según el Dr Lillo, a cinco mil metros de altura. El agua es abundante, el río Pueblo viejo, que constituye el límite norte del proyectado parque, es uno de los más caudalosos del sud de la Provincia. Sus numerosos saltos de agua y las grandes piedras graníticas de su lecho constituyen elementos estéticos de crecido valor. Por su borde va un camino de rodados que escala la montaña siguiendo las huellas de los conquistadores”*. (Rougés, 1935) (Quebrada del Portugués, actualmente Quebrada del Pueblo Diaguíta”). Se estaba gestando el primer Parque-Reserva Provincial: La Florida, (y una de las primeras en el país). El estado provincial es autorizado a adquirir, por Ley del año 1936, el inmueble al que se refiere el proyecto, para hacer de él un parque.

En el faldeo oriental de la sierra de Aconquija se sumarán luego la Reserva Los Sosa en 1940, el Parque Provincial Los Ñuñohorcos/Reserva Quebrada del Portugués en 1965, el Parque Provincial Ibatín en 1965, la reserva La Angostura y el Parque Nacional Los Alisos.

El actual Parque Nacional Aconquija o Parque del Bicentenario contendrá varias de estas reservas provinciales y su gradiente altitudinal (750 a más de 5000 m snm) contiene selvas en sus pisos altitudinales inferiores y glaciares en sus máximas alturas. Su patrimonio biótico ha sido intensamente descrito en numerosos trabajos destacando sobre todo su impactante biodiversidad, que ha sido objeto de investigación por innumerables autores.

Objetivos.

En esta presentación analizaremos las propuestas y desafíos que se plantean en el recientemente creado Parque Nacional Aconquija para el desarrollo del geoturismo, el registro de su geodiversidad y su geoconservación, poniendo énfasis en la importancia y densidad de las geoformas glaciales y periglaciales como geopatrimonio de su zona cumbral y sus connotaciones en la diversidad abiótica de su paisaje.

Wimbledon et al. 2000 expresan: *«Existe la creencia, errónea, de que el patrimonio biológico es siempre más vulnerable ante cambios o amenazas que los lugares de interés geológico; sin embargo, la naturaleza biológica tiene casi siempre una cierta*

capacidad para ajustarse a los cambios, mientras que, con frecuencia, éste no es el caso de la naturaleza abiótica...».

No escapan a esta acertada observación los ambientes glaciales y periglaciales. Como muchos sistemas de la geodiversidad y geopatrimonio poseen una extensión finita, son singulares, muy lábiles y totalmente no renovables. La ley 26639 Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial contempla la protección de glaciares y glaciares de escombros como reservorios hídricos congelados, sólo en el marco de las mesoformas que constituyen reguladores del sistema hídrico de cuencas que los contienen. En el aspecto de la geodiversidad y el geopatrimonio, quedan exentos de esta protección un sinnúmero de geoformas no activas (morenas, circos, etc.) y geoformas activas sometidas a procesos estacionales dentro del sistema periglacial (soliflucción, suelos estructurados, pendientes detríticas y otras, con frecuencia, producto de degradación) que son de importancia paisajística e hidrológica superficial y provocan la atención por su expresión visual en el contexto paisajístico.

Entendemos que es oportuno reformular un catastro de las geoformas ya inventariadas por el grupo de trabajo en sucesivas publicaciones (Ahumada et al. 2005, Ahumada et al. 2013 y Ahumada et al. 2017) con el objeto de subsanar ausencias significativas en el inventario de la geodiversidad geomorfológica de los sistemas glaciares y periglaciales de la región. Y realizar propuestas para desarrollar a futuro, un marco de recursos para el geoturismo no convencional (excursionistas, montañistas y turismo de aventura) que contengan un geopatrimonio enriquecido. Y exponer los desafíos que se generan en el ámbito local para su implementación

MARCO TEÓRICO

La Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible define 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible que deben aplicarse en todos los países. Muchas de estas metas exigirán un manejo adecuado de la naturaleza, incluyendo tanto la geodiversidad como la biodiversidad.

La Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural (UNESCO, 1972), define al patrimonio natural como: «las formaciones físicas, biológicas, geológicas y fisiográficas, así como las zonas que constituyen el hábitat de especies animales o vegetales amenazadas y los lugares o áreas naturales estrictamente delimitadas, que tengan valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia, de la conservación o de la belleza natural».

La geodiversidad es la variedad de elementos naturales, tales como minerales, rocas, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas y sus paisajes, y procesos geológicos activos que son el producto y registro de la evolución de la Tierra. La geodiversidad, por tanto, define el conjunto de elementos y procesos de naturaleza geológica de un determinado ámbito, territorio o región y, en un sentido más amplio, la variabilidad de los aspectos relacionados con el medio físico. Junto con la biodiversidad, la geodiversidad constituye la diversidad natural del planeta Tierra. La geodiversidad condiciona la biodiversidad y aporta a la sociedad beneficios basados en servicios de regulación, de apoyo, de provisión y culturales.

El patrimonio geológico o geopatrimonio es el conjunto de recursos naturales de valor científico, cultural, educativo y recreativo, ya sean formaciones o estructuras, formas

del terreno, depósitos sedimentarios, minerales, rocas, fósiles, suelos y otras muchas manifestaciones que permiten conocer, estudiar e interpretar la historia geológica de la tierra, los procesos que la modelan, los climas y paisajes actuales y del pasado, y el origen y evolución de la vida sobre el planeta. El patrimonio geológico contiene los elementos de la geodiversidad que se consideren significativos en base a criterios que destacan su singularidad. Puede incluir tanto elementos *in situ* (geositios) como elementos *ex situ* (especímenes: Museos de Ciencias Naturales, Colecciones Paleontológicas, Colecciones de Minerales y Rocas, etc.) de especial relevancia para la paleontología, la geomorfología, la mineralogía, la petrología o la estratigrafía, entre otras ramas de la geología.

Los geositios o lugares de interés geológicos son aquellas áreas que muestran una o varias características consideradas de importancia dentro de la historia geológica de una región natural y que asociados, constituyen su patrimonio geológico.

La geoconservación es el conjunto de acciones dirigidas a la gestión de los lugares geológicos de interés. Incluye el inventario y valoración, la conservación, la protección legal, la interpretación y la monitorización de los lugares, así como la gestión del patrimonio geológico mueble. La geoconservación se considera una disciplina emergente dentro de las Ciencias de la Tierra.

La geoconservación puede ayudar a procurar los siguientes objetivos de Desarrollo Sostenible 2030: •mejorar la calidad de la educación (Objetivo 4) •disponer de agua potable (Objetivo 6) •promover el trabajo decente y el crecimiento económico (Objetivo 8) •organizar ciudades y comunidades sostenibles (Objetivo 11) •comprender el cambio climático (Objetivo 13) •proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, combatir la desertificación, y detener la pérdida de biodiversidad (Objetivo 15).

CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN DE TRABAJO.

Geología.

La sierra de Aconquija, un macizo cristalino de poderosa presencia en el paisaje visibilizado desde la llanura tucumana, constituye el límite natural y político de las provincias de Tucumán y Catamarca, funciona como divisoria de aguas, con un rumbo general SO-NE, entre los 26°46' y 27°30' de latitud S, y entre los 66°19' y 65°39' de longitud O, tiene una extensión aproximada de 105 km y varía entre los 40 y los 60 km de ancho (fig.1). Su altura media es de 5000 msnm. Los picos más altos son Morro del Zarzo (5064 msnm), C° Negro (4700 msnm), C° del Bolsón (5552 msnm) y Nevado del Candado

(5450 msnm), el C° Tipilla (aprox. 5.314 msnm), el C° de la Bolsa (aprox. 5.200 msnm) el Portezuelo de la Apacheta (4.900 msnm), C° Las Ánimas (5.158 msnm). Otro cerro importante es el Morro de las Ruinas o de las Cuevas (4.900 msnm).

La sierra de Aconquija forma parte del Sistema de Sierras Pampeanas, región morfo-estructural extra andina. Está geológicamente constituida por basamento cristalino. En su composición intervienen rocas metamórficas, que evolucionaron a partir de sedimentos pelítico-arenosos de origen marino, depositados durante el Precámbrico superior - Cámbrico Inferior con intrusiones de distinto tipo de plutones graníticos rodeados por migmatitas de diversas edades posteriores. (Toselli y Rossi, 2001). En las zonas bajas de los flancos montanos y en algunos flancos interiores se adosan

sedimentitas cretácicas, paleógenas y neógenas. Los bloques de basamento que constituyen esta sierra fueron levantados por grandes fallas inversas lítricas según el esquema propuesto por González Bonorino (1950), lo que define una abrupta escarpa en la ladera occidental, en contraste con una pendiente más suave en la ladera oriental. Posteriormente se produjeron nuevos episodios de movimientos distensivos y transpresivos que generaron fallas normales de dirección NO y desplazamiento de rumbo responsables de la configuración actual (Gutiérrez y Mon, 2004) y controlan el diseño de las cuencas hídricas de ambas laderas: Este significativo ascenso constituye el valor geopatrimonial extrínseco de primer impacto visual al tránsito turístico por las rutas tucumanas que recorren la llanura al E.

En los niveles más altos de la sierra, apoyados discordantemente sobre el basamento se encuentran manifestaciones de actividad glacial: circos, valles glaciares y depósitos morénicos. Tapia (1925) encuentra evidencias de tres sistemas morénicos de recesión, y posteriormente una supuesta edad Pleistocena Tardía es sustentada para estas glaciaciones (Rohmeder, 1941; Strecker, 1984).

Durante el Holoceno se desarrollaron glaciares de escombros en ambas laderas de la sierra por arriba del límite inferior de las morenas y por debajo del límite de la línea de nieve permanente actual. Las fases glaciares en la sierra de Aconquija podrían correlacionarse con las conocidas como fases pluviales en la Diagonal Árida de Sudamérica (Zipprich et al., 1998). Actualmente la sierra preserva pocos cuerpos de hielo permanente. Éstos son pequeños (planchones o manchones de nieve) y están ubicados en las crestas, sin generar estructuras de circo ni ocupar valles, con una marcada degradación.

Ahumada et al. (2000) en la Quebrada del Portugués, e Ibañez Palacios y Ahumada (2006) delimitan dos regiones altitudinales de acción periglacial en el PNCLA: Un nivel inferior, entre 2.000 y 4.000 m snm de congelamiento estacional y un nivel superior, de 4.000 a más de 5.000 m snm con congelamiento permanente. Estos sitios contienen geoformas cuyos procesos de formación son muy sensibles a la variación de temperaturas y por ello son considerados geoindicadores criosféricos de cambio climático global (Ahumada, 2007) que pueden ser usados para el monitoreo y seguimiento de cambios del sistema glacial-periglacial de las altas cumbres de la sierra de Aconquija.

Los sistemas glaciológicos y periglaciales constituyen los ambientes criosféricos relícticos y actuales que han sido protegidos por Ley 26.639, en función de sus reservas hídricas y su función reguladora de caudales en cabecera de cuencas, en este caso la del río Salí (Ahumada et al. 2013 y Ahumada et al. 2017 entre otros) y protegidos en su casi totalidad en el marco de la Ley de creación del Parque Nacional Aconquija. Sus recursos de patrimonio geológico y clasificación de lugares de interés geológico y valoración han sido tratados en distintos sectores parciales de la ladera E de Aconquija (Ahumada et al. 2000, Ibañez Palacios et al. 2006, Ibañez Palacios et al. 2012, Ahumada et al. 2017 e Ibañez Palacios et al. 2018 en prensa en esta reunión).

Clima.

La sierra de Aconquija constituye una formidable barrera orográfica a enfrentar por las masas de aire cálido y húmedo provenientes del E: éstas se ven obligadas a ascender, produciéndose el enfriamiento adiabático y condensación de las mismas, lo que genera dos niveles de precipitación: entre los 1500 y 2500 msnm, con precipitaciones que

oscilan entre los 700 y 2000 mm al año, alcanzando valores de 1500 mm de media anual, con valores excepcionales de 2500 mm, distribuidos estacionalmente en un régimen cuasi-monzónico, con verano lluvioso e invierno seco y con el 78% de las lluvias concentradas durante el periodo de noviembre a marzo (Minetti et al., 2005). Y el otro nivel, superando los 2500 msnm, donde las lluvias disminuyen su magnitud hasta llegar a 200-300 mm anuales aproximadamente, en la zona cumbral. Las precipitaciones níveas son esporádicas o ausentes en invierno y las precipitaciones de granizo y/o graupel se registran desde diciembre a marzo. Debido a que los registros térmicos en la región están directamente relacionados con la altitud, las temperaturas medias anuales varían de 14°C a 12°C hasta los 2.500 msnm, desde donde descienden rápidamente hasta los 0°C o menos. El área de estudio corresponde a un clima seco de alta montaña, con el suelo frecuentemente congelado hasta considerables profundidades. La temperatura mínima media de enero se encuentra cercana a 0°C y la de julio en el orden de los -10°C, con más de 200 días con heladas al año (Minetti et al., 2005).

Aspectos bio-geográficos.

La sierra de Aconquija en su escarpa oriental se encuentra cubierta por la selva subtropical de origen andino o Yunga. Si bien la superficie que cubre es territorialmente escasa, la región biogeográfica acumula más del 50% de la biodiversidad de Argentina (Brown, 1986). La historia climática y el aislamiento de los distintos sectores pueden haber contribuido a que el área se comporte como un refugio de biodiversidad durante el Pleistoceno (Brown, 1986). Es por ello que la sierra de Aconquija contiene en su extensa ladera oriental numerosas reservas provinciales (La Florida, Quebrada del Portugués y Los Sosa, entre otras) y el Parque Nacional Campo de los Alisos.

En el Parque Nacional Campo de Los Alisos a 4200 msnm contiene un sector con importantes ruinas incaicas conocidas como «La Ciudadita» desarrolladas sobre una morfología de intensa actividad periglacial con geliflucción y campos de bloques cumbrales. Este sitio de importancia arqueológica local y regional, al declarar UNESCO en 2014 el Qhapac Ñan, Camino del Inca, y sus sitios asociados Patrimonio de la Humanidad, atraviesa la sierra de Aconquija en su camino al sur, se convirtió también en un hito de importancia internacional. Esta designación busca favorecer el desarrollo científico y cultural. Se promueve el desarrollo de investigaciones y medidas de resguardo y conservación con manejo integral de este patrimonio por las autoridades del parque.

Todos estos recursos de geodiversidad de la ladera oriental de Aconquija se encuentran actualmente legalmente protegidos dentro del territorio del Parque Nacional Aconquija (PNA) recientemente creado (4-07-18). Algunos segmentos específicos de la naturaleza biótica y abiótica ya se encontraban protegidos en el marco de las reservas provinciales ya mencionadas y el Parque Nacional Campo de Los Alisos que ahora será el Portal del nuevo Parque.

METODOLOGÍA.

La fase de identificación y valoración de los geositos se desarrollará en tres etapas: preliminar, de campo y de gabinete (Ibañez Palacios et al. 2018, en esta reunión).

En la primera etapa se realizará una recopilación bibliográfica y una interpretación visual de la zona a partir de fotografías aéreas a escala 1:50.000 y de imágenes satelitales de alta resolución disponibles a partir de Google Earth TM. En esta etapa se

efectuará un listado inicial de los lugares a relevar en la etapa de campo. Para esta selección se tendrán en cuenta sitios que produzcan el disfrute del público desde el punto de vista paisajístico, cultural o educativo.

Durante la etapa de campo se relevarán varios sectores de la sierra de Aconquija y se procederá al inventario de lugares de interés. Se generó una ficha con información de base para cada lugar de interés que se empleará para la posterior evaluación cuantitativa de los geositos en la etapa de gabinete (Ibáñez Palacios et al. 2012).

En la etapa de cuantificación de los geositos, se empleará la metodología de valoración propuesta por García-Cortés y Carcavilla Urqui (2009), en la que se deben considerar tres clases de valores de acuerdo a los criterios de Cendrero (1996) ya utilizada por Ibáñez Palacios et al. 2018:

- 1) El valor intrínseco: se refiere al valor científico del elemento.
- 2) El valor ligado a la potencialidad de uso: es el posible uso que se le puede asignar a un lugar específico.
- 3) El valor ligado a la necesidad de protección: es el riesgo de deterioro o destrucción de los rasgos geológicos de un lugar determinado.

Los LIGs, serán valorados en primer lugar por sus valores intrínsecos y ligados a la potencialidad de uso. Cada uno de estos valores fundamentales tiene asociados una serie de parámetros, que se puntúan con 0, 1, 2 o 4 puntos. Posteriormente a cada parámetro se le asigna diferentes pesos ponderados, para valorar su interés en cada uno de sus tres usos posibles: científico, didáctico y turístico/recreativo.

Se organizará una base de datos espacial mediante un software libre QGIS 2.18 de uso libre produciendo un mapa base para este estudio específico con capas temáticas que contengan rutas, caminos vecinales, senderos, etc., donde se volcarán los datos relevados de lugares de interés descriptos en campo, las fichas, con el objeto de producir el mapa del geopatrimonio. La base de datos será flexible a modo de actualizar su contenido.

Cuando la complejidad del paisaje lo requiera, por sus características naturales y culturales, se incluirán sitios arqueológicos, sitios de interés botánico y ecológico, caminos, diques, Y otros.

Se incorporará al mapa el nivel de dificultad de rutas y senderos según la experiencia, interés y el tipo de visitante.

PROPUESTAS.

Los sistemas glaciales y periglaciales en la ladera oriental de Aconquija (PNA) son los que constituyen la asociación de geoformas más significativas y singulares conformando escenarios naturales de gran valor patrimonial. Asociados a la composición geológica monótona del núcleo de la sierra (basamento), gestaron geoformas extraordinarias y características dispuestas actualmente en dos niveles de acción criosférica de distinta intensidad:: un nivel inferior desde 2.500 m snm hasta 3.500- 4.000 msnm con heladas estacionales, acción de agujas de hielo, suelos rastrillados, vegas y soliflucción y un nivel superior, desde 3.500-4.000 msnm hasta una altura media de 5.000 m snm, con la presencia de gelifracción intensa, de glaciares de escombros activos, inactivos y relícticos, canaletas de avalancha, geliflucción, suelos

estructurados, vegas de fondo de valle glaciar, glaciares cubiertos degradados, termocarst, depósitos morénicos antiguos, circos glaciales y fenómenos de degradación de distinta intensidad y otras geofomas menores vinculadas.

Habiendo detectado la ausencia o sesgos significativos en nuestros registros parciales de inventarios de geositos glaciales y periglaciales previos proponemos:

- Enriquecer las áreas relevadas agregando las ausencias y generando una base de datos de evaluación geoespacial adecuadamente sistemática que proporcione registro, mapeo y ubicación geográfica ordenada y accesible y fichas de características de geositos glaciales y periglaciales que aportarán a su conocimiento y de esta manera facilitarán su evaluación, manejo y conservación de este geopatrimonio en el nuevo Parque en vías de desarrollo. Las normas a utilizar serán las utilizadas en trabajos anteriores. (Ibañez Palacios et al, 2018, Ibañez Palacios et al. 2012 entre otros).

- Realizar la elaboración de mapas de rutas y sendas geoturísticas en las rutas tradicionales de circulación en la sierra de Aconquija y en aquellas desde las que, en territorio tucumano, se avisten sus calidades geo-paisajísticas ya mencionadas en párrafos anteriores. El objeto será incrementar la curiosidad del viajero e informarlo de las distintas posibilidades de acceso a estas regiones de turismo no convencional y sus oportunidades de incursión en paisajes no frecuentes, pero de extraordinaria riqueza patrimonial hasta ahora no preparados para ser visitados. Para ello será necesario proponer sitios accesibles y seguros como miradores o balcones de observación en las rutas, que contengan las condiciones adecuadas de seguridad para el viajero y señalización (cartelería) con información acorde y en términos sencillos. Se efectuará la realización de folletería para provisión en los centros de información turística.

Las sendas y rutas deberán ser las tradicionales y se informará al potencial usuario de sus condiciones de accesibilidad y las limitaciones pertinentes en cada caso.

- Se proveerá mediante talleres, cursos y jornadas de integración y capacitación la formación a los actores locales: guías, pobladores, comerciantes y otros, en los procesos y geofomas que generan y conforman sus paisajes y geositos. Esto contribuirá a fortalecer a las comunidades y prepararlas para ser el gestor local de su patrimonio con el objeto de generar apropiación de los recursos y preparación para el manejo y conservación en un marco económicamente sustentable.

DESAFIOS.

Los sistemas glaciares y periglaciales constituyen un reducto de la criósfera en el Parque Nacional Aconquija, construyen paisajes fascinantes de gran impacto visual y se erigen como elemento dominante del geopatrimonio en la sierra de Aconquija. A su vez, producen recursos hídricos estratégicos, reguladores de agua dulce para la provisión de pobladores y los ecosistemas y conforman acuíferos congelados en altura como reserva natural para ciclos de sequía o escasez. Ante los impredecibles cambios del calentamiento global deben ser protegidos y conservados no sólo debido a su alta fragilidad como patrimonio geológico sino también desde el punto de vista de su ordenamiento y gestión para el desarrollo de un turismo sustentable y económicamente viable para las poblaciones locales.

Los desafíos a los que nos enfrentaremos serán:

-Consolidar en el acervo educativo y cultural del poblador y el visitante la importancia de preservar la naturaleza de los sistemas glacial y periglacial de la región cuyo valor primario es la provisión y almacenamiento del agua prístina de valor intangible, e incorporar la importancia de su conservación como recurso fundamental para la supervivencia del hombre y la biota en ambientes tan ásperos como la alta montaña.

-Realizar en los hitos oportunos la integración de patrimonio abiótico al ya importante patrimonio biótico existente y asociarlos a los valores culturales e históricos o de generación de energía y recursos hídricos (diques, presas, otros) del territorio en cuestión.

-Lograr la interacción entre los distintos entes responsables (nacionales, provinciales, municipales, educativos, asociaciones locales, proveedores de excursiones locales, guías y foráneos, otros) para la concreción de estas propuestas en el marco integral de la conservación del patrimonio natural como un recurso a heredar por las próximas generaciones.

CONCLUSIONES.

Debido a la creciente demanda de turismo al aire libre asociado a su potencial impacto ambiental, las áreas protegidas y parques nacionales se encuentran ante un desafío insoslayable. La correcta identificación y el conocimiento de las características del paisaje ayudan a programar y promocionar un turismo sustentable. De tal manera que la producción de mapas temáticos se pueden considerar instrumentos eficaces para informar sobre geología y geomorfología del paisaje. El mapa resume la configuración geomorfológica, su diversidad geopatrimonial, sus accesos y niveles de uso turístico.

El mapa de geositos del sistema glacial-periglacial propuesto en esta presentación para el Parque Nacional Aconquija permitirá aportar conocimientos sobre la gestión adecuada, la conservación de su geopatrimonio y enriquecer el atractivo del paisaje de estos ambientes geomorfológicos de alta singularidad en estas latitudes: constituyen las cabeceras reservorio hídrico de la Cuenca del Salí-Dulce, relevante para la provisión de agua y la economía productiva del este tucumano y la provincia de Santiago del Estero, contienen parte del Qhapac Ñan, Camino del Inca, y las ruinas incaicas de La Ciudadita y otros sitios arqueológicos, Patrimonio de la Humanidad UNESCO, y regulan el agua que sostiene un núcleo de biodiversidad: selva subtropical de origen andino o Yunga y cuenta con patrimonio ex situ de soporte: importantes colecciones botánicas, biológicas y paleontológicas, museos de ciencias naturales, arqueológicos y obras ingenieriles de fuerte soporte al desarrollo de este propósito.

Son ineludibles estudios e investigaciones para establecer estrategias de ordenamiento y gestión del territorio del Parque. Involucrarán directamente a las comunidades locales proporcionando nuevas fronteras de desarrollo sustentable en las mismas, apropiación del conocimiento integral de su territorio para fortalecer adecuadamente procesos productivos locales.

La sierra de Aconquija, ladera oriental, por su constitución tectónica, posee un relieve de alto nivel de dificultad asociado a condiciones morfoclimáticas con laderas abruptas y profundas quebradas que producen desafiantes senderos que pueden generar distintas escalas de riesgo para el paseante, por lo tanto, es necesario establecer estrategias para

mitigar riesgos durante su uso aportando excelente información y campañas educativas en lenguaje sencillo sobre geología y medio ambiente.

Este último propósito se producirá con el aporte de un mapa detallado de geosenderismo con una apropiada y sencilla descripción, pero no menos rigurosa información, sobre los posibles riesgos a enfrentar ante la dinámica de los procesos del sistema glacial-periglacial asociados con los eventos climato-geomorfológicos de estos terrenos escabrosos fascinantes.

Esta presentación sintetiza una propuesta en marcha ante las autoridades de la provincia de Tucumán para promover el conocimiento e interés del patrimonio glacial-periglacial cumbral en el ámbito del Parque Nacional Aconquija, en el marco de un espíritu de geoconservación y generación de recursos sustentables a pobladores locales insertos en el territorio de esta gran área protegida integradora.

REFERENCIAS

- Ahumada, A.L. El Calentamiento Global y sus manifestaciones en la Criósfera de las Altas montañas del Norte Argentino. Edición Especial *Boletín Geográfico*. Año XXIX- Número 30: 57-69 (2007).
- Ahumada A.L., Ibañez Palacios, G.P. y Jiménez, M. Los fenómenos periglaciales. Identificación, determinación y aplicación. *Guía de Campo Curso de Pos-Grado*. Edición limitada. Fundación Miguel Lillo. Tucumán. 20p. (2000)
- Ahumada, A.L., Ibañez Palacios, G.P. y Páez, S.V. Los glaciares de escombros en el NW argentino, acuíferos de altura en riesgo ante los cambios globales. *20° Congreso Nacional del Agua y 3° Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur*, Versión digital ISSN/ISBN 987-22143-0-1, Mendoza (2005).
- Ahumada, A. L., Páez, S.V. e Ibañez Palacios, G. Los glaciares de escombros en la sierra de Aconquija, Argentina. *Acta Geológica Lilloana* 25 (1-2):49-68. (2013).
- Ahumada, A.L., Ibañez Palacios, G.P., Toledo, M.A., Saccone, P., García, A.K., Páez, S.V. y González Díaz, L.N. La criósfera en el noroeste argentino. En: Muruaga, C.M. y Grosse, P. (Eds.), Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. *Libro: Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino, Tucumán*: 851-872 (2017).
- Brown, A.D., Autoecología de bromelias epífitas y su relación con *Cebus apella*, Primates en el noroeste argentino. *Tesis doctoral Universidad nacional de La Plata. Inédita*. (1986).
- Cendrero, A. El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. En: *MOPTMA. El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid*, p. 17-38. (1996).
- González Bonorino, F., Descripción geológica de la Hoja 13e, Villa Alberdi, provincia de Tucumán. *Dirección Nacional de Minería. Boletín* 74, 106p. (1950).
- García-Cortés y Carcavilla Urqui Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). *Instituto Geológico y Minero de España*, p. 1-61. (2009).
- Gutiérrez A.A. y Mon, R. Megageomorfología del valle de Tafí, Aconquija, Tucumán. *Revista de la Asociación geológica Argentina* 59 (2):303-311. Buenos Aires. (2004).
- Ibañez Palacios, G.P. y Ahumada, A.L. Delimitation of the Geocryogenic Processes and Associated Geomorphic Belts in Los Alisos National Park, Tucumán. *International Symposium Reconstructing Past Regional Climate Variations in South America over the late Holocene: A new PAGES Initiative. Abstracts*: 74. Malargüe, Mendoza, Argentina. (2006).

- Ibañez Palacios, G. P., Ahumada, A. L. y Páez, S. V. Patrimonio geológico en una región de la Sierra del Aconquija, provincias de Tucumán y Catamarca, Argentina. *Revista Pasos* 10, 75-87 (2012).
- Ibañez Palacios G.P., Ahumada A.L. y Toledo M.A. Los Glaciares de Escombros Como Geopatrimonio en el Parque Nacional Campo de los Alisos, Tucuman, Argentina. *E-ICES 2013*, Malargue, Argentina, en prensa. (2018).
- Minetti, J.L., Poblete, A.G. y Longhi, F. Los mesoclimas del Noroeste Argentino. En: Minetti, J.L. (Ed.) *El clima del Noroeste Argentino*: 217-233. Ediciones Magna. Tucumán. (2005).
- Rohmeder, G. Die diluviale Vereisung des S Anconquija-Gebirges in Nordwest-Argentinien-Peterm. *Geogr. Mitt*, 12: 417-433. (1941).
- Rougés, A. El Parque de Tucumán. *Ensayos*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, p: 289-293 (2005).
- Strecker, M.R. Late Cenozoic landscape development the Santa María valley, northwestern Argentina. Ph.D. Thesis (unpublished). Cornell University 262 p. Ithaca, New York. (1987).
- Tapia, A. Apuntes sobre el glaciario pleistocénico del Nevado del Aconquija. *Anales de la Sociedad Argentina de Geografía*, 1: 313-365. 8 (1925).
- Toselli A. y Rossi de Toselli, J. El basamento metamórfico ígneo de las Sierras Pampeanas de la provincia de Tucumán. En: Gianfrancisco M., Puchulu, M.E., Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. *Geología de Tucumán*, Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, Argentina., p:47-56. (1998).
- Wimbledon, W. A. P.; Ishchenko, A. A.; Gerasimenko, N. P.; Karis, L. O.; Suominen, V., Johansson, C. E. y Freden, C. Proyecto Geosites, una iniciativa de la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS). La ciencia respaldada por la conservación. En Baretino, Daniel; Wimbledon, William A.P. y Gallego, E. (Eds) *Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid*, pp 73-100. (2000).
- Zipprich, M., Reizner, B., Veit, H., Zech, W. y Stingl, H. Upper Quaternary climate and landscape evolution in the sierra de Santa Victoria (Cordillera Oriental, northwestern Argentina) deduced from geomorphologic and pedologic studies. *16° Geowissenschaftliches lateinamerika-Kolloquium. Terra Nostra* 5: 180-181. (1998).

RIESGO Y VULNERABILIDAD A INUNDACIONES DEL RÍO LUJÁN, PROVINCIA DE SAN LUIS, ARGENTINA

Aranda J.^a, Sosa G del R.^a, Indelicato N.^a, Muñoz L.^a, Lopez F.^a,
Larrégoła E.^a, Konickx W.^a

^a *Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, ARGENTINA.*

e-mail: jael.aranda@gmail.com

RESUMEN

La localidad de Luján está ubicada 125km al norte de la ciudad de San Luis. Con un área aproximada de 20km² ocupa parte del piedemonte noroccidental de la sierra de San Luis (SSL) a la vera del río Luján. El 1 de marzo de 2015 una tormenta excepcional (200mm en pocas horas), ocasionó el desborde del río, dejando como consecuencia la inundación de gran parte de la localidad, con importantes daños en infraestructura. Se presentan parte de los resultados de un proyecto SPU, cuyo objetivo fue obtener un mapa de riesgo de inundación para la localidad de Luján y concientizar a la población sobre la importancia de conocer el paisaje que habitan y sus riesgos geológicos. El río Luján nace en la SSL y drena al nor-noroeste en un cauce único de régimen permanente; su caudal ha permitido embalsar sus aguas en la desembocadura de la sierra. Su cuenca hídrica es alargada, oblonga y con un diseño de drenaje subdendrítico; la cuenca alta drena pampas de altura con cauces someros y redes jerarquizadas y la porción media-baja se desarrolla sobre la ladera abrupta de la sierra con un cauce único y profundo. Aguas abajo del embalse, el río recibe el aporte del arroyo Las Higuieritas. La localidad de Luján se asienta, en parte, sobre la llanura de inundación del río, que ha perdido identidad a causa de la intervención antrópica. Del análisis de sus características la cuenca del río Luján posee un grado moderado de peligrosidad a inundaciones; no obstante, la vulnerabilidad de la localidad se agrava debido a su ubicación. Del mapa se infiere que los daños ocurridos en la inundación del 2015 se agravaron por el desborde del arroyo Las Higuieritas.

Palabras claves: riesgo, vulnerabilidad, inundación, cuenca, Luján

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista geográfico/geológico el área de estudio abarca parte de la ladera occidental de la de la Sierra de San Luis, en su porción septentrional, y de su piedemonte asociado.

La localidad de Luján está ubicada en el extremo septentrional de la provincia de San Luis (32°21'55,96"S 65°57'3,56"O), 125 km al norte de la capital de la provincia, desde la cual se accede a través de la ruta nacional RN 146 (Fig.1). Tiene un área aproximada de 23 km², siendo más del 80% de ocupación rural. Se encuentra complemente instaurada sobre la margen izquierda del actual cauce del río Luján, que con dirección SSE-NNO, nace en el *kninck* serrano y posee características de un río semipermanente, con un caudal que ha permitido el embalse de sus aguas.

El 1 de marzo de 2015 una tormenta de carácter excepcional, con una descarga de más de 200 mm en pocas horas, ocasionó el desborde del río Luján y de su principal contributario, el arroyo Las Higuieritas. El suceso fue catastrófico, con la inundación de más del 50 % de la localidad e importantes daños infraestructura, principalmente viviendas y caminos.

El objetivo de este trabajo es mostrar el contexto geológico/geomorfológico en el que se enmarca la localidad de Luján y las condiciones de riesgo y vulnerabilidad a sufrir inundaciones.

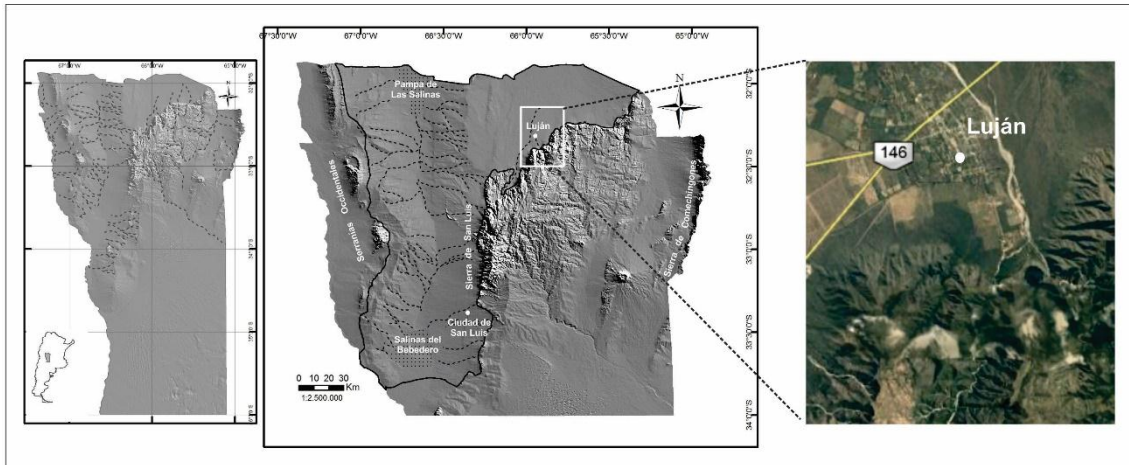


Fig. 1: Mapa general de ubicación del área de estudio.

MARCO GEOLÓGICO

La Sierra de San Luis, forman parte de las Sierras Pampeanas Orientales, caracterizada por la disposición de cordones serranos alternantes con depresiones longitudinales (Caminos, 1979); los primero se hallan basculados y peneplanizados, limitados en su borde occidental por fallas inversas lístrica (Yrigoyen, 1981; Costa y Cortez, 1993; Costa *et al.*, 2001 a), en tanto que las depresiones intermontanas (González Díaz, 1981) funcionan como cuencas receptoras de los sedimentos que surgen de la erosión de los bloques serranos.

En este contexto, la Sierra de San Luis se presenta como un macizo rocoso de aproximadamente 8000 km², elongado en sentido NE-SO con una grosera configuración ovalada en planta y morfológicamente asimétrico, con laderas de fuerte pendiente al oeste (6% en promedio) y suave al este (1% en promedio). Desde el punto de vista petrológico, el basamento ígneo-metamórfico serrano está conformado por tres grupos litológicos principales: metamorfitas, granitoides y migmatitas (Kilmurray y Dalla Salda, 1977). Las rocas metamórficas se disponen en fajas meridionales que varían de alto a bajo grado (Sato *et al.*, 2003); en tanto que los componentes graníticos fueron clasificados como pre-, sin- y postectónicos respecto a la deformación penetrativa famatiniana (Ortiz Suárez *et al.*, 1992; Llambías *et al.*, 1998).

El piedemonte occidental de la Sierra de San Luis forma parte del borde oriental de la Depresión Longitudinal Central (González Díaz, 1981); presenta características particulares de un piedemonte asociado al frente de deformación de una falla inversa, los cuales no han recibido demasiada atención en la literatura específica a nivel internacional. Morfológicamente no es homogéneo a la largo de toda su extensión, sino que presenta características que propicia su división (Aranda *et al.*, 201; Aranda *et al.*, 2012); en función a esto, el área de estudio forma parte del Piedemonte Norte de la Sierra de San Luis (Aranda *et al.*, 2011). Se describe como una superficie agradacional de muy escasa pendiente hacia el norte ($0,34 \pm 0,07\%$), con desniveles internos entre 1 y 2,5 m, lo cual permite catalogarla prácticamente como una llanura. Las unidades morfogenéticas que la

identifican están asociadas a remanentes de abanicos aluviales, abanicos aluviales terminales y una planicie de acumulación aluvio-eólica. Los primeros están acotados al borde serrano y poseen escasa magnitud areal; hacia la zona media y distal predominan morfologías de mantos aluvio-eólico, sobre los cuales la escorrentía superficial labra cauces intermitentes o arroyos. Los ríos de mayor envergadura (río Luján, río San Francisco, entre otros) tienen un régimen fluvial semipermanente, hábitos meandriformes con cauces amplios (entre 500 y 1000 m) y culminan en zonas de descarga distal, con morfología lobuladas, en planta (Aranda *et al.*, 2011).

MATERIALES Y MÉTODO

En una primera etapa se realizó la búsqueda bibliográfica y la preparación del material cartográfico de base utilizando imágenes satelitales de la plataforma de Google Earth, y Modelos Digitales de Elevación (DEMs) de las misiones SRTM y JAXA con 30 m de resolución espacial. Toda la información fue manipulada y procesada en el entorno de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

La delimitación de las cuencas hídricas y de las unidades geomorfológicas pedemontanas se realizó mediante digitalización en pantalla en el entorno de un SIG; así mismo para el cálculo de las variables morfométricas también se utilizó como base un DEM e imágenes satelitales, que fueron manipuladas con las herramientas proporcionadas con los SIG para tal fin.

El trabajo de campo fue organizado en dos etapas: una destinada a la caracterización geomorfológica del río Luján y su cuenca hídrica y otra enfocada en el análisis del riesgo y vulnerabilidad de inundaciones para la localidad de Luján. La primera consistió en la corroboración de las unidades homogéneas del terreno delimitadas preliminarmente en gabinete, su medición y caracterización. Por otra parte, para la recopilación de datos referentes al riesgo y ocurrencia de inundaciones, se trabajó con alumnos de diferentes dependencias educativas para obtener datos históricos del funcionamiento dinámico del río y documentar su experiencia respecto al evento de desborde del río Luján en marzo de 2015 que dejó a gran parte de la localidad inundada; en esta instancia los alumnos elaboraron mapas destinados a delimitar los sectores afectados por la inundación.

En una etapa final los datos históricos y aquéllos obtenidos de los mapas elaborados por los alumnos fueron cotejados con los desprendidos del análisis geológico en campo y el procesamiento de imágenes y datos en gabinete.

RESULTADOS

MORFOMETRIA DE LA CUENCA HÍDRICA DEL RÍO LUJÁN

La cuenca del río Luján se desarrolla sobre la ladera occidental de la sierra de San Luis, que se ha definido como corta y de pendientes abruptas (próxima al 8%). En la desembocadura de la cuenca el agua es embalsada (Dique Luján), con lo cual ha cambiado, en los últimos 60 años, la dinámica fluvial del río. Si bien el agua que drena esta cuenca es la principal fuente de alimentación del río Lujan, un importante afluente lo constituye el arroyo La Higuera, que aporta su caudal al río Luján por su margen oeste, a aproximadamente 3 km aguas abajo del embalse (Fig.2).

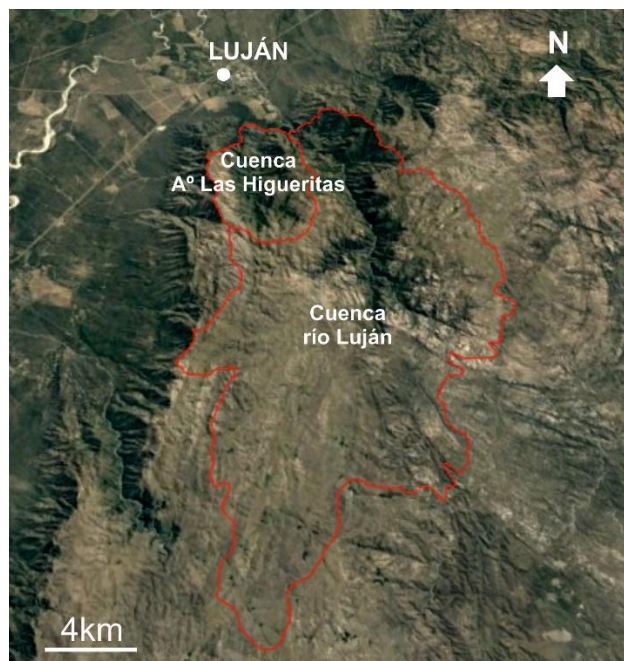


Fig. 2: Cuenca hídrica del río Luján: obsérvese las dimensiones de la cuenca y su relación con la cuenca del arroyo Las Higuieritas.

En función de los datos obtenidos la cuenca del río Luján puede ser clasificada como una cuenca “pequeña” según la clasificación internacional del IDEAM, 2010 (Tabla I). No obstante, atendiendo a las dimensiones de las cuencas hidrográficas definidas para la porción occidental de la Sierra de San Luis (Aranda *et al.*, 2014) la cuenca del río Luján excede ampliamente las dimensiones medias planteadas.

Tabla I: Clasificación de cuencas hidrográficas en función de su área (IDEAM, 2010)

Tamaño de la cuenca (km ²)	Clasificación
Menor a 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
Mayor a 5000	Muy grande

Su relación Longitud/Ancho (L/A) (Tabla II) indica que la cuenca es 3 veces más larga que ancha, lo cual se atribuye a que las fuertes pendientes de la ladera serrana favorecen la incisión vertical de los cauces respecto a su migración lateral.

La porción alta de la cuenca se desarrolla en su integridad sobre “pampas de altura”, caracterizadas como zonas de grandes extensiones y escasa pendiente (prácticamente horizontales) que coronan el macizo serrano, asociadas a procesos de planación del mismo (González Díaz, 1981); en estos sectores la pendiente ronda el 10%, respecto a los sectores medios bajos de la cuenca desarrollados sobre la ladera abrupta, donde puede llegar hasta 65%.

Con respecto a los índices de forma de la cuenca (Tabla II) se utilizó el Coeficiente de Compacidad (Kc) y el Coeficiente de Forma (Kf), propuestos por Gravelius, 1914 y Horton, 1945, respectivamente, cuyas ecuaciones han sido y siguen siendo utilizadas por numerosos autores. El primero relaciona el perímetro de la cuenca con el de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca.; según el valor que tome este coeficiente, la

cuenca tendrá diferente forma: $K_c = 1$ representa una cuenca redonda; $K_c = 1,25$, oval redonda; $K_c = 1,50$ oblonga; K_c igual o mayor a 1,75 indica una cuenca rectangular-oblonga. Su valor será mayor que la unidad y crecerá con la irregularidad de la forma de la cuenca. A medida que su K_c tiende a 1, es decir cuando tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor. Por su parte, el coeficiente de Horton proporciona una aproximación a cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial en la cuenca, manifestando la tendencia de la misma respecto a las crecidas; cuando es próximo a 1, representa una cuenca de forma redondeada y mientras más de aleje de este valor la cuenca tiende a ser más alargada, disminuyendo proporcionalmente la magnitud de las crecientes. En función a ello y a los datos obtenidos (Tabla II) la cuenca del río Luján se clasifica como una cuenca rectangular-oblonga, con clara tendencia a ser alargada; basándonos en lo interpretación morfométrica de los datos obtenidos y la significancia de los parámetros utilizados, se interpreta que el riesgo de concentración de escurrimiento superficial, que pueda llegar a ocasionar inundaciones en su desembocadura, es bajo.

Tabla II: Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica del río Luján

	ÁREA	LONGITUD	ANCHO	L/A	Kc	Kf
Cuenca hidrográfica del río Luján	195,8	28,04	8,22	3,41	1,76	0,29

RIO LUJÁN

El río Luján nace en el *knick* serrano y corre en dirección SSE-NNO por aproximadamente 16 km, hasta culminar en extensos derrames terminales de morfologías lobuladas en planta con notoria expresión en la monótona planicie pedemontana distal. El río posee un canal único, cuya morfología en planta varía desde recto a levemente sinuoso en las zonas proximales de piedemonte a netamente meandriforme hacia las distales. Los elementos geomorfológicos que han podido identificarse formando parte de río son: cauce principal, cauces secundarios y barras. El cauce principal posee una longitud de talweg de 24 km aproximadamente y un ancho variable entre 20 m para las partes más estrechas y 200 m para las más ensanchadas; actualmente tiene una dinámica semipermanente y es fácilmente reconocible en imágenes satelitales por su alta reflectancia; su lecho está caracterizado por la presencia de bloques de rocas graníticas principalmente, subredondeados y hasta de 1 m en su eje mayor. Como cauces secundarios se han identificados aquellos asociados al proceso de *chut-cut-off*, producto del acortamiento de meandros; su reflectancia en imágenes satelitales es baja, respecto al cauce principal, debido a que en estos lugares se concentra mayormente la humedad propiciando el crecimiento de vegetación o simplemente el estancamiento temporal de agua. Las barras se han clasificado como pertenecientes a dos tipos: barras longitudinales, donde el río es recto, y de meandros, donde el río se torna sinuoso; tienen dimensiones que rondan entre 0,5 y 1 km², con desniveles respecto al cauce principal del orden del metro.

La llanura de inundación del río no ha sido posible ser distinguida con claridad con el material digital disponible (imágenes satelitales, fotografías aéreas y DEMs). El asentamiento urbano de la localidad de Luján sobre, lo que se considera, parte de la

llanura aluvial del río y la expansión de la misma hasta las márgenes del cauce actual han desdibujado la morfología original del terreno (Fig.3).



Fig. 3: Río Luján: detalle de como el asentamiento de la localidad de Luján se dispone sobre la margen del actual trazo del cauce. Obsérvese cómo el A° Las Higuieritas se une al cauce principal del río Luján.

DETERMINACION DE ZONAS INUNDABLES

Como se mencionó en el apartado anterior, la zona de influencia del río Luján se halla totalmente alterada por la intervención antrópica, cuyas evidencias principales son el endicamiento de sus aguas y la expansión urbana hasta la margen izquierda del cauce actual. Esto hecho sumado a que no se ha podido contar con registro de imágenes satelitales o fotografías aéreas anteriores a la construcción del dique y tampoco con información satelital de detalle, es que se recurrió a métodos indirectos para inferir las áreas potencialmente inundables.

Por un lado, haciendo uso de herramientas de análisis disponibles en los SIG, utilizando parámetros morfométricos como la pendiente y la altura se obtuvieron mapas en los cuales, mediante la técnica de “semáforo”, se representan zonas de diferentes grados de susceptibilidad a las inundaciones (Fig. 5).

En una segunda instancia se visitaron las zonas que fueron fuertemente afectadas por la inundación de marzo del 2015; en las inmediaciones a la margen del río las consecuencias fueron catastróficas, se pudo registrar que la columna de agua alcanzó al menos 2 m de altura y se extendió hasta 300 m fuera del cauce principal, arrasando con barrios enteros (Fig. 4 a y b).



Fig. 4: Evidencia de la inundación de marzo del 2015. A. Obsérvese la marca en la pared de la altura alcanzada por el agua; la foto corresponde a viviendas ubicadas a menos de 100 m de la margen del actual cauce del río Luján. B. Esta foto fue tomada en la confluencia del A° Las Higuieritas con el río Luján; obsérvese como los sedimentos llegan a la base de la copa de los pinos y como han sepultado un alambrado.

Por último, en función del mapeo temático surgido del trabajo con los alumnos de los establecimientos educativos y el relato de las experiencias vividas por los ciudadanos de la localidad referidas al evento catastrófico del 2015 y otros eventos históricos, incluso antes de la construcción del dique, se pudieron establecer zonas que fueron afectadas por la inundación del 2015, información a la cual no hubiésemos podido acceder mediante trabajo de campo y gabinete convencional debido a que no se contaba con registros del fenómeno. En estos relatos, los ciudadanos cuentan que en zonas alejadas al río el agua, durante la crecida, llegó a alturas de hasta 1,5 m (Fig. 5).

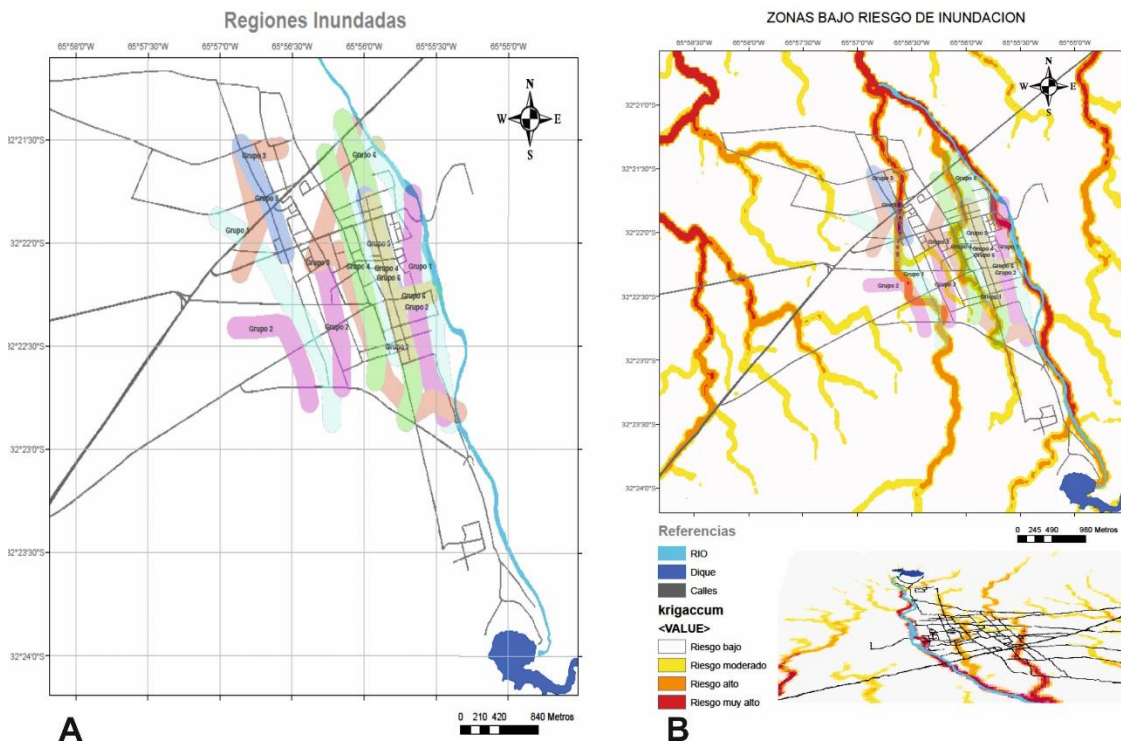


Fig. 5: Mapas temáticos que representan las zonas propensas a sufrir inundaciones. A. Mapa surgido del trabajo y relatos de los alumnos. B. Mapa temático donde se muestran las zonas inundables obtenidas con un SIG y representadas mediante la técnica de “semáforo” en comparación con las que surgen del trabajo con los damnificados; obsérvese la correspondencia de los datos.

CONCLUSIONES

En primer lugar, en función del análisis morfométrico se pudo establecer que la cuenca del río Luján representa medio a bajo grado de peligrosidad aluvional. No obstante, el riesgo que presenta la localidad a sufrir inundaciones es elevado debido a la misma se encuentra asentada sobre la zona naturalmente inundable del río Luján, además de ser un sector pedemontano proximal en el cual desembocan otros cauces menores provenientes de la sierra como es el caso del arroyo Las Higuieritas, cuya cuenca es de importante dimensiones y su potencial de generar inundaciones es elevado, así como otras cuencas menores que desembocan en el ámbito pedemontano y generan escurrimientos de agua no canalizados. Por otro lado, la vulnerabilidad de la localidad de Luján se ve incrementada debido a que proyecta su crecimiento urbano hacia las márgenes del río sin planificación territorial.

Se concluye que el evento aluvional de características catastróficas que sufrió la población de Luján en marzo del 2015 estuvo sujeto a condiciones climáticas que significaron un aumento de las precipitaciones a nivel regional para el ámbito serrano e inmediaciones. No obstante, la situación para el área bajo estudio se vio agravada por el desborde del arroyo Las Higuieritas, y otros arroyos menores, que superó ampliamente las vías de canalización con las que cuenta y desbordó directamente el casco urbano de la localidad de Luján.

Por último, se considera que los trabajos multidisciplinarios, donde se conjuguen las tareas científicas con aquéllas donde se implementen técnicas de recopilación de datos históricos a través del testimonio de los ciudadanos en necesario, sumamente enriquecedor y esclarecedor en estos casos; más aún donde la información disponible o las herramientas con las que se cuentan son acotadas. El trabajo aquí presentado surge de la interacción de alumnos y docentes a través de un proyecto de extensión universitaria y significa el puntapié inicial para trabajos futuros en la región.

REFERENCIAS

- Aranda, J., Ojeda G., Suvires G. Caracterización geomorfológica de la Depresión Longitudinal Central, San Luis, Argentina. XVIII Congreso Geológico Argentino, Actas: 1200-1201. Neuquén, Argentina. (2011).
- Aranda, J., Ojeda, G., Suvires, G. Abanicos Aluviales en el Sector Suyuque, San Luis, Argentina. V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Actas (Resúmenes): 118. Río IV, Argentina. (2012).
- Aranda, J., Ojeda, G. Análisis morfométrico de las cuencas hídricas de la ladera occidental de las sierras de San Luis, Argentina. XIX Congreso Geológico Argentino. Actas: S13-24. (2014).
- Caminos, R. Cordillera Frontal. En: Turner, J.C.M. (Ed.): Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias 1: 397-453, Córdoba. (1979).
- Costa C., Gardini, C., Ortiz Suárez, A., Chiesa, J., Ojeda, G., Rivarola, D., Strasser, E., Morla, P., Ulaco, J., Tognelli, G., Carugno Durán, A., Vinciguerra, H. y Salas, D. Hoja Geológica 3366-I, San Francisco del Monte de Oro. Provincias de San Luis, Mendoza y San Juan. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín, 278 p., Buenos Aires. (2001 a).

- Costa, C. y Cortés, J. Tectónica extensional en el extremo sur de la sierra de San Luis. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 3:113-119. (1993).
- González Díaz, E.F. Geomorfología. En: M. Yrigoyen (Ed.). Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis. Relatorio 8° Congreso Geológico Argentino: 193-236. (1981).
- Gravelius, H. Flusskunde. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En Zavoianu, I. (1985): Morphometry of Drainage Bassins. Amsterdam, Elsevier. (1914).
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America, n° 56, pp. 275-370.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (IDEAM). Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano. (2010).
- Kilmurray J. y Dalla Salda L. Caracteres estructurales y petrológicos de la región central y sur de la Sierra de San Luis. Obra del Centenario del Museo de La Plata 4: 167-178, La Plata. (1977).
- Llambías, E., Sato, A. M., Ortiz Suarez, A. y Prozzi, C. The granitoids of the sierra de San Luis. Geological Society of London. Special Publication N° 142. En Pankhurst, R. & C. Rapela. (eds.) The proto-Andean Margin of Gondwana. 384 pp. (1998).
- Ortiz Suárez, A., Prozzi, C. y Llambías, E. Geología de la parte Sur de la Sierra de San Luis y granitoides asociados, Argentina. Revista de estudios geológicos 48: 269-277. Madrid. (1992).
- Sato, A.M., P.D. González y E.J. Llambías. Evolución del Orógeno Famatiniano en la sierra de San Luis: magmatismo de arco, deformación y metamorfismo de bajo a alto grado. Revista de la Asociación Geológica Argentina, este volumen. (2003)
- Yrigoyen, M. Síntesis. En: M. Yrigoyen (Ed.). Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Luis. Relatorio 8° Congreso Geológico Argentino: 7-32. (1981).

ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN NEUTRÓNICA PARA LA DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS DEL COMPLEJO MINERO FABRIL DE SAN RAFAEL, MENDOZA

Castaño-Gañán A. R.^a, Jasan R.^b y Invernizzi R.^b

^a ICES – Comisión Nacional de Energía Atómica, Regional Malargüe, ARGENTINA

^b División Técnicas Analíticas Nucleares, Departamento Química Nuclear, Comisión Nacional de Energía Atómica, ARGENTINA

e-mail: aganan@cnea.gov.ar

RESUMEN

Se determinaron los contenidos de: As, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Sr, Th, U e Yb y el pH en 13 muestras de suelo (11 muestras de suelos y dos de pasivos ambientales) del Complejo Minero Fabril de San Rafael (CMFSR), Mendoza. Las muestras fueron colectadas en zonas no impactadas por el complejo industrial y en zonas con impacto del mismo. Los contenidos de metales pesados fueron determinados por el Laboratorio Técnicas Analíticas Nucleares, Centro Atómico Ezeiza, CNEA, utilizando la Técnica de Análisis de Activación Neutrónica (AAN). Los resultados analíticos evidencian en las muestras correspondientes a las zonas no impactadas por el complejo industrial la presencia de metales de origen geogénico y no antropogénico. En contraste, pudo observarse que las muestras tomadas en los pasivos ambientales así como también las muestras que tuvieron un impacto directo de las actividades desarrolladas en el complejo, presentaron valores de concentración de Uranio y de Arsénico muy superiores al resto de las muestras.

Palabras Clave: Activación Neutrónica, Metales Pesados, Suelos, Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR)

INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2009), el suelo es una mezcla compleja de organismos vivos, materia orgánica, minerales, agua y aire. Diferentes partículas lo componen donde las partículas orgánicas son de material vegetal y animal, y las partículas minerales tales como arena, arcilla, piedras o grava que, alguna vez, fueron parte de rocas mayores de su constitución geológica o material parental. La vegetación es un factor dominante en la formación del suelo, ya que es la fuente primaria de la materia orgánica y por su rol en el reciclaje de nutrientes e hidrología del sitio. El material parental es el material de donde presumiblemente el suelo se formó. Existen básicamente dos grupos de material parental sobre el cual el suelo se formó: materiales no consolidados (mayormente sedimentos) y material intemperizado que se encuentra sobre las rocas que le dieron

origen. Existen casos transicionales, como los materiales parcialmente consolidados y que fueron transportados, por agua, llamados alluvium (fluvial si fue transportado por un río), o por gravedad, (llamado coluvial). Se forma por la meteorización de la roca, la roca se fractura y quiebra en pequeñas piezas, es un efecto combinado de procesos físicos, químicos, biológicos y antropogénicos en el material parental.

Las fuentes principales de contaminación del suelo, incluyen la polución por actividades agrícolas e industriales. Actualmente se hace necesario llevar a cabo monitoreo ambiental del recurso suelo a través de análisis químicos en los mismos, para con esto potenciar los requerimientos legislativos para garantizar su buen estado y minimizar los riesgos de deterioro ambientales, básicamente en aquellos sitios con pasivos ambientales de la industria minera.

Los recursos minerales son material base para el desarrollo socio-económico, a pesar de esto, los recursos minerales, su extracción y uso en diferentes procesos industriales han generado diversas discusiones en términos de polución ambiental con metales pesados (Niazi and Burton; 2016). La ocurrencia de altos niveles de metales pesados (metales con peso mayor a 5000 kg/m³) es un potencial riesgo para la salud humana y el ambiente tanto por su potencial tóxico, su tendencia a bioacumularse y a su alta persistencia en los ecosistemas (Shahid et al; 2015). Aunque algunos metales tales como manganeso (Mn), zinc (Zn), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe) y níquel (Ni) son requeridos como micronutrientes para la vida de los organismos incluyendo plantas y animales, estos pueden tener efectos nocivos a altas concentraciones dentro del organismo. Otros metales no esenciales pueden inducir a toxicidad severa a la vida del organismo aun en bajas concentraciones, tales como mercurio (Hg), Cadmio (Cd), arsénico (As) y plomo (Pb) (Shahid et al; 2015).

En general, la distribución de metales pesados en los suelos es un fenómeno complejo que se ve influenciado por factores como el potencial redox, el pH, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el nivel de las aguas subterráneas y sus fluctuaciones, entre otros (Lee et al. 2001; Galán y Romero 2008; Jordanova D. et al. 2013).

La presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes), es un tipo especial de degradación que se denomina “contaminación”. El contaminante está siempre en concentraciones mayores de las habituales (anomalías) y en general tiene un efecto adverso sobre algunos organismos. Por su origen puede ser geogénico o antropogénico. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos “hazardous wastes” derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los residuos sólidos urbanos. Desde un punto de vista legal, los contaminantes antropogénicos son los verdaderos contaminantes (Galán y Romero; 2008).

Los contaminantes pueden abandonar un suelo por volatilización, disolución, lixiviado o erosión, y pasar a los organismos cuando pueden ser asimilables (bioasimilables), lo que normalmente ocurre cuando se encuentran en forma más o menos soluble. En concreto, la posibilidad de que un elemento (contaminante o no) quede libre y pase a disolución

en un suelo se llama disponibilidad. La biodisponibilidad sería el grado de libertad en que se encuentra un elemento o compuesto de una fuente potencial para ser capturado por un organismo (ingerido o adsorbido) (Newman & Jagoe, 1994). Normalmente sólo una fracción pequeña de una sustancia potencialmente contaminante de un medio es biodisponible. Su efecto suele ser negativo, pero también puede ser indiferente para un organismo específico.

Este Informe presenta los contenidos de As, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Sr, Th, U y Yb y el pH en 9 muestras de suelo, S1P1, S1P2 son muestras tomadas a lo largo del arroyo El Tigre antes de pasar la zona industrial; S2P1, S2P2, S2P3, en la zona industrial y S3P1 y S3P2 pasando la zona industrial del complejo; los sitios S6P1 y S6P2 están sobre un área propuesta para riego de agua tratada proveniente de una cantera, al Este de la zona industrial, denominada ACRE (Área de cultivos restringidos especiales) ver Figura 1.

Estas muestras se tomaron durante los meses de enero y abril de 2017 en el CMFSR, con miras a identificar en un Informe posterior la disponibilidad de estos metales pesados para la vegetación.

Este Informe ha sido posible gracias al trabajo logístico y en terreno, del personal de la Subgerencia Complejo Minero Fabril de San Rafael (CMFSR), así como del personal del Laboratorio Técnicas Analíticas Nucleares, Centro Atómico Ezeiza (CAE), CNEA, quienes determinaron los contenidos de metales pesados en los suelos por medio de Análisis de Activación Neutrónica (AAN).

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

A continuación se describe el área de estudio y la metodología de muestreo así como los diferentes análisis realizados a las muestras de suelo.

Área de Estudio

El Yacimiento uranífero de Sierra Pintada, ubicado al Sur Oeste de la Villa 25 de Mayo y a una distancia aproximada de 12 km, en la provincia de Mendoza (ver Figura 1), fue descubierto en 1968, a través de una prospección radiométrica aérea, en la que pudieron identificarse una serie de anomalías, corroborando posteriormente la presencia de Uranio en la zona. A partir de 1975 se puso en funcionamiento el Complejo Minero Fabril Sierra Pintada, el mayor depósito argentino de uranio hasta la



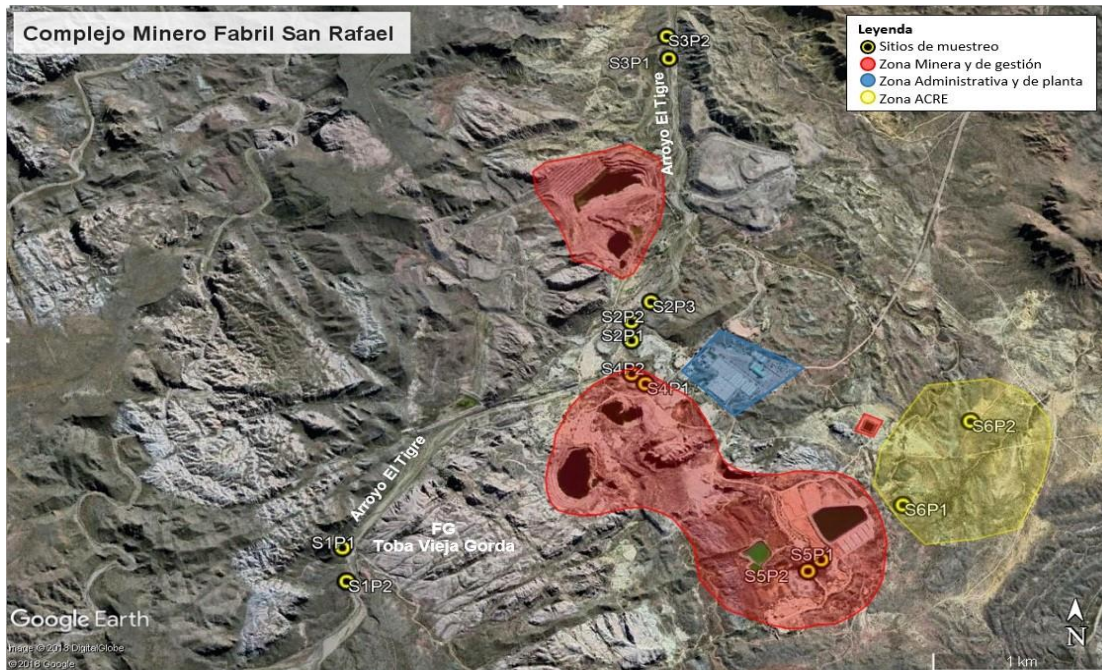


Figura 1. Área de Estudio CMFSR, provincia de Mendoza y sitios de muestreo, indicados sobre una imagen satelital.

El CMFSR de Sierra Pintada abarca una superficie de 2007 Ha. Dentro de la misma se realizaron todas las operaciones relacionadas a la obtención de Diuranato de Amonio como producto final.

La zona pertenece al denominado Bloque San Rafael, la constitución e historia geológica del Bloque de San Rafael es compleja. Particularmente para el área de Sierra Pintada, sobre un basamento de terrenos antiguos (Devónico y Carbonífero), afectado por un intenso tectonismo, se desarrolló en el Pérmico inferior una profusa actividad volcánica que derivó en la acumulación de una importante secuencia de rocas volcánicas y volcanoclástica interdigitadas, que conforman el Grupo Cochico (Mancilla y Dieguez, 2013). Los grandes volúmenes de ignimbritas intermedias y ácidas debido al vulcanismo permotriásico generó la condición favorable para la concentración del yacimiento de Uranio en el CMFSR (Kleiman. 1993).

Metodología de Muestreo

Cada muestra de suelo consistió en una mezcla de cuatro a cinco porciones de suelo (submuestras) tomadas al azar en cada una de las 13 parcelas circulares (P), muestreadas de los 6 sitios (S), las parcelas fueron de 100m². S1P1, S1P2 son muestras tomadas a lo largo del **arroyo El Tigre** antes de pasar la zona industria; S2P1, S2P2, S2P3, en la **zona minero-industrial** y S3P1 y S3P2 **pasando la zona minero-industrial del complejo**; los sitios de pasivos ambientales S4P1, S4P2, S5P1 y S5P2 están ubicados en la **zona minero-industrial**, S6P1 y S6P2 están **al Este de la zona industrial**, denominada ACRE (Área de Cultivos Restringidos Especiales).

Las herramientas para cada toma debían estar completamente limpias, libres de superficies oxidadas y que no contuvieran residuos de otros materiales. En cada sitio de muestreo se removían las plantas y hojarasca fresca de un área de 40 cm x 40 cm, luego con la pala se tomaban aproximadamente 1000 g de suelo y se depositaba en un balde plástico limpio. Se removían las piedras, raíces gruesas, lombrices e insectos del suelo. Las porciones del suelo se desmenuzaban con la mano. Al final las cuatro o 5 submuestras se mezclaron en el balde para luego conformar una sola muestra de 1 kg la cual fue secada al aire hasta peso

constante, en el Laboratorio de Suelos del Programa de Remediación Ambiental de la Minería del Uranio (PRAMU), donde posteriormente cada muestra se molió con un rodillo de cocina sobre papel kraft, donde se seleccionó una submuestra de 50 gr para la determinación del pH, con un pH metro digital Pocket Hanna Combo en una proporción de 1:3 .

Otra porción de 50 gr de suelo fue rotulada y puesta en bolsa de cierre hermético para enviar al Laboratorio Técnicas Analíticas Nucleares (TAN), Departamento Química Nuclear del CAE, CNEA, para la determinación de contenido de metales pesados.

Determinación de los Metales Pesados

El contenido de metales pesados en los suelos del CFMSR, fue determinado como se describe a continuación:

Las muestras fueron secadas en estufa por 24 horas. Posteriormente fueron envasadas en ampollas de cuarzo para su irradiación junto con los materiales de referencia certificados NIST SRM 1633b Coal Fly Ash, y Suelo Chino GBW 07405. Las muestras junto con los materiales de referencia, fueron irradiadas durante 4.5 horas en el reactor RA-3 perteneciente al CAE, CNEA. Una vez irradiadas, las muestras se recibieron en el laboratorio TAN, envasándose en recipientes nuevos para su posterior medición. Se realizaron dos mediciones con tiempos de decaimiento de 7 y 30 días aproximadamente para la determinación de: As, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Sr, Th, U e Yb. Se utilizaron detectores de GeHP Ortec (30% de eficiencia, 1.9 keV de resolución para el pico de 1332.5 keV de ^{60}Co), un módulo buffer multicanal Ortec 919E y el software de adquisición de datos Gamma Visión. El cálculo de concentraciones se realizó a través de programas desarrollados en el laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos analizados por lo general están en medio de fragmentos rocosos, que influyen en el estado de los nutrientes del suelo, el movimiento del agua, uso y manejo del suelo. También refleja el origen y estado de desarrollo del suelo. Los suelos muestreados son de textura moderadamente gruesa; Limosa en S1P1, S1P2, S2P2, S2P3, S3P1, S6P1 y S6P2; y textura Limo-Arenosa en S2P1 y S3P2, característica que permite apreciar estos suelos como poco capaces de retener agua.

Los resultados en la Tabla 1, muestran las concentraciones (en $\mu\text{g/g}$) de los elementos analizados por el laboratorio TAN y los valores de pH medidos en Malargüe.

Tabla 1. Concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$), resultado proporcionado por Laboratorio TAN-CAE y valores de pH para cada una de las 13 parcelas muestreadas. En color rojo se indican los valores que sobrepasan los valores medios respecto a los valores hallados en el total de parcelas, las cuales están en los valores normales de concentraciones de U en la corteza terrestre.

	S1P1	S1P2	S2P1	S2P2	S2P3	S3P1	S3P2	S4P1	S4P2	S5P1	S5P2	S6P1	S6P2
As	7,75	7,90	8,18	7,15	10,93	7,56	6,50	21,26	12,50	25,8	13,4	7,6	21,7
Sb	0,507	0,545	0,542	0,534	0,596	0,847	0,527	1,315	0,694	1,465	1,526	0,515	1,359
Ce	61,5	62,6	69,1	54,0	66,5	60,5	62,4	106,4	75,6	106,2	83,9	64,5	84,5
Eu	1,315	1,298	1,338	1,299	1,297	1,206	1,064	1,262	1,164	2,13	1,140	1,313	1,565
La	29,40	30,07	32,41	25,42	32,14	28,87	29,95	46,00	33,02	44,90	39,06	32,36	41,13
Lu	0,345	0,321	0,323	0,325	0,348	0,381	0,321	0,110	0,128	0,183	0,287	0,234	0,305
Nd	23,8	19,0	29,3	23,5	24,8	28,0	30,9	71,9	40,1	61,5	43,1	29,9	40,9
Sm	6,191	5,580	5,316	4,545	6,270	5,959	5,945	17,57	9,50	15,28	10,48	6,404	8,57
Yb	2,15	1,96	1,73	1,98	2,18	2,28	1,93	1,54	1,75	2,42	1,83	1,44	2,07
Co	13,58	14,91	13,82	13,67	11,48	14,25	10,79	6,59	8,99	14,99	7,24	6,07	10,28
Fe	38430	41520	42600	39960	39200	34730	31390	19910	27320	36240	27240	19350	34920
Hf	5,56	6,04	5,12	5,32	6,64	8,10	8,54	4,37	4,57	5,30	6,25	5,18	6,97
Sc	13,53	13,38	11,68	12,18	10,30	10,51	9,13	5,119	6,694	8,18	6,804	5,413	8,99
Cr	48,7	52,9	50,9	62,1	37,4	45,9	37,6	18,0	27,8	30,6	28,7	19,1	41,2
Cs	5,64	5,17	6,76	5,56	9,72	10,49	12,22	11,76	7,44	18,23	16,28	10,54	21,13
Rb	105	89	73	85	105	84	90	83	74	86	96	63	111
Sr	624	517	615	483	419	341	n	431	464	566	n	518	490
Th	9,36	9,91	9,92	8,24	9,08	9,57	8,98	6,69	7,08	9,79	8,14	6,73	9,64
U	2,64	2,16	2,83	4,28	3,63	2,49	1,90	143	53,3	76	49,6	4,1	3,09
Ph	8,75	9,05	8,83	8,78	8,58	9,03	8,72	7,84	8,67	7,85	7,71	7,79	8,91

En la Figura 2 se graficaron los valores de U, As y el pH del suelo, para los diferentes sitios de muestreo. Allí se refleja de muy buena manera el comportamiento del U y el pH, Los valores de pH facilitan la movilidad y disponibilidad del U el cual de acuerdo a potenciales de óxido reducción se hace o no móvil.

Los sitios más cercanos al arroyo El Tigre, S1P1, S1P2, S2P1, S2P2, S2P3, S3P1, S2P2 y S3P3, no tienen valores altos de As, Th, o U, que signifiquen una fuente de contaminación al arroyo; ya que estas muestras de suelo no han sido afectadas por las actividades mineras en lo que respecta a los metales analizados, al comparar los sitios a lo largo del arroyo El Tigre, S1 con S2 y S3 no presenta variación. Los sitios donde estos valores son altos, son sitios que no ofrecen riesgo de contaminación a las aguas.

Los valores más altos en presencia de Fe, están en los sitios cercanos al arroyo El Tigre (ver Figura 1), en la zona Sur-Oeste del CMFSR, S1P1 (38430 $\mu\text{g/g}$), S1P2 (41520 $\mu\text{g/g}$), S2P1 (42600 $\mu\text{g/g}$), S2P2 (39960 $\mu\text{g/g}$) y S2P3 (39920 $\mu\text{g/g}$), zona aledaña a la Toba Vieja Gorda, estas son ignimbritas muy ricas en cristales, óxidos de Fe y Ti (Kleiman, 1993), por lo que es natural que los valores de Fe sean altos en estos sitios.

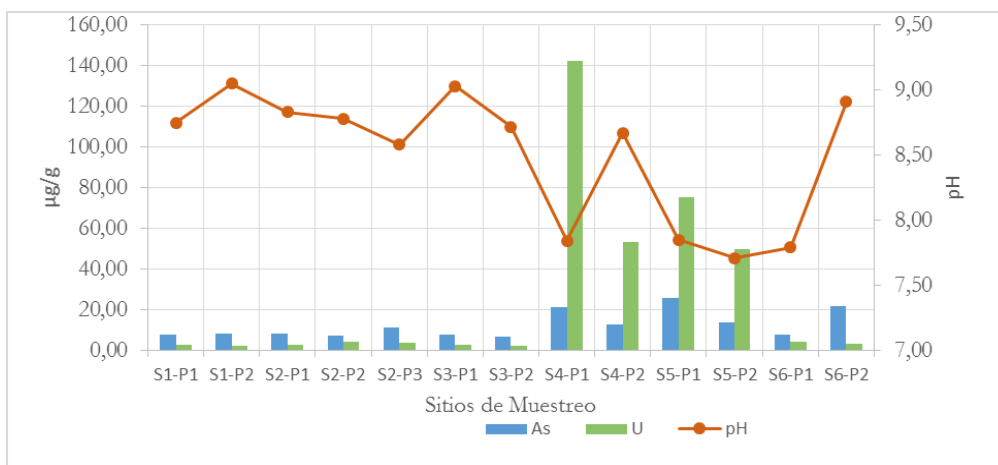


Figura 2. Valores de U y As en µg/g y pH del suelo en los diferentes sitios de muestreo.

Los sitios más cercanos al arroyo El Tigre, S1P1, S1P2, S2P1, S2P2, S2P3, S3P1, S2P2 y S3P3, no tienen valores altos de As, Th, o U, que signifiquen una fuente de contaminación al arroyo; ya que estas muestras de suelo no han sido afectadas por las actividades mineras en lo que respecta a los metales analizados, al comparar los sitios a lo largo del arroyo El Tigre, S1 con S2 y S3 no presenta variación. Los sitios donde estos valores son altos, son sitios que no ofrecen riesgo de contaminación a las aguas.

Los valores más altos en presencia de Fe, están en los sitios cercanos al arroyo El Tigre (ver Figura 1), en la zona Sur-Oeste del CMFSR, S1P1 (38430 µg /g), S1P2 (41520 µg /g), S2P1(42600 µg /g), S2P2 (39960 µg/g) y S2P3 (39920 µg/g), zona aledaña a la Toba Vieja Gorda, estas son ignimbritas muy ricas en cristales, óxidos de Fe y Ti (Kleiman, 1993), por lo que es natural que los valores de Fe sean altos en estos sitios.

El Fe curiosamente presenta correlación positiva únicamente con Co, Yb y Lu.

La polución por metales pesados tiende a generar acidez en los suelos (Sahuquillo et al. 2003), esta premisa no se ha notado en los suelos del CMFSR, ya que los valores de pH dominantes son mayores a 7.0.

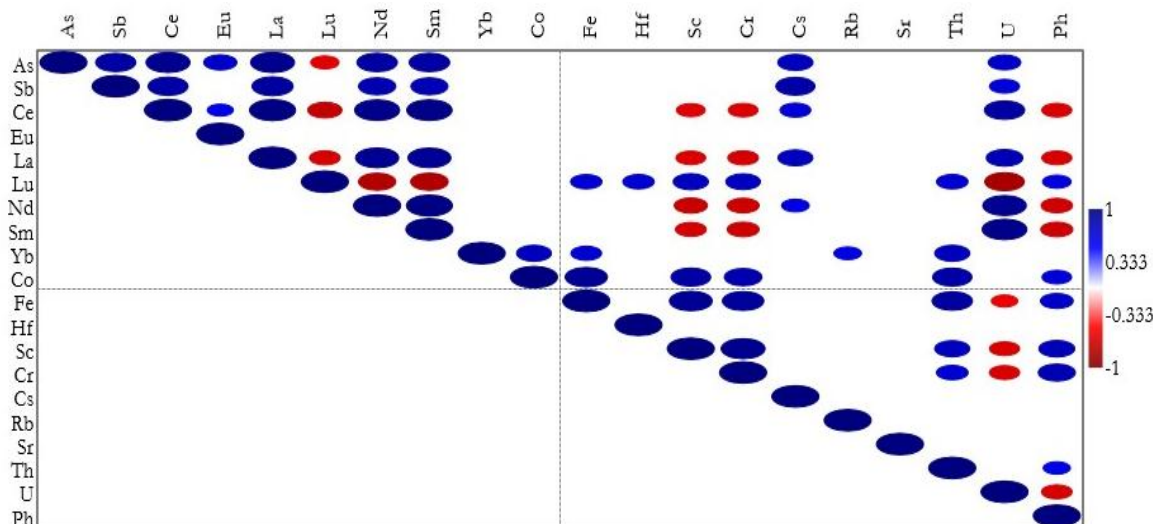


Figura 3. Correlación Lineal de Pearson entre las diferentes variables (Metales Pesados y pH) medidas en el suelo del CMFSR. Se omiten las significancias en $p > 0.05$. En color “azul” se indican las correlaciones positivas y en “rojo” las negativas.

La estadística descriptiva de los resultados obtenidos en los suelos del CMFSR se presenta en la Tabla 2.

Los valores de pH fluctuaron entre 7,71 y 9,09 con promedio 8,5, clasificados como alcalinos a fuertemente alcalinos según la Natural Resources Conservation Service Soils, 2018, la polución por metales pesados tiende a generar acidez en los suelos (Sahuquillo et al, 2003), para el CMFSR los valores altos del pH ayudan a la baja disponibilidad de los mismo, por lo que no se oxidan como lo refleja la **Figura 2. Para los sitios S4 y S5 El U** detectado puede ser debido a la mineralización del mismo en la roca que fue aprovechada o explotada para la obtención del uranio; en los demás sitios el U, se encuentra debido a un proceso de meteorización mecánica del material parental.

En S6P1 el pH es de 7,79; aunque sus valores de U (4,1 µg/g) están dentro de la media normal del muestreo y la menor sumatoria de los metales pesados medidos, en este sitio tampoco se cumple la premisa de a mayor proporción de metales pesados, la acidez es mayor (Sahuquillo et al. 2003) ya que este sitio presenta el más bajo contenido de metales pesados y uno de los valores de pH casi neutro.

En general se establece que a pH bajos existe una mayor movilidad y absorción de los metales, y que en presencia de altas alcalinidades las plantas no son propensas a absorber ciertos metales (Zeng et al. 2011; Adamczyk-Szabela et al. 2015), situación que esperamos sea demostrada cuando se analicen posteriormente los resultados de contenido de metales pesados dentro de la vegetación asociada a estos suelos (trabajo en ejecución). Condiciones de acidez propician la solubilidad de los elementos metálicos y permiten que sean asimilados por las plantas, al igual que reduce la retención que puede generarse en los contenidos en la materia orgánica (Kabata – Pendias, 2004).

En la Tabla 2 se presenta la Estadística descriptiva de los Metales pesados y el pH en los suelos analizados, empleándose la siguiente nomenclatura: Metal analizado; Cantidad media de todos los sitios, en µg/g; DE, desviación estándar; CV, coeficiente de variación; pH y valores mínimo y máximo de las variables analizadas. Los promedios son sensibles a los valores máximos y mínimos, aun así se pueden notar valores altos para Fe, Ce, Sr, y Cr y bajos para Th, Sb, Eu, Lu, y Hf.

Los datos obtenidos para Eu, La, Yb, Rb, Sr, Th y pH presentaron los mayores valores de variabilidad estadística, el U presentó el mayor porcentaje de variabilidad (160,36), debido a sus valores tan altos en los sitios S4 y S5, con valores que sobrepasaron la media de los contenidos de U en todas las parcelas y también debido a la diferencia entre el mínimo valor de U (1,9 µg/g en S3P2, sector más norte del arroyo El Tigre) y el valor máximo de U (143 µg/g). También el As presentó variabilidad alta, mayor al 50% relacionada a la correlación con U, debido a su comportamiento isotópico parecido.

Tabla 2. Estadística descriptiva de los metales pesados y el pH en los suelos analizados del CMFSR.

Metal	Cantidad Media ($\mu\text{g/g}$)	DE ($\mu\text{g/g}$)	CV	Mín.	Máx.
As	12,17	6,55	53,85	6,5	25,8
Sb	0,84	0,41	48,62	0,50	1,526
Ce	73,66	17,0	23,08	54	106,4
Eu	1,33	0,26	19,92	1,06	25,42
La	34,21	6,46	18,89	25,42	46
Lu	0,27	0,08	31,25	0,11	0,381
Nd	35,9	15,60	43,46	19	71,9
Sm	8,27	4,02	48,63	4,54	17,57
Yb	1,94	0,28	14,62	1,44	2,42
Co	11,28	3,32	28,63	6,07	14,99
Fe	33293,08	7761,44	23,31	19350	42600
Hf	5,99	1,27	21,29	4,37	8,54
Sc	9,37	2,85	30,45	5,11	13,53
Cr	38,53	13,40	34,78	18	62,1
Cs	10,84	5,07	46,84	5,17	21,13
Rb	88	13,77	15,64	63	111
Sr	497,09	84,71	17,04	341	624
Th	8,70	1,20	13,88	6,69	9,92
U	26,84	43,05	160,36	1,9	143
Ph	8,50	0,50	5,90	7,71	9,05

Los coeficientes de variación para Sb, Nd, Sm y Cs son altos aunque no superan el 50%. Las variables con menor dispersión fueron pH (5,90), Th, Sr, Rb, Yb, La, y Eu, con coeficientes de variación estadística menores al 20% (Tabla 2). La variabilidad observada en los datos, puede obedecer tanto a la variabilidad espacial natural en los suelos, como al manejo antropogénico que ha tenido el CMFSR, especialmente resaltando los Sitios 4 y 5 que son pasivos ambientales.

CONCLUSIONES

La presencia de metales pesados en los suelos del CMFSR, son el reflejo de la composición del material parental que ha dado origen a estos suelos aún incipientes, típicos de zonas áridas y semiáridas.

Los procesos de óxido-reducción que hacen posible la movilidad o no de metales o metaloides como el As y el U, son evidentes en los sitios cercanos a la Toba Vieja Gorda, ya que permite identificar como este ambiente no fijo, o no permitió la mineralización del U, fijando el Fe, condición que se puede corroborar al comparar los valores de U y As en los monitoreos de agua realizados en esos sitios.

Es posible que la movilidad de los metales pesados por el viento y considerarlos polución, hagan necesario hacer monitoreo de material particulado y su dispersión, especialmente para los sitios aledaños a S4P1, S4P2 S5P1 y S5P2, ya que estos son pasivos ambientales que requieren un manejo especial.

Estos suelos están siendo actualmente analizados en su contenido de materia orgánica, lo que permitirá analizar la condición de movilidad de los metales pesados presentes en el suelo, ya que la materia orgánica actúa como factor quelante, haciéndolos más móviles o no.

REFERENCIAS

Adamczyk-Szabela, D., Markiewicz, J. and Wolf, W. 2015. Heavy Metal Uptake by Herbs. IV. Influence of Soil pH on the Content of Heavy Metals in *Valeriana officinalis* L. *Water Air and Soil Pollution* 226(4): 106. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2360-3>

FAO. 2009. Guía de descripción de perfiles de suelos. Ed. Digital. FAO, Rome (Italy). 111 pp.

Galán, A. y Romero, E. 2008. Contaminación de suelos por Metales pesados. *Macla Revista de la sociedad española de mineralogía* 10. http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf [28 Agosto 2015].

Jordanova, D., Rao, S., Kotsev, T. y Jordanova, N. 2013. Industrial contamination of alluvial soils near Fe–Pb mining site revealed by magnetic and geochemical studies. *Geoderma* 192:237-248.

Kabata-Pendias A. 2004. Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*. 122(2):143-149.

Kleiman, L.E. 1993. El volcanismo permo-triásico y triásico del Bloque de San Rafael (Provincia de Mendoza): Su potencial uranífero. 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 284-293, Mendoza.

Lee, C., Chon, H. and Jung, M. 2001. Heavy metal contamination in the vicinity of the Daduk Au–Ag–Pb–Zn mine in Korea. *Appl Geochem* 16(11-12):1377–1386

Manzilla M.Y y S.R. Dieguez. 2013. Marone, L.; Horno, M.E. & González del Solar, R., 2000. Post-dispersal fate of seeds in the Monte desert of Argentina: patterns of germination in successive wet and dry years. *J. Ecol.* 88: 940–949 Modelamiento geológico mediante “software” minero del sector Tigre I La Terraza: Distrito Uranífero Sierra Pintada, provincia de Mendoza. Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) Año XIII, Núm 51/52, Julio/Diciembre.

Natural Resources Conservation Service (NRCS). 2018. National Soil Survey Handbook. USDA.

Newman, M.C., Jagoe, C.H., 1994. Ligands and the bioavailability of metals in aquatic environments. In: Hamelink, J.L., Landrum, P.F., Bergman, H.L., Benson, W.H. (Eds.), *Bioavailability: Physical, Chemical, and Biological Interactions*. CRC Press, pp. 39 – 62.

Niazi, N.K., Burton, E.D. 2016. Arsenic sorption to nanoparticulate mackinawite (FeS): an examination of phosphate competition. *Environ. Pollut.* 218, 111–117.

Sahuquillo A, Rigol A, Rauret G. 2003 Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trac Trends Anal Chem* 22:152-9

Sahuquillo, A., Rigol, A. and Rauret, G. 2003. Overview of the use of Leaching Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry* 22(3):152-159.

Shahid M, Dumat C, Pourrut B, Abbas G, Shahid N and Pinelli E. 2015. Role of metal speciation in lead-induced oxidative stress to *Vicia faba* roots, *Russian Journal of Plant Physiology* 62(4): 448-454.

Zeng, F., Ali, S., Zhang, H., Ouyang, Y., Qiu, B., Wu, F. and Zhang, G. 2011. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution* 159 (1):84–91. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.09.019>

TÉCNICAS DE ULTRASONIDO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE VIDRIOS VOLCÁNICOS

Cowes D. A.^{ab}, Salgán L.^c, Mieza J. I.^{bd}, Gómez M. P.^a

^aProyecto ICES, GDTyPE, CNEA, ARGENTINA

^bIngeniería de Sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero, ARGENTINA

^cInstituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente IDEVEA-CONICET, Universidad Tecnológica San Rafael, ICES - Malargüe, ARGENTINA

^dInstituto Sabato, CNEA, Universidad Nacional de San Martín, ARGENTINA

e-mail: diegocowes@gmail.com

RESUMEN

La caracterización de materiales de origen volcánico utilizado para la confección de herramientas arqueológicas permite trazar la procedencia geológica del mismo, y a partir de esta es posible inferir formas de interacción y rangos de movilidad de poblaciones humanas antiguas. En el caso de la obsidiana la determinación de la composición química a partir del Análisis de Activación por Neutrones permite determinar con un buen grado de certidumbre de qué yacimiento proviene, sin embargo, es una técnica costosa, de poca disponibilidad geográfica y destructiva. Otras técnicas más accesibles como la Fluorescencia de Rayos X o la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente han sido utilizadas con éxito para esta aplicación pero con un mayor nivel de incertidumbre. En este trabajo se busca asistir al problema por medio de otros ensayos no destructivos que pudieran ser aplicables al patrimonio arqueológico. En particular se exploraron las propiedades mecánicas de una muestra de obsidiana a través de métodos de ultrasonido, evaluando la velocidad de fase y atenuación de ondas longitudinales. Además se cuantificó la densidad de las muestras, por Picnometría de Gases, para determinar los módulos elásticos dinámicos. A su vez se repitieron las mismas mediciones en probetas de vidrio común para evaluar la sensibilidad del método respecto de diferenciar de forma inequívoca entre ambos materiales.

Palabras Clave: Obsidiana, Arqueología, Procedencia, Ultrasonido, Pulso-eco, Picnometría.

INTRODUCCIÓN

Por más de dos millones de años la piedra fue el material más utilizado por los humanos para realizar tareas básicas como cazar, cortar, raspar y desbastar. Desde la fabricación de la herramienta durante su uso y luego del paso de los años y su recuperación arqueológica, la mayoría de las propiedades físicas y químicas de los materiales constituyentes se mantienen invariantes. El estudio de dichas propiedades puede ser utilizado para determinar la procedencia geológica de la pieza, en algunos casos con un buen grado de certeza. En el caso de la obsidiana, su adquisición para la manufactura y uso, se dio de distintas maneras, desde su recolección local hasta la utilización de sistemas complejos de comercio que implicaban traslados de larga distancia tanto por mar como por tierra. Por esto, la distribución geográfica y la procedencia de la obsidiana permiten conocer costumbres de los humanos de la antigüedad.

Propiedades químicas de las obsidianas

La obsidiana es un vidrio, sólido amorfo, que se forma cuando lava altamente viscosa de alto contenido de silicio y aluminio se enfría rápidamente, de forma tal que el proceso de cristalización se ve obstruido. Generalmente su color es negro o gris, con una tonalidad bandeada. Debido a su estructura atómica desordenada, es físicamente amorfa e isotrópica. Esta es una de las principales razones por las que sirve de materia prima para hacer herramientas, ya que al carecer de orientaciones privilegiadas para su corte, como ocurre en los cristales, se pueden cortar trozos en casi cualquier dirección. Algunos tipos de obsidiana presentan un porcentaje cristalino que perjudica sus propiedades de fractura produciendo herramientas de baja calidad.

La composición de la mayoría de las obsidianas es de 66-75% SiO₂, 10-15% Al₂O₃, 3-5% Na₂O, 2-5% K₂O y 1-5% Fe₂O₃+FeO. El resto de los elementos están presentes a concentraciones menores al 1% y se los denomina como elementos traza. La mayoría de las fuentes de obsidiana son químicamente homogéneas con variaciones del orden de 1% o menos. Sin embargo, diferentes fuentes tienen distintas composiciones como reflejo de la composición de las piedras madre que fueron fundidas y por cambios que se producen en el magma antes de la erupción. Aunque los elementos principales en la obsidiana están restringidos a un rango acotado de composiciones, la abundancia de elementos traza puede diferir en ordenes de magnitud entre distintas fuentes. Si la variación entre fuentes es mayor que la variación dentro de una fuente, la procedencia de artefactos de obsidiana puede ser establecida con éxito.

Métodos de caracterización química

Las técnicas de Fluorescencia de Rayos X y Análisis por Activación de Neutrones han sido las más utilizadas para la disciplina arqueometría. Para el Análisis por Activación Neutrónica, las principales ventajas residen en que los neutrones térmicos son penetrantes y además permite la medición de alrededor de 30 elementos con buena precisión (<2.5%). La principal desventaja del método consiste en que una porción de la muestra es destruida, lo cual es indeseable si se trabaja con patrimonio arqueológico. Además requiere un reactor nuclear, por lo que es costosa. La Fluorescencia de Rayos X tiene la ventaja de que requiere relativamente poca preparación de la muestra, y la destrucción del artefacto es evitada. El análisis es rápido, puede realizarse in situ (Salgán et al., 2014) y el costo es bajo. Sin embargo, solo se pueden medir en el orden de 10 elementos, la superficie de medición debe ser plana, y puede entregar resultados inconclusos si la muestra es pequeña, delgada o de forma irregular. A su vez, la técnica sólo analiza la superficie del material. De esta manera es posible cometer errores al asignar piezas arqueológicas a fuentes líticas.

En este contexto sería de utilidad contar con otras técnicas no destructivas de bajo costo y buena disponibilidad que pudieran aportar nuevas variables para disminuir la incertidumbre al asignar fuentes de origen a artefactos de obsidiana.

Propiedades mecánicas de vidrios y obsidianas

Las propiedades mecánicas de los vidrios (ópticas, mecánicas, térmicas, etc.) dependen de la composición química del material. Gracias a esto, es posible predecir el comportamiento del vidrio a partir de un modelo aditivo de regresión múltiple de

funciones lineales. El principio se asume que la relación entre la composición del vidrio y una propiedad específica está relacionada linealmente para las concentraciones de todos los componentes. Así se obtienen predicciones con mejor precisión que cálculos estructurales, termodinámicos, o de dinámica molecular pero en rangos más acotados. Es decir que la composición química determinaría en líneas generales las propiedades mecánicas del material (Fluegel et al., 2009). En el caso particular de la obsidiana, la formación natural difiere del proceso industrial de producción de vidrio ya que se modifican variables como presión, temperatura y composición química. Por lo tanto las propiedades no sólo están determinadas por la composición química sino que además son influenciadas por otros factores como la anisotropía, el grado de cristalinidad, y la presencia de otras fases (Tsobgou et al., 2010).

Por lo tanto, las propiedades mecánicas de la obsidiana, determinadas tanto por su composición química como por su microestructura, deberían variar entre distintas fuentes. Y si bien no se espera que cada parámetro mecánico sea único para cada fuente, la combinación de los mismos en análisis estadísticos multivariable podría ser utilizada con éxito para determinar la procedencia de las piezas arqueológicas.

Métodos de caracterización de las propiedades mecánicas

Fractomecánica

Como se ha visto previamente, la obsidiana permite la producción de herramientas ya que presenta fractura del tipo concoidea gracias a la cual se pueden generar bordes filosos por medio de la talla lítica (*knapping*) y remoción de escamas (*flakes*). Por esta razón existen una serie de trabajos que estudian la fractomecánica de la obsidiana. En particular se estudió el comportamiento de micro fractura (Husien, 2004), la dureza del filo (McPherron et al., 2014) y la elasticidad e isotropía (Prost et al. 1986). De esta manera se puede caracterizar la calidad de las distintas fuentes en función de su capacidad de producir herramientas. La fractomecánica implica la destrucción de la muestra por lo que es aplicable a la caracterización de fuentes pero no a piezas arqueológicas.

Ultrasonido

Las ondas elásticas permiten determinar de manera no destructiva las constantes elásticas de los sólidos, ya que la velocidad de propagación de las mismas está vinculada a los módulos elásticos. El método ultrasónico de pulso eco se ha utilizado con éxito en muchas ramas de las ciencias de materiales, y en particular para estudiar la influencia de la composición química sobre las constantes elásticas dinámicas en vidrio industrial observándose buena correlación entre dichas variables (Kilinc, 2016). Por otro lado, el estudio de la atenuación ultrasónica en vidrio ha mostrado picos de absorción cuyas características y posición dependen de la composición del vidrio y la frecuencia de la onda aplicada. La absorción medida en vidrios silicatos mostraron un pico prominente a 50° K. Picos similares se han observado en vidrios multi-componente y vidrios de germanato sódico (Sidkey et al. 1997). A partir de esto se espera que la variación química entre las distintas fuentes se vea reflejada en las constantes elásticas y la absorción obtenidas a través de pulso eco ultrasónico. En otros trabajos se utilizó el ultrasonido como parte fundamental de análisis estadísticos multivariable para la clasificación de piedras de acuerdo a sus propiedades estructurales y mineralógicas. A

partir de esto se obtuvo la distribución regional de materia prima lítica utilizada por grupos humanos durante el período mesolítico y neolítico en el macizo Armoricano (Tsobgou et al., 2009). Además se evaluó la influencia de los parámetros mecánicos en la fabricación y uso de las herramientas de piedra prehistóricas buscando información acerca de la elección de los tipos de herramienta, evolución tecnológica y la distribución territorial de grupos humanos (Tsobgou et al., 2010). Se observó que las principales propiedades que se correlacionan con la elección de materiales son la isotropía y la fragilidad en el caso del mesolítico y dureza y dureza de filo durante el neolítico. Esta línea de investigación es afín al objetivo propuesto ya que se demostró la utilidad para distinguir entre distintos tipos de rocas. A partir de esto resulta necesario determinar su validez para diferenciar dentro del mismo tipo de rocas, las distintas fuentes.

En geofísica se correlacionan mediciones en campo de velocidad de ondas elásticas con mediciones en laboratorio de muestras de piedras y minerales. El fin de esta tarea es lograr una mejor comprensión de la estructura e historia del interior y corteza de la tierra para desarrollar técnicas de resolución de problemas geológicos. Esta línea de investigación es importante porque la velocidad del sonido es una de las pocas propiedades medibles en la profundidad de la tierra. En este contexto se ha utilizado el ultrasonido para caracterizar a la obsidiana (Woeber et al., 1963; Anderson et al., 1996; Sato et al. 2004). Asimismo se descubrió un patrón anómalo dado que la velocidad del sonido de algunos vidrios y en particular de la obsidiana decrece en función de la presión y aumenta en función de la temperatura. Esto devino en una serie de trabajos que estudian este fenómeno en mayor profundidad (Manghanani et al. 1968; Suito et al., 1992; Anderson et al., 1996; Birch, 1960). A su vez se aplicó en obsidiana en estado líquido ya que la densidad de silicatos fundidos es importante para entender propiedades de termodinámica y de dinámica de fluidos de sistemas magmáticos (Rivers et al., 1987). También se estudió la variación de la velocidad de ondas en presencia de agua ya que es de particular importancia para la interpretación geoquímica de la estratificación sísmica de la litósfera y sus zonas anómalas, en particular en áreas de actividad tectónica e hidrotérmica (Lebedev et al., 1991). Esta disciplina no aporta conocimiento de carácter antropológico pero constituye un punto de comparación de resultados.

En este trabajo se analiza la viabilidad de utilizar técnicas ultrasónicas con este fin ya que son de naturaleza no destructiva y son útiles para caracterizar el comportamiento elástico mecánico de los materiales. Par esto se abordaron ensayos preliminares en muestras de obsidiana y de vidrio común para establecer si el método es lo suficientemente sensible como para distinguir entre dichos materiales

MARCO TEÓRICO

Constantes elásticas

Las propiedades mecánicas de un material se pueden caracterizar a través de su tensor de constantes elásticas C_{ijkl} , el cual relaciona la tensión y la deformación en régimen lineal y se expresa a través de la ley de Hooke generalizada, Ec. 1.

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad 1$$

El mismo tiene 81 valores los cuales, por simetría en los tensores de tensión y deformación, se reducen a 36. La condición de preservación de la energía de deformación reduce dicho tensor a 21 constantes. En el caso de que el sólido tenga las mismas propiedades independientemente de la dirección (isotropía lineal) implica que dichas constantes se pueden reducir a sólo 2 independientes. A partir de estas se definen otros parámetros como el primer parámetro de Lamé λ (ver Ec. 2), el módulo de elasticidad transversal μ o G (ver Ec. 3), el módulo de compresibilidad K , el módulo de Young E , el módulo de elasticidad longitudinal M , y el coeficiente de Poisson ν . Entre estos, dos parámetros cualesquiera describen completamente las propiedades elásticas de los sólidos linealmente isotrópicos como se muestra en la Ec. 4.

$$C_{11} = \lambda + 2\mu \quad 2$$

$$C_{12} = \lambda \quad 3$$

$$\sigma = 2\mu\varepsilon + \lambda tr(\varepsilon)I \quad 4$$

Donde I es la matriz identidad y $tr()$ es la función traza.

Ondas elásticas

Existen distintos tipos de técnicas para medir las propiedades elásticas de un sólido, y las podemos clasificar en estáticas y dinámicas [2]. Los ensayos estáticos consisten en medir directamente la fuerza aplicada y la deformación que se produce durante pruebas mecánicas. Entre estos métodos se encuentran la flexión de cuatro puntos y la nano-indentación. Las técnicas dinámicas presentan la ventaja que pueden utilizar una mayor variedad de tipos de muestras en tamaño y forma, con gran precisión y en un amplio rango de temperatura. Entre los métodos dinámicos se destacan los de resonancia y los de pulsos. Estos últimos consisten en introducir una perturbación en el material y a partir del tiempo que tarda en recorrer su espesor, se determina la velocidad de onda y al relacionarla con la densidad permite determinar módulos elásticos. En este trabajo se utilizaron métodos dinámicos de pulsos ultrasónicos por su naturaleza no destructiva. La ecuación general de onda para el movimiento de una partícula de material perfectamente elástico, de tamaño infinitesimal y para desplazamientos de primer orden está dada por la Ec. 5.

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = C \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad 5$$

En el interior de un sólido isotrópico se pueden propagar dos tipos de ondas acústicas: longitudinales (P) y transversales (S). La onda longitudinal es una perturbación ocasionada por una tensión normal, donde el desplazamiento de las partículas del material ocurre en la misma dirección de propagación de la perturbación. Las ondas transversales son ocasionadas por tensiones de cizallamiento y el desplazamiento de las partículas ocurre en el plano perpendicular a la propagación. A partir de la Ec. 5 se puede relacionar las velocidades de los modos P y S con las constantes elásticas como se muestra en la Ec. 6 y 7.

$$M = \rho V_l^2 \quad 6$$

$$\mu = \rho V_s^2 \quad 7$$

De esta forma a partir de la velocidad de ondas longitudinales, la velocidad de ondas transversales y la densidad se caracteriza el comportamiento elástico de un sólido isotrópico.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Pulso eco

Para determinar la velocidad del sonido se implementó la técnica de pulso-eco que consiste en colocar un transductor piezoeléctrico sobre el material, e introducir una perturbación mecánica que se propaga en forma de onda. Esta onda viaja hasta la cara opuesta de la pieza (caras planas) donde se refleja y vuelve hacia el transductor que lo transforma en señal eléctrica. En la Figura 1 se incluye un diagrama de la medición y en la Figura 2 se observa un tren de ecos obtenido por esta técnica.

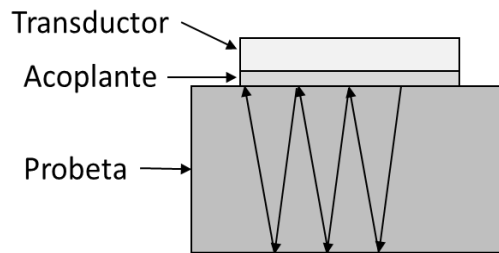


Figura 1. Esquema de medición de Pulso-Eco.

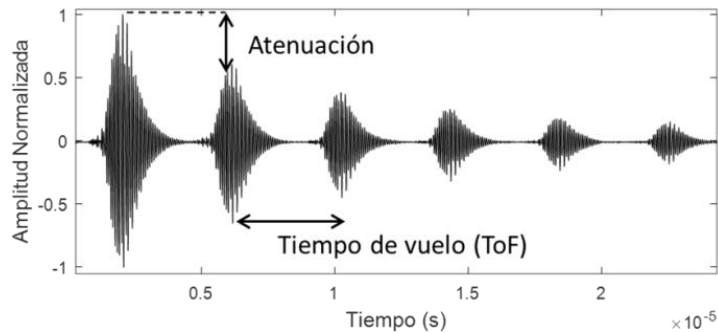


Figura 2. Tren de ecos obtenido por Pulso-Eco.

A partir de la diferencia de tiempo que hay entre dos ecos sucesivos (*Time of Flight*) y el espesor de la probeta se calcula la velocidad como se muestra en la Ec. 8; y a partir del decaimiento relativo se calcula el coeficiente de atenuación α representado en la exponencial decreciente de la solución de la ecuación de onda (ver Ec. 9).

$$V = \frac{2d}{\text{ToF}} \quad 8$$

$$A(z, t) = A_0 e^{-\alpha z} e^{i(\omega t - kz)} \quad 9$$

en donde A_0 es la amplitud inicial, ω es la frecuencia angular, α es el coeficiente de atenuación, t es el tiempo, k es el número de onda y z es la posición.

Más detalles del método utilizado pueden encontrarse en (Cowes, 2018; Papadakis, 1973).

Picnometría

La picnometría de gases es una de las técnicas más precisas para medir volumen haciendo uso del principio de desplazamiento de Arquímedes y la ley de Boyle de expansión de gases. En lugar de líquido se emplea un gas inerte ya que penetra en los poros más pequeños y elimina la influencia de fenómenos químicos y físicos superficiales. El helio es el gas inerte utilizado por excelencia. La técnica consiste en introducir la muestra en un recipiente de volumen conocido para luego ser presurizado a una presión determinada. Una vez que la presión se estabiliza y se registra, se abre una válvula que permite la expansión del gas hacia otro volumen conocido. Cuando se estabiliza el sistema, se calcula la caída de presión y a partir de esta se obtiene el volumen de la muestra.

Preparación de muestras

Se preparó una probeta de obsidiana a partir de un trozo obtenido de la fuente Laguna el Maule, San Clemente, Región del Maule, Chile cuya composición química se caracterizó por FRX e INNA (Gieso et al., 2011). Se realizó un corte con sierra diamantada, y se pulió a caras paralelas utilizando un tornillo de pulido para tal fin. Se obtuvo una muestra a caras paralelas con bordes irregulares, pero las dimensiones son tales que la onda no interactúa con dichos bordes. A su vez se obtuvieron muestras de vidrio común de dos espesores distintos, 6 y 10 mm, para evaluar si la técnica es capaz de distinguir entre los distintos materiales. El vidrio no fue pulido ya que el acabado superficial y el paralelismo eran suficientemente buenos para los ensayos realizados. Las probetas se muestran en la Figura 3.

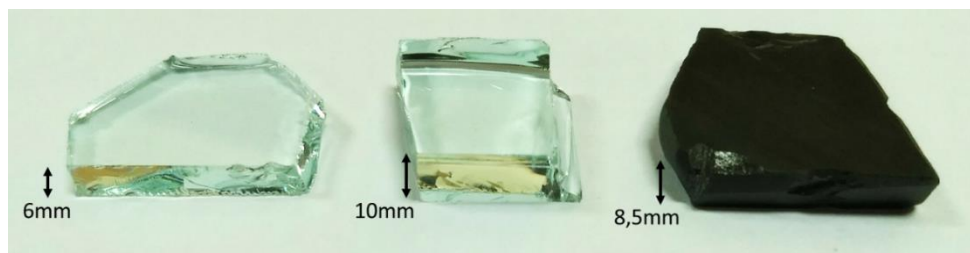


Figura 3. Probetas. De izquierda a derecha: Vidrio delgado, vidrio grueso, obsidiana de laguna El Maule.

En la tabla 1 se incluye la comparación de composición de óxidos entre vidrio común y dos tipos de obsidiana. Estos datos son de referencia ya que la composición de la obsidiana utilizada en este trabajo está expresada en elementos y no resulta idónea para este fin. Se incluye la suma de la diferencia absoluta entre las composiciones para mostrar que la variación de composición entre vidrio y obsidiana es mayor que entre dos obsidianas diferentes.

Tabla 1. Composición en óxidos de vidrio y obsidianas de referencia.

Composición de óxidos (% en peso)	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	Diferencia absoluta
Vidrio	69.1	18.2	4.4	1.5	1.6	0.0	6.0	49.0
Obsidiana, Nevada, EEUU (Husien, 2004)	79.3	4.1	0.4	12.4	4.0	1.5	0.1	
Obsidiana, Wada Togue, Japón (Suito, 1992)	76.2	2.8	1.0	12.6	4.2	0.7	0.2	6.3

Mediciones

El espesor de las muestras fue obtenido por un micrómetro digital calibrado cuya incertidumbre es de $\pm 1 \mu m$. Luego se obtuvo la densidad midiendo la masa en una balanza de dos dígitos decimales y el volumen en el picnómetro de gases de alta precisión micromeritics AccuPyc II 1340 con helio. Por último se realizaron los ensayos de pulso-eco con el equipo generador y amplificador de pulsos Matec 7700 y el inserto 760v con el sensor Matec AD-30c a una frecuencia central de 20 MHz. Las señales fueron acondicionadas y digitalizadas por un osciloscopio digital PicoScope 4227 y posteriormente fueron procesadas en MATLAB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se incluyen los resultados de las mediciones. El espesor, el tiempo de vuelo, la masa y el volumen son magnitudes medidas, mientras que la velocidad longitudinal, la densidad y el módulo longitudinal son magnitudes calculadas y se diferencian en negrita. Estas últimas, al ser propiedades intensivas permiten caracterizar al material y pueden ser utilizadas para distinguir entre materiales. Se observa que, dentro de los intervalos de confianza, las magnitudes obtenidas para ambos vidrios se solapan, es decir que son equivalentes. Para todos los parámetros, la muestra delgada presenta mayor incertidumbre que la gruesa, es decir que la última tiene una geometría más favorable para este tipo de ensayos. Por otro lado, la muestra de obsidiana, siendo vidrio de otra composición, presenta valores menores en todos los parámetros intensivos, aun considerando la incertidumbre. A partir de esto se deduce que el método sería útil para distinguir entre distintos tipos de amorfos cuando la variación de composición es considerable. A partir de esto, se evidencian dos líneas de acción para la continuación de este trabajo. En primer lugar, tanto tensiones residuales como anisotropía de solidificación podrían variar las propiedades mecánicas dentro una misma fuente, por lo que se requiere realizar un mayor número de mediciones para establecer la variabilidad de parámetros dentro de una misma fuente. Por otro lado, la variación de composición entre obsidianas de distintas fuentes se estima que es menor que entre vidrio y obsidiana de acuerdo a lo presentado en la tabla 1 por ende debe repetirse este proceso para distintas fuentes. Si la variabilidad dentro de una fuente es menor que entre fuentes entonces los parámetros medidos podrían ser útiles para determinar la procedencia de artefactos líticos. Por otro lado sería útil incluir mediciones con ondas transversales para aportar un mayor número de parámetros y lograr una mejor caracterización mecánica.

La atenuación de ondas longitudinales se presenta en la Figura 4. En primera instancia se observa que dentro del intervalo de confianza del método (Cowes, 2018) la atenuación para las probetas de vidrio se solaparía, por lo que es indistinta. Por otro lado, en el rango de frecuencias de medición, se observa una mayor atenuación para la obsidiana que para los vidrios, probablemente debido a la presencia de dispersores acústicos constituidos por discontinuidades microestructurales. A su vez la dependencia de la atenuación con la frecuencia es mayor para la obsidiana que para los vidrios y esto puede estar en relación con el tamaño de los dispersores y la longitud de onda utilizada. Este parámetro puede resultar útil para determinar la procedencia de obsidianas ya que la atenuación dominada por la microestructura puede ser independiente de la composición química, pero aun así característica de una fuente en particular. Sería útil contrastar estos resultados con análisis micrográficos de los mineraloides.

Tabla 2. Resultados de las mediciones.

Muestra	Vidrio común delgado	Vidrio común grueso	Obsidiana (Laguna el Maule)
Espesor [μm]	5874 (1)	9882 (1)	8502 (1)
Tiempo de vuelo [μs]	2.020 (.001)	3.397 (.001)	2.941 (.001)
Velocidad longitudinal [m/s]	5816 (3.0)	5817 (1.8)	5782 (2.1)
Masa [gr]	7.87 (.01)	10.46 (.01)	13.13 (.01)
Volumen [cm³]	3.158 (.008)	4.184 (.004)	5.545 (.002)
Densidad [g/cm³]	2.492 (.007)	2.500 (.004)	2.368 (.002)
Módulo Longitudinal M [Gpa]	84.3 (.3)	84.6 (.1)	79.2 (.1)

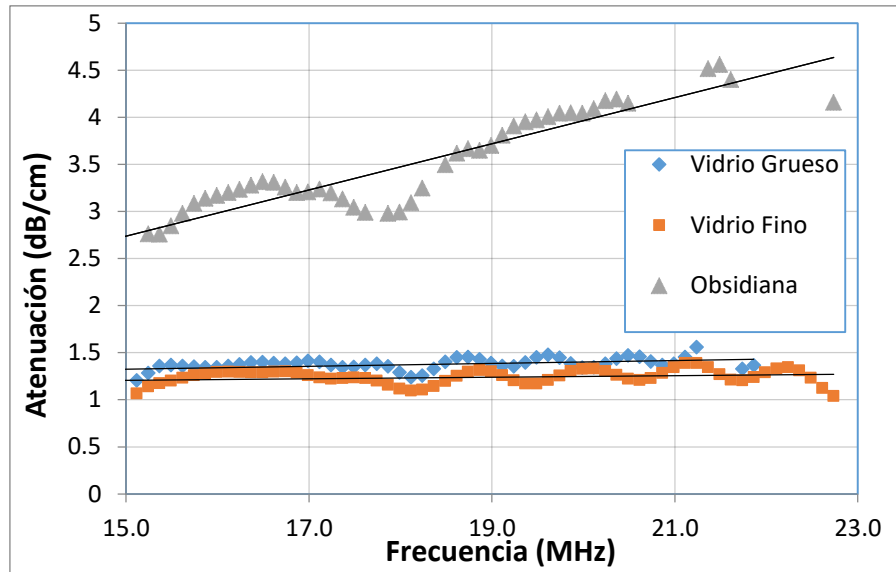


Figura 4. Atenuación de ondas longitudinales en función de la frecuencia.

CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se realizaron mediciones en una muestra de obsidiana con el fin de caracterizar su comportamiento mecánico elástico y de aportar variables a los estudios de procedencia de bienes arqueológicos. Se realizaron mediciones de ultrasonido por pulso eco con ondas longitudinales a partir de las cuales se obtuvo tiempo de vuelo y atenuación. A su vez se midió el volumen por la técnica de picnometría de gases de alta precisión. Además se midió el espesor y la masa de las probetas. Las mediciones también se realizaron sobre muestras de vidrio para establecer la capacidad del método de distinguir entre estos amorfos de diferente composición química. Se observó que los parámetros obtenidos presentan diferencias significativas entre los diferentes materiales por lo que se concluye que el método logra dicha distinción. Para continuar esta línea de investigación es necesario caracterizar la variabilidad dentro de una misma fuente y posteriormente entre fuentes. Además se observó que la atenuación para obsidianas resulta mayor que para el vidrio, y se estima que esto responde a características microestructurales que no son directamente dependientes de la composición química. Por lo tanto este parámetro podría aportar información no accesible mediante técnicas geoquímicas. Por otro lado sería útil incluir mediciones con ondas transversales para acceder a un mayor número de parámetros. A su vez, si se confirma la capacidad del método de distinguir entre fuentes, es necesario adaptarlo para ser aplicado en piezas arqueológicas que usualmente no presentan caras paralelas. Esto podría lograrse a través de la focalización del haz u otra técnica análoga.

REFERENCIAS

- Anderson, O. L., Schreiber, E. Measurement of P and S Sound Velocities Under Pressure on Laboratory Models of the Earth's Mantle. Annual Summary Report, Lamont Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York. (1966).
- Anderson, O. L., Liebermann, R. C. Sound velocities in rocks and minerals. *The institute of science and technology, The University of Michigan*. (1996).
- Birch, F. The Velocity of Compressional waves in Rocks to 10 Kilobar. *Journal of Geophysical Research*, 65 (4), 1083-1102 (1960).
- Cowes, D. A. Técnicas de ultrasonido para la determinación del contenido de H en aleaciones de Zr. Tesis de Magister en Ciencia y Tecnología de Materiales, Instituto Sabato, UNSAM, Argentina. (2018).
- Fluegel, A. Statistical regression modelling of glass properties – a tutorial. *Glass Technol.: Eur. J. Glass Sci. Technol*, Vol. 50 (1), (2009).
- Giesso, M., Durán, V., Neme, G., Glascock, M. D., Cortegoso, V., Gil, A., Sanhuesa, L. A study of obsidian source usage in the central Andes of Argentina and Chile. *Archaeometry*, 53 (1), 1–21 (2011).
- Husien, M. S. Fracture behavior and mechanical characterization of obsidian: naturally occurring glass. Bachelor of science Thesis, Bahir Dar University, Ethiopia (2004).
- Kilinc, E. Mechanical and structural properties of soda lime silica glasses as a function of composition. Ph. D. Thesis, The University of Sheffield, Faculty of Engineering, Department of Materials Science and Engineering (2006).
- Lebedev, E. B., Dorfman, A. M., Zebrin, S. R. Study of the mechanism of the influence of water on elastic wave propagation in amphibolites and some metamorphic rocks at high pressures and temperatures. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 66 313-319 (1991).
- Manghanani, M. H., Schreiber, E., Soga, N. Use of Ultrasonic Interferometry Technique for Studying Elastic Properties of Rocks. *Journal of Geophysical Research*, 73 (2). 824-826, (1968).
- McPherron, S. P., Braun, D., Dogandžić, T., Archer, W., Desta, D., Lin, S. C. An experimental assessment of the influences on edge damage to lithic artifacts: A consideration of edge angle, substrate grain size, raw material properties, and exposed face. *Journal of Archaeological Science*, (2014), doi: 10.1016/j.jas.2014.04.003.
- Papadakis, E. P. The measurement of small changes in ultrasonic velocity and attenuation. *C R C Critical Reviews in Solid State Sciences*, 3(4), 373-418 (1973).
- Prost, D. C., Chatellier, J. Contribution méthodologique à l'analyse quantitative des propriétés mécaniques des roches fragiles élastiques. *Revue d'Archéométrie*, 10, 69-74 (1986).
- Rivers, M. L., Carmichael I. S. E. Ultrasonic studies of silicate melts. *Journal of Geophysical Research*, 92 (B9), 9247-9270 (1987).
- Salgán, L. Garvey, R., Neme, G. Gil, A., Giesso, M., Glascock, M. D, Durán, V. Las Cargas: Characterization and Prehistoric Use of a Southern Andean Obsidian Source. *Geoarchaeology: An International Journal*, 0, 1-12 (2015).
- Sato, H., Ito, K., Aizawa, Y. Simultaneous velocity and attenuation measurements applicable to various solids at high pressures and temperatures up to 1200 °C. *Meas. Sci. Technol.* 15 1787–1793. (2004).
- Sidkey, M. A., Mallowany, R. E., Nakhla, R. I. and El-Moneim, A. Abd. Ultrasonic Attenuation at Low Temperature of TeO₂ -V₂O₅. *Glasses. phys. stat. sol.*,159, 397 (1997).
- Suito, K., Miyoshi, M., Sasakura, T., Fujisawa, H. Elastic properties of obsidian, vitreous SiO₂, and vitreous GeO₂ under high pressure up to 6 Gpa. *Geophysical Monograph Series*, 67, 219-225 (1992).
- Tsobgou, R. A. Mapping Mesolithic and Neolithic cultures behaviours and interactions with nature and properties of rocks in Western France. *Journal of Archaeological Science* 36, 1615–1625. (2009).

- Tsobgou, A. R., Dabard, M. P. Petrographical, Structural, and Mechanical Analysis of Armorican Phtanites: A Key Raw Material for the Mesolithic in Western France. *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 25, No. 3, 327–351 (2010).
- Woeber, A. F., Katz, S., Ahrens, T. J. Elasticity of selected rocks and minerals. *Geophysics* 28(4), (1963).

CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS DEL PERFORADO DE PROBETAS MULTICAPAS DE GEOMATERIALES POR ANÁLISIS DE LA EMISIÓN ACÚSTICA GENERADA DURANTE EL PROCESO DE TALADRADO

Guido Ferrari ^a, Angel Basgall ^a, Martín Gómez ^{a,b}

^aGrupo de Emisión Acústica, Facultad Regional Delta, UTN, Campana, ARGENTINA

^bProyecto ICES, Centro Atómico Constituyentes, CNEA, Buenos Aires, ARGENTINA

e-mail: guicferrari@gmail.com

RESUMEN

El proceso de perforación implica el corte de un material mediante una herramienta a la cual se le imprime una acción de torque en rotación y empuje. Esta energía proporcionada al proceso se utiliza para cortar, fracturar, raspar, pulverizar y deformar plásticamente el material entre otras cosas. Todas estas operaciones generan fricción, calor y ondas elásticas ultrasónicas las cuales se propagan por el medio en forma de pulsos discretos y continuos, y que eventualmente pueden ser monitoreados mediante la técnica de Emisión Acústica (EA). Esta energía elástica asociada al proceso de perforación varía con las condiciones de corte (rpm, fuerza de avance y torque, etc.), el material cortado (propiedades mecánicas y morfología del material), la geometría del cortador (ángulos de ataque y descarga, desgaste) las condiciones de lubricación, la forma de extracción del material cortado, etc. Manteniendo las variables del proceso constantes y modificando el material geológico a taladrar, se encuentra que la firma acústica del proceso varía a medida que se modifica el material cortado, lo que hace posible su caracterización. Esta modificación en la firma acústica del proceso está relacionada con la energía necesaria para producir la fractura y el corte del material, la granulometría del mismo, el elemento de consolidación de las partículas que forman la roca y otras propiedades asociadas al material. Estos ensayos muestran que la información producida por la modificación en las señales de EA en los diferentes geomateriales puede ser eventualmente utilizada para la toma de decisiones sobre el proceso de taladrado. Complementando la información acústica con otros parámetros de perforación tales como la fuerza de avance, el torque, y la tasa de penetración, se pueden generar modelos de operación que permitan un monitoreo más eficiente del proceso.

Palabras Clave: Emisión Acústica, Geomateriales, taladrado, ultrasonido.

INTRODUCCIÓN

El proceso de perforación desde un punto de vista mecánico, es un proceso complejo de modelar debido a la cantidad de variables que se deben considerar, a saber: Geometría del cortador (Rajabov et al, 2012) , cantidad de filos, tipo de mecanismo de corte o desintegración del material, forma de remoción de este, lubricación, temperatura, rpm,

fuerza de avance (FA), etc. Luego debemos considerar las implicancias del material a ser cortado, que modifica la interacción herramienta –material (Bourgoyne et al, 1991) y por lo tanto también varía la dinámica del proceso de corte, según otra cantidad considerable de factores: tipo de material, constantes elásticas, fragilidad, ductilidad, dureza, granulometría, densidad, nivel de saturación de líquido y condiciones de tensión del ambiente que lo rodea, ya que diferentes entornos de confinamiento (equiaxial, poli axial, nivel de tensión deviatoria, etc.) modifican el comportamiento ante la fractura para un mismo material (Peng, 2007).

Todos estos tipos de cambios en el “*sistema de perforación*” producen en algunos casos grandes modificaciones de la dinámica del proceso y en otros casos variaciones de menor peso. Es importante considerar que debido a lo inherente de la mecánica de la perforación, la zona y por lo tanto el proceso de corte están fuera del alcance del operador, y cuanto más grande es la operación de perforación, más difícil o costoso (es la extracción de la herramienta (Bourgoyne et al, 1991) además del material cortado, y verificar el estado y condición de los elementos intervinientes. Es entonces que se pueden utilizar parámetros indirectos para la estimación de la *condición de un proceso mecánico*, como la temperatura, el nivel sonoro, las vibraciones, la tasa de perforación, las fuerzas involucradas en el proceso (fuerza de avance, torque, presión hidráulica), etc. (Dimla et al, 1998, Dornfeld et al, 1980). Muchos autores han estudiado estos fenómenos para diversos materiales en procesos de perforación y corte en metales, rocas, y materiales compuestos (Mascaro et al 2005, Dimla et al 1999, Neves et al 2012). Existe una importante cantidad de información de cómo estas variables se comportan de forma individual y en forma conjunta. Esto permite realizar modelos de comportamiento, pero nuevamente un limitante es la cantidad de variables a considerar y las relaciones entre ellas. Análisis de estos sistemas necesitan del manejo multiparamétrico de información y ajuste no lineal de la relación entre variables. Es allí donde la matemática, los métodos de cálculo actuales y la tecnología se conjugan para proveer formas de análisis que reúnen varias de las características necesarias para modelar estos sistemas (Everson et al, 1999; Gómez, 2011; Philippidis et al, 1998).

En el presente trabajo se muestra la técnica de ensayo de EA para monitorear un proceso de perforación de material geológico en probetas multicapa. La señal fue relevada directamente sobre la herramienta de corte y en la probeta multicapa, para poder comprar las señales. Luego, la señal fue procesada de diferentes maneras, utilizando parámetros indicadores de EA que permitieron entrenar una Red Neuronal (RN) que mostro capacidad de clasificar esta información y por lo tanto las diferentes condiciones del taladrado.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Sistema de perforación

El sistema de perforación consta de una broca de perforación de 62 mm de diámetro con dos filos de carburo de tungsteno y un ángulo de punta de 162°, ver Fig. 1b, expulsión de agua de lubricación y extracción de material cortado. Un sistema de FA hidráulico regulable, motor de giro de la broca de 4 Hp y 3000 rpm conectado a una caja reductora y control de

velocidad de rotación mediante un variador de velocidad. Este prototipo equipado para poder instrumentar directamente la broca de perforación y obtener una señal de EA directamente del proceso de corte que sucede en la punta de la misma. En la Fig. 1 se observa el sistema completo de perforación y sus componentes.



Figura 1. a. Sistema completo de perforación con control de velocidad, centralina hidráulica, y herramienta de perforación. b. Detalle de la broca con cuerpo realizado en SAE 4140, dos fillos de carburo de W y salidas de fluido.

Probetas de material multicapa

Las probetas ensayadas son paralelepípedos de 320 x 320 mm de base y 400 mm de altura compuestas por capas de material geológico (rocas) de diferentes características y de manera estratificada. Una vez definidos los estratos (capas de rocas), estos se cementaron con material en una proporción 3:0.8:0.2 de arena, cemento y cal. Estas unidades consolidadas conforman una probeta sobre la cual se pueden realizar 4 perforaciones simétricas, ver Fig.2a, con una disposición de capas semejante a la Fig. 2b.

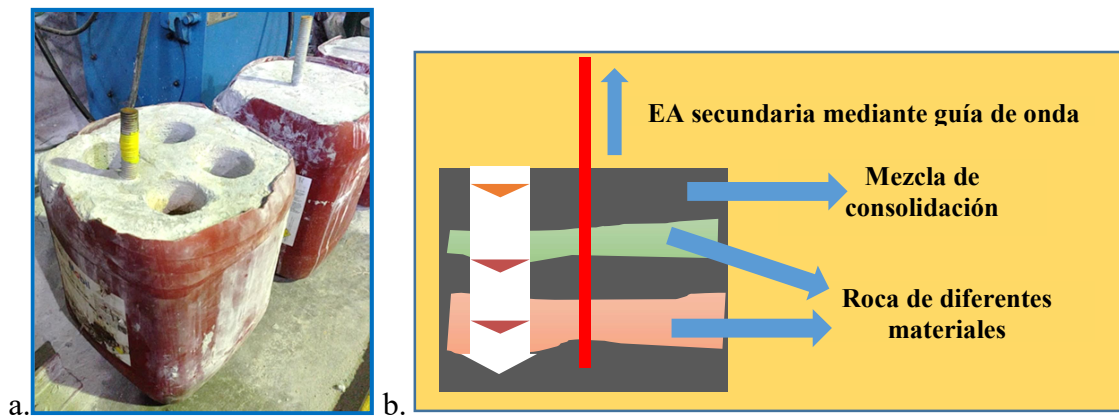


Figura 2. a. Probeta con cuatro perforaciones y guía de onda. **b.** Croquis de la composición de una de las probetas donde se observan los diferentes estratos y la guía de onda que los atraviesa.

Las probetas construidas de esta manera presentan gran inhomogeneidad geométrica respecto del espesor de cada estrato, así como en el tallado para la conformación de cada capa, ver Fig.3 a, b y c. Esto produce que cada una de las probetas y de las perforaciones realizadas sean únicas e irrepetibles para cada ensayo.



Figura 3. a. Dos tipos diferentes de estratos con variación considerable en el espesor. **b.** Estratos con guías de onda colocadas. **c.** Diferentes estratos utilizados para ensamblar las probetas.

En la Tabla I se detallan las composiciones de los dos tipos de probetas ensayadas para el presente trabajo. La probeta M1 contiene dos tipos de rocas sedimentarias de diferentes tamaño de grano y material constituyente. Uno de los estratos utilizados se definió como del tipo arenisca debido a su tamaño de grano, comparable con el sílice, observables a ojo

desnudo. Este tipo de roca produce una fractura rugosa, debido a que en general la fractura se propaga por el material de unión de sus granos. El segundo tipo de roca utilizado clasifica dentro de las ordinariamente llamadas lutitas, estas son rocas sedimentarias de grano mas fino que las areniscas, y esta en particular está compuesta mayoritariamente por material producto de la sedimentación de moluscos marinos. Este tipo de roca rompe en forma de escama paralela al sentido de deposición de sus elementos constitutivos. Debido a que es más densa que la arenisca, si bien es menos dura que esta, es de más difícil taladrado debido al tamaño y densidad en la deposición de sus minerales. Estas dos rocas fueron cementadas en un solo contenedor, conformando la probeta M1.

La probeta M2 consiste en una composición de material cementicio con dos capas alternadas de roca metamórfica llamada pizarra, esta es densa (tamaño de grano muy fino) con placas de mica alineadas en sentido paralelo a la laminación. A su vez este tipo de roca se fractura en planos de debilidad paralelos a la laminación, con fracturas suaves o sedosas.

Tabla I. Probetas ensayadas con rocas sedimentarias y metamórfica.

Nombre/Composición	Arenisca	Lutita	Pizarra	Capas
Muestra 1 (M1)	X	X	-	2
Muestra 2 (M2)	-	-	X	2

Sistema de Emisión Acústica

Para los ensayos de EA se utilizó un sistema de EA marca Physical Acoustics Corporation (PAC) con un equipo modelo DISP-4 de 4 canales con capacidad de adquisición de parámetros característicos de la EA y formas de onda. Las señales fueron tomadas con dos sensores marca PAC (uno para la probeta y otro para la broca), tipo WD de banda ancha con preamplificadores externos modelo 2/4/6 con ganancia ajustada en 20 dB para el sensor montado sobre la broca y 40 dB para el sensor montado en la probeta. El equipo se manejó en una PC con el software AE Win. Entre los parámetros medidos se registraron: Amplitud, RMS, Energía MARSE, Cuentas, Rise Time, frecuencia media, etc.

Arquitectura de Red Neuronal Utilizada para análisis de probeta M2

La arquitectura de la RN Kohonen creada consta de 400 neuronas dispuestas en forma de grilla toroidal de 20 x 20 neuronas, con una cantidad de 4 vecinos por neurona y una función topológica de ajuste de vecindad tipo gaussiana. El criterio de la neurona ganadora se definió como “*la entrada más parecida al peso de una neurona, resulta como ganadora*”, con ajuste de pesos por datos y por época y con una duración de entrenamiento de 400 épocas. El error de mezclado y de norma alcanzados en la etapa de entrenamiento fue del 5.9 % y 0.09 respectivamente. La red fue entrenada y simulada con un Vector Dato (VD) multiparamétrico de cinco componentes [Amplitud, Energía MARSE, RMS, Rise Time, Frecuencia Promedio], extraído de la señal de EA de la broca del equipo de perforación. La cantidad de VD utilizados fue de 400 para el entrenamiento y 196 para la predicción. Estos VD fueron seleccionados gráficamente respecto de las señales de EA

pertenecientes a la perforación de las dos rocas de pizarra (513 VD) y al material cementicio (83 VD) para la probeta M2.

Desarrollo del ensayo

Las probetas M1 y M2 fueron taladradas en cuatro sectores, tomando señales representativas de cada proceso. El tiempo de taladrado en estos ensayos en particular promediaron los 1800 s. La EA se adquirió de manera paralela sobre la herramienta (canal 1) y la probeta (canal 2), con el fin de poder comprar señales y comprobar el funcionamiento de la instrumentación de la herramienta de perforación. Una vez taladradas las probetas M1 y M2 se realizó el análisis de la información parametrizada. En la probeta M1 se caracterizaron las zonas de las interfaces respecto de las diferentes rocas taladradas, mientras que para la muestra M2 se utilizaron algunos de estos parámetros seleccionados para entrenar y simular mediante una RN tipo Kohonen las señales debidamente seleccionadas del proceso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la probeta M1 se muestran en la Fig. 4 los parámetros Amplitud, Energía MARSE (Área medida respecto de la envolvente de la señal rectificada de EA) y rms (valor cuadrático medio) de la EA para los canales 1 y 2. Se observa que el sistema montado directamente sobre la herramienta de trabajo recibe una potencia de señal de mayor amplitud (6 a 8 veces) que la señal obtenida a través de la probeta.

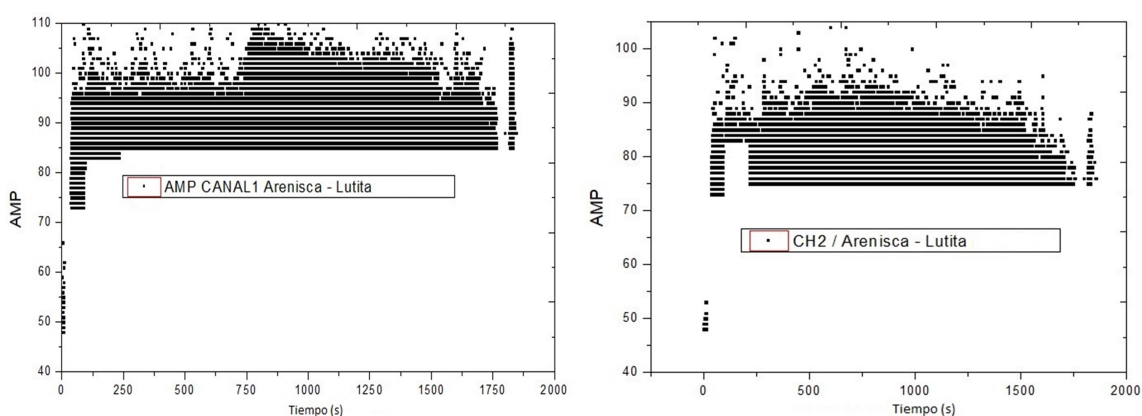


Figura 4. Amplitud respecto del tiempo para los canales 1 (Herramienta) y 2 (probeta) mostrando diferencia en la atenuación.

Esto posiblemente sea debido a que las ondas ultrasónicas encuentran en el metal del cuerpo de la broca una conexión directa con el proceso y un camino con mucha menor atenuación que a través de las interfaces de la roca, cuyo material es más dispersivo y atenuante. El análisis de la amplitud muestra que es bastante difícil detectar las variaciones entre diferentes zonas de estas probetas compuestas por estos tres elementos. Por otro lado los parámetros de energía MARSE y el valor rms de la señal muestran

zonas de variación más marcada de energía de la señal en diferentes partes del ensayo (Ver Fig.5).

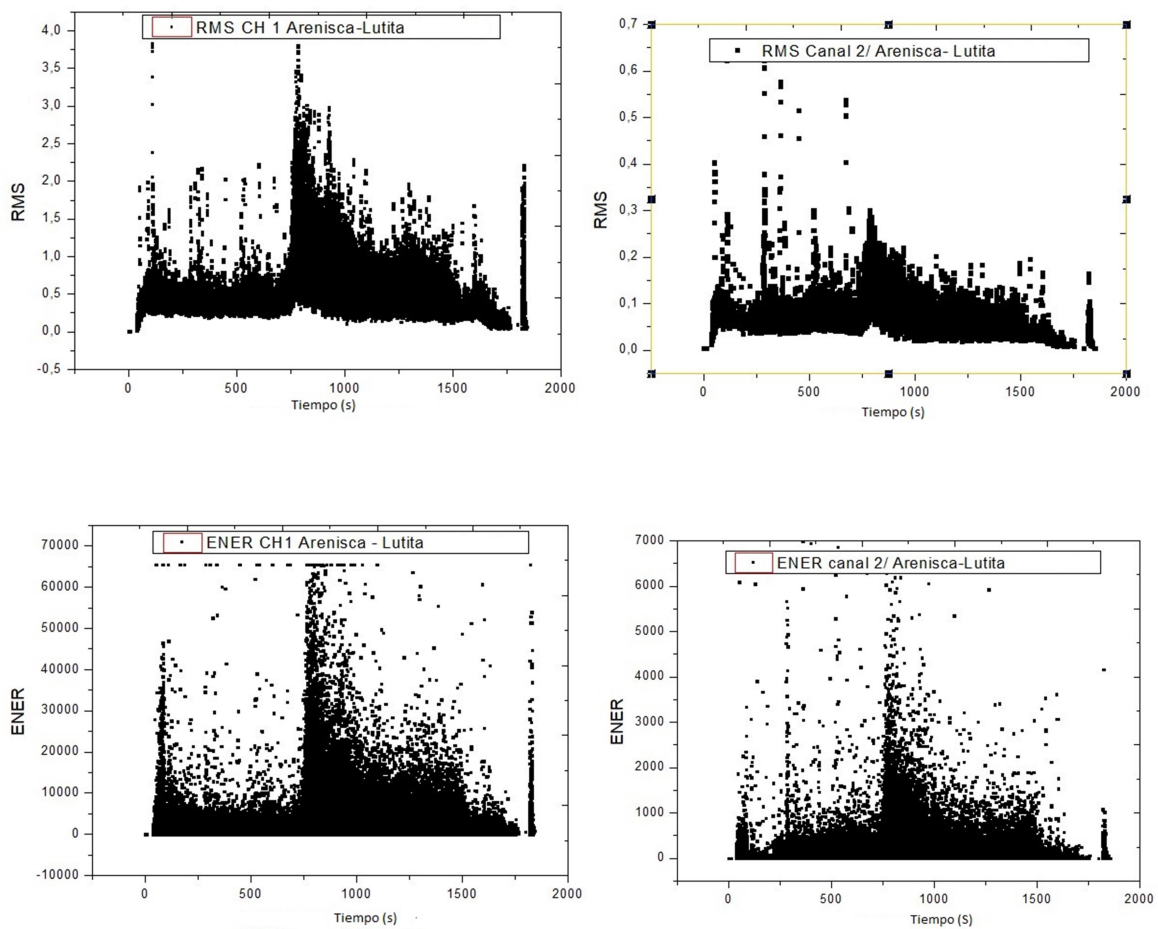


Figura 5. Señales de rms y energía MARSE para canales 1 y 2 durante el taladrado de la probeta con rocas sedimentarias M1.

Estas variaciones pueden ser relacionadas (mediante el análisis del material cortado y la posición de la punta de la herramienta) con las correspondientes interfaces rocosas contra las cuales se fue encontrando el cortador de carburo. Estas interfaces están marcadas en las Fig. 6 a, b y corresponden a:

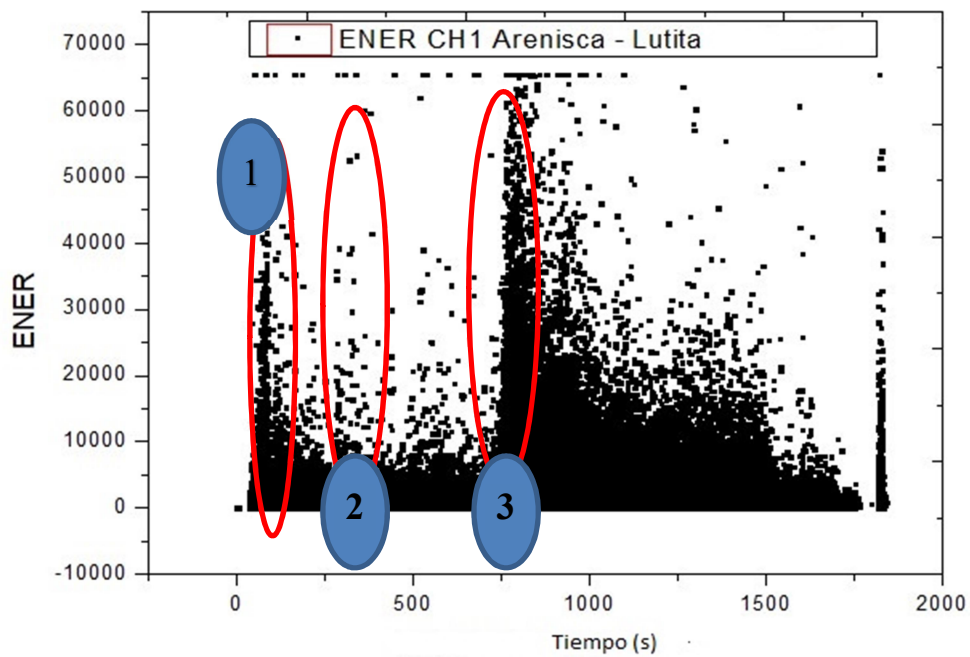
Zona 1: inicio del proceso de taladrado sobre material de cementación de la probeta.

Zona 2: fin de zona 1 e inicio del taladrado de roca tipo Arenisca.

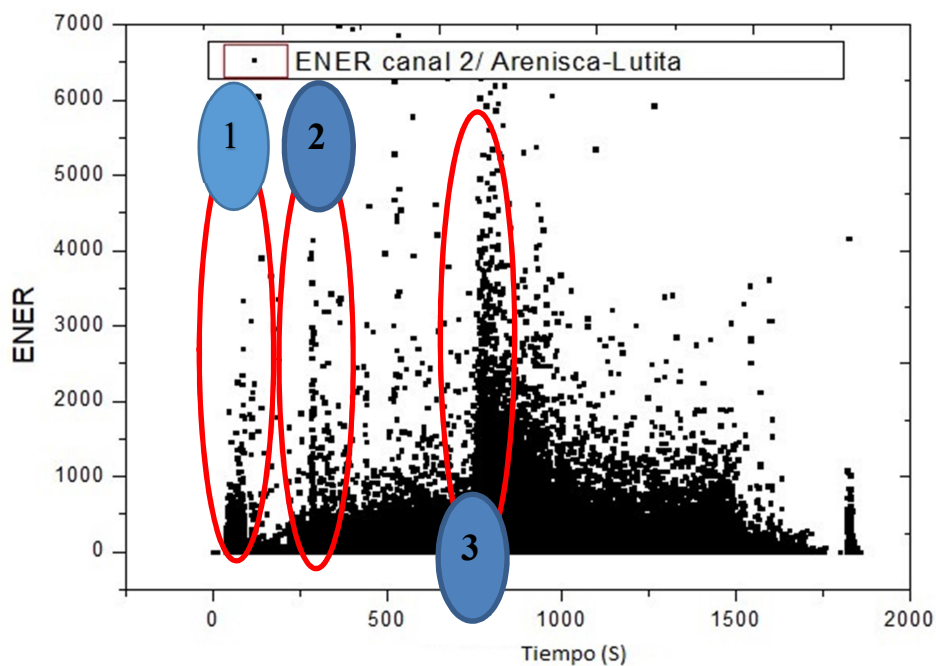
Zona 3: fin de elemento cementación e inicio de taladrado de roca tipo Lutita.

Estas zonas características se observan cuando la broca hace un cambio de interface de material geológico y se encuentra relacionado a que el cortador penetra progresivamente dentro del nuevo material. Al inicio de cambio de interface, la velocidad de corte de la punta de la broca es cero y crece radialmente hacia el diámetro de la misma, de manera que el primer contacto entre el cortador y la nueva interface se produce casi por indentación, más que por corte del material. Una vez que el cortador ingreso plenamente

dentro del nuevo material, el proceso de corte se hace más estable y equilibrado, disminuyendo la tasa emisión y la energía de la señal y bajando su amplitud máxima.



a.



b.

Fig. 6. Marcación de zonas de interfaz identificadas mediante a. Energía MARSE para canal 1. b. Energía MARSE para canal 2.

La comparación entre los canales 1 y 2 indicaría que la atenuación producida por el sustrato rocoso actúa como un filtro natural, disminuyendo la intensidad de la señal de manera general y las de alta frecuencia de manera particular, ya que la atenuación es función creciente con la frecuencia. Esto permite de alguna manera tener una señal más limpia donde se observan los cambios de interface de manera más clara. Pero también siempre parte de información puede ser perdida en este proceso.

Para la probeta M2 que cuenta con dos capas de material metamórfica (Pizarra) cementado, también se pudieron ver claramente con el rms de la señal de EA las interfases a medida que se taladraba (Fig. 7), en ambos canales.

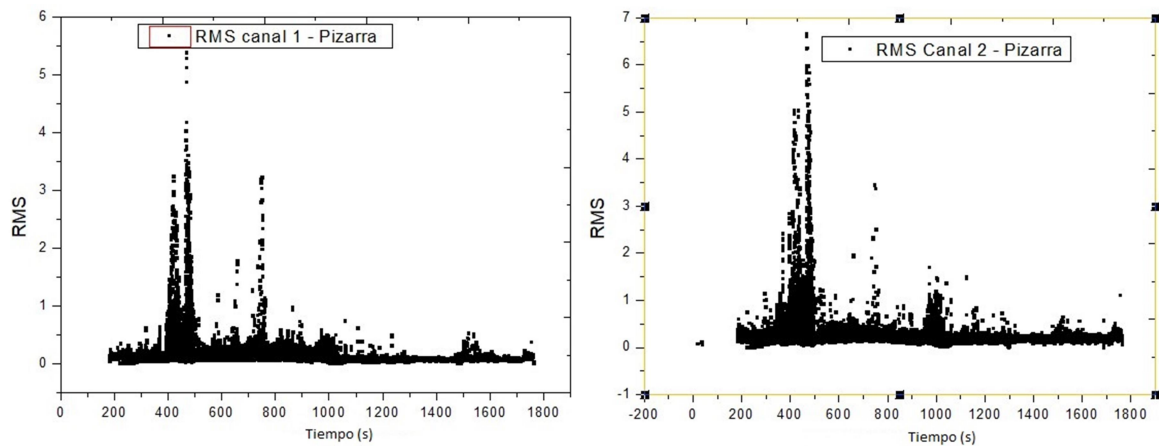


Fig. 7. Medición del rms de la EA para M2 de roca metamórfica en canales 1 y 2. M1 consiste en una composición de material cementicio con dos capas alternadas de roca metamórfica.

La señal proveniente de la instrumentación de la herramienta fue seleccionada en función de los gráficos de la Fig. 7. Estas corresponden a dos placas de pizarra, llamadas pizarra uno (P1) y pizarra dos (P2) (Ver Tabla I), así como del elemento cementicio (C) y sirvieron para programar la RN Kohonen. Los resultados del mapa de entrenamiento Kohonen de la Fig.8 muestran una buena separación de las señales del material C, respecto del material P (P1 y P2). Adicionalmente la red tuvo la capacidad de diferenciar las señales provenientes de las dos rocas del mismo tipo de material metamórfico (P1 y P2) pero de diferente profundidad. Los resultados mostrados en el lote de simulación, provienen de datos que *nunca* fueron procesados por la red hasta el momento de la simulación, una vez ya entrenada. Estos fueron clasificados con un error de mezclado y de norma inferior al 5% y 0.04 respectivamente. Se respetan las zonas topológicas delimitadas por las neuronas que clasifican los datos de las señales C respecto de las de las P1 y P2. También se observa la formación de sub clúster entre P1 y P2 a pesar de ser el mismo material.

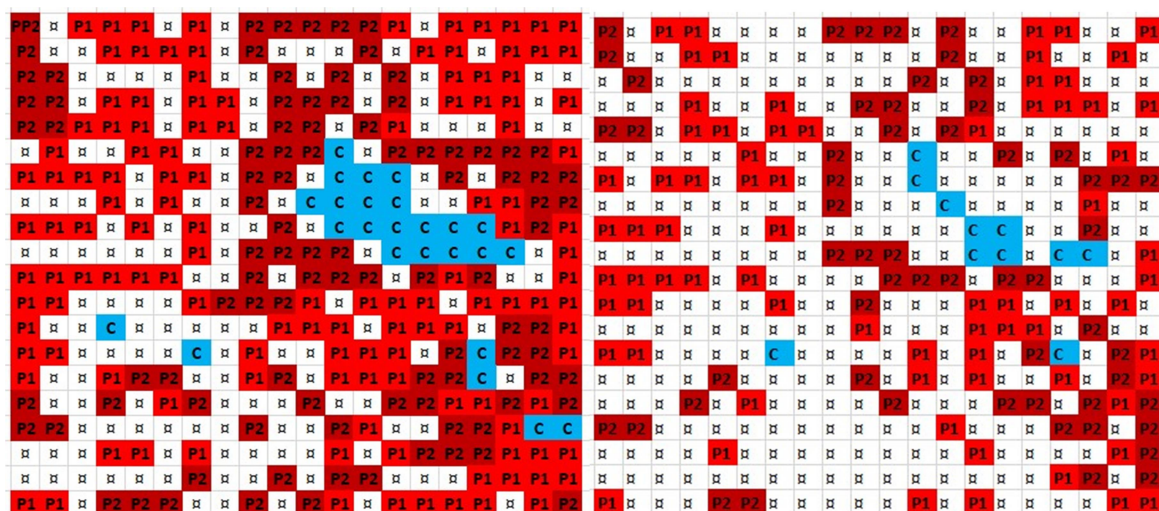


Fig. 8. Mapa de entrenamiento (400 VD) y predicción con (196 VD).

CONCLUSIONES

Los resultados indican que la EA tiene la capacidad de proveer información útil para distinguir diferentes materiales geológicos, en esta escala de ensayo, mediante la variación de algunos parámetros de la EA como la energía MARSE, el rms y la señal amplitud en menor medida. La composición intrínseca de la probeta de material geológico filtra naturalmente la señal de EA produciendo un resultado algo más *limpio* en la señal que el monitoreo sobre la herramienta. Se observaron variaciones en la energía MARSE y el rms de las señales que pueden ser asociadas a las diferentes interfaces entre los elementos constitutivos de las probetas ensayadas. Estas variaciones posiblemente estén relacionadas con la energía necesaria para realizar el corte en cada material, la cual depende al menos de la composición y morfología del material (una vez fijadas las demás variables del proceso). Con la información paramétrica de EA proveniente de la broca, que es económica respecto a su manejo y procesamiento, se logró entrenar y simular una RN que mostro capacidad de clasificar la información perteneciente a cada tipo de material por separado.

REFERENCIAS

- A. Bourgoyne Jr. et al, “Applied drilling engineering”, Society of Petroleum Engineers, 1991.
- B. Mascaro, V. Gibiat, M. Bernadou, Y. Esquerre, “Acoustic Emission of the drilling of Carbon/Epoxy Composites” Forum Acusticum (2005).
- C. E. Everson, S H. Cheraghi. “The application of acoustic emission for precision drilling process monitoring”. Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 39 (1999), 371-387.

- D. Dornfeld and E. Kannatey Asibu, "Acoustic emission during orthogonal metal cutting", *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 22, 285-296 (1980).
- E. Dimla Jr, P Lister, N. Leighton, "Automatic tool state identification in metal turning operation using MLP neural networks and multivariate process parameters", *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 38, No.4, 343-352 (1998).
- E. Dimla Sr., "Application of perceptron neural networks to tool-state classification in metal-cutting operation", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 12, 471-477 (1999).
- M.P. Gómez, "Estudio de la señales de EA generadas en el proceso de corte de metales. Aplicaciones a procesos de taladrado", Tesis de Doctorado, UNSAM 2011.
- P. Falcão Neves et al, "Evaluation of elastic deformation energy in stone cutting of Portuguese marbles with a diamond saw", *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2012.
- S. Peng, J. Zhang, "Engineering geology for underground rocks", Springer, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.
- T. Philippidis, V. Nikolaidis, A. Anastassopoulos."Damage characterization of carbon/carbon laminates using neural network techniques on AE Signals". *NDT&E International*, Vol. 31, No5, 329-340 (1998).
- V. Rajabov , et. al, "The effects of back rake and side rake angles on mechanical specific energy of single PDC cutters with selected rocks at varying depth of cuts and confining pressures", *IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition*, Marzo 2012.

FRECUENCIA ESQUINA Y EVOLUCIÓN DEL WAVELET b-VALUE EN BANDAS DE FRECUENCIA EN SEÑALES DE EMISIÓN ACÚSTICA DE UN ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ROCA ANDESITA

Filipussi D. A.^{a,b}, Muszkats J. P.^{c,d}, Sassano M.^{c,e}, Zitto M.E.^c y Piotrkowski R.^{b,c}

^a Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Gerencia Desarrollo Tecnológico y Proyectos Especiales, Departamento ICES, ARGENTINA.

^b Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), Escuela de Ciencia y Tecnología.

^c Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Ingeniería, Departamento de Matemática.

^d Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA).

^e Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF).

e-mail: filipuss@cnea.gov.ar

RESUMEN

El estudio de las frecuencias características de las señales de emisión acústica en rocas sometidas a esfuerzos tiene relevancia para comprender la propagación de ondas sísmicas en la Tierra. La información sísmica y la emisión acústica son complementarias tanto en sus aplicaciones como en su base teórica. En el presente trabajo se realizó un análisis de las señales de emisión acústica obtenidas de un ensayo de compresión uniaxial, de probetas cilíndricas de roca andesita llevadas a la rotura. Un análisis de las frecuencias de estas señales cabe en el contexto de un modelo elemental de foco sísmico que describe el avance y la propagación de ondas durante la fractura de un material. Una frecuencia característica, que resulta de este análisis, es la frecuencia esquina, obtenida de los espectros de Fourier de las señales convenientemente representados en escala logarítmica, que da cuenta del tamaño de las fisuras durante el avance del daño en el material cuando éste es sometido a esfuerzo. En un primer análisis se determinó la frecuencia esquina. En un segundo análisis, se filtró la señal para distintas bandas de frecuencias con Transformada Wavelet y se obtuvo el wavelet b-value de las señales de emisión acústica para dichas bandas. El estudio de la evolución del wavelet b-value para las distintas bandas de frecuencia permitió determinar frecuencias características que se pueden asociar a distintos mecanismos de fracturas en las rocas.

Palabras Clave: Emisión Acústica, Frecuencia Esquina, Ensayo de Compresión, Roca Andesita, Transformada Wavelet, b-value.

INTRODUCCIÓN

Los materiales sometidos a esfuerzos generan en su interior ondas elásticas producidas por la deformación del material y otras fuentes como las debidas al crecimiento de fisuras, movimiento de dislocaciones, rotura de inclusiones, etc. La técnica de emisión acústica (EA) permite obtener información de estos procesos midiendo estas ondas elásticas con sensores piezoeléctricos que transforman la señal mecánica en señal eléctrica. Las ondas elásticas provenientes del interior del material son registradas sobre la superficie del material donde se ubican los sensores piezoeléctricos. Estas señales luego son procesadas para su posterior análisis. La señal eléctrica de EA es de muy baja amplitud (10 μV) y de alta frecuencia (50 kHz a 1 MHz) y se caracteriza por eventos discretos con forma de pulsos oscilantes que alcanzan una amplitud máxima en un tiempo de subida (Rise Time) de la señal y luego esta se amortigua en el tiempo (ver Fig.1).

El equipo de EA (ver Fig. 2) cuenta con una placa electrónica que se encarga de la toma de las amplitudes de la señal en función del tiempo pudiéndose ver online la forma de onda de la señal; más tarde la placa procesa esta información y computa los valores de los parámetros característicos de la señal: energía, valor RMS (valor cuadrático medio), amplitud, rise time, duración del evento, etc. Esta técnica de EA proporciona un método para caracterizar los daños que sufre el material cuando es llevado a la rotura y dar cuenta, entre otros, de los procesos de micro fisuración, crecimiento de fisuras y por último la coalescencia de fisuras hasta la rotura final del material.

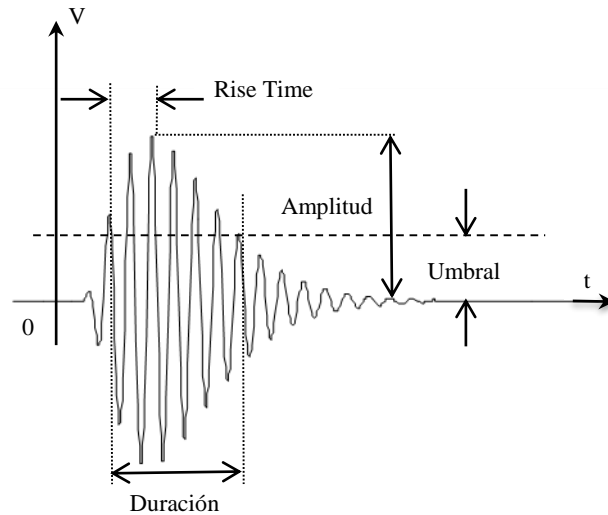


Figura 1: Señal de EA y parámetros que la caracterizan.

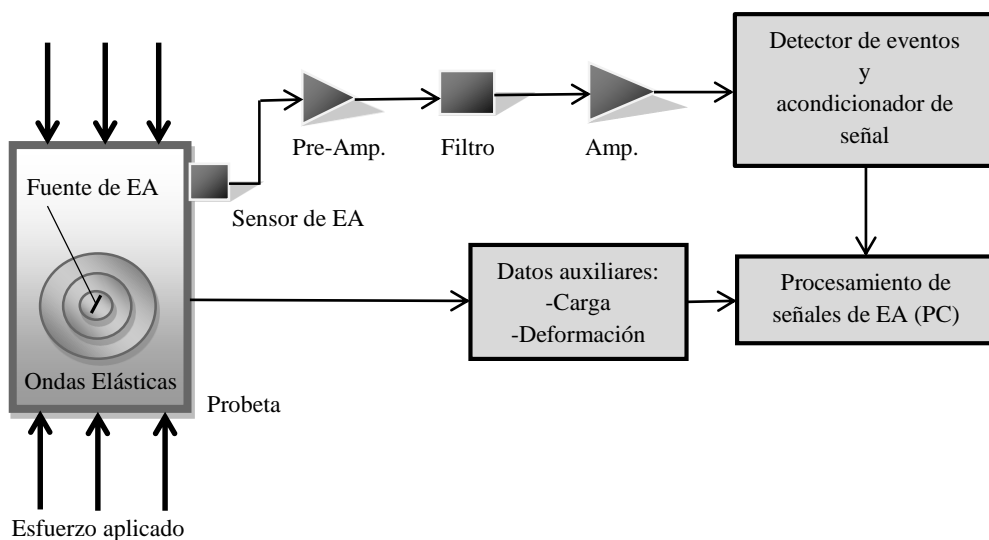


Figura 2: Equipo de EA. Adquisición y procesamiento de datos.

Existen desde la década del 60 artículos sobre fractura de rocas sometidas a compresión (Lockner, D., 1993; Scholz, C.H., 1968; Hoek, E. and Bieniawski, Z.T., 1965) y es también un tema de actualidad por sus aplicaciones como en Mirmohammadlou A. et al., 2017.

Es interesante observar que la EA es generada en distintas escalas espaciales y temporales abarcando desde la ruptura de ligaduras atómicas a fallas sísmicas, por ello la información sísmica y la EA son complementarias, tanto en sus aplicaciones como en su base teórica. A partir de esta idea, para dar cuenta de los procesos de daño en un material rocoso sometido a esfuerzos, hay trabajos (Zhang J., 2018; Carpinteri, A. et al., 2009; Rao, M.V.M.S. and Prasanna Laskhmi, K.J., 2005; Shiotani et al., 2001) que estudian el valor del b-value como resultado de la

distribución de frecuencia acumulada de hits de EA en función de la amplitud de los mismos. Se comprueba que la relación en escala log-log es lineal y es conocida su aplicación en la sismica como ley de Gutenberg-Richter.

Siguiendo el trabajo de Filipussi D.A. et al., 2015, se ensayaron cuatro probetas cilíndricas de 75 mm de diámetro y 150 mm de largo, realizadas sobre testigos de andesita extraídos in situ de roca del Cerro Blanco, Pcia. San Juan, Argentina. Estas probetas fueron ensayadas a compresión simple uniaxial llevándolas a la rotura. Se utilizó una maquina marca CGTS de 100 toneladas de capacidad de tipo servo hidráulica y lazo cerrado donde se impuso una velocidad de desplazamiento de actuador de 0.12 mm/min. La Fig. 3 muestra el arreglo experimental de una probeta de andesita instrumentada con sensores de EA.



Figura 3: Configuración experimental y equipo de medición de EA.

Se emplearon tres sensores piezoeléctricos para monitorear la EA. En la superficie de la probeta se colocaron dos sensores, uno sintonizado en 60 kHz y el segundo en 150 kHz. El restante, de banda ancha, se lo adhirió al plato de carga inferior teniendo en cuenta la propiedad de buena guía de onda del metal involucrado. El equipo de EA se completó con una placa de dos canales PCI – 2 de PAC (*Physical Acoustic Corporation*) y se utilizó el software comercial *AEWIN* para el análisis y determinación de la mayoría de los parámetros característicos de las señales.

En este trabajo se analizaron las señales de EA del experimento descrito con el objetivo de determinar frecuencias características que informen de los procesos de daño que sufre el material durante la compresión del mismo hasta llevarlo a la rotura. Para realizar esta tarea se utilizó un primer análisis de Fourier de las señales para determinar la frecuencia esquina que da cuenta del orden del tamaño de las grietas que llevan a la rotura de la roca y en un segundo análisis se filtró la señal para distintas bandas de frecuencias con Transformada Wavelet y se obtuvo el wavelet b-value de las señales de EA para dichas bandas. El estudio de la evolución del wavelet b-value para las distintas bandas de frecuencia permitió determinar frecuencias características que se pueden asociar a distintos mecanismos de fracturas en las rocas.

MODELO DE FRACTURA. FRECUENCIA ESQUINA

En Filipussi D.A. et al, 2012, se simula una señal de EA cuya fuente es una fisura que se propaga en un medio material homogéneo e isótropo, a partir de un modelo de fractura cuyos fundamentos provienen de la geofísica (Aki K. and Richards P.G., 1980). La duración del evento de EA, la amplitud y el tiempo de subida del mismo son estimados por el modelo y se relacionan con características de la fuente. El análisis del espectro de Fourier de la señal de EA obtenida del modelo está dado por la Ec. (1):

$$|\hat{\Omega}(\omega)| = \frac{U_0 A}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}} \left| \frac{\text{sen}\left(\frac{\tau_0 \omega}{2}\right)}{\frac{\tau_0 \omega}{2}} \right| \quad (1)$$

Donde $\hat{\Omega}(\omega)$ es la transformada de Fourier del campo de desplazamiento, U_0 el valor máximo alcanzado por la discontinuidad del desplazamiento en la fractura, A el área de la fractura, T el tiempo en alcanzar la discontinuidad un 63% de U_0 y τ_0 el tiempo de subida de la señal a detectar.

En el espectro teórico determinado por el modelo se observa que la señal es constante a bajas frecuencias y luego decrece a frecuencias más altas con la inversa del cuadrado de la frecuencia. La frecuencia de encuentro de estas dos tendencias del espectro en una escala log-log se denomina frecuencia esquina f_c , que asociamos a un máximo del espectro de la señal. La Fig. 4 muestra el espectro log-log del modelo teórico.

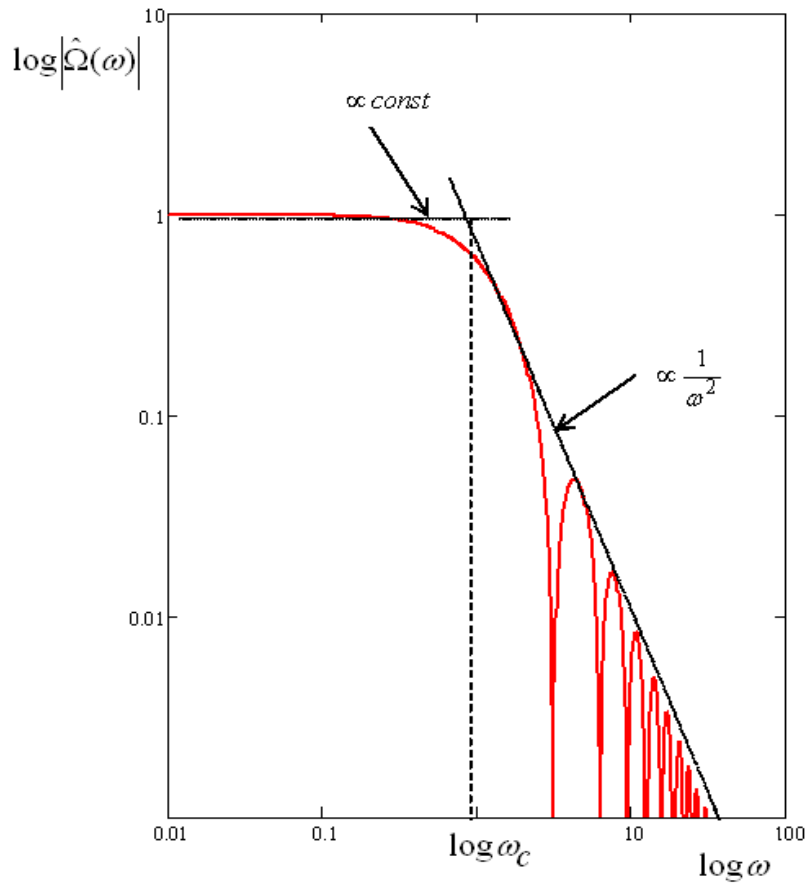


Figura 4: Gráfico del espectro de Fourier teórico en escala log-log de un evento de EA. Se observan las dos tendencias a baja y alta frecuencia que determinan la frecuencia esquina.

El modelo predice también que la longitud de la fractura es inversamente proporcional a la frecuencia esquina y está dada por la Ec. (2):

$$L = \frac{v}{2\pi f_c (1 - \eta \cos \theta)} \quad (2)$$

Donde L es la longitud de la fisura, $\eta = \frac{v}{c}$ es la proporción entre la velocidad v de avance de la fractura y c , la velocidad de onda del sonido en el medio material (η vale cerca de 1 para un material frágil), θ es el ángulo de detección respecto a la línea de avance de la fractura.

En este trabajo se estimó la longitud de las fisuras con esta última ecuación, midiendo las frecuencias esquinas de las señales adquiridas en los instantes de tiempo donde la energía del hit alcanza valores máximos relativos. Se consideró, por ser el material frágil, que $\eta = 0.7$, que la detección fue aproximadamente en la línea de avance de la fractura ($\theta = 0^\circ$) y que la velocidad de propagación de onda en la andesita es $c = 4500 \frac{m}{s}$ como se cita en Schön J.H., 2011, pag. 160.

En la Fig. 5 se muestra una señal de EA y su correspondiente espectro en escala log-log, donde se indica la frecuencia esquina determinada por el punto de intersección de las tendencias a baja y alta frecuencia.

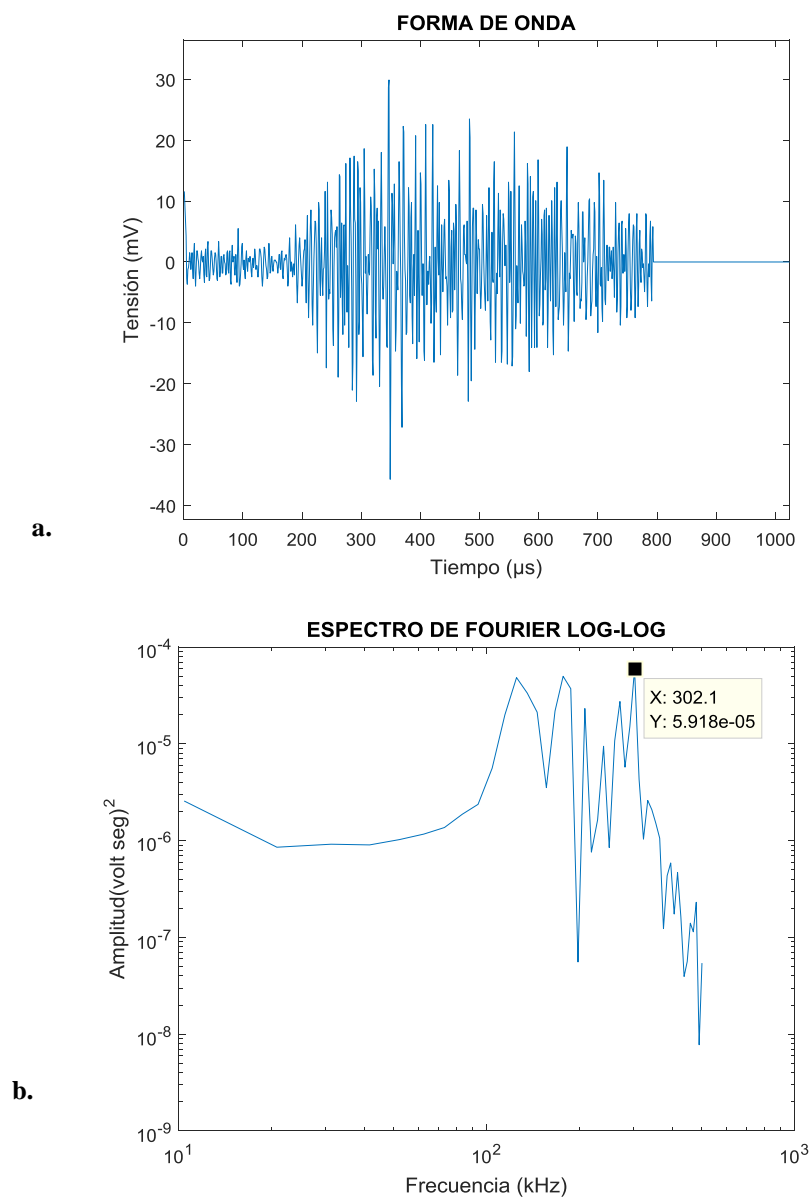


Figura 5: a. Gráfico de un hit. b. Espectro de Fourier de un hit en escala log-log donde se indica el valor de la frecuencia esquina $f_c = 302.1 \text{ kHz}$.

Los hits seleccionados para la obtención de la frecuencia esquina corresponden a aquellos intervalos de tiempo donde el valor cuadrático medio RMS de las señales alcanzan un máximo relativo, como se muestran en la Fig. 6.

La Tabla I muestra los valores de frecuencia esquina determinados para los tiempos indicados que corresponden a un intervalo de tiempo que contiene a un máximo relativo de RMS.

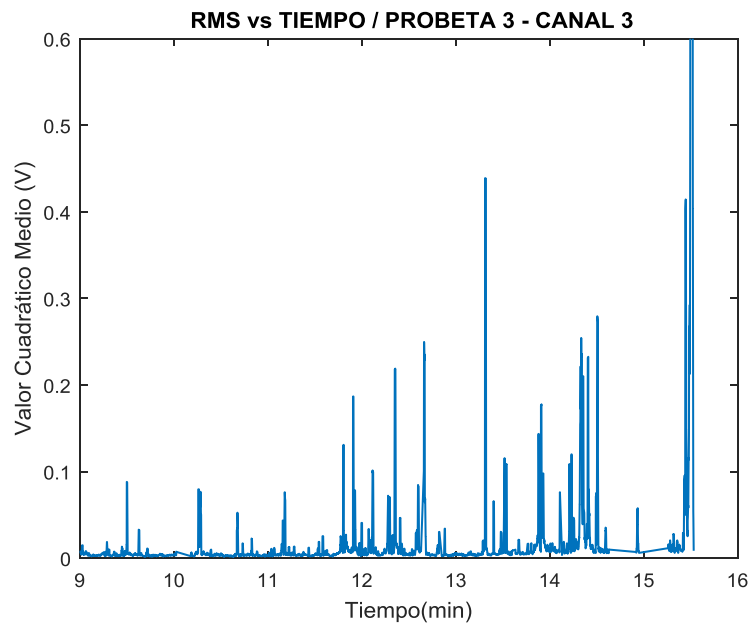


Figura 6: Valor cuadrático medio de todos los hits en función de la duración del ensayo.

Tabla I: Frecuencia esquina y su correspondiente longitud de fisura en un intervalo de tiempo que contiene un máximo de RMS.

Tiempo (s)	Frecuencia Esquina (kHz)	Longitud de la fisura (mm)
615.60	239.6	5.53
615.74	302.1	4.39
615.88	197.9	6.70
616.02	270.8	4.89
616.18	302.1	4.39
616.34	354,2	3.74
616.52	270.8	4.89
616.73	291.7	4.54
616.91	302.1	4.39
617.18	291.7	4.54

LA TRANSFORMADA WAVELET CONTINUA

La transformada wavelet continua (CWT, del inglés *Continuous Wavelet Transform*) permite estudiar las componentes de frecuencia de una señal, como la transformada de Fourier. Además brinda información acerca de la localización temporal de dichas componentes. Siguiendo la exposición de Boggess y Narcowich, 2009, se considera una función wavelet $\psi(t)$ que cumpla con los requisitos de ser continua, tener decaimiento exponencial e integral nula en \mathbb{R} . Bajo estas condiciones, la CWT de una función $f \in L^2(\mathbb{R})$ es la función $W_f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{C}$ definida mediante

$$W_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (3)$$

en el caso en que $a \neq 0$, mientras que $W_f(0, b)=0$. La integral definida por la Ec. (3) compara la función $f(t)$ con la wavelet $\psi(t)$ después de un cambio de escala y una traslación temporal. De esta forma el valor $W_f(a, b)$ mide la componente en frecuencia de la señal $f(t)$ proporcional a $(1/a)$ y localizada en torno al tiempo b .

En el presente trabajo se utilizó la wavelet de Morlet definida por

$$\psi(t) = \pi^{-1/4} \cdot e^{6it} \cdot e^{-t^2/2} \quad (4)$$

Los detalles de implementación de la CWT para señales discretas pueden consultarse en el trabajo clásico de Torrence y Compo, 1998. En la Fig. 7 se ilustra uno de los hits estudiados y su correspondiente escalograma, es decir un gráfico de la densidad de energía wavelet correspondiente a cada tiempo y frecuencia.

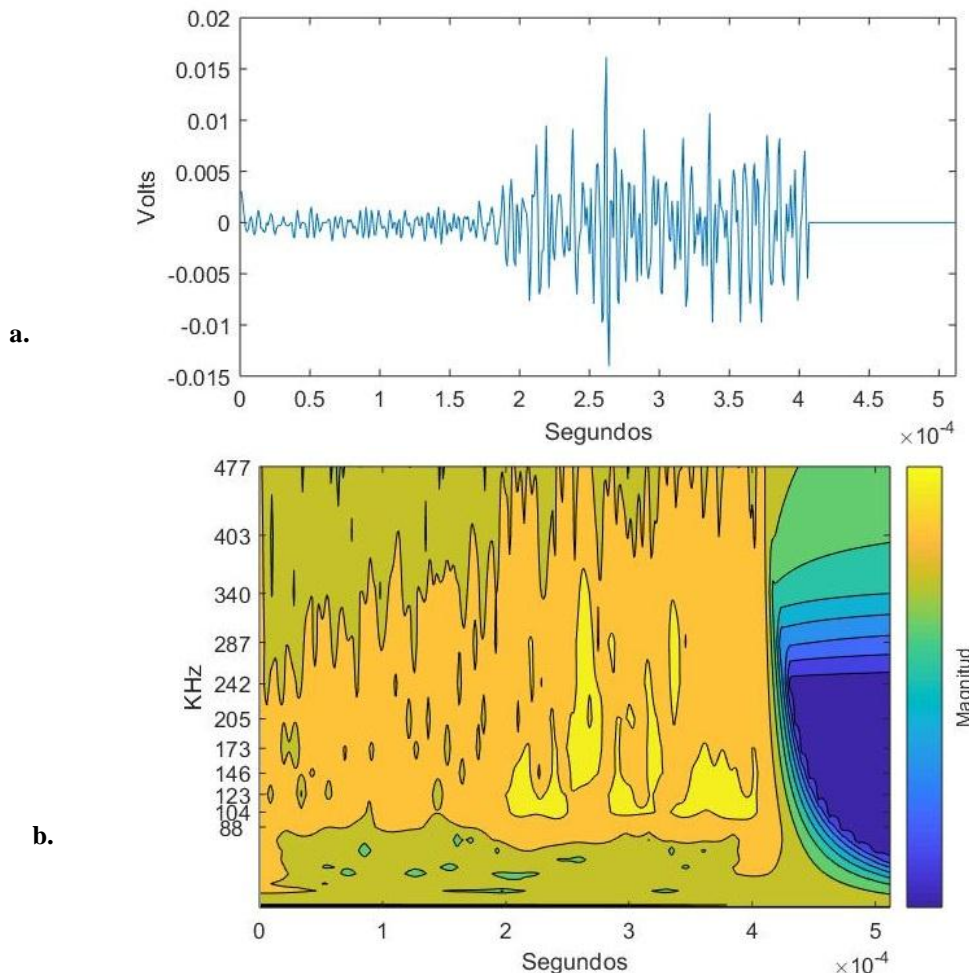


Figura 7: a. Gráfico de un hit. b. Escalograma de un hit.

A partir de la transformada wavelet de una señal pueden filtrarse las frecuencias indeseadas eliminando los coeficientes correspondientes y reconstruyendo la señal. En la Fig. 8 se ilustran el hit anterior filtrado entre 240 kHz y 300 kHz, junto con su correspondiente escalograma.

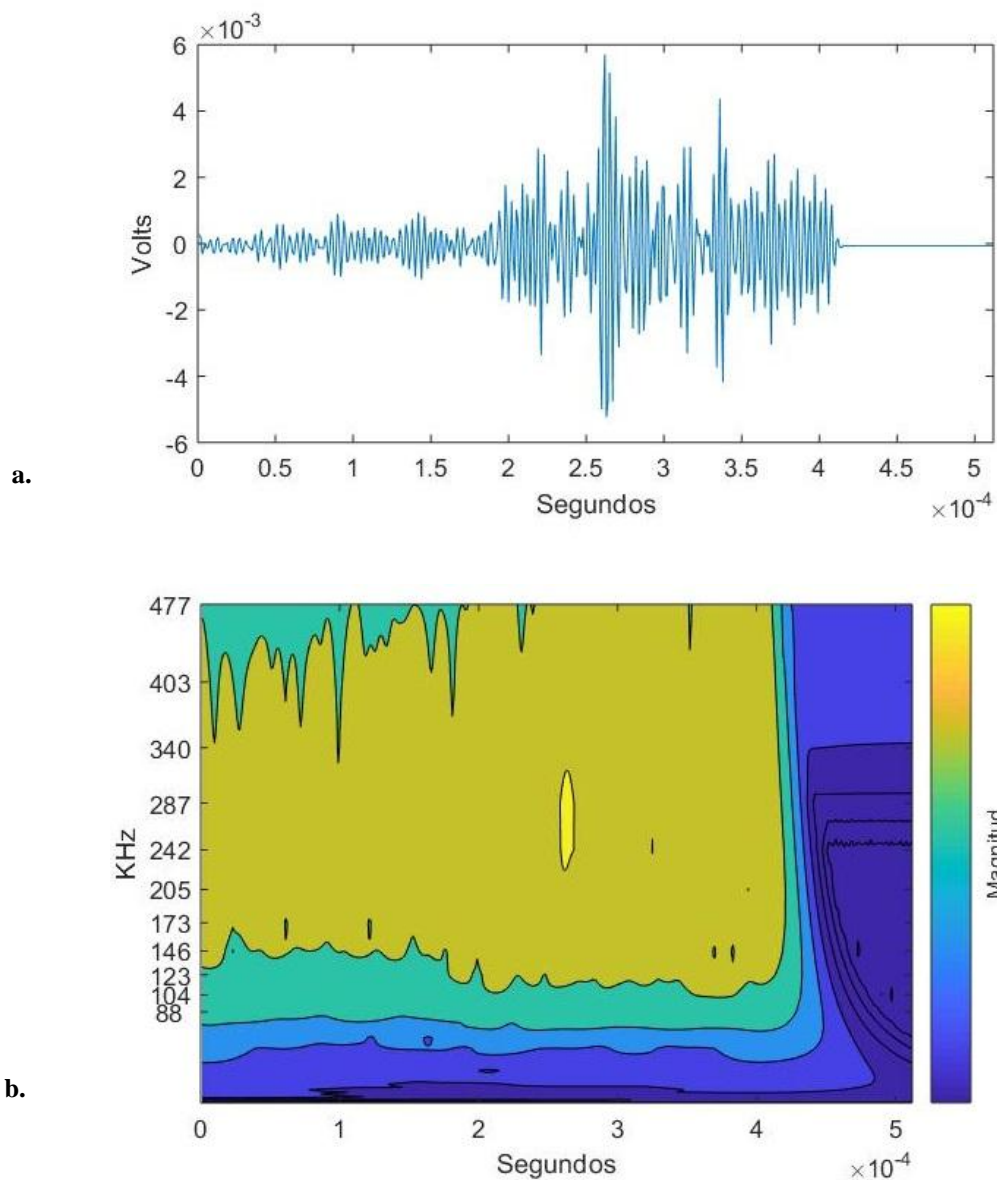


Figura 8: a. Gráfico de un hit filtrado. b. Escalograma de un hit filtrado.

APLICACIÓN AL ENSAYO

Al aplicar la CWT a cada hit registrado en el ensayo se conocen sus componentes de frecuencia localizadas en el tiempo. El gráfico de la Fig. 9 representa para cada hit la frecuencia de mayor energía. En el eje vertical se expresa la frecuencia en *kHz* y en el eje horizontal el tiempo real en segundos de ocurrencia del hit durante el ensayo. Se aprecia que las componentes de mayor frecuencia se manifiestan hacia el final del ensayo.

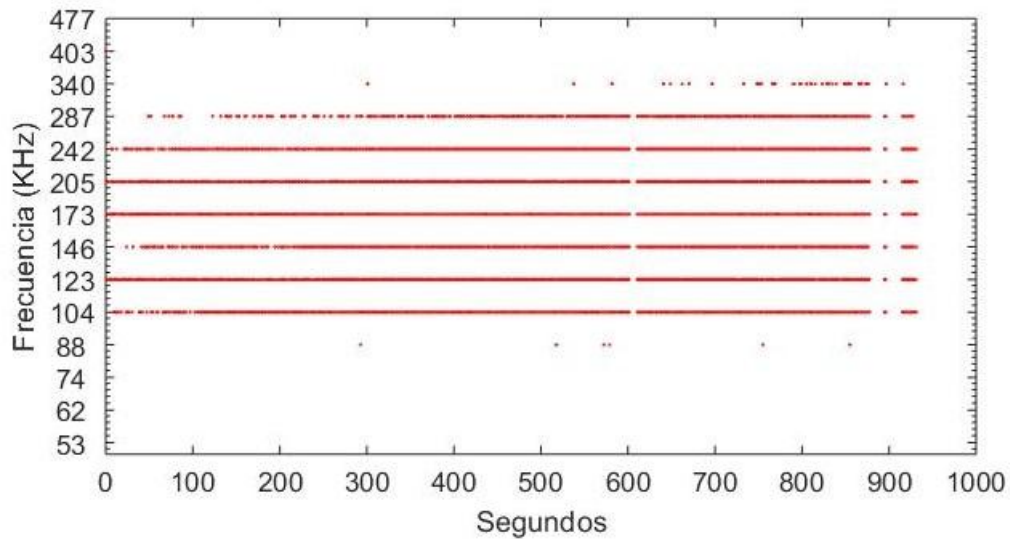


Figura 9: Frecuencia de máxima energía de cada hit.

Tabla II: Conteo de hits a diferentes frecuencias.

Frecuencia (kHz)	Cantidad de hits
88	6
104	7066
123	21386
146	6589
173	10373
205	12769
242	15603
287	1527
340	66
403	1

Las dos frecuencias para las cuales se alcanza más veces el máximo de energía son 123 kHz y 242 kHz. O sea que con la Transformada Wavelet esas fueron consideradas las frecuencias características. Esta última (242 kHz) resulta consistente con los resultados obtenidos para la frecuencia esquina, ver Tabla II donde se hace el conteo de hits a diferentes frecuencias. El gráfico de la Fig. 10 se obtuvo después de filtrar los hits para valores próximos a la frecuencia esquina: entre 240 kHz y 300 kHz. Una vez más, se indica la frecuencia a la que cada hit alcanza su máxima energía. En esta ocasión, se agrega un círculo cuyo diámetro y color responden al nivel de energía alcanzado. Aunque no es concluyente, se aprecia cierta tendencia a que los hits más energéticos se den hacia el final del ensayo.

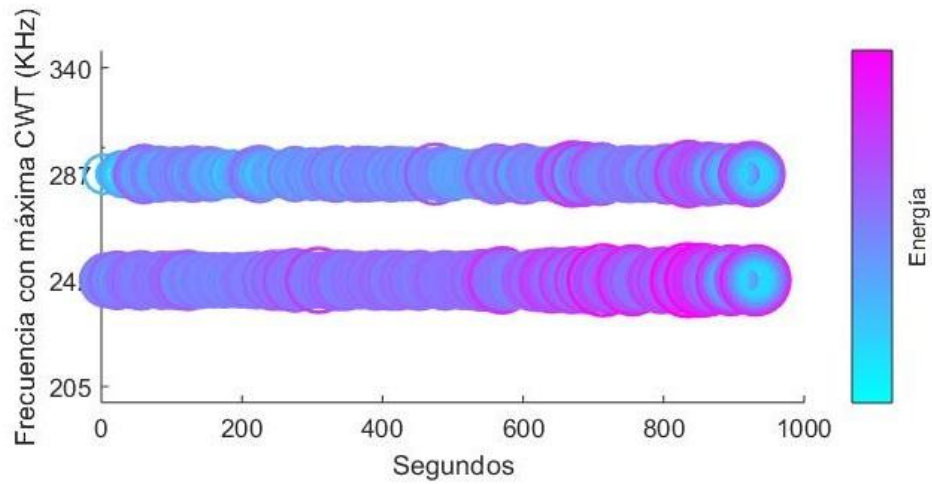


Figura 10: Frecuencias características luego de filtrar en base a la frecuencia esquina.

b-VALUE

Siguiendo a Sagasta et al, 2018, se presenta una adaptación de la ley de Gutenberg-Richter usada en sismología. En este contexto la EA se interpreta como sismología de pequeña escala. Para ello se estudia la relación entre la energía wavelet de cada señal reconstruida luego del filtrado (AEE)

$$AEE = \sum x_i^2 \cdot \Delta t \quad (5)$$

y la cantidad N de hits cuya energía supera un valor dado. La Fig. 11 ilustra esta relación para la probeta del ensayo, con los hits reconstruidos luego del filtrado entre 240 kHz y 300 kHz. Para cada hit representado se asigna además un color que indica su ocurrencia en el tiempo. Una vez más se aprecia que los hits de mayor energía ocurren hacia el final del ensayo.

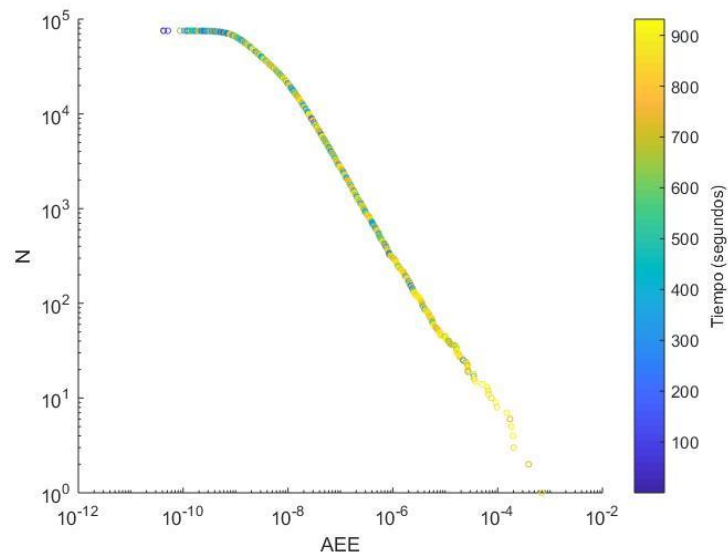


Figura 11: N vs AEE .

Como sugiere el gráfico, se puede postular una relación lineal entre los logaritmos de estas variables:

$$\log_{10}N(AEE) = a - b_E \cdot \log_{10}(AEE) \quad (6)$$

El energy b-value se define justamente como el valor b_E de esta fórmula. Un valor grande de b_E indica una rápida variación de N con respecto a la energía, lo cual representaría un régimen de fractura estable. Esto es usualmente indicativo de una gran cantidad de eventos de energía relativamente baja, lo cual es consistente con procesos de creación de micro fracturas o de crecimiento lento de fracturas. En cambio un valor pequeño de b_E indica una variación brusca de energía en pocos hits, lo que sugiere la formación de macro fracturas o crecimiento rápido de fracturas. Es importante identificar los valores de energía para los cuales se alcanzan mínimos locales del índice. La Fig. 12 ilustra las rectas de cuadrados mínimos obtenidas al dividir el intervalo de AEE en subintervalos de igual longitud y calcular b_E en cada uno de ellos. La Fig. 13 muestra el b-value obtenido para distintos sub-intervalos. Los mínimos locales de energy b-value identifican valores críticos de AEE .

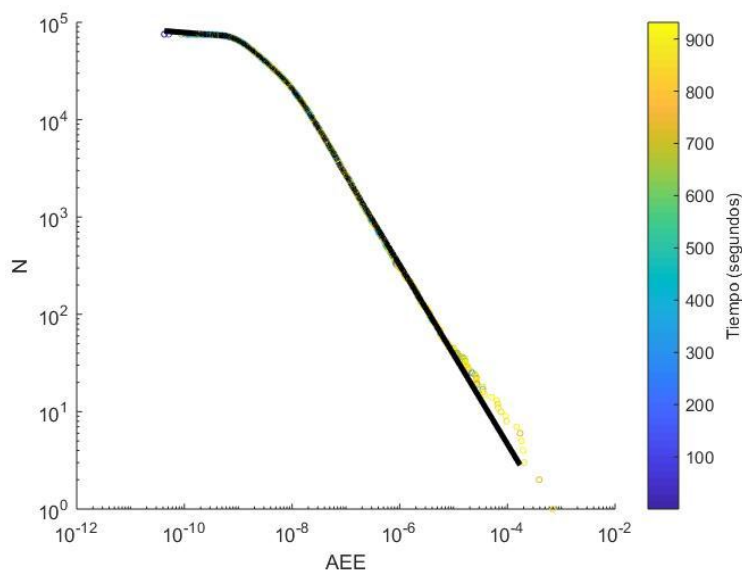


Figura 12: N vs AEE . Ajuste por cuadrados mínimos.

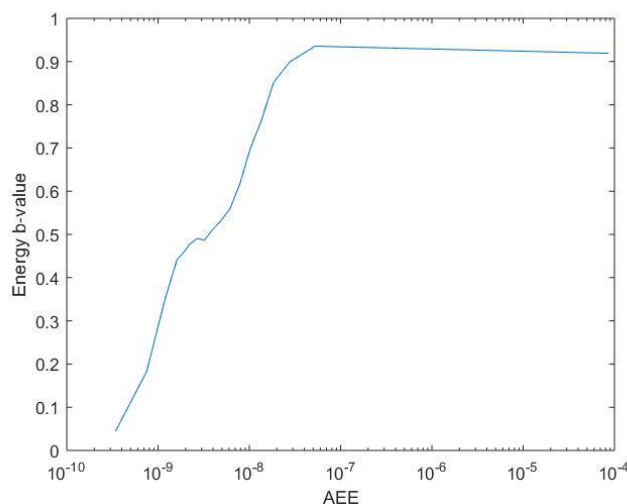


Figura 13: b-value obtenido para distintos sub-intervalos.

CONCLUSIONES

A partir de un ensayo de una probeta de andesita bajo compresión uniaxial llevada a la rotura y del registro de EA mediante un sensor de banda ancha, se pudo identificar en los hits de mayor energía una frecuencia esquina del orden de 300 kHz que correspondió con una longitud de fisura del orden de 5 mm.

Los resultados obtenidos con el análisis wavelet permiten una mayor precisión en la determinación de frecuencias características, que fueron 123 y 242 kHz esta última consistente con la frecuencia esquina. La combinación de ambos criterios, frecuencia esquina y máximo de energía de la CWT permitió, filtrando entre 240 y 300 kHz, encontrar con precisión las frecuencias de 242 y 287 kHz que se podrían asignar a mecanismos de fractura. El energy b-value calculado en la banda 240 – 300 kHz permitió hallar, mediante la localización de mínimos locales, valores críticos de energía que identificarían la aparición de macro fisuras. Los hits de mayor energía se manifiestan preponderantemente hacia el final del ensayo.

REFERENCIAS

- Aki K. and Richards P.G., *Quantitative Seismology: Theory and Methods*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA; 1980.
- Boggess, A. and Narcowich F. J., *A first course in wavelets with Fourier Analysis. Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2009.
- Carpinteri, A., Lacidogna, Puzzi, G.S., From criticality to final collapse: Evolution of the “b-value” from 1.5 to 1.0, *Chaos, Solitons and Fractals*, 41, pp. 843-853, 2009.
- Filipussi, D.A., Guzmán, C., Xargay, H., Torres D.N., Study of Acoustic Emission in a Compression Test Andesite Rock, *Procedia Materials Science*, 9, pp. 292-297, 2015.
- Filipussi D.A., Piotrkowski R., Ruzzante, J.E., Characterization of crack by the acoustic emission signal generated during propagation, *Procedia Materials Science*, 1, pp. 266-272, 2012.
- Hoek, E. and Bieniawski, Z.T., Brittle rock fracture propagation in rock under compression, *Int. J. Fract. Mech.*, v.1, n. 3, pp. 137-155, 1965.
- Lockner, D., The role of acoustic emission in the study of rock fracture, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*, v. 30, n. 7, pp. 883-889, 1993.
- Mirmohammadlou A., Memarian H., Mohammadi S., Jafari M., Experimental and Numerical Investigation of Rock Dynamic Fracture, *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, IJMGE 51-1, pp. 37-46, 2017.
- Torrence, C. and Compo, G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, pp. 61–78, 1998.
- Rao, M.V.M.S. and Prasanna Laskhmi, K.J., Analysis of b-value and improved b-value of acoustic emissions accompanying rock fracture, *Current Science*, v. 89, n. 9, pp. 1577-1582, 2005.
- Sagasta, E. Zitto, M.E., Piotrkowski, R., Benavent-Climent, A., Suarez, E., Gallego, A. Acoustic emission energy b-value for local damage evaluation in reinforced concrete structures subjected to seismic loadings, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 102, pp. 262–277, 2018.
- Scholz, C.H., Microfracturing and inelastic deformation of rock in compression”, *J. Geophysical Res.*, v. 73, n. 4, pp. 1417-1432, 1968.
- Schön J.H., *Physical Properties of Rocks*, A Workbook-Elsevier, 2011.
- Shiotani, T., Yuyama, S., Li, Z.W, Ohtsu, M., Application of the AE improved b-value to qualitative evaluation of fracture process in concrete materials, *J. Acoust. Emission*, 19, pp. 118–132, 2001.
- Zhang J., Investigation of Relation between Fracture Scale and Acoustic Emission Time-Frequency Parameters in Rocks, *Shock and Vibration*, v. 2018, Article ID 3057628, 14 pages, 2018.

DISEÑO DE PROTOCOLOS DE TRATABILIDAD DE SUELOS CONTAMINADOS 2^{da} PARTE

Gálvez J. A., Vardaro, S.A. Cantero, J.A., Alonso Molina, V.P., López, A. C., Pineda, I.C, Rivero, L.

Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

e-mail: jose.galvez@ingenieria.uncuyo.edu.ar

RESUMEN

Los tratamientos de suelos contaminados muchas veces no son efectivos debido a la presencia de compuestos que dificultan o interfieren en el desarrollo del proceso de descontaminación. Esto se origina en el hecho de que no han sido estudiadas profundamente las características físico-químicas de los contaminantes que no están contemplados en la legislación ambiental vigente. Esta última particularidad hace que solo se enfoquen los tratamientos en base a los contaminantes solicitados o exigidos por la legislación. Tampoco en el diseño de los procesos, se tiene en cuenta el efecto de la matriz del suelo sobre la retención o disponibilidad del o los contaminantes, la cual puede modificarse u optimizarse mediante una etapa previa al proceso de tratamiento. Esta etapa previa, así como el proceso a implementar deben ser ensayados en el laboratorio y ajustados posteriormente a escala de campo. En un trabajo anterior se analizó la serie de etapas correspondientes a la segregación física y tratamiento biológico en fase lodo. En este trabajo se complementan los estudios anteriores con técnicas alternativas al tratamiento biológico de suelos empetrolados tales como lavado de suelo, desorción térmica y oxidación química. Para ello se han analizado las diferentes variables que afectan a los procesos mencionados. Como resultado del estudio del conjunto de técnicas se ha elaborado un protocolo de tratabilidad de suelos orientado a definir el proceso de tratamiento más factible o la mejor combinación entre las técnicas de segregación, biorremediación, lavado, desorción térmica y oxidación química.

Palabras Clave: Suelos, Hidrocarburos, Caracterización, Procesos, Tratabilidad.

INTRODUCCIÓN

En la primera etapa del proyecto “Diseño de protocolos de tratabilidad de suelos contaminados” (Primera Parte) se estudió y definió la caracterización inicial que debe efectuarse en un suelo contaminado con hidrocarburos para seleccionar los procesos de tratamiento del mismo, mediante secuencias de ensayos rápidos de tratabilidad. En esa primera parte del proyecto se publicaron los ensayos para segregación y biorremediación, mientras que en este trabajo se estudian los ensayos de desorción térmica y lavado de suelos empetrolados.

Los ensayos de tratamiento de suelo se definen en función de las características del suelo empetrolado o del residuo que puede originarse de limpieza de tanques y/o de instalaciones petroleras. Es de particular importancia la caracterización físico química del residuo y del suelo en que pudiera encontrarse, ya que la interacción de los mismos puede afectar la eficiencia del tratamiento.

Una vez definida en gabinete la factibilidad técnica de las distintas alternativas tecnológicas disponibles en la región, se procede a simular en condiciones de laboratorio la aplicación de las mismas. Estos ensayos sencillos permiten determinar la eficiencia de cada técnica, conocer las limitaciones de cada una de ellas e iniciar un programa de optimización del proceso.

En este trabajo se han estudiado dos residuos y dos técnicas diferentes alternativas a la biorremediación. El primer residuo corresponde a un lodo de fondo de tanque petrolero, muy difícil de biorremediar, mientras que el segundo son suelos empetrolados originados en el Sur de Mendoza. Dichos suelos, actualmente están siendo tratados mediante la técnica de lavado con un rendimiento inadecuado. En esta última técnica, a modo de evaluación, los ensayos de laboratorio se han realizado utilizando los mismos productos químicos que se aplican en campo.

Los lodos de fondo de tanque se ensayaron mediante la técnica de “Desorción térmica” y los suelos empetrolados de distintos orígenes se ensayaron mediante la técnica de lavado.

Desorción térmica (EPA 542-F-01-003S): La desorción térmica elimina las sustancias químicas dañinas del suelo y otros materiales, como lodo y sedimentos, utilizando calor para transformar dichas sustancias químicas en gases. Esos gases se recolectan empleando un equipo especial. El polvo y las sustancias químicas dañinas se separan de los gases y se eliminan con seguridad y el suelo limpio se regresa al sitio. La desorción térmica no es igual a la incineración, que se emplea para destruir las sustancias químicas.

Lavado de suelo (EPA 542-F-01-008S): El lavado de suelo consiste en separar y limpiar aquella parte que está más contaminada. Esto reduce la cantidad de suelo que requiere una limpieza más profunda. El lavado del suelo por si solo puede ser insuficiente para limpiar completamente el suelo contaminado. Por lo tanto, la mayoría de las veces esta técnica se utiliza junto con otros métodos que completan la limpieza.

La mayor ventaja del lavado del suelo es que reduce la cantidad de contaminante que requiere una limpieza más profunda. Esta reducción disminuye los costos de limpieza y los costos de desecho de materiales contaminados. El lavado del suelo puede eliminar diversos tipos de contaminación. También es útil cuando el suelo está muy contaminado, pero puede no ser rentable en los casos de bajas concentraciones del contaminante. Tampoco resulta efectivo con relación al costo si se utiliza para suelos que contienen grandes cantidades de partículas finas como limos o arcillas.

METODOS Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

Ensayo rápido de desorción térmica

En base a la caracterización del residuo empetrolado proveniente de un fondo de tanque se determinó que la composición de hidrocarburos presentes y sus concentraciones dificultaban significativamente las posibilidades de tratamiento biológico por lo que se diseñó un ensayo de desorción térmica simulada.

El estudio se realizó mediante un ensayo no normalizado en estufa y mufla sobre una muestra de fondos de tanque, utilizando crisoles de platino tapados para evitar que el ingreso de oxígeno promueva la combustión. Esta metodología permitió obtener información de los porcentajes en peso removidos para cada rango de temperatura. Se evaluaron mediante técnica gravimétrica las pérdidas por tratamiento térmico, en rangos de temperaturas de 100° C, hasta la temperatura máxima de 500 °C.

En cada etapa de tratamiento, para las condiciones indicadas en la tabla, le corresponde una pesada y un porcentaje de pérdida en peso expresado en % p/p, indicando éste el porcentaje en peso del material desorbido.

Ensayo de lavado de suelos

Para el ensayo de lavado se analizó un proceso industrial real que requería una optimización, ya que presentaba la dificultad que la separación final de hidrocarburos no era suficiente en algunos suelos con mayor concentración. En particular se utilizaba una relación suelo agua de 3:1 más una dosis de surfactante homogeneizados mediante el uso de un separador cilíndrico, conformado por un mezclador de 5 m³ de capacidad, similar a los cilindros mezcladores que se utilizan en la construcción. Se plantea la necesidad de obtener una mayor separación del hidrocarburo extraído por el surfactante de la mezcla suelo y agua.

Se realizó la caracterización fisicoquímica de los suelos consistente en la determinación de Hidrocarburos Totales de Petróleo y se caracterizaron los hidrocarburos alifáticos y aromáticos por fracciones. En total se ensayaron 5 tipos de suelo. El suelo se mezcló con agua utilizando un agitador vertical de acero inoxidable a 250 rpm.

En una primera etapa de estudio se evaluó si la relación suelo:agua (3:1) es suficiente para permitir una adecuada separación. Para esto se prepararon mezclas en relaciones 3:1, 3:1,5; 3:2 y se comparó el rendimiento de la separación de fases. Se evaluó además si la forma del reactor utilizado (cilíndrico-vertical o cilíndrico-horizontal) influye en la calidad de la separación, al momento de extraer la fase sobrenadante.

En función de los resultados se definió como aceptable la relación suelo-agua de 3:1,5 y se trabajó posteriormente con esa proporción.

En una segunda etapa se procedió a evaluar para distintos suelos con concentraciones bajas, medias y altas de hidrocarburos, el rendimiento del surfactante en estudio para dosis teóricas y una dosis 50% superior a la teórica.

Se prepararon ensayos con un volumen equivalente a 1 litro de suelo y la dosis de agua óptima definida en frascos de vidrio verticales. Para las etapas de mezcla y reposo se utilizó el doble del tiempo que se aplica en campo con la finalidad de garantizar el efecto del surfactante sobre el hidrocarburo. En el caso de la etapa de reposo y

sedimentación se dio una pequeña inclinación a los frascos para simular la configuración del mezclador de cemento y se dejó en reposo durante 24 hs. Luego se separó el agua de lavado y se secó el suelo por exposición al aire ambiente.

Para cada suelo en estudio se prepararon dos ensayos, los mismos se denominaron Ensayo A y Ensayo B. Se detalla en la tabla I los aditivos utilizados en cada uno:

Tabla I. Aditivos utilizados en el ensayo de lavado

Ensayo	Dosis de aditivos
A: mezcla de un volumen de suelo equivalente a 1 L y 0,5 L de agua de lavado con surfactante.	<u>Dosis industrial:</u> 2 ml de surfactante (agregado en dos etapas)
B: mezcla de un volumen de suelo equivalente a 1 L y 0,5 L de agua con surfactante.	<u>Dosis 50 % superior a industrial:</u> 3 ml de surfactante (agregado en dos etapas)

Técnicas analíticas utilizadas para la caracterización y para evaluación de los ensayos:

- Hidrocarburos totales de petróleo: EPA 418.1 modificada. Esta técnica permite detectar hidrocarburos hasta compuestos de 65 o más átomos de carbono, pero no puede identificar componentes.
- Hidrocarburos cromatografiados: TNRCC 1006: determina las fracciones GRO-DRO-RO. Permite cuantificar e identificar compuestos hasta 35 átomos de carbono. Discrimina entre alifáticos y no alifáticos, y por grupos de compuestos.
- Contenido de compuestos Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos (SARA):
- Metales pesados: se analizaron Arsénico, Bario, Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio por EPA SW 846 serie 7000
- PH: en suelos y residuos: Método EPA SW 9045C
- Textura: IRAM 10509:1982
- Conductividad de suelos: USDA, Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. 1999

RESULTADOS Y DISCUSION

Ensayo de desorción térmica

Se resumen a continuación los resultados obtenidos de la caracterización realizada a la muestra “Fondo de TK” (tablas II a VI),

Tabla II. Caracterización del hidrocarburo

.TÉCNICA	EPA 418,1	Caracterización mediante TNRCC 1006 (mg/kg)			
		Alifáticos	Alifáticos	Aromáticos	Aromáticos
MUESTRA	HTP (mg/kg)	C4-C21	C22-C35	C4-C21	C22-C35
Fondo de TK	122900	11618	19404	1459	2383
	12,29%	37,45%	62,55%	37,98%	62,02%

Tabla III. Contenido de Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos

TÉCNICA	SARA % peso			
	Saturados	Aromáticos	Polares	Asfaltenos
Fondo de TK	48,02	18,16	20,61	11,48

Tabla IV. Contenido de Hidrocarburos Aromáticos

BTEX (mg/kg)			
Benceno	Tolueno	Etilbenceno	Xilenos
0,2	0,2	0,4	0,8

Tabla V a y b. Contenido de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

HAP's (mg/kg)			
Naftaleno	Fenantreno	Pireno	Benzo antraceno (a)
No detectado	5,7	2,4	No detectado

HAPs (mg/kg)				
Benzo Fluoranteno (b)	Benzo Fluoranteno (k)	Benzo a Pireno	Indeno pireno (1,2,3,dc)	Dibenzo antraceno (a,h)
No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado

Tabla VI. Contenido de Metales pesados (ND. No detectado)

TÉCNICA	Metales pesados: (mg/kg)										
	Ag	Ba	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Se	Zn	As	Hg
Fondo de TK	ND	160	ND	39	<20	ND	<50	ND	32	4	ND

Dado el elevado nivel obtenido en la concentración de hidrocarburos de la muestra en estudio (12,29% en HTP), el cual hace muy difícil la aplicación de la técnica de biorremediación, donde el tiempo de tratamiento se puede extender a varios años (Cantero et al, Ercoli et al, Gálvez et al). Además, se observa que alrededor del 62 % de los compuestos determinados por cromatografía se consideran recalcitrantes, por lo que es muy difícil aplicar la técnica de biorremediación y alcanzar las metas de limpieza. Debido a estas consideraciones se seleccionó un ensayo de desorción térmica simulado.

En el ensayo de desorción térmica el porcentaje desorbido en las etapas de calentamiento hasta 95 °C y hasta 105°C, corresponde a las pérdidas de humedad y de hidrocarburos livianos de la muestra ensayada (23,77% p/p). En las etapas subsiguientes se obtiene el porcentaje de desorción de compuestos orgánicos a distintas temperaturas (tabla VII)

Tabla VII. Resultados obtenidos en el ensayo de desorción:

Determinaciones	Resultados	Unidades
Pérdida de peso a 95°C (12 h)	6,42	% p/p
Pérdida de peso entre 95°C y 105°C (12h)	17,35	% p/p
Pérdida de peso entre 105°C y 200°C (12h)	3,87	% p/p
Pérdida de peso entre 200°C y 300°C (12h)	10,87	% p/p
Pérdida de peso entre 300°C y 400°C (12h)	2,51	% p/p
Pérdida de peso entre 400°C y 500°C (12h)	2,08	% p/p
Residuo	56,82	% p/p

El ensayo realizado con fondos de tanques en crisoles tapados, para temperaturas desde 105°C a 400°C, registró una pérdida de masa del 17,25 % p/p de la muestra inicial incluyendo aquí solo la remoción de compuestos orgánicos volátiles a estas temperaturas. Esto representa la eliminación de casi la totalidad de los hidrocarburos presentes en la muestra ya que, en el próximo rango, de 400°C a 500°C, solo remueve un 2,08 % p/p del material desorbible.

Remoción de compuestos desorbibles hasta 400°C = 41,02% p/p

Remoción de compuestos desorbibles hasta 500°C = 43,01% p/p

El material generado después de permanecer a 400°C no posee hidrocarburos totales del petróleo cuantificables por EPA 418,1 modificada.

Ensayo de lavado

La caracterización del suelo se indica en la tabla IX y la caracterización del hidrocarburo se muestra en la tabla X

Tabla IX. Caracterización físico química del suelo

Determinaciones	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
PH	8,2	8,2	8,1	8,1	8,0
Conductividad	> 20	> 20	> 20	> 20	> 20
Textura	Franco arenoso	Limo arcilloso	Limo arcilloso	Limo arcilloso	Limo arcilloso

Tabla X. Caracterización del hidrocarburo en los suelos ensayados

Determinaciones		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Hidrocarburos Aromáticos	Benceno C6	ND	ND	ND	ND	ND
	de C7 a C8	ND	ND	<20	<20	<20
	de C9 a C10	<20	<20	<20	<20	<20
	de C11 a C12	37	66	49	34	58
	de C13 a C16	746	1286	914	632	1206
	de C17 a C21	1100	1461	1789	1115	2270
	de C22 a C35	394	861	904	604	1036
Hidrocarburos Alifáticos	hasta C6	ND	ND	<5	ND	<5
	de C7 a C8	ND	ND	<20	<20	<20
	de C9 a C10	37	47	98	114	108
	de C11 a C12	345	563	408	265	550
	de C13 a C16	6151	10043	7290	4736	9817
	de C17 a C21	8270	11673	14183	9153	17846
	de C22 a C35	3168	6582	6914	4663	8229
Suma alifáticos + aromáticos		20247	32582	32550	21316	41120
Hidrocarburos totales de petróleo		29590	56540	67540	36190	65010
Hidrocarburos degradables por vía biológica		16685	25139	24733	16049	31854

De la caracterización de los hidrocarburos se observa que la mayor concentración se tiene en los suelos M2, M3 y M5. En la tabla 3 se indican las relaciones entre el suelo M1 se pueden degradar el 56 % de los hidrocarburos totales de petróleo, en M2, y M4 el 44 %; en M5 el 49 % y por último en M3 sólo el 37 % es biodegradable.

Resultados obtenidos en el ensayo de lavado de suelos

Tabla XI. Los resultados del proceso de lavado

Suelo	Dosis surfactante	Concentración inicial	Concentración Final	Hidrocarburo removido (%)
Muestra 1	A	29590	18540	37,34
	B		21330	27,91
Muestra 2	A	56540	38610	31,71
	B		41895	25,90
Muestra 3	A	67540	42435	37,17
	B		43560	35,50
Muestra 4	A	36190	24435	32,48
	B		22815	36,95
Muestra 5	A	65010	39600	39,08
	B		49500	23,85

Efecto de la concentración de surfactante: En general el aumento de la concentración de surfactante al 50% de la dosis no resultó beneficiosa o significativa, excepto en el ensayo con la Muestra 4 que mejoró levemente el proceso de lavado. Esto se debe a que un aumento en la concentración del surfactante no implica igual incremento en el poder tensioactivo del agente.

CONCLUSIONES

En base a los resultados de los ensayos de tratabilidad realizados con técnicas industriales alternativas a la biorremediación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Ensayo de Desorción térmica

- El material generado después de permanecer a 400°C no posee hidrocarburos totales del petróleo cuantificables por EPA 418,1 modificada. La remoción obtenida para esta temperatura corresponde al 41,02% del peso de la muestra.
- La temperatura de trabajo para un equipo desorbedor puede definirse en torno a 400 °C para el residuo estudiado, debiendo esta ser evaluada y ajustada para los equipos disponibles en el mercado.
- Un calentamiento a 400 °C elimina totalmente los hidrocarburos presentes en un lodo de fondo de tanque con una concentración del 12 %; por lo que para suelos con menor concentración de hidrocarburos estas temperaturas de trabajo pueden ser menores
- A 500 °C de calentamiento la remoción expresada en peso no es significativa.
- Es una técnica que requiere el tratamiento de los gases de salida por combustión o absorción en un soporte sólido.
- El suelo luego de tratado por desorción térmica debe ser acondicionado con materia orgánica y biomasa para recuperar las funciones naturales que poseía, o bien ser utilizado en obras o rellenos industriales.

Lavado de suelo

- En los ensayos de lavado realizados no se logró una eliminación significativa del hidrocarburo presente en las muestras. Las reducciones máximas obtenidas en el HTP de las muestras corresponden a un 30 y 39 %.
- Estos resultados de lavado expresan solo el rendimiento del surfactante ensayado, con los suelos problemas. Para un análisis más profundo será necesario ensayar distintos tipos de surfactantes presentes en el mercado local, y evaluar el rendimiento de cada uno para verificar el alcance de este proceso.
- El lavado es una técnica que se puede utilizar inicialmente para reducir la concentración de hidrocarburos hasta un nivel compatible con la biorremediación.
- No se obtuvieron los resultados esperados al aumentar la concentración de surfactante, por lo que resulta de vital importancia evaluar este parámetro para distintas composiciones de hidrocarburos y para cada tipo de suelo. Además, resultaría interesante evaluar otros surfactantes.
- Se debe tener en cuenta en campo la configuración del mezclador de suelo para permitir una separación exitosa de la fase oleosa.
- El agua obtenida del proceso debe ser tratada para su reúso en nuevas etapas de lavado.

Los ensayos rápidos de tratabilidad presentados en este trabajo, así como como en el anterior, brindan una respuesta sobre el rendimiento de distintas alternativas técnicas de remediación. Esta evaluación permite seleccionar la tecnología más apropiada para un residuo determinado y verificar los requerimientos de aditivos y condiciones físico químicas para la implantación en campo. Sumado a esto cada proceso seleccionado puede ser optimizado en busca de una reducción de costos y de tiempos requeridos para el tratamiento.

Conclusiones finales del Proyecto:

La experimentación realizada en las dos etapas del proyecto, permitieron diseñar un protocolo para ensayos de tratabilidad para suelos contaminados con hidrocarburos.

En base a las experiencias realizadas en laboratorio se ha elaborado un protocolo de tratabilidad que incluye una caracterización previa del suelo y luego una serie de ensayos para cada tipo de técnica.

Caracterización del suelo y del entorno: diagnóstico del problema. Se procede de acuerdo a las siguientes etapas

1. Recopilación de información geográfica, geológica, hidrológica, hidrogeológica, población, fauna y flora (incluyendo acuática), instalaciones industriales, actividades agrícolas, ganaderos y/o piscícolas.
2. Sitios arqueológicos y/o paleontológicos, sitios históricos, áreas protegidas, naturales o parques cercanos
3. Planialtimetría
4. Estudio geofísico si fuera necesario
5. Determinación de la pluma de contaminación

Toma de muestras del suelo problema.

Caracterización del contaminante

1. Determinación de contenido de hidrocarburos
2. Caracterización de los hidrocarburos discriminando aromáticos y alifáticos por cadenas
3. Caracterización de aromáticos: Benceno, Tolueno, Etil Benceno, Xilenos, MTBE
4. Caracterización de aromáticos policíclicos discriminando componentes
5. Caracterización de metales pesados

Caracterización física del suelo: pH, conductividad, capacidad de retención hídrica, textura, densidad aparente, humedad, permeabilidad

Caracterización microbiológica del suelo: microorganismos heterótrofos totales, degradadores de hidrocarburos, degradadores de contaminantes específicos

Estudio de riesgo: en base las normas ASTM E 1517, E 1739 y E 1903

Definición de técnicas de tratamiento

Ensayo de tratabilidad secuencial

- 1- Tratamiento biológico
 - 1-1- Búsqueda, aislamiento y selección de consorcios microbianos interactivos
 - 1-2- Ensayo de biodegradabilidad intriseca con distintos consorcios microbianos
 - 1-3- Ensayo de biodegradabilidad del suelo contaminado en fase lodo con distintos consorcios microbianos
 - 1-4- Ensayo de biodegradabilidad del suelo contaminado en fase sólida con distintos consorcios microbianos
 - 1-5- Análisis de resultados y selección del consorcio microbiano más eficaz
- 2- Tratamiento por oxidación
 - 2-1- Selección de agentes oxidantes
 - 2-2- Ensayo de oxidación del suelo contaminado con cada agente oxidante
 - 2-3- Análisis de resultados y selección del oxidante más eficaz
- 3- Tratamiento por desorción térmica
 - 3-1- Ensayo en mufla por incrementos secuenciales de temperatura
 - 3-2- Análisis de resultados y definición de la temperatura adecuada de tratamiento
- 4- Tratamiento por lavado de suelo
 - 4-1- Definición de los agentes de lavado
 - 4-2- Ensayo de lavado de suelo con distintos agentes y concentraciones de agente y agua
 - 4-3- Análisis de resultados y selección del mejor agente de lavado

REFERENCIAS

- Borole, Abhijeet P. and Ramírez-Corredores, Maria Magdalena BIOCATALISIS IN OIL REFINING. September 2006.
- Cantero, J.A.; Gálvez, J.A.; López, A.C; Pineda I; Vardaro, S.A.: Procedimientos para el tratamiento y Gestión de Residuos Empetrolados Generados en la Actividad Petrolera. Actas de Trabajos Completos E-ICES 11. 76-86 (2017).
- EPA Guía del ciudadano para la desorción térmica. EPA 542-F-01-003S. (Diciembre 2001).
- EPA Guía del ciudadano sobre incineración. EPA 542-F-01-018S. (Enero 2003).
- EPA Guía para el ciudadano sobre lavado del suelo. EPA 542-F-01-008S. (Septiembre 2002).
- EPA Guía para el ciudadano sobre Solidificación/Estabilización. EPA 542-F-01-024S. (Enero 2003).
- EPA Guía del ciudadano: La extracción de vapores del suelo y la aspersión de aire. EPA 542-F-96-024. (Abril 1996).
- EPA Guía para el ciudadano sobre la excavación de suelo contaminado. EPA 542-f-12-007S (Septiembre 2012).
- Ercoli, E.; Gálvez, J.; Di Paola, M.; Cantero, J.; Videla, S.; Medaura, M.; Bauzá, J.. ANALISIS Y EVALUACION DE PARAMETROS CRITICOS EN BIODEGRADACION DE HIDROCARBUROS EN SUELO. Congreso Producción 2000. III Workshop Latinoamericano sobre aplicaciones de la Ciencia en la Ingeniería de Petróleo. Puerto Iguazú. Argentina. 2000.
- Ercoli* E.; Gálvez*, J.; Calleja●, C.; Calvo●, V.; Cantero*, J.; Videla*, S.; Medaura*, M.C.; DiPaola*, M. Extensive Evaluation of Aerated Accumulation Technique for Soil Treatment

Copyright 2001, SPE 69445. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference. Buenos Aires, Argentina, 25–28 March 2001.

Ercoli, Eduardo; Cecilia Calleja; Silvina Videla.; Oscar Segura; José Gálvez; Cecilia López; José Cantero; Guillermo Tettamanti; Cecilia Medaura; Mariela DiPaola; Sergio Vardaro; Roberto Caso. TECHNOLOGY EVALUATION REPORT FOR BIOREMEDIATION IN *REPSOL YPF*, NEUQUÉN, ARGENTINA. 2nd International Conference of Petroleum Biotechnology. Mexico DF. Formato CD. 7 de Noviembre de 2003. ISBN 968-489-018-4

Gálvez J.; Alonso Molina, V.; Cantero, J.; López, A.;Pineda, I.; Vardaro, S. Diseño de protocolos de tratabilidad de suelos contaminados. Actas de Trabajos Completos E-ICES 12. 191-202. (2017).

La Grega- Buckingham- Evans. Gestión de Residuos Tóxicos Mc Graw-Hill. (1996)

Peralta, D; Gobbi, M.F; Videla, M.S; Vardaro, S. Oxidación química de recortes de perforación de la industria petrolera. Actas trabajos completos del E-ICES 9. pag 274-286 (2014)

Speight, James G.; El-Gendy; Nour Shafik. Introduction to Petroleum Biotechnology Elsevier (2018)

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Croup Series (TPHCWG). 1998-1999

LABORATORIO DE TRATABILIDAD DE SUELOS CONTAMINADOS Y DISEÑO DE PROCESOS APLICADOS A LOS RECURSOS NATURALES

Gálvez J. A., Vardaro, S.A; Cantero, J.A., López, A. C., Pineda, I.C,

Bioprocesos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

e-mail: jose.galvez@ingenieria.uncuyo.edu.ar

RESUMEN

El Grupo Bioprocesos cuenta con 25 años de experiencia en Biotecnología del Petróleo con mayor énfasis en Tratamiento Biológico de Suelos Contaminados por la actividad petrolera y en menor medida Exclusión Biocompetitiva (disminución de la producción biológica de H₂S en reservorios) y Recuperación Terciaria Asistida por Microorganismos. Este desarrollo ha llevado a definir las principales variables operativas críticas para llevar a cabo procesos de tratamiento en suelos contaminados y uso de agentes biológicos para la recuperación y/o aprovechamiento de recursos naturales. En este trabajo se presenta un laboratorio diseñado para estudios de tratabilidad de suelos contaminados y diseño de procesos industriales aplicados a los recursos naturales. El laboratorio está constituido por tres áreas: Microbiología, Análisis Químicos y Físicoquímicos e Ingeniería de Operaciones y Procesos. El primero está orientado al estudio de los microorganismos requeridos para el proceso, en particular el desarrollo de consorcios microbianos interactivos. El segundo tiene como objetivo la caracterización de la especie química en estudio, ya sea orgánica o inorgánica, y el seguimiento de la misma durante los procesos de saneamiento o aprovechamiento industrial. El tercero tiene como misión el estudio a nivel banco y/o piloto de procesos de saneamiento de suelo y/o aprovechamiento de recursos naturales (biológicos, químicos o físicos).

Palabras Clave: Recursos Naturales, Suelos, Procesos biológicos, Tratabilidad.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta un laboratorio diseñado para estudios de tratabilidad de suelos contaminados y diseño de procesos industriales aplicados a los recursos naturales. El laboratorio está constituido por tres áreas: Microbiología, Análisis Químicos y Físicoquímicos e Ingeniería de Operaciones y Procesos. El primero está orientado al estudio de los microorganismos requeridos para el proceso, en particular el desarrollo de consorcios microbianos interactivos. El segundo tiene como objetivo la caracterización de la especie química en estudio, ya sea orgánica o inorgánica, y el seguimiento de la misma durante los procesos de saneamiento o aprovechamiento industrial. El tercero tiene como misión el estudio a nivel banco y/o piloto de procesos

de saneamiento de suelo y/o aprovechamiento de recursos naturales (biológicos, químicos o físicos).

ÁREA MICROBIOLOGÍA

Esta área se ha desarrollado para formular consorcios microbianos interactivos de microorganismos degradadores de hidrocarburos u otros con funciones específicas para actuar sobre distintas sustancias orgánicas o inorgánicas. Además ha desarrollado la determinación la presencia de microorganismos en suelo degradadores de hidrocarburos así como los microorganismos heterótrofos totales en suelo para seguir los procesos de tratamiento biológico de suelos contaminados.

Consta del equipamiento estándar de microbiología: autoclave automático, cámara de flujo laminar tipo IIB, microscopio óptico con accesorios, estufas de cultivos con y sin recirculación de aire, mixer y contador de colonias. Para los procesos de selección de microorganismos posee un agitador orbital de atmósfera y temperatura controlada con capacidad para 40 erlenmeyers de 250 ml o 24 erlenmeyers de 500 ml. La velocidad de agitación se regula de 0 a 250 rpm.



Figura 1. Cámara de Flujo Laminar

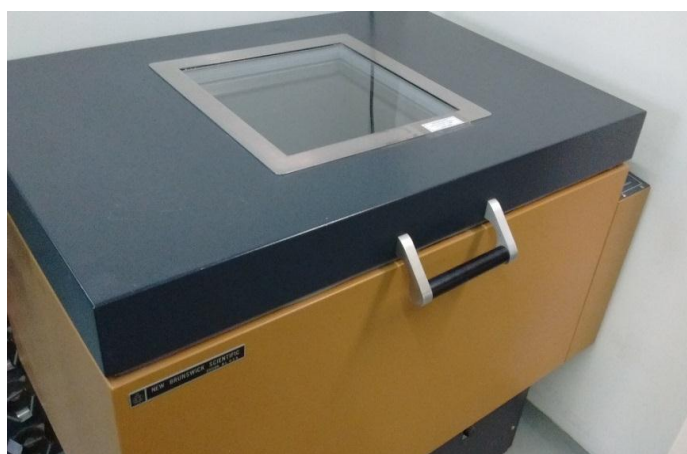


Figura 2. Agitador orbital

Los consorcios microbianos interactivo se aíslan del suelo afectado por el contaminante sea orgánico o inorgánico. Cuando se produce un evento de contaminación hay una modificación de la flora microbiana. Por efecto del contaminante los microorganismos disminuyen su cantidad o desaparecen si el primero es tóxico. Sólo las especies que resisten el efecto del contaminante persisten. Si el contaminante es orgánico los microorganismos lo pueden utilizar como fuente de carbono por lo que se puede biodegradar. El número de microorganismos degradadores aumenta al disponer de mayor cantidad de nutrientes como Nitrógeno y Fósforo, ya que ha disminuido la competencia por estos. Los microorganismos remanentes están adaptados al suelo, clima, radiación ultravioleta y al contaminante; por lo que son los más adecuados para llevar a cabo el proceso de biorremediación.

Para aislarlos se lleva suelo contaminado a un Erlenmeyer agitado con medio de cultivo líquido de selección, en el cual la fuente de carbono es el contaminante. La fuente de Nitrógeno y Fósforo se pueden suplementar de dos formas: sales solubles o bien fertilizantes similares a los que se utilizarán en el proceso de degradación, además de oligoelementos. Se busca en este caso obtener los microorganismos naturales en condiciones nutricionales similares a las que se utilizarán en el campo. Una vez que se ha obtenido un crecimiento adecuado al cabo de 7 a 14 días, se estabiliza el cultivo por traspaso a erlenmeyers agitados con el mismo medio salino pero con gasoil como fuente de carbono, si el contaminante es un petróleo; de lo contrario se sigue utilizando el mismo contaminante como fuente de carbono. Se lleva a agitación durante siete días y se repite el proceso dos a tres veces. Luego el cultivo se mantiene en heladera y se replica cada 15 días en medio fresco



Figura 3. Set de erlenmeyers preparados para un ensayo de biodegradabilidad

ÁREA ANÁLISIS FÍSICO Y FÍSICO-QUÍMICOS

Está diseñada para llevar a cabo íntegramente los análisis químicos necesarios para el seguimiento de procesos biológicos, físicos y químicos de saneamiento de suelos contaminados. Pueden determinarse hidrocarburos, metales, nutrientes como Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, etc.

Consta de espectrofotómetro UV-Visible, Fotómetro para control rápido de nutrientes, digestor de muestras por sistema ácido, digestor de muestras por microondas,

espectrofotómetro IR por Transformadas de Fourier, Espectrofotómetro de absorción Atómica por Plasma de Microondas, Cromatógrafo Gaseoso MS y FID; mufla hasta 1100 °C, estufas de secado con y sin recirculación de aire.



Figura 4. Espectrofotómetro Infrarrojo por Transformadas de Fourier



Figura 5. Espectrofotómetro de emisión atómica por plasma de microondas

ÁREA INGENIERÍA DE OPERACIONES Y PROCESOS

Está diseñada para realizar los estudios de tratabilidad de suelos contaminados con hidrocarburos en especial, compuestos orgánicos e inorgánicos.

Posee reactores de fase sólida estáticos tipo columna de suelo, reactores de fase sólida agitado, reactores de fase lodo tipo tanque agitado, posee un reactor airlift multimatriz que pueden actuar como reactor fase lodo o como reactor líquido modificando la configuración del aireador. Además posee un bioreactor fase líquida tipo tanque agitado que puede funcionar como reactor químico hasta temperaturas de proceso de 60 °C.

Esta área interactúa constantemente con las otras dos.

Una vez realizados los estudios de tratabilidad y optimizado el proceso de tratamiento, esta unidad se encarga de llevar el escalamiento del proceso a nivel piloto en campo y posteriormente a escala de trabajo en campo. Junto con las otras unidades lleva el seguimiento, control y dirección técnica del proceso de saneamiento de suelo.

Esta unidad también desarrolla tecnologías dentro de la biotecnología del petróleo tales como Recuperación Terciaria de Petróleo asistida por microorganismos, exclusión biocompetitiva para disminuir la generación biológica de H₂S de los reservorios petroleros, y tratamiento biológico de aguas de formación, previas a la reinyección en procesos de recuperación secundaria.

En este momento se está comenzando a desarrollar una línea de trabajo orientada al tratamiento de suelos afectados por la industria minera por medios biológicos y por medios físico-químicos.

METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA LLEVAR A CABO UN ESTUDIO DE SANEAMIENTO DE SUELOS

El proceso incluye las siguientes etapas:

Caracterización del suelo y del entorno: diagnóstico del problema. Se procede de acuerdo a las siguientes etapas

1. Recopilación de información geográfica, geológica, hidrológica, hidrogeológica, población, fauna y flora (incluyendo acuática), instalaciones industriales, actividades agrícolas, ganaderos y/o piscícolas.
2. Sitios arqueológicos y/o paleontológicos, sitios históricos, áreas protegidas, naturales o parques cercanos
3. Planialtimetría
4. Estudio geofísico si fuera necesario
5. Determinación de la pluma de contaminación

Toma de muestras del suelo problema.

Caracterización del contaminante

1. Determinación de contenido de hidrocarburos
2. Caracterización de los hidrocarburos discriminando aromáticos y alifáticos por cadenas
3. Caracterización de aromáticos: Benceno, Tolueno, Etil Benceno, Xilenos, MTBE
4. Caracterización de aromáticos policíclicos discriminando componentes

5. Caracterización de metales pesados

Caracterización física del suelo: pH, conductividad, capacidad de retención hídrica, textura, densidad aparente, humedad, permeabilidad

Caracterización microbiológica del suelo: microorganismos heterótrofos totales, degradadores de hidrocarburos, degradadores de contaminantes específicos

Estudio de riesgo: en base las normas ASTM E 1517, E 1739 y E 1903

Definición de técnicas de tratamiento

Ensayo de tratabilidad secuencial

1- Tratamiento biológico

- 1-1- Búsqueda, aislación y selección de consorcios microbianos interactivos
- 1-2- Ensayo de biodegradabilidad intrínseca con distintos consorcios microbianos
- 1-3- Ensayo de biodegradabilidad del suelo contaminado en fase lodo con distintos consorcios microbianos
- 1-4- Ensayo de biodegradabilidad del suelo contaminado en fase sólida con distintos consorcios microbianos
- 1-5- Análisis de resultados y selección del consorcio microbiano más eficaz

2- Tratamiento por oxidación

- 2-1- Selección de agentes oxidantes
- 2-2- Ensayo de oxidación del suelo contaminado con cada agente oxidante
- 2-3- Análisis de resultados y selección del oxidante más eficaz

3- Tratamiento por desorción térmica

- 3-1- Ensayo en mufla por incrementos secuenciales de temperatura
- 3-2- Análisis de resultados y definición de la temperatura adecuada de tratamiento

4- Tratamiento por lavado de suelo

- 4-1- Definición de los agentes de lavado
- 4-2- Ensayo de lavado de suelo con distintos agentes y concentraciones de agente y agua
- 4-3- Análisis de resultados y selección del mejor agente de lavado

REFERENCIAS

- Borole, Abhijeet P. and Ramírez-Corredores, Maria Magdalena BIOCATALISIS IN OIL REFINING. September 2006.
- Cantero, J.A.; Gálvez, J.A.; López, A.C; Pineda I; Vardaro, S.A.: Procedimientos para el tratamiento y Gestión de Residuos Empetrolados Generados en la Actividad Petrolera. Actas de Trabajos Completos E-ICES 11. 76-86 (2017).
- EPA Guía del ciudadano para la desorción térmica. EPA 542-F-01-003S. (Diciembre 2001).
- EPA Guía del ciudadano sobre incineración. EPA 542-F-01-018S. (Enero 2003).
- EPA Guía para el ciudadano sobre lavado del suelo. EPA 542-F-01-008S. (Septiembre 2002).

EPA Guía para el ciudadano sobre Solidificación/Estabilización. EPA 542-F-01-024S. (Enero 2003).

EPA Guía del ciudadano: La extracción de vapores del suelo y la aspersión de aire. EPA 542-F-96-024. (Abril 1996).

EPA Guía para el ciudadano sobre la excavación de suelo contaminado. EPA 542-f-12-007S (Septiembre 2012).

Gálvez J.; Alonso Molina, V.; Cantero, J.; López, A.;Pineda, I.; Vardaro, S. Diseño de protocolos de tratabilidad de suelos contaminados. Actas de Trabajos Completos E-ICES 12. 191-202. (2017).

La Grega- Buckingham- Evans. Gestión de Residuos Tóxicos Mc Graw-Hill. (1996)

Peralta, D; Gobbi, M.F; Videla, M.S; Vardaro, S. Oxidación química de recortes de perforación de la industria petrolera. Actas trabajos completos del E-ICES 9. pag 274-286 (2014)

Speight, James G.; El-Gendy; Nour Shafik. Introduction to Petroleum Biotechnology Elsevier (2018)

Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Croup Series (TPHCWG). 1998-1999

COMPARACIÓN ENTRE EL CICLO DE VIDA DE LOS DATOS EN YACIMIENTOS CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES Y SU RELACIÓN CON LA TECNOLOGÍA

Javier Gomez Figueroa¹ & Diana Calzetta²

¹*Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNCuyo. Mendoza, 5500, Argentina,*

²*Consultor Independiente-José Mármol 1397 CABA*

e-mail: javi10gomez@hotmail.com

RESUMEN

Los constituyentes de un sistema petrolero convencional son: roca madre, roca reservorio, roca sello, trampa, condiciones de presión y temperatura. En este tipo de reservorios se incluyen los procesos de generación, migración, acumulación y finalmente preservación del hidrocarburo en el reservorio. Si falta alguno de estos elementos podemos hablar de un yacimiento no convencional.

El presente trabajo tiene como objetivo comparar los ciclos de vida de los datos entre los yacimientos convencionales, los maduros y los no convencionales y analizar brevemente la capacidad de la tecnología disponible para soportar el desafío.

Palabras clave: data management, tecnología, ciclo de vida de los datos.

ABSTRACT

Components of a conventional petroleum system are the following: source rock, reservoir rock, seal and trap. The included processes are: generation, migration pathway, accumulation and finally preserved the hydrocarbons in the reservoir. If some of these stages are missing we are taking of unconventional reservoirs.

The idea of this work is to compare the life cycles of the information between the conventional reservoirs, the mature ones, the unconventional ones. Finally analyze if the available technology supports the challenge.

Keywords: data management, technology, data life cycle

INTRODUCCIÓN AL DATA MANAGEMENT

En los últimos años, el volumen de información que se maneja en el *upstream* es de tal magnitud que se hace indispensable la incorporación de sistemas informáticos cada vez más sofisticados. El gerenciamiento de los datos o *data management*, como se lo reconoce actualmente, es una nueva herramienta que permite acceder en línea a grandes volúmenes de información a fin de lograr mejores resultados.

Para poder llevar adelante esta tarea es necesario el desarrollo de arquitecturas, políticas, prácticas y procedimientos que posibiliten una gestión adecuada de los datos, y tener debida cuenta de su ciclo de vida. A tal fin, cabe considerar tanto los datos estructurados (base de datos) como los no estructurados (documentos, planos, etc.), los cuales deben cumplir con los principios básicos de preservación: confidencialidad, integridad y disponibilidad (Fig. 1).

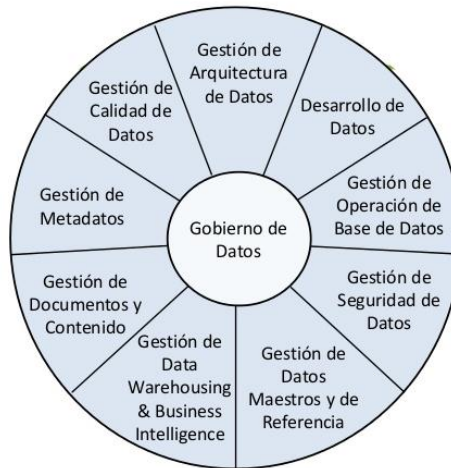


Figura 1. Gestión de datos y sus procesos para disponer de la información correcta en el momento adecuado. (Funciones de la Gestión de Datos – Fuente DAMA-DMBOK Guide)

Para lograrlo y asegurar que todas las partes interesadas obtengan un dato confiable, se requiere minimizar las tareas manuales, dado que estas representan una de las principales fuentes de error.

Si bien la proliferación de datos y aplicaciones puede suponer un obstáculo a la hora de alcanzar este objetivo, es posible implementar metodologías que permitan dar viabilidad a la tarea.

CICLO DE VIDA DE LOS DATOS

El ciclo de vida de un activo petrolero evoluciona a través de diferentes etapas que incluyen: a) fase exploratoria en sus diferentes escalas: cuenca, sistema petrolero, *play*, *lead* y *prospect*, b) fase de desarrollo, en la que se define el método óptimo de explotación y la ingeniería del proyecto c) fase de producción, cuyo objetivo es la extracción de los hidrocarburos de manera eficiente, rentable y segura y d) fase de abandono, donde se aíslan permanentemente las formaciones atravesadas por el pozo.

El ciclo se inicia con la generación y captura de los datos y concluye en el momento en que estos, debidamente procesados, se convierten en información (Fig. 2). Esta posee una estructura interna y puede ser catalogada a partir de diversos criterios:

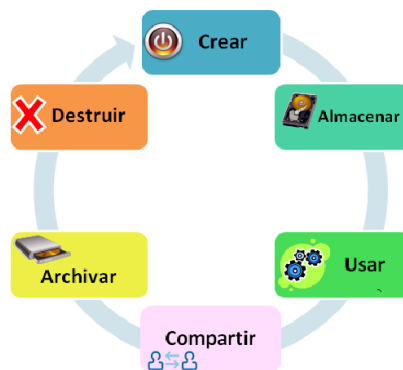


Figura 2. Ciclo de vida de los datos

- Grado de importancia para el receptor.

- Valor: ¿cuáles son los parámetros que la identifican unívocamente?
- Vigencia: ¿es actual o histórica?
- Validez: ¿cuál es su grado de confiabilidad?
- Tipo: ¿es tangible o intangible?

A lo largo de este ciclo, la información es evaluada, clasificada, analizada, modificada y almacenada, y podría incluso ser destruida. Cuantos más datos, aplicaciones y personas están involucrados, mayores son el reto y la necesidad de un buen manejo.

Por otro lado, hay que considerar que la gestión de la información resulta cada vez más importante e ineludible ya que las empresas que cotizan en bolsa se enfrentan al cumplimiento de la Ley Sarbanes-Oxley. La misma regula cómo las organizaciones deben tratar determinados tipos de datos a fin de garantizar a los accionistas la transparencia de las operaciones.

De modo que, al hablar del ciclo de vida de los datos, es necesario tomar en consideración los procedimientos, las buenas prácticas y las aplicaciones, con los siguientes objetivos: a) gestionar la información electrónica (sea estructurada o no), b) definir las etapas/fases que componen el ciclo de vida, c) hacer un seguimiento a lo largo de todo el ciclo, d) garantizar el cumplimiento de las regulaciones y normas vigentes (para datos, documentos, etc.), e) minimizar los riesgos asociados a la información, cualquiera sea (histórica o actual, física o digital, procesada o en crudo, etc.), f) seleccionar el almacenamiento más adecuado en cuanto a frecuencia de acceso y a optimización de costos (discos rápidos y lentos), g) mantener la integridad, h) garantizar la confidencialidad y la accesibilidad, i) crear roles, reglas, responsabilidades y responsables, j) adoptar una cultura basada en los datos maestros.

MANEJO DE DATOS EN YACIMIENTOS CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES

1. YACIMIENTOS CONVENCIONALES

Para un desarrollo de yacimientos convencionales y con una visión a largo plazo, el plan de negocio comienza con el descubrimiento y finaliza con el abandono del pozo (Fig. 3).

En el inicio se contará con grandes volúmenes de datos que requerirán de espacio para ser almacenados. Habrá que recurrir a *softwares* específicos para analizar, procesar y modelar, lo cual generará más información a almacenar. Para preservar los datos generados se requerirá llevar adelante las siguientes tareas: a) capturar los datos, b) cambiar el paradigma de papel a digital, c) poblar las bases de datos (BD), d) incorporar la cultura del uso de las BD, e) transmitir datos en tiempo real, f) compartir información, g) integrar la información primaria, logrando generar a partir de esta un mayor volumen de datos que también deberán ser preservados, h) consolidar información de acuerdo a la necesidad del usuario (aunque la fuente sea la misma, un directivo no utilizará el dato de la misma manera que un operativo de la línea).

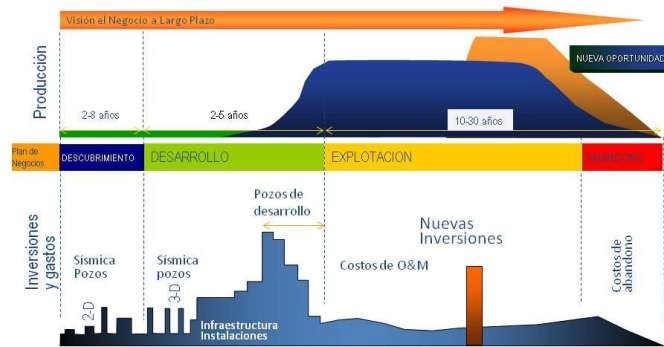


Figura 3. Los tiempos de E&P en los yacimientos convencionales

El cambio cultural no es sencillo, pero la puesta en marcha de un mejor modelo de trabajo es factible. Esto requiere, por un lado, de la tecnología, y por otro, de la implementación de procedimientos, análisis de riesgos y buenas prácticas.

2. YACIMIENTOS MADUROS

Existen varios parámetros para considerar maduro un activo petrolero. Dado que este punto no constituye materia de análisis en el presente trabajo, solo serán tenidos en cuenta los siguientes: a) cuando el activo ha producido más de un 50% de sus reservas probadas (P1) y probables (P2), b) cuando se tienen elevados costos operativos y la inversión a realizar puede superar aquella requerida para un nuevo desarrollo (Fig. 4).

Las tareas a llevar a cabo en esta etapa son: a) incrementar reservas, b) maximizar la producción, c) minimizar la declinación y d) mejorar los costos de operación y mantenimiento. Como suele tratarse de campos que aún tienen potencial, la tecnología se convierte en una variable estratégica. Además, se dispone de gran cantidad de datos que pueden ser propios o públicos y que, si se utilizan adecuadamente, facilitan la implementación de las mejoras necesarias. Cuando se trata de datos propios, pueden presentarse los siguientes problemas: a) distintos repositorios con datos similares pero no iguales, lo que hace necesario recurrir a otros parámetros para confirmar cuál es el real, b) datos guardados con distintos criterios de carga, c) en el caso de contar con más de una fuente de información, falta de definiciones para establecer el repositorio válido. En cuanto a los datos públicos que ofrecen los organismos reguladores, no siempre están expresados en las unidades con las que se hacen los cálculos (por ejemplo: la producción acumulada se informa por concesión mientras que para los cómputos se utiliza la producción acumulada por yacimiento).

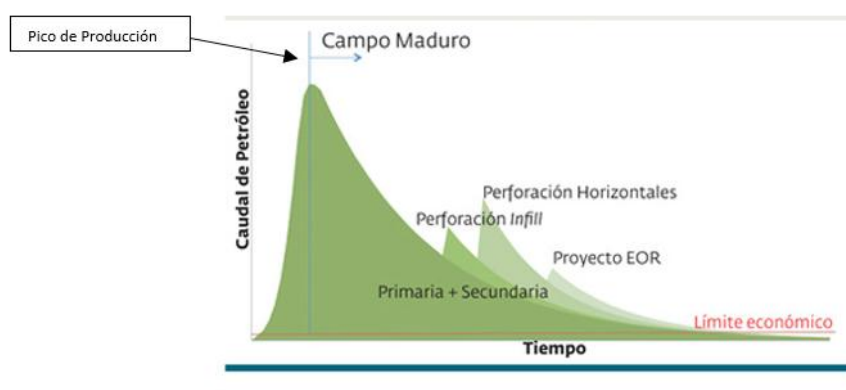


Figura 4. Los tiempos en yacimientos maduros

3. YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES

La marcada disminución de la producción de yacimientos convencionales y la demanda energética creciente llevan a la incorporación en los portafolios de recursos no convencionales. La necesidad de información para su exploración y evaluación ha llevado a reevaluar muchas de las herramientas disponibles diseñadas originalmente para reservorios convencionales. En paralelo, han surgido nuevas tecnologías y aplicaciones para optimizar y acelerar el entendimiento de estos *plays* relativamente jóvenes, particularmente en Argentina.

Para este tipo de yacimientos, debemos tener en cuenta que el punto en el que difieren es el comportamiento de la producción y la cantidad de pozos necesarios.

Si bien la industria ya ha encarado la solución de los problemas operativos, resta mucho por mejorar, sobre todo en lo que refiere al análisis y estudio para el desarrollo de nuevas tecnologías que soporten este nuevo proceso de negocio. Al respecto, varios son los puntos a abordar, entre ellos: 1) escaso desarrollo de *softwares* aplicados a la problemática específica que plantea este tipo de yacimientos. 2) implementación de plataformas que permitan la integración de información que normalmente se encuentra distribuida en diferentes bases de datos y aplicaciones. 3) agilización de los tiempos de acceso a la información.



Figura 5. Tipos de Reservorios No Convencionales

CONCLUSIONES

- Los datos en exploración y producción no suelen eliminarse dado que, a la luz de nuevos modelos o ayudados por la evolución de la tecnología, son reinterpretados y/o reprocesados. Esto permite mejorarlos y agregarles valor.
- Dado que la información no difiere sustancialmente de uno a otro, el tipo reservorio no es relevante. Lo importante es definir políticas, procedimientos, buenas prácticas y análisis de riesgos que permitan resguardar y proteger la información sin dejar de mantener la confidencialidad, la disponibilidad y la integridad de los datos.
- Es indispensable establecer los plazos en los que los datos deben estar en línea y disponibles para su uso.
- Cuando los datos no se encuentran en línea, corresponde definir cuál es el medio magnético más adecuado para su almacenamiento y los procedimientos necesarios para recuperarlos rápidamente.
- Los datos que no están en línea deben mantener su integridad, por lo cual es necesario garantizar que no han sido modificados desde su creación.
- Las empresas de exploración y producción deben evolucionar de ser usuarios de tecnología probada, disponible en el mercado, a inversores capaces de desarrollar nuevas

tecnologías. Para ello es necesario incrementar la inversión en los centros de investigación y en los consorcios de investigación y desarrollo tecnológico (IDT).

- Es necesario integrar datos de distintas fuentes de modo de permitir que los usuarios con diferentes roles y niveles dentro de una organización accedan a la información según sus requerimientos.
- Actualmente, los proveedores de *software* compiten para desarrollar mejores herramientas, pero estas deben utilizarse de manera que permitan el retorno de la inversión realizada en tecnología.
- Se hace indispensable incorporar el uso de aplicaciones analíticas que faciliten el estudio de los grandes volúmenes de datos que hoy existen y que irán en aumento.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen la participación y los comentarios aportados por el Licenciado Pablo Agraz.

REFERENCIAS

- Albano, J. 2002. Consideraciones sobre data management. Revista Petrotecnia 2: 16-21.
- Bizzotto, P. 2014. El nuevo desafío de Vaca Muerta. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Actas Simposio de Recursos No Convencionales: 883.
- Cander, H. 2012. What are unconventional resources? A simple definition using viscosity and permeability. Search and discovery Article #80217. American Association of Petroleumologists (Extended Abstract): 3.
- Elmasri, R., Navathe, S.B. 2002. Fundamentos de Sistemas de Bases de Datos. Pearson Educación. Madrid.
- Gould, A. 2002. Information management in the E&P industry. World Energy 5 (1): 124 – 129.
- IAPG. 2009. El abecé del Petróleo y del Gas. IAPG. Buenos Aires.
- IAPG. 2013. El abecé de los Hidrocarburos en Reservorios No Convencionales. IAPG. Buenos Aires.
- Petrotecnia. 2002. El Data Management y las empresas. Revista Petrotecnia 2: 8-13. Buenos Aires.
- Van Kujik, H.J.A., 2011. Five pillars of knowledge, information and data management. Createspace. Seattle.

LA GESTIÓN DEL RIESGO: RECORRIDO POR LAS PRÁCTICAS A NIVEL LOCAL. CASOS PINAMAR Y NECOCHEA

Grana N. P.^a, Puccio H. Y.^a, Adaniya S.^a y Marshall G.^a

^a *Instituto de Investigaciones Científicas Aplicadas al Turismo (INDICAT), Facultad de Ciencias Aplicadas al Turismo y la Población. Universidad de Morón.*

e-mail: hpuccio@gmail.com

RESUMEN

Según el informe del Banco Internacional sobre “Investing in Urban Resilience” (2015), las pérdidas relacionadas con los eventos naturales han aumentado considerablemente, tendencia que, lamentablemente, se vuelve más pronunciada a medida que la población mundial y la rápida urbanización crece. Es por ello, que bajo este panorama las acciones y procesos destinados a conocer, modificar, disminuir y eliminar el riesgo cobran verdadera importancia

El análisis de la gestión local es fundamental para visualizar no sólo el rol que asume los actores gubernamentales sino también las Organizaciones de la Sociedad Civil junto con las sociedades vulnerables. Sin embargo, es justo reconocer que numerosos elementos que acompañan al riesgo son consecuencia de procesos que corresponde a niveles regionales, nacionales y/o globales.

A fines prácticos se agruparon las políticas de gestión de riesgo, ya sea ex-ante y ex-post, según su función: Primero se encuentra aquellas que se encargan de identificar y evaluar el riesgo, luego las destinadas a reducirlo, seguidamente las que proveen protección financiera, luego las que se encuentran dando respuesta y preparando al desastre, y por último las que se orientan a la recuperación posdesastre. Se elaboraron un conjunto de matrices para observarlas y se recolectó a través de fuentes secundarias la información brindada por ambos partidos sobre la temática abordada. Y al mismo tiempo se contextualizó a nivel nacional/provincial lo realizado en la materia.

Como resultado se puede visualizar, y comparar, la correspondiente gestión de riesgo que desarrollan cada uno de estos partidos. Y obtener modelos de la gestión del riesgo a nivel local dentro del contexto nacional/provincial que lo enmarca.

Palabras Clave: Riesgo – Gestión del Riesgo – Nivel Local.

INTRODUCCIÓN

Los eventos naturales extremos no son el único componente necesario para la generación de riesgo de desastres, es decir, los daños que estos ocasionan están estrechamente ligados al grado de vulnerabilidad que tenga la sociedad que los enfrenta. Es por esto que un mismo fenómeno natural extremo ocasiona diferentes grados de consecuencias dependiendo de cuán frágil, susceptible o resiliente sea la población afectada. Por lo tanto, para anteponerse al riesgo de desastre es necesario la gestión adecuada de este, buscando reducirlo, preverlo y controlarlo. UNISDR (2015)

Por lo expuesto, la vulnerabilidad de una sociedad estará dada por las características y las circunstancias que esta tenga para hacer frente a los efectos dañinos de una amenaza. Existen diferentes factores, ya sea físicos, económicos y ambientales que hacen que la vulnerabilidad de una población aumente o disminuya, y esta puede variar a lo largo del tiempo. UNISDR (2009)

En el año 2015, en la ciudad de Sandei en Japón se llevó adelante la tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas, en la misma se dio origen al nuevo marco para la reducción de riesgo de desastre. Siguiendo los lineamientos de su antecesor marco de Kyogo, el marco de Sandei aporta una serie de innovaciones, poniendo especial énfasis a la gestión del riesgo de desastre.

El marco de Sandei establece cuatro prioridades a considerar: 1) Comprender el riesgo de desastre 2) Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastre para gestionar dicho riesgo. 3) Invertir en la reducción del riesgo de desastre para la resiliencia. 4) Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción. (Naciones Unidas, 2015)

En 1999, el BID concibe como iniciativa un espacio para enriquecer y ampliar el intercambio de experiencias entre los países de la región, por tanto, crea una serie de redes agrupadas por diferentes temáticas en donde participan funcionarios de alto nivel, que son los que tiene la toma de decisión, y se encargan de diseñar las políticas públicas. Entre las redes creadas se encuentran una dedicada específicamente al manejo de desastre naturales, ya que identifican que es uno de los grandes males que afecta a la región dejando no solo importantes daños económicos, sino afectando las vidas de los que habitan el territorio.

Desde el 2003 al 2005, el BID junto al Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia en su sede Maizales determinan un sistema de indicadores para facilitar la comparación entre los países, al mismo tiempo permitir la autoevaluación y diagnóstico para plantear los puntos de mejoras. El sistema lo compone cuatro índices:

- Índice de Déficit por desastre (IDD): Refleja la probabilidad de riesgo en términos macroeconómicos y financieros ante un evento natural extremo. Se relaciona la demanda de fondos económicos necesarios para cubrir las pérdidas probables causadas por un Evento Máximo Considerado (EMC), con la resiliencia económica del sector público, es decir la posibilidad de acceder a los fondos internos o externos para restituir el inventario físico afectado.
- Índice de Desastre Local (IDL): Refleja la variabilidad y dispersión espacial de riesgo como resultados de eventos frecuentes menores que afectan de manera crónica con mayor frecuencia a los habitantes más vulnerables y no permiten el desarrollo adecuado. Se calcula en base a las personas fallecidas, personas afectadas y las pérdidas que ocasiona en cada municipio.

- Índice de vulnerabilidad prevalente (IVP) Refleja las condiciones prevalentes de vulnerabilidad en términos de exposición en áreas propensas, fragilidad económica y la falta de resiliencia. En caso de presentarse un fenómeno peligroso, estos aspectos mencionados favorecerán a evaluar el impacto físico directo y el impacto indirecto e intangible.
- Índice de Gestión de Riesgo (IGR) Refleja el desempeño de la gestión de riesgo. Se mide cualitativamente la gestión efectuada en base a niveles preestablecidos (targets) o deseables (benchmarking) a los que se debe dirigir la gestión. Permite la evaluación, y la comparación de los diferentes países ante su accionar sobre la temática. Para su definición se consideraron cuatro políticas públicas:
 - Identificación del Riesgo (IGRir)
 - Reducción del Riesgo (IGRrr)
 - Manejo de desastre (IGRmd)
 - Gobernabilidad y Protección financiera (IGRpf)

El índice IGR será el promedio entre los cuatros indicadores: IGRir, IGRrr, IGRmd, IGRpf. Para la valoración de cada uno de estos se utilizaron calificaciones neurolingüísticas aportándoles cinco niveles de desempeño: bajo, incipiente, significativo, sobresaliente y óptimo. Las mismas se obtienen luego de analizar fuentes secundarias, y entrevistas con los principales gestores.

El sistema de indicadores expuestos permite evaluar el riesgo a nivel país, igualmente se menciona la posibilidad de aplicarlo nivel local. Es necesario realizar la evaluación en el contexto en donde se decida aplicar. Para la estimación de los escenarios de daños o pérdidas se puede identificar la infraestructura de la zona a evaluar, y medir en base a la probabilidad de los eventos naturales. (Cardona, 2008)

Desde el año 2003 los miembros de la Red de Desastres Naturales (RDN) vienen expresando que el rol de actores locales, públicos y privados son importante para reducir los riesgos de desastre de la región, y que debían generar un sistema descentralizado donde todos puedan participar. Son los gobiernos locales los que a través de la concientización de la población acerca de los desastres naturales pueden desarrollar una cultura de prevención y participación de la gestión del riesgo.

Fue necesario cambiar el enfoque desde la centralización del manejo del riesgo a la participación de los actores regionales y locales. Y bajo ese contexto se desarrolló dos tipos de abordajes de la gestión local: por un lado, la tendencia más usual, que es organizar comités locales para la atención de emergencias. Y por otro, una tendencia creciente de descentralizar y fortalecer las capacidades locales para el manejo integral del riesgo y los desastres. (Bollin, 2003)

Para que los actores locales se involucren es necesario que se fortalezcan las sus capacidades, los mecanismos de financiamiento, y los instrumentos de monitoreo de riesgo local. También que exista marcos tanto políticos como legal en nivel nacional para que dentro de estos se pueda desarrollar la gestión del riesgo.

Es importante que en la gestión del riesgo local se involucren a un gran número de actores (ver cuadro 1), para ello esto suceda es necesario generar el marco adecuado de participación.

Pobladores, líderes y organizaciones comunitarias	Contribuir significativamente a la prevención y mitigación del riesgo como estar preparados ante fenómenos naturales extremos
Representantes locales de la administración pública (sector salud, educación, etc)	Introducir políticas preventivas a sus labores. Contribuyendo a disminuir el riesgo en diferentes aéreas correspondiente a su campo temático
Actores privados (empresas construcción, institutos educativos, ONGs de medio ambiente)	Posibilidad de manejar el riesgo desde la perspectiva del área de especialidad
Medios de Comunicación	Juegan un papel importante en la sensibilización y el la deseminización de la información, tanto para la prevención como en la alerta.
Organizaciones para la atención de emergencia (cómite de emergencia, bomberos, cruz roja, brigadas)	Especializadas en las actividades de reconstrucción y/o reducción de riesgo. Así como en las tareas de concientización.

Cuadro 1: Participación de actores en la gestión del riesgo. Elaboración propia en base a Bollín 2003

RDN analizó e identificó cuatro componentes elementales al momento de gestionar el riesgo a nivel local:

- Estructura institucional
Se analiza de los aspectos políticos, legales, institucionales y sociales que rodean la gestión del riesgo local logrando una descripción de la situación en la que se encuentra.
- Fortalecimiento institucional y asistencia técnica.
Se analiza los mecanismos para fortalecer las capacidades de los actores locales, identificando sus requerimientos y necesidades.
- Financiamiento
Se identifica y analiza las fuentes de financiamiento para la mejora y el desarrollo de la gestión del riesgo.
- Indicadores y otros instrumentos para el manejo del riesgo a nivel local.
Se identifica los indicadores para monitorear y diagnosticar la gestión local. Para ello se determina los factores principales que determinan el riesgo local, siendo:
 - Amenaza: responde a ¿Cuál es el peligro? En cuanto Probabilidad y Severidad.
 - Exposición: ¿Qué está en riesgo? Estructuras, Población y Economía
 - Vulnerabilidad: ¿Cuáles son las debilidades? Física, Social, Económica y Ambiental
 - Capacidad y medidas: ¿Cuáles son las fortalezas y posibilidades? Planificación física, Capacidad social, Capacidad Económica y Gestión. El detalle de los indicadores se puede ver en el cuadro 2.

Es importante el análisis global de los indicadores expuestos para poder determinar el nivel de gestión local, con la correspondiente contextualización del entorno.

Capacidad y medida	
Planificación física e ingeniería	
Planificación del uso del suelo	Ordenamiento territorial aplicado
Códigos de construcción	Códigos de construcción aplicados
Mantenimientos y retroajustes	Mantenimientos y retroajustes aplicados
Estructuras preventivas	Efecto esperado de estructuras preventivas
Manejo del ambiente	Medidas de conservación de los recursos naturales.
Capacidad social	
Programas de concientización pública	Frecuencia de programas de concientización
Currícula escolar	Magnitud de temas relevantes enseñados en la escuela.
Simulacros de emergencia	Frecuencia de simulacros de emergencias.
Participación pública	Comités de emergencia con representantes públicos.
Comités de gestión local de riesgo	Grado de organización de grupos locales.
Capacidad económica	
Fondos locales de emergencia	Fondos locales de emergencia como % del presupuesto.
Acceso a fondos nacionales de emergencia	Acceso en tiempo a fondos nacionales de emergencia
Acceso a fondos internacionales	Modo de acceso a fondos internacionales de emergencia.
Mercado de seguro	Disponibilidad de seguros para viviendas.
Préstamos para mitigación	Disponibilidad de préstamos para mitigación.
Préstamos para reconstrucción	Disponibilidad de préstamos para reconstrucción
Obras públicas	Magnitud de obras públicas locales.
Gestión y capacidad institucional	
Comité de manejo de riesgos	Frecuencia de simulacros de reuniones de comités.
Mapa de riesgo	Disponibilidad y circulación de mapas de riesgo
Plan de emergencia	Disponibilidad y circulación de planes de emergencia.
Sistema de alerta temprana	Efectividad de sistema de alerta temprana.
Fortalecimiento de capacidad institucional	Frecuencia de capacitación para instituciones locales.
Comunicación	Frecuencia de contactos con instituciones nacionales.

Cuadro 2: Sistema de Indicadores aportados por Bollín para el análisis de la Gestión local del riesgo.

MÉTODOS.

El presente estudio de carácter exploratorio pretende orientar a lector en un recorrido por las prácticas de gestión de riesgo en los partidos costeros de Pinamar y Necochea. Se toma como eje ambas ciudades que comparten el producto turístico sol y playa, aunque ambas poseen características y particulares diferentes que más adelante explicaremos.

Se elaboraron matrices de observación en base a los indicadores aconsejados para evaluar la gestión del riesgo, y para el correspondiente análisis. La información fue recabada mediante fuentes secundarias, como portales de noticias, contenido página web oficial de los partidos, material publicado por las organizaciones ecológicas y ambientales, y el marco legal, entre otros.

El trabajo se encuentra en etapa de desarrollo, y en esta primera instancia presentaremos lo informado a través de fuentes secundarias, están previsto complementar los resultados con entrevistas a los actores responsables participes de llevar adelante la gestión del riesgo local.

Los resultados de este trabajo exploratorio se expondrán a modo de poder identificar la gestión en estos partidos, y servirá como un análisis situacional de la gestión del riesgo en estos importantes partidos de la costa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como adelantamos los partidos de Pinamar y Necochea comparten algunas similitudes y diferencias

El partido de Necochea se encuentra al sureste de la provincia de Buenos Aires, está compuesto por seis localidades, la ciudad homónima, Quequén, Nicanor Olivera (conocida como Estación La Dulce), Ramón Santamaría, Juan N. Fernández, Claraz.

En el partido cuenta con uno de los principales puertos cerealeros del país, aparte desarrolla la actividad agrícola/ganadera. El turismo es una actividad económica complementaria, siendo sobre todo explotada principalmente con el producto de sol y playa. También tienen desarrollado una serie de eventos para ayudar a superar la estacionalidad del producto principal. Incipientemente otros productos cobran fuerzas como el turismo termal.

El partido de Pinamar se encuentra al centro este de la provincia de Buenos Aires, está compuesto por seis localidades, la ciudad homónima, Ostende, Mar de Ostende, Valeria del Mar. La principal actividad económica del partido es el turismo, y todas sus actividades conexas. Se caracteriza principalmente por el producto sol y playa, aunque defiende y posee un importante patrimonio cultural/histórico. Al igual que Necochea, los eventos suelen ser una herramienta para desarrollar de forma complementaria al producto estacional de playa. También cuenta con zonas naturales amplias de bosque.

Es así como ambas ciudades desarrollan el producto turístico sol y playa, pero la dependencia a este difiere de un partido a otro.

Para la evaluación de la gestión local analizamos **la planificación física e ingeniería**, para ello, analizamos el ordenamiento territorial para revisar si se encuentra alineado a los riesgos.

A nivel provincial, se encuentra la Normativa Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial, que también tiene como eje rector la preservación del medio ambiente. Además, tiene un apartado especialmente al Frente Costero Urbanizado. La fragilidad del paisaje junto con la importancia económica que atractivo playa aporta al turismo de la provincia hace que cobre importancia la conservación y cuidado de la costa. También pone atención al descuido en la protección de reservorios con el crecimiento desmedido del ejido urbano que no permite la recarga de napas. Asimismo, la problemática de los pozos negros sin el provisto control ayudó a que la situación empeoré. Al mismo tiempo la urbanización de la costa desmedida provoca la pérdida de los médanos y profundiza el proceso de erosión, y el agostamiento de las playas. En igual forma que el uso discriminado de vehículos sobre el paisaje y la recarga de arena de la playa. Identificando todas estas problemáticas es que el gobierno provincial a través del código de ordenamiento territorial busca subsanarlas.

A nivel local, ambos destinos cuentan con un plan de ordenamiento del territorio. Pinamar actualizó el suyo hace un año (Ordenanza N° 5114/17), ya anterior tenía más de 30 años, en la nueva formulación se apuntó a la preservación y uso racional de los recursos naturales, como también premia aquellos que decidan invertir en energía renovable (eólica o solar). Se prevé que el nuevo código de ordenamiento urbano (COU) entre en vigencia el 01/01/2019, luego que sea convalidado por el ejecutivo provincial.

En cuanto el ordenamiento del frente marítimo, Pinamar luego de más de años de formular planes y no aplicarlos, llevó aplicó el Plan Integral Manejo Costero que tuvo la tarea de reconstruir los balnearios, reduciendo sus tamaños y ocupación del recurso playa, y aplicar materiales ecológicos a su construcción.

En cuanto a otras medidas impartidas en la línea de la conservación de los recursos podemos destacar en Pinamar:

- Reordenamiento del tránsito de cuatriciclos, triciclos y similar (Ordenanza 5309/18)
Esta medida no sólo se basa en el resguardo del medio ambiente, sino también en el riesgo que implica el manejo de estos vehículos en mano de inexpertos. Pinamar, lamentablemente fue centro de varios accidentes con pérdidas de vidas. La medida busca determinar los requisitos para el manejo de los vehículos (registro de conducir, entre otros), y establecer las zonas en las cuales se puede circular, a modo de resguardo ambiental.
- Desagües Pluviales en lotes particulares (Ordenanza 5289/18)
Se busca solucionar la acumulación de agua en las calles exigiendo que todas las parcelas (construidas o baldías) deberán resolver la captación y conducción de las aguas de origen pluvial provenientes de superficies impermeabilizadas del lote hacia sectores de infiltración dentro del mismo terreno, evitando toda transferencia de aguas a la vía pública y/o a los lotes linderos. Quedan incluidas, entre otras, las superficies impermeabilizadas correspondientes a cubiertas, terrazas, escalinatas, veredas y rampas de acceso peatonal o vehicular desde la vía pública. Contribuyendo con el desagüe pluvial a la filtración de agua en las napas para evitar la degradación progresiva del acuífero.
- Programa de reducción de la utilización de sorbetes y vasos de plásticos o similares. (Ordenanza 5202/18)
Se determino convertir a Pinamar en la primera ciudad libre de sorbetes. Para ello a partir del 01/12/2018 se prohíbe la entrega de vasos de plásticos y sorbetes para reducir la contaminación que provoca estos. La medida fue impulsada por la ONG Big Human Wave. Se exceptúan de la medida las discotecas, las maquinas expendedoras de café e infusiones, y los productos que ya traigan consigo sorbetes. Se prevé campaña de difusión y concientización para acompañar este proceso.
- Pirotecnia Cero (Ordenanza 5106/17)
Prohibición en todo el ámbito del Partido de Pinamar la utilización, tenencia, acopio, exhibición, fabricación y expendio al público de artificios de pirotecnia y cohetería. Se exceptúan las utilizadas por las fuerzas públicas seguridad.
Son varios los motivos por los que esta normativa
Uno de los motivos son los incendios forestales que pueden provocar estos elementos, también remarcan el daño que puede provocar su mal uso, y los recursos de emergencia que se gasta en ello.
- Playa libre de Humo (Ordenanza 5105/17)
Se determina un sector libre de humo 150 metros lineales en cada una de las localidades. Dentro de las cuestiones que motivan la normativa es el cuidado del medio ambiente. (residuos no biodegradables las colillas).
- Extracción de arena (Ordenanza 4798/16)
Prohibida la extracción y remoción de arena de playa, médano costero y playa sumergida, con excepción de los trabajos debidamente autorizados por la dirección del frente marítimo, para preservar el mantenimiento del pie de duna, las tareas de refulado provenientes de los enquinchados y de la nivelación para la colocación de carpas.
- Enquinchado de playas para evitar la erosión. Se trabajo en coordinación con el sector privado para que realice lo mismo en su territorio.

El ordenamiento territorial que dispone necochea data del año 1981 (ordenanza 2005/81), aunque en los últimos años elaboró una serie de planes para orientar el cuidado del medio ambiente, ya que el

código territorial vigente lo carece. En el año 2007, el Plan de Manejo del Parque Miguel Lillo, contó con un diagnóstico de la situación del parque, haciendo un relevamiento extensivo sobre el mismo analizando los riesgos de incendio, especies contenidas y estado de estas. Y se determina a grandes rasgos las acciones para el manejo del parque. En el año 2008, se formula el Plan Urbano Ambiental de Necochea por medio de talleres participativos lograron su definición. En este se atiende a la problemática de erosión que sufre principalmente la Bahía de los Vientos en Quequén, y se busca la recuperación de la línea de médanos. Bajo esta misma línea en el año 2010 se elabora el Código de Desarrollo Sostenible del Partido de Necochea (CODES) buscando avanzar un poco más en la temática

En cuanto a otras medidas impartidas en la línea de la conservación de los recursos podemos destacar en Necochea:

- Obras de intervención urbanística en el sector costero de Necochea-Quequén. (Ordenanza 9415/18)
Aportes para el fortalecimiento del desarrollo turístico de Necochea – Quequén, comprendiendo la remodelación y puesta en valor del Frente Costero Necochea – Quequén, respetando el medio ambiente.
- Regulación de las instalaciones de agua y cloacas (Ordenanza 9490/18)
Se regulará tanto domiciliarias y de empresas generando un reglamento que identifique el tipo de trámite y el formato de las diferentes instalaciones, en el Partido de Necochea. Permitiendo al estado poder llevar un control y registro de las diferentes instalaciones.
- Biocombustible a partir de los residuos de aceite vegetal usado (Ordenanza 9642/18)
En el marco de lo efectuado por el organismo provincial para el desarrollo sostenible es que surge esta normativa, que busca impedir la contaminación hídrica, la afectación del suelo, y de los conductos subterráneos. Se deberá guardar hasta que los encargados del reciclaje, tratamiento y disposición final de UVE lo retiren.
- "Programa de Información e Indicadores para la Gestión de Riesgos Control y erradicación de los micro basurales a cielo abierto.
- Campaña para la recolección de residuos tecnológicos.
- Recolección de envase de petroquímicos, para su compactación.

En cuanto a la observación de la capacidad social, pudimos detectar:

En Pinamar:

- Capacitación en las Islas Ambientales, espacios destinados para que los vecinos dejen el material para reciclaje.
- Concejo de Políticas Culturales (Ordenanza 5054/17) en el puede participar un representante artístico de las siguientes disciplinas: artes plásticas- artes visuales- artesanías- danzas- letras- música- teatro- gestión cultural. Y se definirá a votación en una asamblea.
- Capacitación de llamadas de emergencia, donde se busca que quienes atiendan el llamado de emergencia se encuentren capacitados.
- Capacitaciones por parte de Defensa Civil a instituciones educativas, en los mismos informan los protocolos de evacuación, los circuitos básicos para saber manejarse ante emergencias.

En Necochea

- Escuela realizando proyectos relacionados con el cuidado del medio ambiente. Como por ejemplo salir a correr junto al río mientras se levanta la basura que se en cuenta.
- Charlas educativas de ambiente por la Dirección de Gestión ambiental.
- Taller de juguetes eco, enseñar con materiales descartables que se pueden elaborar juguetes.
- Campaña de concientización, se realizó sobre el uso racional del agua, sobre el reciclado de tetra pack, sobre la semana del árbol acompañando con la plantación de árboles dentro del programa conciencia verde.
- Capacitaciones, destinadas a evitar el incendio por acopió, incendios forestales, a podadores particulares con extensión de matrícula habilitante, aplicación terrestre de fitosanitarios.
- Tecnicatura en gestión ambiental, se comienza a brindar en el partido.

En lo referido a la capacidad económica, esta variable se pudo visualizar en el contexto provincial analizando al Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS). Este junto al Ministerio de Producción, la Autoridad del Agua (ADA) y el Banco Nación promovieron un acuerdo para fortalecer a la micro y pymes Bonaerense. El objetivo es fortalecer el desarrollo productivo y tecnológico para fomentar la competitividad de la provincia.

El organismo aporta apoyo técnico a los municipios, creando espacio de diálogo entre ellos como es el caso de la “Mesa Ambiental Bonaerense”.

También OPDS trabaja junto con la Red Argentina de Municipios Frente al Cambio Climático (RAMCC) para fomentar el desarrollo de políticas públicas locales que luchen contra el cambio climático. Esta red tiene en su misión compartir fuentes de recursos y oportunidades de financiamiento. Es importante destacar que ninguno de los partidos estudiados forma parte de esta red que fortalecería su capacidad económica para enfrentar el riesgo de desastres. La falta de recursos a nivel local es una de las mayores justificaciones que expresan los actores para no actuar ante el riesgo, es importante que cuando existe una red que promueve el acceso a fuentes de financiación se forme parte de esta.

En lo referente a la gestión y capacidad institucional se pudo observar:

Pinamar cuenta con un sistema de alerta temprana para Ciclones Extra tropicales y tormentas, y se encuentra desarrollando uno específicamente contra los incendios, con la colaboración de Defensa Civil y los alumnos de la Escuela Técnica N°1 que se encuentra desarrollando sensores de temperatura y humedad para poder utilizar la tecnología al servicio de la gestión del riesgo.

Necochea cuenta con Sistema de Alerta Temprana, en el 2014 se había sobre la detección y aviso de tormenta eléctrica.

CONCLUSIONES

En la agenda de gobierno de ambos partidos el tema ambiental está presente, se puede visualizar que Pinamar cuenta con una batería de políticas públicas que apunta la participación activa del ciudadano ante el cuidado ambiental, exigiéndoles importantes cambios en su consumo y conciencia ambiental.

Podemos citar a modo de ejemplo, desde la opción básica de eliminar los sorbetes a prohibir el uso de pirotecnia hasta la opción más avanzada de tener que ocuparse activamente de los desagües pluviales de su domicilio para fortalecer la captación del agua del acuífero. Además, demostró una fuerte decisión política al implementar el Plan de Integral de Manejo costero que conllevó a la restructuración y achicamiento de todos los balnearios provocando una mejora significativa al recurso natural de las playas. Se puede inferir que Pinamar entiende que debe cuidar su principal atractivo si pretende sustentar su economía en el turismo. Por parte de Necochea, podemos visualizar que desarrollan varias campañas de concientización, y capacitaciones, sus medidas son menos exigentes para con sus ciudadanos.

Ambos partidos cuentan con un sistema de alerta temprana, aunque Pinamar va desarrollando las alertas para varios frentes como las tormentas, y los incendios forestales. Fortalecer la comunicación de estos sistemas es una asignatura pendiente para estos partidos.

En cuanto al contexto, la Red Argentina de Municipios Frente al Cambio Climático permite que los municipios aúnen fuerzas para desarrollar una mejor gestión de los riesgos. Falta quizás que todos comprendan que reducir riesgo es una inversión rentable que permite prevenir pérdidas futuras. Es pensar en el mañana cambiando el hoy.

REFERENCIAS

Banco Interamericano de Desarrollo -BID- Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgo. Programa para América Latina y Caribe. Argentina. Nota técnica IDB-TN-765 División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgo de Desastre (INE/RND). Disponible en <https://goo.gl/gozGSK> (2015)

Bollin C., Cárdenas C., Hahn H. & Vatsa K. Gestión de Riesgo de Desastres por Comunidades y Gobiernos locales. Red de desastres Naturales. Secretaría General del Diálogo Regional de Política, Washington, D.C. (2003)

Cardona O. Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgo. Programa para América Latina y Caribe. Informe Resumido. Segunda edición. BID, Washington, D.C. ISBN: 9789584402196

Evaluación de Riesgos Naturales América Latina -ERN- (2009). Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgo. 2º Informe comparativo – Resultados preliminares. Operación RG-T1579/ATN/MD-11238-RG. Universidad politécnica de Cataluña. Barcelona, España. (2008).

Hart V., Hardoy J., Almansi C., Amanquez, C., Cutts A., Lacambra, S., Di Paola, V., Celis. A., Una mirada de la gestión de riesgo de desastres desde el nivel local en Argentina. p. cm. IX. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres. X. Serie. IDB-MG-502 (2016)

Naciones Unidas -ONU- Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Disponible en https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf (2015)

Oficina de las Naciones Unidas para la reducción de riesgo de desastre -UNISDR- Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastre. Ginebra, Suiza: Oficina de las Naciones Unidas para la

reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) 38 páginas. Disponible en: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf (2009).

UNISDR (2015). Hacia el Desarrollo Sostenible: El Futuro de la gestión del riesgo de desastres. Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, Suiza: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) 299 páginas. Disponible en www.preventionweb.net/gar/ (2015).

PREDICCIÓN Y ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL Y DE CAMPO EN UN MÉTODO PARALELO DE REDUCCIÓN DE INCERTIDUMBRE¹

Méndez-Garabetti Miguel^{1,2}, Bianchini Germán², Caymes-Scutari Paola^{2,3}, Elgueta Rodrigo¹, Caylá Ivana Belén¹, Córdoba Diego¹, Peñasco Andrés¹, Morelli, José¹, Carrizo Marcelo¹, Giorlando Agustín¹, Lujan Arnaldo¹ y Carballo Nicolás¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de Mendoza, ARGENTINA

²Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido, Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional Mendoza, ARGENTINA

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), ARGENTINA

e-mail: miguel.mendez@um.edu.ar

RESUMEN

Los incendios forestales son considerados unos de los fenómenos naturales que más perjuicios causan en nuestro país y en el mundo, generando pérdidas de vidas humanas, daños en la propiedad, la flora, la fauna, el suelo, el agua, entre otros. Debido a esto, se considera de interés desarrollar herramientas, sistemas, métodos, estrategias, que permitan minimizar los efectos negativos causados por los incendios. En este trabajo presenta una propuesta de integración de información satelital y de campo provista por sensores inalámbricos en un método paralelo de reducción de incertidumbre guiado por datos aplicado a la predicción del comportamiento de incendios forestales. Se presentan los resultados de una primera aproximación de las etapas de adquisición y procesamiento de datos utilizando imágenes satelitales y del diseño de la red de sensores. Dicha integración permitirá determinar la ocurrencia precoz de los incendios forestales antes de que estos se magnifiquen, y además permitirá reducir la incertidumbre de algunas de las variables dinámicas que alimentan al modelo de predicción de comportamiento de incendio, impactando de forma positiva en la calidad de predicción del sistema.

Palabras Clave: Predicción, Incendios, Imágenes Satelitales, Sensores Inalámbricos.

INTRODUCCIÓN

El fuego ha sido una herramienta fundamental en el desarrollo de las civilizaciones (Hough, 1932). Cuando, por falta de control, el fuego se extiende sobre una superficie se conoce como incendio, y cuando se produce sobre vegetación de áreas forestales se

¹ Trabajo financiado mediante proyecto DIUM, Universidad de Mendoza, según Resolución HCS N°231/17.

denomina incendio forestal (Molina Terrén, 2010). Al mencionar incendios forestales, comúnmente se asocia con los aspectos negativos de éstos, sin embargo, éstos juegan un rol fundamental en los cambios naturales que ocurren en los ecosistemas de nuestro

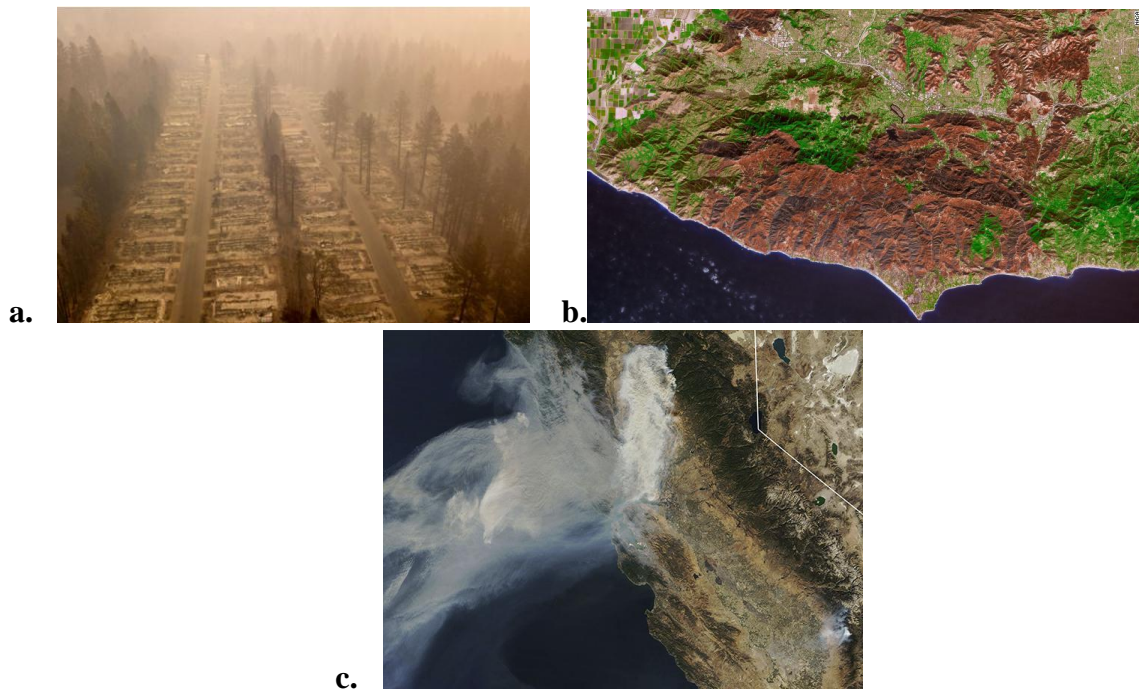


Figura 1. a. Un barrio completamente destruido en la pequeña ciudad de Paradise, al norte de California. **b.** Cicatriz del área quemada por el incendio ocurrido en 2018 (Satélite Terra de la NASA). **c.** Columna de humo del incendio ocurrido en el norte de California.

planeta, ya que propician la diversidad de la vida vegetal y animal. El fuego inicia procesos naturales que permiten convertir la materia orgánica en nutrientes que posteriormente la lluvia entrega al suelo, proporcionando un semillero fértil rejuvenecido para las plantas (Graham, 1999).

Sin embargo, los incendios forestales fuera de control suelen generar grandes catástrofes, entre ellos: pérdidas de vidas humanas, daños a la flora, la fauna y al suelo (Morgan et al., 2001). Como ejemplo, podemos citar el terrible incendio ocurrido en el norte de California donde un total de 86 personas han perdido sus vidas y se estima más de 600 desaparecidos (Infobae, 2018). En la Fig. 1.a se puede observar la agresividad del incendio, la zona afectada por el incendio (ver Fig. 1.b) donde el área calcinada se detalla en color café; la vegetación no afectada en color verde, las zonas en blanco o gris claro son edificios, caminos y otras áreas desarrolladas (CNN, 2018). Y en la Fig. 1.c. se puede observar la magnitud de la columna de humo del incendio desde una vista satelital.

Ante la ocurrencia de este tipo de fenómenos es difícil estimar las pérdidas económicas debido a la gran cantidad de sectores que pueden verse afectados a corto, mediano o largo plazo, pero en general los recursos ambientales de toda zona afectada suelen ser considerablemente damnificados. En base a esto, desde diversas organizaciones a nivel mundial se trabaja en el desarrollo de diversas herramientas, técnicas, sistemas, entre otros, que permitan minimizar los efectos negativos causados por los incendios forestales. Estas investigaciones se han enfocado principalmente en el desarrollo de herramientas para la detección y predicción de incendios forestales. Cada una de éstas corresponde a distintas fases del proceso de lucha contra incendios. La detección se

concentra en determinar la ubicación de los focos de incendios antes de que éstos adquieran cierta magnitud que impida tomar control sobre ellos; la predicción, que tiene dos acepciones: predicción de ocurrencia y predicción de comportamiento. La primera de ellas intenta predecir la ocurrencia de incendios antes de que estos sucedan, mientras que la segunda, busca determinar el posible comportamiento de un incendio forestal una vez que éste ya se ha iniciado, permitiendo tomar decisiones acertadas en el plan de acción a tomar.

Sin lugar a duda, el desarrollo de soluciones que permitan dar respuesta a este tipo de problemáticas, tan críticas para la sociedad, no es una tarea sencilla y más aún si se trata de brindar una solución para ambas necesidades. En base a la problemática planteada se ha propuesto el desarrollo de una plataforma para la detección y alerta temprana de eventos de incendios y su integración con un sistema de predicción del comportamiento de incendios forestales. Esta propuesta se enmarca en la clasificación de Sistemas de Aplicación Dinámicos Guiados por Datos (DDDAS, Dynamic Data-Driven Application Systems) (Darema, 2004) los cuales tratan de aprovechar al máximo la unión de los métodos de adquisición de datos, la computación y la simulación en el desarrollo de sistemas complejos que pueden ser utilizados para dar respuesta en tiempo real. La creación de un DDDAS requiere la comprensión sobre el uso de sensores remotos, diferentes niveles de computación tanto a como el de un procesador embebido al de una supercomputadora, redes, seguridad, modelado matemático y computacional, entre otros. El concepto DDDAS implica la capacidad de incorporar dinámicamente datos adicionales en una aplicación en ejecución, permitiendo mejorar el modelado de sistemas en condiciones dinámicas, tal como sucede en los sistemas de predicción de fenómenos naturales como es el caso de los incendios forestales.

Un esquema general de dicha propuesta se presenta en la Fig. 2, en ella podemos observar los siguientes componentes:

- a) **Sistema de predicción de comportamiento de incendios forestales (ESSIM):** implementado por un método de reducción de incertidumbre denominado Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas (ESSIM, Evolutionary Statistical System with Island Model) (Méndez-Garabetti et al., 2016).
- b) **Sistema de detección y alerta temprana:** este componente se nutre de dos módulos que pueden operar de forma independiente o conjunta. Por un lado, la red inalámbrica de sensores (WSN, Wireless Sensor Network) (Sohraby et al., 2007) donde cada nodo posee la capacidad de detectar la presencia de fuego, y la red en su conjunto puede identificar la zona total afectada, dimensión del incendio y brindar esta información al personal que desarrolle las actividades de extinción en el momento. Por el otro lado, el módulo de adquisición de imágenes satelitales, este permitirá, mediante la información de diversas plataformas: Sentinel-2 (Verhegghen et al., 2016), Landsat (USGS, 2016) (Schroeder et al., 2008), MODIS (NASA, 2018; Savtchenko et al., 2004), entre otros, tanto obtener alertas de eventos que afecten áreas dentro o fuera de la cobertura de la WSN. Y la generación automática de los mapas de frentes de fuego y/o área quemada, y su posterior adaptarlos al formato de entrada del método de predicción.

Entonces, en función de lo expuesto el presente trabajo presentan los resultados de una primera aproximación de las etapas de adquisición y procesamiento de datos utilizando imágenes MODIS y el diseño de la red de sensores.

A continuación, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en la siguiente sección se describe brevemente el método de reducción de incertidumbre utilizado como sistema de predicción. A continuación, la Sección 4 presenta la experimentación desarrollada y finalmente se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

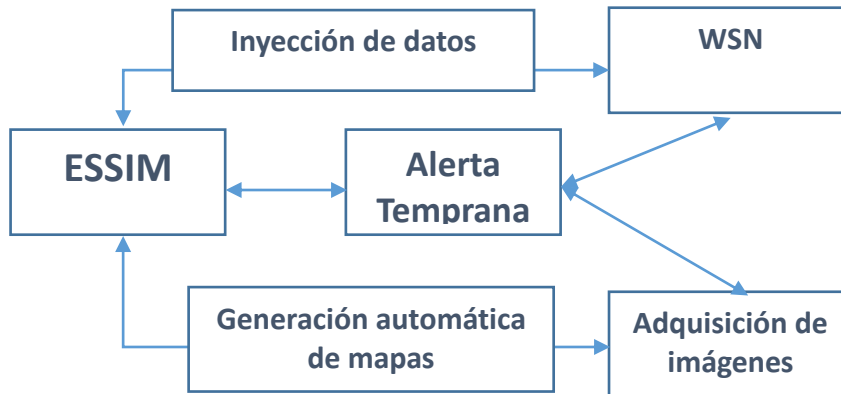


Figura 2. Esquema general del sistema de alerta temprana y predicción de comportamiento de incendios forestales.

SISTEMA DE PREDICCIÓN BASADO EN ESSIM

Debido a la imprecisión de los parámetros de entrada y la dificultad de medirlos en tiempo real, es que ha sido necesario recurrir a técnicas que sean capaces de reducir la incertidumbre, como por ejemplo los Métodos Guiados por Datos (DDM, Data Driven Methods). Los DDM consideran un gran número de valores para cada parámetro, posteriormente, realizan una búsqueda (mediante alguna técnica de optimización heurística) para encontrar un conjunto de parámetros que describa, de la mejor manera posible, el comportamiento anterior del fuego el cual se espera que pueda ser utilizado para predecir el siguiente instante de tiempo.

En otras palabras, los DDM realizan una calibración para obtener estos valores "óptimos" de los parámetros de entrada. Sin embargo, estos métodos obtienen un solo conjunto de valores, y para aquellos parámetros que poseen un comportamiento dinámico, el valor encontrado no es generalmente útil para describir correctamente el comportamiento del modelo. Esta categoría se denomina Métodos Guiados por Datos de Solución Única (Abdalhaq, 2004; Beven y Binley, 1992). Existe otra clasificación de los DDM los cuales operan con casos solapados y combinaciones de parámetros para efectuar las predicciones. Esta categoría se denomina Métodos Guiados por Datos con Múltiples Soluciones Solapadas (DDM-MOS, Data Driven Methods with Multiple Overlapping Solutions). En esta categoría se encuentra el ya mencionado método ESSIM.

ESSIM utiliza como técnica de optimización la metaheurística conocida como Algoritmo Evolutivo. Debido a la carga de trabajo que conlleva la predicción de un incendio forestal, el método ha sido implementado haciendo uso de Computación Paralela (Buyya, 1999) bajo un esquema de paralelización basado en islas (Alba y Tomassini, 2002). El modelo de islas permite trabajar de forma paralela usando múltiples instancias de la metaheurística y así incrementar la capacidad de búsqueda del algoritmo.

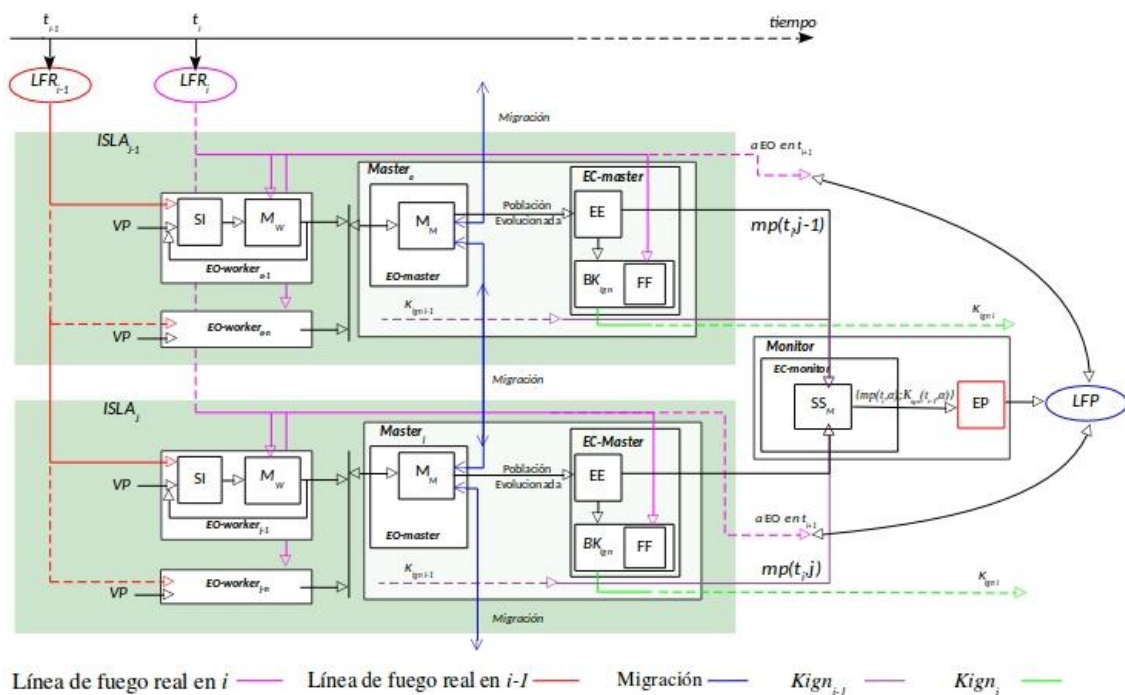


Figura 3: Esquema general del Sistema Estadístico Evolutivo con Modelo de Islas: SI: simulador de incendios; M_W : etapa metaheurística del worker; M_M : etapa metaheurística del master; EO: etapa de optimización; EE: etapa estadística; BK_{ign} : búsqueda de K_{ign} ; K_{ign} : valor clave de ignición; FF: función de fitness; EC: etapa de calibración; EP: etapa de predicción; LFP: línea de fuego predicha; LFRx: línea de fuego real en tiempo x; VP: vector de parámetros de entrada; SS_M : etapa estadística en proceso monitor; mp: mapa de probabilidad.

Funcionamiento de ESSIM

Un esquema general del funcionamiento de ESSIM puede observarse en la Fig. 4. El proceso de predicción comienza en el *monitor*, el cual envía a cada isla la información inicial (conjunto de datos del incendio) para dar comienzo a las diferentes etapas del método.

Tal información es recibida por el proceso *master* de cada isla, donde inicia la Etapa de Optimización (EO_{master}), la cual implementa la Etapa Metaheurística que se encuentra dividida en dos sub-etapas: a) la Etapa Metaheurística del proceso master (M_M), y b) la Etapa Metaheurística de los procesos workers (M_W). La etapa M_M se encarga principalmente de: a) Inicialización de la Población, b) Migración de Individuos, c) Evolución de la Población, d) Finalización y Envío.

La función principal de los procesos *workers* consiste en evaluar la aptitud de cada individuo mediante la utilización de un simulador de comportamiento de incendios forestales (SI) basado en el modelo de Rothermel (Rothermel, 1972), implementado mediante la librería fireLib (Collin D. Bevins, 1996). Una vez que cada individuo es simulado se procede a calcular la aptitud de cada uno, para ello se compara la salida de cada individuo con el estado real de incendio en dicho instante de tiempo.

La Etapa de Calibración del proceso master (EC_{master}) calcula un mapa de probabilidad, en función de todos los individuos de la población evolucionada. Dicho mapa se utiliza para obtener el valor clave de ignición (Key Ignition Value, K_{ign}), el cual representa el patrón de comportamiento del incendio y es obtenido en la etapa Búsqueda del K_{ign}

(BK_{ign}). Por cada isla se realiza un envío parcial, por cada paso de predicción hacia el proceso *monitor* el cual posteriormente ingresa los mejores resultados de la totalidad de las islas a la etapa de predicción (EP) la cual realiza el cálculo de predicción (i.e., línea de fuego predicha, LFP) para el próximo instante de tiempo LFR_{i+1} . Es importante mencionar que, al inicio de la cadena de predicción, ESSIM requiere calcular el primer K_{ign} por lo que no pude generar predicción en el primer instante de tiempo.

ALERTA TEMPRANA Y MONITOREO DE INCENDIOS FORESTALES

Los sistemas de alerta temprana de incendios forestales se vuelven cada vez más necesarios debido a la gran cantidad de daños causados alrededor del mundo. Incluso cobran mayor importancia para el monitoreo en las zonas de interfaz urbano forestal. En la actualidad existen diferentes enfoques para abordar este problema. Sin embargo, desde un punto de vista técnico, todavía no se ha resuelto completa y efectivamente (Volokitina et al., 2008). Tradicionalmente, la tarea de monitoreo se realizaba por un equipo capacitado en una torre de observación ubicada en un punto alto (Fleming y Joe, 2003). Este método de monitoreo sigue siendo aplicable en algunos países, aunque debido a la falta de fiabilidad de las observaciones humanas, diferentes técnicas de visión han sido propuestas, las cuales sólo son válidas en pequeños bosques dado que dependen del alcance de visión de los instrumentos.

Otro enfoque tiene que ver con el uso de imágenes satelitales, esta tecnología si bien permite asegurar la detección de grandes áreas, como método de alerta temprana presenta ciertas dificultades principalmente en términos de respuesta en tiempo real. Otro método ampliamente aplicado al monitoreo de incendios forestales se basa en la obtención de datos sobre la fuente de emisión utilizando sensores de adquisición de datos a bordo de aviones, vehículos no tripulados, drones, etc. Este enfoque requiere la disponibilidad de operadores y personal de mantenimiento de forma casi permanente, lo cual incrementa el costo de operación. Aunque su principal defecto, sin embargo, es que la resolución espacial y temporal se limita a una medición puntual en la ubicación actual del vehículo. Debido a estos inconvenientes, y con el propósito de minimizar el costo de monitoreo de los incendios forestales, las Redes de Sensores Inalámbricos o WSN, surgen como una solución apropiada dado que estos dispositivos son baratos, compactos y pueden ser desplegados en un territorio extenso funcionando de forma conjunta y autónoma (Baronti et al., 2007). En este contexto, el uso de WSNs para asegurar el monitoreo efectivo de fenómenos tales como incendios forestales cobran particular interés y significación en el ámbito científico (Leblon, 2005).

En la literatura se puede encontrar gran variedad de trabajos donde se utilizan las WSNs como herramientas de alerta temprana de incendios forestales. Por ejemplo, (Molina-Pico et al., 2016) describe una WSN jerárquica dirigida a la detección temprana de incendios en áreas de riesgo, integrados con los centros de mando contra incendios, sistemas de información geográfica y simuladores de incendios. Esta propuesta incluye la utilización de un receptor GPS para definir la ubicación específica de cada sensor. Este componente adicional por nodo afecta el desempeño energético de la red y aumenta de forma desmedida el costo de la misma, dado que la ubicación geográfica puede ser registrada al momento de instalar cada sensor evitando incurrir en el gasto que conlleva la utilización de los receptores GPS. Esto cobra más sentido aún si tenemos en consideración que varios nodos serán perdidos por cada acontecimiento de incendio forestal que ocurra.

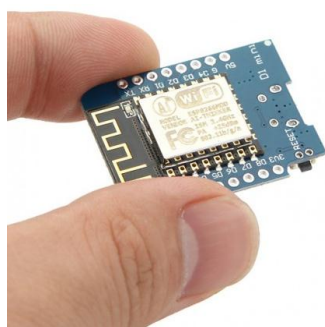


Figura 4. Chip ESP8266 D1.

En otro trabajo, (Aslan et al., 2012), se propone un framework integral para el uso de redes de sensores inalámbricos para la detección y el monitoreo de incendios forestales. El mismo incluye propuestas para la arquitectura de red de sensores inalámbricos, esquema de despliegue de sensores y protocolos de agrupación y comunicación. El objetivo principal del framework consiste en poder detectar una amenaza de incendio lo antes posible, el mismo no es implementado ni desplegado en un ambiente real.

Este trabajo plantea una WSN con disposición de cuadrícula uniforme lo que permite regular el consumo energético (Aslan et al., 2012). Esto además de facilitar la comunicación, permitirá la localización de los elementos evitando el uso de receptores GPS en cada nodo (Ángeles Serna et al., 2012).

Algunos de los estándares de comunicación entre los nodos de una WSN son: Zigbee, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11. Existen diversas alternativas para utilizar como hardware en los nodos de la WSN, se ha decidido utilizar para ello el chip ESP8266 D1 (Fig. 4). Cada nodo de la WSN cuenta con dos sensores: a) DHT11 (Mouser-Electronics, 2015), para obtener valores en tiempo real de temperatura y humedad, b) MQ-7 (Shailesh pandey et al., 2011) utilizado para detectar la presencia de monóxido de carbono lo permite indicar la existencia de fuego. Asimismo, teniendo en cuenta la definición de esquema y despliegue descripta, mediante el nivel de monóxido de carbono detectado por uno de estos sensores y el tiempo en el que el mismo nivel sea detectado por el próximo sensor, se podría realizar una estimación aproximada de velocidad y dirección del viento pudiendo prescindir de otros elementos más costosos. Es importante tener en cuenta que la WSN también puede ser utilizada para la lectura de variables de interés que permitan ser inyectadas en el método de predicción con el propósito de minimizar la incertidumbre.

Si bien el uso de WSN puede ser una herramienta prometedora para reducir la incertidumbre en los parámetros de entrada del sistema de predicción, éstas presentan limitaciones de cobertura debido a que generalmente son utilizadas en áreas que requieren un monitoreo permanente tales como las reservas naturales o zonas de interfaz urbano forestal. Debido a esto es necesario considerar su utilización junto con otras tecnologías como lo son las imágenes satelitales.

INFORMACIÓN SATELITAL

Debido a su cobertura repetitiva de gran área, los datos de satélite son útiles para la detección de incendios, monitoreo y evaluación del área quemada en tiempo casi real.

Los focos de calor MODIS son bastante utilizados como datos de entrada para la generación de eventos de incendios. La detección de focos de calor se basa en la

capacidad de un sensor remoto de capturar la energía emitida por la superficie terrestre en las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo medio y térmico. De acuerdo a las temperaturas emitidas por los incendios (entre 300°C y 1500°C), se establecen umbrales de temperatura que permiten detectar los frentes de fuego activos. El proceso de detección es influenciado por una diversidad de factores, que comprenden al tipo de vegetación quemada, el nivel de combustible acumulado, las condiciones ambientales, y cuestiones relativas a la geometría de observación de la plataforma satelital. Cada foco que se detecta activo (en llama) al momento del registro de la imagen, es representado sobre la superficie terrestre mediante la coordenada central del pixel. El tamaño de pixel MODIS correspondiente a los canales térmicos es de 1000 metros de lado, lo cual representa una superficie de 10.000 mts² (1 ha.). Los focos de calor son generados mediante el algoritmo MOD14 desarrollado por (Giglio et al., 2003). A lo largo de los últimos años, el algoritmo MOD14 ha pasado por diversas pruebas y validaciones que han resultado en mejoras sobre su capacidad de detección. La colección 6 (C6) es el producto de focos de calor actual, el cual, provee mejoras en cuanto a la calidad de detección de incendios pequeños (Giglio et al., 2016). Además, también existen adaptaciones de este algoritmo para poder incorporar datos de otras plataformas.

En este trabajo se realiza una primera aproximación al módulo de generación automática de mapas de áreas quemadas utilizando como punto de partida el trabajo de (Melchiori y Mari, 2018), donde presentan metodología para la clasificación de áreas quemadas en imágenes de sensores ópticos multispectrales, aprovechando las mejoras en las frecuencias temporales de adquisición cuando se utilizan en forma combinada datos producidos por los sistemas Landsat-8 y Sentinel-2.

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en las experimentaciones llevadas a cabo respecto al módulo de sensores inalámbricos como así también al módulo de generación de mapas. Cada experimento corresponde a la evaluación de aspectos específicos.

Experimento 1

Uno de los requerimientos de diseño de la WSN es ser constituya por elementos económicos, ya que será posible que parte de la red o su totalidad se vea afectada por las llamas. En la Fig. 5 se presenta gráficamente los componentes del sistema, los nodos de la red WSN se encuentra representada por puntos de color rojo en el bosque. Dado que los nodos se alimentan por baterías y un panel solar, es importante minimizar la cantidad de comunicaciones entre nodos. Debido a la distribución de cuadrícula, cada nodo se conecta con 8 vecinos, por lo que es crucial garantizar la capacidad de regeneración de la red mediante los mecanismos de comunicación de datos necesarios para que a medida que los nodos se desconectan la comunicación siga siendo efectiva entre todos los nodos de la red. Este experimento consiste en simular la caída de nodos en la WSN y evaluar el grado de regeneración de la red. La regeneración de la red es un aspecto de gran importancia ya que, ante la presencia de fuego y la eventual caída de nodos, la red debe poder regenerarse en forma automática. El experimento consiste en una red compuesta por 4 nodos.

Resultados

La regeneración de la red WSN opera de forma satisfactoria, logrando la regeneración de la malla completa (excepto los nodos caídos) en intervalos de latencia inferiores a los 0,1ms. Superando el tiempo al utilizar el método basado en TCP/IP.

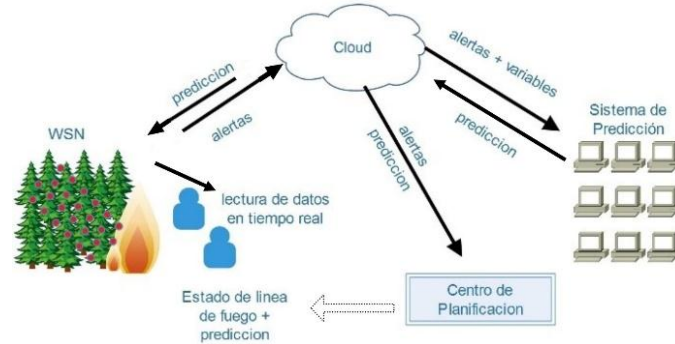


Figura 5. Incorporación de datos recolectados a diferentes sistemas y servicios.

Experimento 2

Debido a las limitaciones económicas y físicas para evaluar el rendimiento de una red a mayor escala se optó por realizar una simulación en el software CupCarbon (Bounceur et al., 2018). Se realizó una simulación para una superficie de 100 hectáreas, con el objetivo de determinar si una distribución basada en cuadrículas (ver Fig. 7) ofrece buen rendimiento. La red se configuró usando el protocolo 802.11 a máxima potencia de transmisión lo que permite colocar nodos cada 100 metros, i.e., 100 nodos en total.

Resultados

Las simulaciones realizadas evidencian una sobrecarga en los nodos cabecera, lo cual se traduce a consumo mayor de energía. En este sentido será necesario diseñar experimentos que permitan determinar las características específicas de energía para soportar la carga de trabajo necesaria.

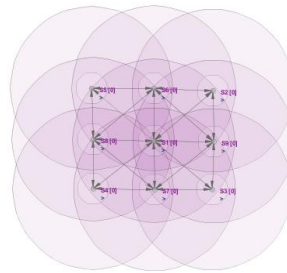


Figura 6. Modelo de conexión basado en cuadrícula de nodos WSN..

Experimento 3

Para evaluar el método de adquisición de imágenes y generación de mapas se seleccionó un incendio forestal para ser procesado, el mismo se trata de un incendio ocurrido en California en diciembre de 2017 (Euskal Irrati Telebista, 2017). El procedimiento de generación de mapas se representa gráficamente en la Fig. 7. Es importante tener en cuenta que el procedimiento original de generación de área quemada brinda como salida un perímetro vectorial, y el método de predicción opera con formato ASCII, por lo que se debió incorporar una etapa que realice dicha adaptación al final del procedimiento.

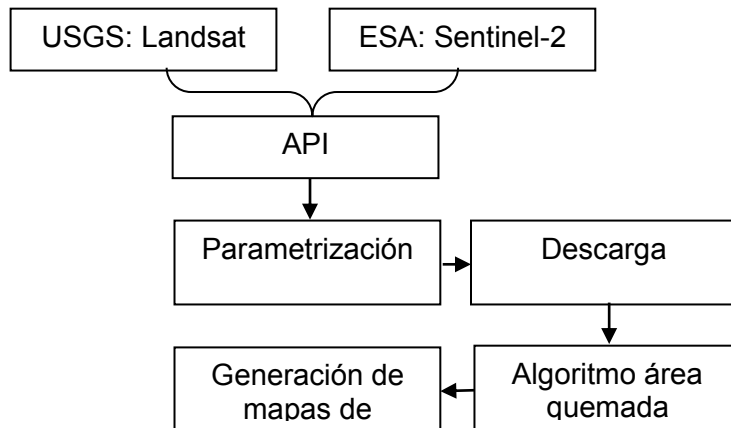


Figura 7. Diagrama de procesos del módulo de adquisición de imágenes y generación de mapas.

Resultados

La generación automática del perímetro de área quemada en formato ASCII, utilizando imágenes satelitales ofrece resultados aceptables, ya que permite obtener el perímetro de

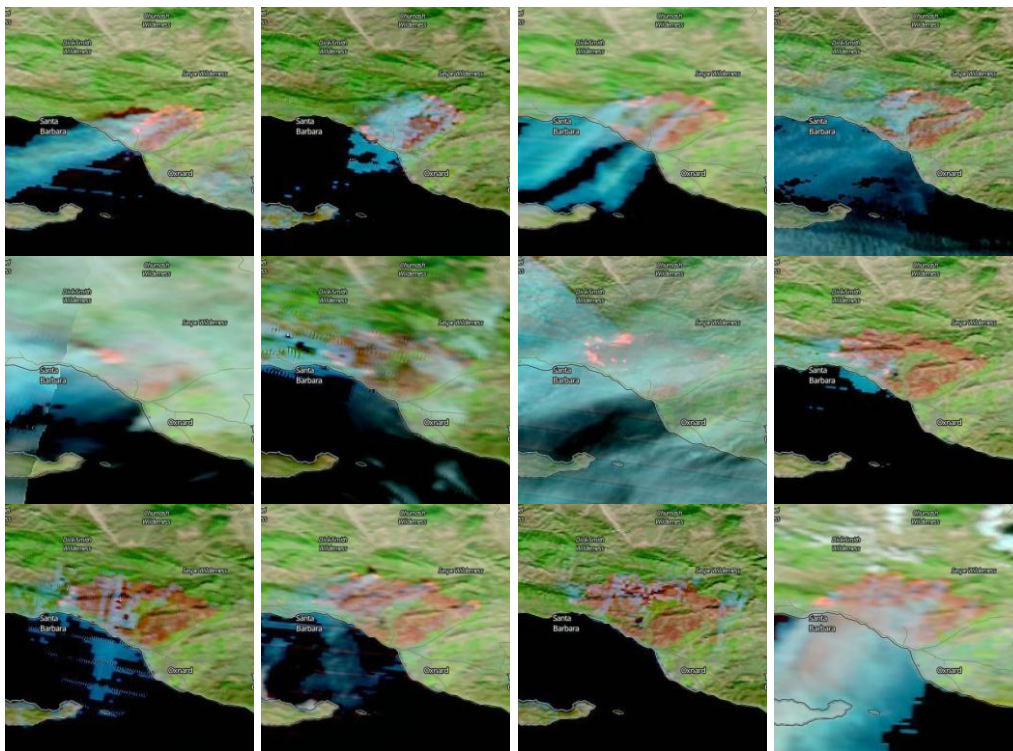


Figura 7. Evolución del incendio, en marrón se muestra la zona afectada por el fuego en cada imagen.

área quemada para cada día con muy buena aproximación.

CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta una propuesta de DDDAS aplicado a la detección, monitoreo y predicción del comportamiento de incendios forestales. La plataforma incorpora redes de sensores inalámbricos, adquisición de imágenes satelitales, generación automática de mapas y un método de reducción de incertidumbre, como sistema de predicción. La integración de todos los componentes aún no se ha realizado

ya que aún es necesario desarrollar más funcionalidades. En este trabajo se presentan resultados favorables obtenidos en los experimentos de regeneración de la red ante fallas permanentes o temporales. También se evidencia que la escalabilidad de la red estará limitada a la capacidad de los nodos centrales, lo cual requiere que un estudio futuro sea llevado a cabo con el propósito de determinar si es necesario incorporar componentes con hardware más potente. Y finalmente, la generación automática de mapas se encuentra operativa para Landsat y Sentinel-2, aún es necesario validar con mayor cantidad de incendios reales.

Como trabajo futuro resta realizar pruebas de campo para validar la correcta detección de incendios y la comunicación de las mediciones al sistema de predicción. Respecto al módulo de adquisición de mapas es necesario realizar experimentaciones con una mayor cantidad de casos.

REFERENCIAS

- Abdalhaq B. A Methodology to enhance the prediction of forest fire propagation. Universitat Autònoma de Barcelona; 2004.
- Alba E, Tomassini M. Parallelism and evolutionary algorithms. *IEEE Trans Evol Comput* 2002;6, no 5:443–62.
- Ángeles Serna M, Bermúdez A, Casado R. Modelado de incendios forestales con WSNs mediante múltiples envolventes. 2012.
- Aslan YE, Korpeoglu I, Ulusoy Ö. A framework for use of wireless sensor networks in forest fire detection and monitoring. *Comput Environ Urban Syst* 2012;36:614–25. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2012.03.002.
- Baronti P, Pillai P, Chook VWC, Chessa S, Gotta A, Hu YF. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Comput Commun* 2007;30:1655–95. doi:10.1016/j.comcom.2006.12.020.
- Beven K, Binley A. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. *Hydrol Process* 1992;6:279–98. doi:10.1002/hyp.3360060305.
- Bounceur A, Clavier L, Combeau P, Marc O, Vauzelle R, Masserann A, et al. CupCarbon: A new platform for the design, simulation and 2D/3D visualization of radio propagation and interferences in IoT networks. 2018 15th IEEE Annu. Consum. Commun. Netw. Conf., IEEE; 2018, p. 1–4. doi:10.1109/CCNC.2018.8319179.
- Buyya R. High Performance Cluster Computing: Architectures and Systems. Prentice Hall, PTR, NJ, USA; 1999.
- CNN. La cicatriz que dejó el incendio Woolsey en California se ve desde el espacio | CNN 2018. <https://cnnespanol.cnn.com/2018/11/22/la-cicatriz-que-dejo-el-incendio-woolsey-en-california-se-ve-desde-el-espacio/> (accedido 22 de noviembre de 2018).
- Collin D. Bevins. fireLib User Manual and Technical Reference. 1996.
- Darema F. Dynamic Data Driven Applications Systems: A New Paradigm for Application Simulations and Measurements. vol. 3038. 2004.
- Euskal Irrati Telebista. Un muerto y 500 casas destruidas en incendios de California de diciembre 2017 | Noticias del mundo | EiTB 2017. <https://www.eitb.eus/es/noticias/internacional/detalle/5263999/un-muerto-500-casas-destruidas-incendios-california-diciembre-2017/> (accedido 26 de noviembre de 2018).
- Fleming, Joe. Technology & Development Program Fire Management TechTips. 2003.
- Giglio L, Descloitres J, Justice CO, Kaufman YJ. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS. *Remote Sens Environ* 2003;87:273–82. doi:10.1016/S0034-4257(03)00184-6.
- Giglio L, Schroeder W, Justice CO. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and

- fire products. *Remote Sens Environ* 2016;178:31–41. doi:10.1016/j.rse.2016.02.054.
- Graham S. *Global Fire Monitoring* 1999.
https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalFire/fire_2.php (accedido 1 de mayo de 2018).
- Hough W. Fire and Human Civilization. *Proc Am Philos Soc* 1932;71:403–6. doi:10.2307/984649.
- Infobae. Ascendieron a 86 los muertos por los incendios en California - Infobae 2018.
<https://www.infobae.com/america/eeuu/2018/11/22/ascendieron-a-86-los-muertos-por-los-incendios-en-california/> (accedido 23 de noviembre de 2018).
- Leblon B. Monitoring Forest Fire Danger with Remote Sensing. *Nat Hazards* 2005;35:343–59. doi:10.1007/s11069-004-1796-3.
- Melchiori E, Mari N. Generación de mapas de áreas quemadas a partir de imágenes Landsat 8 OLI y Sentinel 2 MSI. *CAI, Congr Argentino AgroInformática* 2018:12–25.
- Méndez-Garabetti M, Bianchini G, Caymes-Scutari P, Tardivo ML. Increase in the quality of the prediction of a computational wildfire behavior method through the improvement of the internal metaheuristic. *Fire Saf J* 2016;82:49–62. doi:10.1016/j.firesaf.2016.03.002.
- Molina-Pico A, Cuesta-Frau D, Araujo A, Alejandro J, Rozas A. Forest Monitoring and Wildland Early Fire Detection by a Hierarchical Wireless Sensor Network. *J Sensors* 2016;2016:1–8. doi:10.1155/2016/8325845.
- Molina Terrén DM. Incendios forestales : fundamentos, lecciones aprendidas y retos de futuro. AIFEMA; 2010.
- Morgan P, Hardy CC, Swetnam TW, Rollins MG, Long DG, Mo R G A N P, et al. Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns. *Int J Wildl Fire* 2001;10:329–42. doi:10.1071/WF01032.
- Mouser-Electronics. Grove-Temperature and Humidity Sensor. 2015. NASA. MODIS Web 2018. <https://modis.gsfc.nasa.gov/> (accedido 23 de noviembre de 2018).
- Rothermel RC. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. vol. II. Res. Pap. INT-115, US Dept. of Agric., Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. (Ogden, UT.); 1972.
- Savtchenko A, Ouzounov D, Ahmad S, Acker J, Leptoukh G, Koziana J, et al. Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC. *Adv Sp Res* 2004;34:710–4. doi:10.1016/J.ASR.2004.03.012.
- Schroeder W, Prins E, Giglio L, Csizsar I, Schmidt C, Morisette J, et al. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sens Environ* 2008;112:2711–26. doi:10.1016/j.rse.2008.01.005.
- Shailesh pandey, Kumar G, Shailesh. Forest fire detection using GSM and MQ7 (gas sensor). *Int J Embed Syst Appl* 2011.
- Sohraby K, Minoli D, Znati T. *WSN Technology, Protocols, Applications*. 2007. doi:10.1002/047011276X.
- USGS. Landsat Missions. *United States Geol Surv* 2016:5–8. doi:10.1074/jbc.M311553200.
- Verhegghen A, Eva H, Ceccherini G, Achard F, Gond V, Gourlet-Fleury S, et al. The Potential of Sentinel Satellites for Burnt Area Mapping and Monitoring in the Congo Basin Forests. *Remote Sens* 2016;8:986. doi:10.3390/rs8120986.
- Volokitina A, Sofronov M, Sofronova T. Topical scientific and practical issues of wildland fire problem. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 2008;13:661–74. doi:10.1007/s11027-007-9120-7.

ESTUDIO DEL RUIDO MAGNÉTICO BARKHAUSEN EN ROCAS, RESULTADOS PRELIMINARES

Miriam Rocío Neyra Astudillo ^{(a,b)*}, María Isabel López Pumarega ^(a), Silvana Geuna ^(c), Martin Gómez ^(a,b)

^a ICES, Centro Atómico Constituyentes, CNEA, ARGENTINA

^b Fac. Reg. Delta, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Buenos Aires, ARGENTINA.

^c IGEBA, UBA- CONICET, Departamento de Ciencias Geológicas, FCEyN, UBA, ARGENTINA

e-mail: neyra@cnea.gov.ar

RESUMEN

Las propiedades magnéticas de las rocas reflejan la abundancia modal, composición y microestructura de los granos magnéticos que contienen, usualmente en muy pequeña proporción. La microestructura (tamaño y forma, grado de cristalinidad, relaciones texturales) influye fuertemente en el estado de dominio de los granos, que a su vez controla la intensidad y estabilidad de su magnetización remanente. El estudio de la magnetización remanente de las rocas (Paleomagnetismo) tiene aplicaciones en paleogeografía, geocronología relativa, modelado de anomalías magnéticas, entre otros muchos usos. Cuando los materiales ferromagnéticos son sometidos a campos magnéticos variables, el cambio en la inducción magnética ocurre de manera discontinua como resultado del movimiento de las paredes de los dominios magnéticos. Esos saltos discretos producen señales conocidas como Ruido Magnético Barkhausen (RMB). El RMB es sensible a las alteraciones microestructurales y a las tensiones residuales. Como consecuencia, puede ser utilizado como Ensayo No Destructivo en una gran cantidad de aplicaciones, por ejemplo monitoreo de variaciones microestructurales, control de calidad de tratamientos superficiales, degradación, tensiones, etc. En este trabajo se estudia magnéticamente con RMB muestras naturales que contienen proporciones variables de magnetita (Fe₃O₄), provistas por el Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Las mediciones se realizaron colocando cada una de las muestras en una bobina solenoidal y la bobina sensora sobre cada una de las superficies planas. Se digitalizaron las señales de RMB, y se les aplicó un filtro digital Butterworth de (5-200) kHz y se calculó el valor RMS. Los resultados preliminares que se presentan son alentadores, en cuanto a la posibilidad de la utilización del RMB en caracterización de rocas magnéticas.

Palabras Clave: Rocas, Paleomagnetismo, Magnetización, Ruido Magnético Barkhausen, Ensayo No Destructivo.

INTRODUCCIÓN

Las rocas pueden grabar algunas de las características del campo magnético existente en el momento de su formación; su lectura e interpretación en términos que permitan descifrar eventos geológicos significativos, es el objetivo de un importante campo de la geología, el paleomagnetismo [Dunlop David J. et al. (1997), Valencio, D.A., 1980].

El magnetismo de rocas es el estudio del comportamiento y las propiedades magnéticas de los distintos tipos de rocas y de los minerales que las constituyen, tal y como se encuentran en la naturaleza. La caracterización magnética de una muestra requiere la medición de diversos parámetros, como: susceptibilidad magnética, ciclos de histéresis magnética, curvas de adquisición, etc. Todos estos parámetros aportan información fundamental para identificar los diversos minerales ferromagnéticos presentes en una muestra y su estado magnético (superparamagnético, monodominio, pseudo-monodominio, multidominio), que depende principalmente del tamaño y la forma de los granos o cristales [Dunlop David J., et al. (1998)].

Los estudios de magnetismo de rocas, ya sean completos o parciales, suelen llevarse a cabo complementariamente a cualquier estudio paleomagnético, con el objeto de averiguar cuáles son los minerales ferromagnéticos portadores de la magnetización remanente, ya que eso puede tener importantes implicaciones acerca del origen, estabilidad e historia.

Además, el magnetismo de rocas es un campo de investigación interesante, para conocer la microfísica de los minerales. Es también una herramienta fundamental para los estudios de magnetismo ambiental o paleoambiental, que intentan caracterizar las fases magnéticas presentes en sedimentos recientes o antiguos y su variación, tanto espacial como temporal. Dada la conexión entre los parámetros ambientales o paleoambientales y la presencia y estado de unos u otros minerales ferromagnéticos, esto nos permite extraer información ambiental o paleoambiental importante [Chaparro Marcos A. E., et al. (2014)].

El magnetismo en las rocas está inscrito en unos pocos minerales dentro de los cuales los más importantes son aquellos en cuya composición están presentes los óxidos de hierro y titanio, como por ejemplo la magnetita y la hematita [Dunlop David J. et al. (1997)].

En los diferentes estudios de magnetismo se realizan mediciones magnéticas destructivas y no destructivas. El Ruido Magnético Barkhausen (RMB) es una técnica de Ensayo No Destructivo y es ampliamente utilizado para la caracterización microestructural de materiales magnéticos. Esta técnica se basa principalmente en los movimientos irreversibles de las paredes de los dominios magnéticos que deben superar los puntos de anclaje, como bordes de grano, dislocaciones, precipitados, etc. Estas imperfecciones impiden el movimiento de las paredes de los dominios hasta que un aumento en el campo magnético aplicado, proporciona la energía necesaria para liberar a las paredes de dichos obstáculos. Estos puntos de anclaje producen un salto repentino en la magnetización produciendo un cambio de flujo llamado RMB [Neyra Astudillo M. R. et al. (2018)].

En esta trabajo se utiliza el RMB en la caracterización magnética en muestras de roca que contienen diferentes proporciones variables de magnetita (Fe_3O_4), provistas por el Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Es importante destacar que son los primeros estudios realizados en Argentina sobre materiales naturales (rocas) con esta técnica.

Las mediciones se realizaron en 11 muestras cilíndricas, que contienen diferentes porcentajes de magnetita. Se midió el RMB sobre la superficie de las dos caras planas circulares, usando diferentes tipos de excitación magnética (yugo y solenoide). En este Trabajo se presenta el estudio de las señales de RMB a través del valor RMS, permitiendo establecer el tipo de excitación más adecuado.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se comentan brevemente las principales características de las muestras empleadas y el tipo de técnica que se utilizó para la caracterización magnética.

Materiales

Las muestras estudiadas contienen diferentes proporciones de magnetita (Fe_3O_4). Sus dimensiones son: 23 mm diámetro x 20 mm de alto. En la Figura 1 se muestra una fotografía de las probetas con su codificación específica. En la Tabla 1 se indican las diferentes características de las probetas, tales como volumen, densidad, susceptibilidad magnética y porcentaje en peso de material ferromagnético, estimado este último a partir del valor de susceptibilidad magnética [Clark y Emerson 1991]. En la Tabla 2 se indican la proveniencia de cada una de las muestras y su caracterización geológica.



Figura 1. Fotografía de las muestras.

Sistema de medición del RMB

El diagrama de la Figura 2 muestra el esquema del sistema de medición empleado. Se realizaron dos tipos de ensayos, empleando dos métodos de excitación diferente: yugo y solenoide.

En el primer ensayo para generar el campo magnético se usó un yugo, que se colocaba sobre cada cara plana, manteniendo entre sus apoyos, la bobina sensora. El campo magnético de excitación se lograba con una corriente sinusoidal de 10 Hz producida por un generador de funciones Stanford con un voltaje máximo de 8 V, luego ésta era amplificada. Las señales generadas en cada una de las dos caras fueron identificadas como: “con texto” y “sin texto”, teniendo en cuenta dónde estaba escrito el

nombre de la probeta. Se trabajó con un osciloscopio digital de 4 canales Lecroy Wave Runner 44MXi, con una frecuencia de digitalización de 5 Ms/s. En el canal 1 se registró la corriente sobre el yugo, en el canal 2 la señal del RMB y en el canal 3 tensión de excitación. En la Figura 3 a), se muestra la fotografía del sistema de medición y en b) una ampliación que permite ver cómo fue colocado el yugo sobre la probeta.

Para el segundo ensayo se mantuvieron las mismas condiciones, solo que el yugo fue reemplazado por el solenoide dentro del cual se colocaba la probeta.

Tabla 1. Características principales de cada una de las muestras.

Nombre	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)(1)	Susceptibilidad másica (2) (200 A/m)	Ferromagnético (%) (3)
CAN01-A6	10,2	4,63	4.01E-04	65
CAN03-B1	9,9	4.32	4.19E-04	63
136739-1	10.4	4.46	3.63E-04	55
SO-011-303b	9.7	3.92	3.60E-04	47
291043-2	10.2	3.24	3.91E-04	42
136221-a2	10.3	3.47	2.99E-04	33
126475-2	10.3	3.11	3.04E-04	30
291044-1	10.2	3.34	2.01E-04	21
291042-4	10.4	2.90	1.40E-04	12
SO-011-332b	10.5	2.72	8.64E-05	7
126395-2	10.2	2.62	5.22E-05	4

- (1) Determinada por el método de inmersión.
- (2) Medida con susceptibilímetro Kappabridge MFK1-FA Agico, propiedad de IGEB (UBA-CONICET).
- (3) Estimada a partir de la susceptibilidad magnética según relaciones en Clark y Emerson (1991).

Tabla 2. Proveniencia de las muestras analizadas.

Nombre	Repositorio
CAN01-A6	Yac. Candelaria, Chile, andesita inferior con magnetita - calcopirita (pirita, hematita)
CAN03-B1	
136739-1	Skarn DOZ Grasberg, Indonesia
SO-011-303b	Yac. Candelaria, Chile, brecha de magnetita en andesita inferior (magnetita- calcopirita)
291043-2	BIF península Eyre, South Australia
136221-a2	Grasberg, skarn Ertsberg.
126475-2	Grasberg, stockwork con magnetita, Indonesia
291044-1	BIF península Eyre, South Australia
291042-4	
SO-011-332b	Yac. Candelaria, Chile, andesita inferior con magnetita
126395-2	Grasberg, stockwork con magnetita y alteración filica, Indonesia

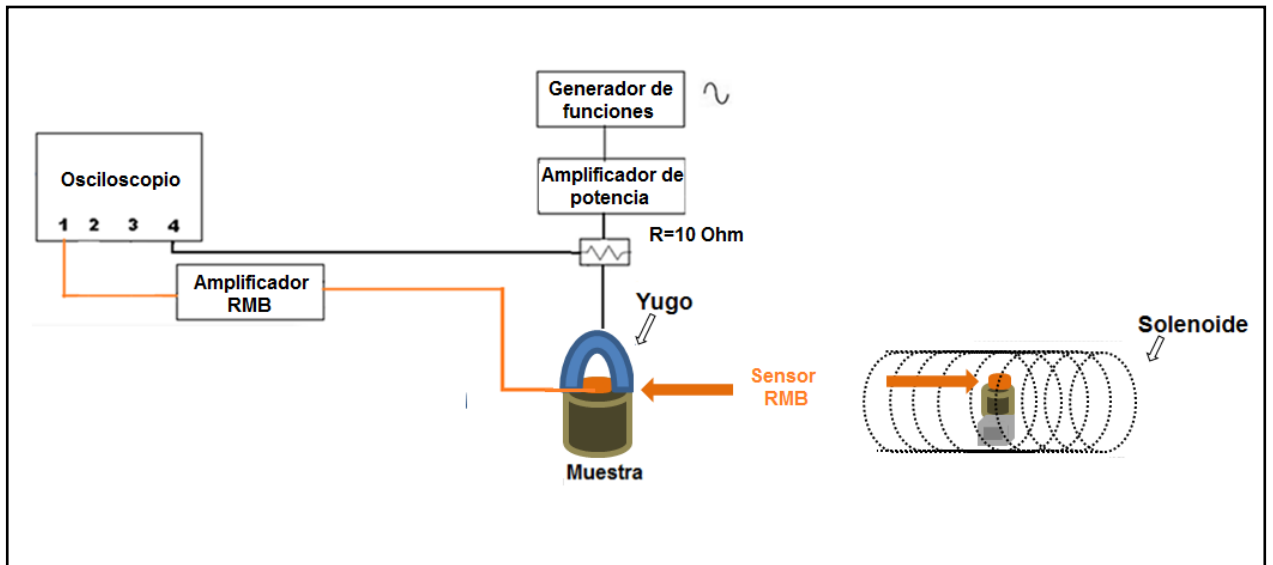


Figura 2. Esquema del sistema de medición del RMB.

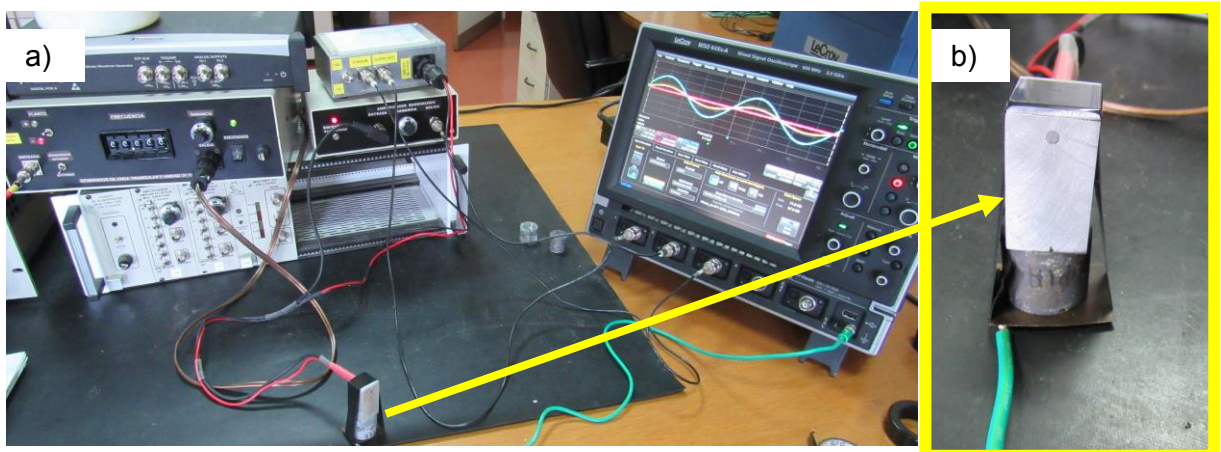


Figura 3. a) Fotografía del sistema de medición b) ampliación de cómo fue colocado el yugo magnético sobre la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al estudiar las señales de RMB, se procedió primero a filtrarlas digitalmente, para disminuir la influencia del ruido. Se empleó un filtro pasabanda (5 kHz a 200 kHz) de tipo Butterworth de 4^o orden. En la Figura 4 se muestran para la probeta CAN03-B1, las señales de RMB (color azul) obtenidas mediante la excitación del yugo, después de haber sido filtradas, junto con la corriente de excitación (color rojo). A partir de las señales filtradas se calculó el valor RMS del RMB para los dos ciclos completos de excitación. En la Figura 5 a) se graficó el promedio de los valores RMS de ambas caras

en función del porcentaje estimado del mineral ferromagnético. Este mismo procedimiento se repitió luego para el caso del solenoide (Figura 5 b). En los dos casos se graficó la recta de regresión lineal indicándose el correspondiente coeficiente.

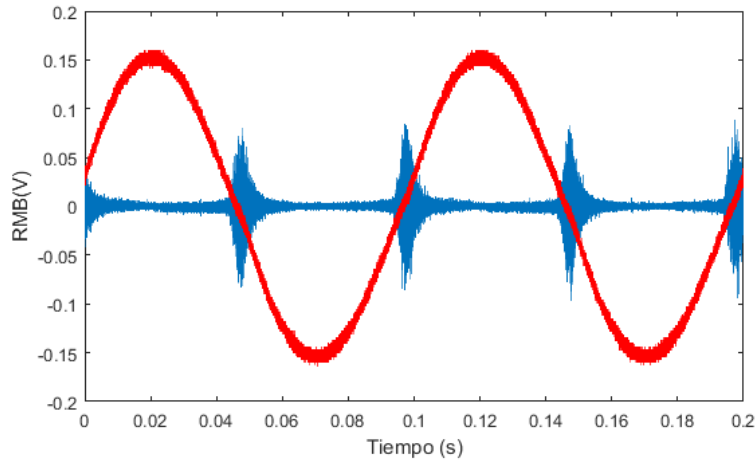


Figura 4. Gráfico de la señal RMB filtrada.

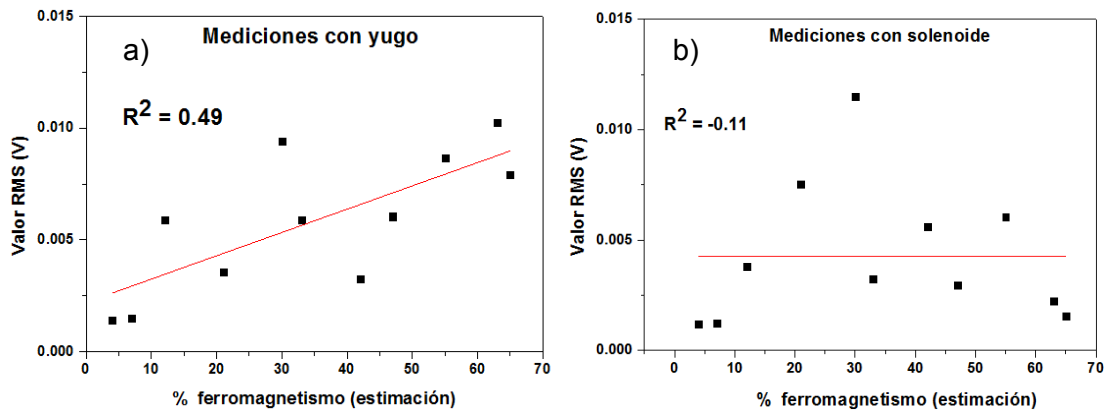


Figura 5. Gráfico de los valores RMS en función del porcentaje de mineral ferromagnético estimado, a) con el yugo, b) con el solenoide.

En la Figura 6 se observan los valores obtenidos para el Valor RMS en función de porcentaje de la susceptibilidad magnética, para los diferentes modos de excitación a) yugo y b) solenoide. Al igual que en la figura anterior, en los dos casos se graficó la recta de regresión lineal indicándose el correspondiente coeficiente.

De las Figuras 5 y 6, se deduce que los resultados de las señales de RMB de las mediciones con el yugo, mostraron menor dispersión, mayor coeficiente de correlación positivo y mejor sensibilidad (mayor pendiente de la recta), tanto para el porcentaje de mineral ferromagnético como para la susceptibilidad másica, en el caso de la excitación con el yugo. Esto podría significar la acción de un fenómeno complementario a ser estudiado a futuro.

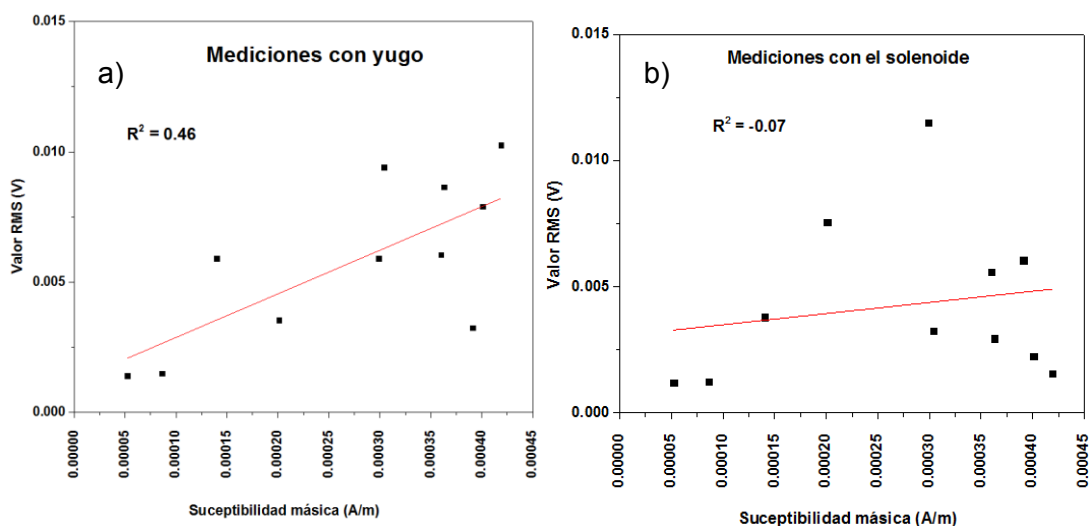


Figura 6. Gráfico de los valores RMS en función del porcentaje de la susceptibilidad magnética, a) con el yugo, b) con el solenoide

CONCLUSIONES

Por primera vez en este Laboratorio se estudiaron con RMB muestras de rocas de diferentes orígenes, con proporciones variables de magnetita, provistas por el Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

Los resultados preliminares mostraron que el RMB, medido con el yugo magnético presentó menor dispersión y mayor sensibilidad que los obtenidos con el solenoide. El ajuste lineal del RMB para el caso con yugo, con respecto al % de minerales ferromagnéticos y a la susceptibilidad magnética, mostraron una tendencia creciente pero con baja correlación. Estos son resultados preliminares que se esperan profundizar y mejorar con futuros ensayos.

REFERENCIAS

Chaparro Marcos A. E., Gargiulo José D., Irurzun María A., Chaparro Mauro A.E., Lecomte Karina L., Böhnell Harald N., Córdoba Francisco E., Vignoni Paula A., Manograsso Czalbowski Nadia T., Lirio Juan M., Nowacz Yk Norbert R., Sinito Ana M., El uso de parámetros magnéticos en estudios paleolimnológicos en Antártida, *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, versión On-line ISSN 1851-4979, *Lat. Am. j. sedimentol. basin anal.* V.21 N.2, La Plata (2014).

Clark, D.A., & Emerson, D.W., Notes on rock magnetization characteristics in applied geophysical studies: *Exploration Geophysics*, v. 22, p.547–555, (1991).

Dunlop David J., Ozdemir Ozden, *Rock Magnetism*, Published By the Press Syndicate Of The University Of Cambridge, pp. 573, (1997).

Neyra Astudillo Miriam Rocío, Nuñez Nicolás, López Pumarega María Isabel, Ruzzante José, Linilson Padovese Rodriguez, Ruido magnético Barkhausen para el estudio de la anisotropía magnética en aceros inoxidable, *Revista Materia*, V 23, N° 2, N 1517- 7076 artículo e – 12118 (2018).

Valencio, D.A., *El magnetismo de las rocas: su aplicación geológica, la deriva continental, la tectónica de placas y otros problemas geofísicos y geológicos*. EUDEBA, pp 351, Buenos Aires, (1980).

EVALUACIÓN PROBABILÍSTICA DEL RIESGO EN DESTINOS TURÍSTICOS COSTEROS. DISEÑO DE UN SISTEMA DE INDICADORES APLICADOS EN LA COSTA BONAERENSE

Puccio H., Grana N., Adaniya S. y Marshall G. ^a

^a INDICAT, Facultad de Ciencias Aplicadas al Turismo y la Población, Universidad de Morón, Buenos Aires.

e-mail: hpuccio@gmail.com

RESUMEN

La costa de la Provincia de Buenos Aires se caracteriza por su actividad turística de sol y playa, con lugares de gran afluencia de visitantes nacionales y extranjeros, y por la ocurrencia frecuente, en el contexto del Cambio Climático, de fenómenos naturales extremos, como son los fuertes vientos con lluvias y las marejadas. Es importante medir el riesgo y la gestión de éstos, a causa de los fenómenos naturales, mediante un sistema de indicadores transparentes y de fácil comprensión por parte de los responsables de formular políticas públicas a nivel nacional y local. El objetivo del presente trabajo es proponer el diseño de un sistema de indicadores que permitan realizar una evaluación probabilística del riesgo. Su desarrollo se circunscribe en la propuesta teórica metodológica de la denominada Iniciativa CAPRA Probabilistic Assessment Platform (BID), y en la utilización de su plataforma de análisis. En ésta, se cruzan los indicadores de las Amenazas, la Vulnerabilidad, con el tipo de desastres y /o daños causados, y el cálculo de las pérdidas junto a los indicadores de la intervención estatal por medio de la gestión.

Como resultado, el diseño probabilístico del riesgo concerniente a los municipios de Pinamar y de Necochea está conformado por los siguientes índices: i (Índice de Desastres Locales); IDL (captura la problemática de riesgo social y ambiental ocasionados por eventos frecuentes menores que afectan de manera crónica a escala local); ii (Índice de Vulnerabilidad Prevalente); IVP (está constituido por una serie de indicadores que caracterizan las condiciones prevalentes de vulnerabilidad de los lugares); iii (Índice de Gestión de Riesgo); IGR (corresponde a un conjunto de indicadores relacionados con el desempeño de la gestión municipal y provincial de riesgos).

Conclusión. Cualesquiera sean las características de las amenazas naturales, a mayor gestión se predice la disminución de la vulnerabilidad prevalente y, por ende, menor sería la probabilidad del riesgo y las pérdidas socioeconómicas en municipios que tienen al turismo de playa como recurso económico, tanto si éste es principal o parcial.

Palabras clave: Riesgo de Desastres, Evaluación Probabilística, Sistema de Indicadores, Gestión del Riesgo.

INTRODUCCIÓN

Los destinos turísticos de sol y playa localizados a lo largo de la costa atlántica bonaerense han desarrollado ciudades y urbanizaciones muy particulares de la mano del negocio inmobiliario que acompaña al desarrollo del turismo. Poblaciones y costas en los últimos 30 años están siendo afectadas consuetudinariamente por eventos extremos, frecuentemente las denominadas sudestadas con onda de tormenta por encima de 1,60 metros y de precipitaciones abundantes en menos de 48 horas, tal como ocurre en otros sitios del planeta (Barros, 2004), (Isla, 1994), (García 2011 pág. 388). Existen evidencias de que las mismas se deben al calentamiento global, el cual según la IPCC (2014) genera cambios abruptos en los patrones de temperatura y de lluvias, y un creciente aumento del nivel marino de hasta 2 ó 3 mm/año, aumentando la vulnerabilidad de las costas bajas, las cuales están expuestas al aumento de ondas de tormenta y a procesos de erosión costera (García op, cit pág, 287). Según Romero & Maskrey (1993; 7) "...ser vulnerable a un fenómeno natural (precipitaciones torrenciales, vientos intensos, etc.) es poseer una predisposición intrínseca o ser susceptible, tanto un sujeto o un grupo de elementos, a sufrir un daño". En el caso de las costas bonaerenses, son doblemente propensas a sufrir un daño, ya que las playas prestan servicios ecosistémicos para la actividad turística, de la cual dependen las comunidades que allí habitan, cumpliendo una doble función: por un lado, son consideradas como un atractivo -servicio cultural-; por otro lado, también son entendidas como un soporte para los servicios turísticos -servicios de apoyo- (Puccio et. al. 2018 a).

Estos cambios (IPCC 2013:4) que se producen a nivel del ambiente físico refieren al Cambio Climático, el cual constituye, en términos de tiempos geológicos y humanos, un cambio brusco. Los tiempos que conlleva tal cambio, en términos de temperatura, pluviosidad, intensidad de huracanes, y otros eventos, exceden los tiempos normales de cambio y evolución histórica en estos parámetros (IPCC 2014: anexo glosario). El cambio en el patrón del clima y en su variabilidad interna ya no se presenta paulatinamente, y tal diferencia lo hace dramático por las consecuencias que acarrea a las comunidades humanas y a su entorno de vida. Por lo tanto, si las consecuencias del cambio climático afectan a toda la población mundial, es perentorio poner atención a las catástrofes por causas naturales o antrópicas (denominadas amenazas) para atemperar, o enfrentar tales efectos y sus consecuencias en la vida del hombre. Como dice Anthony Giddens (2009: 17) "...que el intento de frenar el cambio climático no es para 'salvar el planeta', ya que el mismo sobrevivirá, haga lo que se haga; la cuestión es preservar y si es posible mejorar la calidad de vida de los seres humanos que lo habitan".

En esa línea de pensamiento se hallan los estudios del riesgo de desastres desde la perspectiva teórica metodológica de la "construcción social del riesgo" (Wilches-Chaux, G. 1993). Entendiendo por desastre al "producto de la convergencia, en un momento y lugar dado, de dos factores: riesgo y vulnerabilidad". Riesgo es cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente ocupado por una comunidad, que sea vulnerable a ese fenómeno por su incapacidad de "absorber", mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente. Precisamente, esa incapacidad para adaptarse a ese cambio es lo que constituye un riesgo para la comunidad (García op cit.), (Cardona 2003), (Puccio et. al 2017: 381).

Los efectos del cambio climático causan problemas que afectan a las poblaciones suscitando problemáticas sociales frente a las cuales los gobiernos han debido pasar de un enfoque reactivo a un enfoque proactivo de gestión; es decir, estar preparados financiera y técnicamente no sólo para actuar frente a los desastres producidos con el apoyo externo (créditos), sino también para

disminuir la vulnerabilidad social, para disminuir el riesgo de desastres y afrontar financieramente a los mismos, requiriendo para ello información clara y precisa. En virtud de ello, el BID (Banco Interamericano para el Desarrollo) juntamente con el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia -sede Manizales-, diseñaron un sistema entre 2003 y 2005 denominado "Programa de Información e Indicadores para la Gestión de Riesgos" (BID 2016). La finalidad del programa a grandes rasgos es dimensionar la vulnerabilidad y el riesgo, empleando indicadores a escala nacional, para facilitar la toma de decisiones en la formulación de políticas públicas de cada país, brindando información relevante para las propuestas de gestión del riesgo de desastres, considerando aspectos macroeconómicos, sociales, institucionales y técnicos. Pero no menos importante entre sus objetivos es la identificación de los principales factores que contribuyen a la configuración del riesgo en determinado territorio. Precisamente, desde esta última perspectiva del programa, para el presente trabajo, se diseñó un sistema de indicadores locales, con algunas observaciones relacionadas al turismo como actividad productora y económica, que a modo de propuesta, posibilitaría la identificación de los factores de riesgo en los destinos turísticos costeros de la provincia de Buenos Aires. Estos indicadores no se han puesto a prueba.

La decisión de optar por indicadores de actuación local es debido que los impactos sociales del cambio climático se producen en determinados y acotados territorios, por tanto, el Riesgo de Desastres siempre tiene características locales que se deben comprender para determinar los medios para su reducción. Se requieren inversiones públicas y privadas, siendo éstas más rentables si se dirigen a acciones cuya prioridad es la prevención por sobre las acciones de contingencia.

REFERENCIAS TEÓRICAS Y METODOLÓGICAS

El glosario del Informe IPCC (2014: anexo glosario) y desde la perspectiva teórica de la construcción social del riesgo, conceptualiza el RD (Riesgo de Desastres) definiendo a sus componentes como factores del riesgo. Ellos son las amenazas (naturales y antrópicas) y la vulnerabilidad social a los que últimamente se le sumó, la exposición a las amenazas y la resiliencia social. Desde ese marco de referencia se definen y operacionalizan los conceptos antes nombrados para el diseño de variables e indicadores.

Se define *desastre* como una modificación del funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad debido a fenómenos físicos peligrosos que interactúan con las condiciones sociales vulnerables, dando lugar a efectos humanos, materiales, económicos o ambientales desfavorables generalizados. Tales condiciones demandan respuestas inmediatas (2014 op, cit).

Al *riesgo* se lo entiende como consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, y se lo relaciona con la probabilidad de la ocurrencia. En el presente informe, se lo utiliza para referirse a las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias adversas para la vida; los medios de subsistencia; la salud; los ecosistemas y las especies; los bienes económicos, sociales y culturales; los servicios (incluidos los servicios ambientales) y la infraestructura (2014 op. cit.). En los territorios de los destinos turísticos costeros con las variaciones climáticas se generan los denominados riesgo *actual*, y *riesgo a futuro*. Con el *actual o riesgo ya creado*, existen elementos socioeconómicos expuestos en condiciones de vulnerabilidad ante fenómenos físicos potencialmente peligrosos, como es el caso del aumento del nivel del mar y la de intensificación de eventos extremos tales como las sudestadas, que impactan en las costas con la consabida disminución de las playas. Cuando los riesgos afectan a determinados territorios, éstos se denominan "territorio de impacto"; y cuando los territorios generan riesgo, se denominan "territorio de las causalidades". El territorio de las

causalidades, por ejemplo, en el caso de la costa, está comprendido por aquellos territorios, incluidos en los médanos, que han sido mercantilizados con las sucesivas etapas de urbanizaciones y forestaciones. Estos riesgos son actuales porque se han constatado en ellos la existencia de las amenazas/peligros y las vulnerabilidades sociales. Sin embargo, también están los riesgos a futuro, que se relacionan con la prospección del riesgo, es decir al entendimiento anticipado de su probable consolidación en el futuro. El riesgo futuro puede tipificarse cuando no hay riesgo actual o consolidado; es decir, cuando los dos factores de riesgo, las amenazas/peligros y las vulnerabilidades no se han constatado aún en el territorio, pero se cuenta con la información suficiente para prever su futura aparición. Por ejemplo, en el caso de estudio ante las predicciones del aumento de la temperatura y del nivel del mar, se visualiza un escenario futuro con la hipotética destrucción de las playas como actualmente se conoce y, por ende, la desaparición de un recurso económico (el turismo).

El concepto de *peligro* (op.cit. pág. 193) se refiere generalmente a sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima, o los impactos físicos de éste. Impactos físicos que pueden causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales

La misma fuente bibliográfica (op.cit. pág. 195) define *resiliencia* (resilience) como la "...capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligrosa respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conserven al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación". También de la misma fuente (op. cit. pág.196) los *servicios ecosistémicos* son procesos o funciones ecológicos que tienen un valor -monetario o no- para los individuos o para la sociedad en general. Generalmente se clasifican en: 1) servicios de apoyo, por ejemplo, mantenimiento de la productividad o la biodiversidad; 2) servicios de aprovisionamiento, por ejemplo, de alimentos, fibra o pescado; 3) servicios de regulación, por ejemplo, regulación del clima o secuestro de carbono, y 4) servicios culturales, por ejemplo, el turismo o el disfrute espiritual o estético.

El abordaje del diseño de un sistema de indicadores de riesgo se realizó desde la perspectiva conceptual y metodológica del Sistema de Indicadores de Riesgo y BID IDEA para AR (2016). Conforman al sistema cuatro componentes o índices compuestos que reflejan los principales elementos que representan la vulnerabilidad y el desempeño de cada país en materia de gestión de riesgos de la siguiente manera: **a)** El Índice de *Déficit por Desastre IDD*, que refleja el riesgo del país en términos macroeconómicos y financieros ante la probabilidad de ocurrencia de eventos catastróficos, cuyos efectos deberían ser subsanados con la capacidad financiera con que cuenta el país, evaluando el hipotético impacto en función del tiempo de exposición al evento. **b)** El índice de Desastres Locales *IDL*. Trata a los riesgos generados por eventos climáticos que afectan al territorio a nivel local en forma crónica. Este tipo de eventos alteran a los estratos socioeconómicos más frágiles de la población. **c)** El Índice Vulnerabilidad Prevalente *IVP* refiere a la vulnerabilidad socio económica y a la falta de resiliencia social de las comunidades. **d)** El Índice de Gestión de Riesgo *IGR*, es un conjunto de indicadores relacionados con el desempeño de la gestión de riesgos de tal territorio o país que reflejan su organización, capacidad, desarrollo y acción institucional para reducir la vulnerabilidad, reducir las pérdidas, prepararse para responder en caso de crisis y de recuperarse con eficiencia.

Este escrito en particular está enfocado solamente en el diseño de los indicadores que registran los riesgos de desastres (locales) y de la vulnerabilidad prevalente en destinos turísticos costeros de la provincia de Buenos Aires que cuenten con playas respaldadas por médanos, como es el caso de Pinamar. Los referentes teóricos metodológicos, los Índices de Desastres Locales *IDL* e *IVP*, el Índice de Vulnerabilidad Prevalente que, si bien han sido ideados y diseñados para ser aplicados a escala nacional, se intenta efectuar un diseño de aplicación local, para lo cual las informaciones

no todas están disponibles, para arribar a un cálculo probabilístico (de índole matemático) repitiendo los mismos indicadores del marco teórico. Respecto del índice IDL, la información está disponible en la red *DesInventar* de la RED.

Para registrar los riesgos y desastres locales se diseñaron dos modelos de fichas (ver figuras N°1 y N°2).

Cambio climático y Riesgo				
Lista de Indicadores	Temas	Subtemas	Indicador	Unidad de medida

Figura N° 1. Ficha para registrar indicadores. Elaboración propia

En la Figura N° 1, Ficha para registrar indicadores, se lleva el registro de temas (factores), sus indicadores y fuentes. En la Figura N°2 se describe detalladamente al indicador.

RESULTADOS

Riesgos locales.

El IDL es un índice que refleja simultáneamente la incidencia y la uniformidad de la distribución de los efectos del cambio climático en un territorio local, dando cuenta del peso relativo y la persistencia de los efectos causados por los diferentes fenómenos que originan desastres en la escala municipal. El IDL lo constituye la suma de tres subindicadores calculados con base en las cifras de personas fallecidas (K), personas afectadas (A) y pérdidas económicas (L) en cada municipio del país obtenidas de la base de datos *DesInventar*, causadas por cuatro tipos de eventos genéricamente denominados: deslizamientos y flujos; fenómenos sismo-tectónicos; inundaciones y tormentas; y otros eventos.

Descripción detallada de indicadores		N° x
Nombre del Indicador		
Tema	Subtema	
Definición		
Metodología		
Valores de referencias		
Justificación		
Otras instituciones que utilizan estos indicadores		

Figura N°2. Ficha descriptiva de un indicador. Elaboración Propia

En este trabajo, por la naturaleza de los eventos consuetudinarios dados geográficamente en el destino Pinamar, se consideran como amenazas a las tormentas denominadas sudestadas. Un mayor valor relativo del IDL significa una mayor regularidad de los diferentes tipos de eventos y la distribución de los efectos entre todos los municipios de un país. IDL va de 0 a 100 y el IDL total es la suma de los tres componentes, lo que significa que varía de 0 a 300. Un valor menor (0-20) del IDL por cada tipo de efectos (fallecidos, afectados y pérdidas económicas), y para el IDL total, entre 0 y 60, significa que existe una alta concentración de desastres.

Vulnerabilidad Prevalente.

El IVP es un índice que caracteriza a las condiciones prevalentes de vulnerabilidad del país en términos de exposición en áreas propensas, fragilidad socioeconómica y falta de resiliencia (BID 2015 pág. 26). Es un indicador compuesto que intenta dar cuenta, con fines de comparación, de una situación y sus causas o factores. El IVP está compuesto por tres subindicadores o subtemas (ver Figura N° 3): el IVPES (susceptibilidad por el grado de exposición física de bienes y personas); el IVPEFS de fragilidad socioeconómica y; por último, el IVPFR, que mide la falta de resiliencia.

Cambio climático y Riesgo					
Lista de Indica- dores	Temas	Subtemas	Indicador	Unidad de medida	
		Desastres Locales	Índice Des. Locales	K personas fallecidas	1-100 valor menor 0-20
			A personas afectadas	1-100 valor menor 0-20	
			L pérdidas locales	1-100 valor menor 0-20	
	Vulnerabilidad prevalente	Exposición y susceptibilidad	ES1. Crecimiento poblacional	tasa promedio anual en %	
			ES2 Crecimiento urbano	tasa promedio anual en %	
			ES3 Densidad poblacional	personas por área (5Km2)	
			ES4 Porcentaje de población pobre	ingresos menores a US\$ 1	
			ES5 Stock de capital	ml \$U/ 100km ²	
			ES6 Valor import.export.bienes y servicios	en % del PIB	
			ES7 Inversión fija interna del gobierno	porcentaje del PIB	
			<u>ES8 Territorio con aptitud turística</u>	<u>porcentaje del área del suelo</u>	
		Fragilidad socioeconómica	FS1 Índice de Pobreza Humana	HPI-1.	
			FS2 Población vulnerable dependiente	población capcid. Trab.	
			FS3 Desigualdad social	índice de Gini.	
			FS4 Desempleo	% fuerza total trabaj	
			FS5 Inflación	costo alimentos % anual	
			<u>FS6 Dependencia económica del turismo</u>	en % anual	
			FS7 Servicio de la deuda	Porcentaje PBI	
			FS8 Degradación antropg. del suelo	GLASOD)	
		Falta de resiliencia	FR1 Índice de Desarrollo humano	[Inv]	
			FR2 IDH con género	[Inv]GD	
			FR3 Gasto social;	[Inv]	
			FR4 Índice de Gobernabilidad	[Inv]Kaufman	
			FR5 seguros infraest. y vivienda	[Inv]	
			FR6 Televisores por cada 1000 habitantes	[Inv]	
			FR7 Camas hospit./ 1000 habitantes	[Inv]	
			FR8 Índice de Sostenibilidad Ambiental	ESI [Inv]	

Figura N°3. Lista de indicadores de desastres locales y de vulnerabilidad prevalente. Elaboración propia

En el IVPES Índice de Vulnerabilidad prevalente por grado de exposición y susceptibilidad, en un destino turístico costero se reemplaza el indicador IVPES N°8. Tierra arable y cultivos permanentes en porcentaje del área del suelo por IVPES N°8 bis Tierra con aptitud turística en porcentaje del área del suelo. En el índice IVPFS de fragilidad socioeconómica se reemplaza el IVPFS N°6 Dependencia del crecimiento del PIB de la agricultura, en % anual, por IVPFS N°6 bis, Dependencia del crecimiento del PIB de la actividad turística, en % anual.

Indicador Vulnerabilidad Prevalente por Exposición y Susceptibilidad N° 8 bis: Tierra o territorio con aptitud turística, en porcentaje del área del suelo.

Los destinos turísticos del litoral bonaerense surgieron de forma similar a los balnearios europeos, es decir, espontáneamente, acompañados siempre de la actividad de la construcción, que se convierte en el principal factor de transformación. Ha sido tan potente que en casi todo el espacio litoral la actividad urbano- turística pasa a ser el mayor dinamizador y polarizador de las economías locales reemplazando y hasta expulsando a otras actividades económicas, tales como la agricultura. El crecimiento urbano de los municipios costeros es desbordante físicamente en el territorio además de presentar un acelerado y continuo crecimiento de las poblaciones residentes, tanto

permanentes como temporarios. El lado conflictivo de estos procesos es la falta de control del crecimiento (Vera et. al, 1997). A ello se le suma la escasez de espacio por la conformación política- administrativa de municipios localizados longitudinalmente a la costa y, en muchos casos, espacios encerrados entre una autopista y la costa. En la Figura N° 4 , los indicadores VPEST 1, 2 y 3 caracterizaran la escasez de espacio para los residentes permanentes y los servicios que tal población requiere. Es una situación de vulnerabilidad que indica que estos municipios son atravesados por riesgos presentes consolidados.

Lista de Indicadores	Cambio climático y Riesgo					
	Temas	Subtemas	Indicador	Unidad de medida		
	Vulnerabilidad Prevalente	Territorio con				
	exposición/ susceptibilidad	aptitud turística	VPEST1 atractivo costero	% área del suelo		
				INDEC		
			VPEST2 SUP. HIL % ocupada	% ocup. superf. total		
				INDEC		
			VPEST3 segundas Residencias	% área de suelo		
				INDEC		

Figura N° 4. Indicadores de aptitud turística. Elaboración propia.

Indicador Vulnerabilidad Prevalente Fragilidad Socioeconómica.

Lista de Indicadores	Cambio climático y Riesgo					
	Temas	Subtemas	Indicador	Unidad de medida		
	Vulnerabilidad Prevalente	Dependencia econ.				
	Fragilidad Socioeconómica	Turismo	VPFSTI	% porcentajes anual		
			dependencia crecimiento	INDEC		
			PBI del turismo			

Figura N° 5. Indicadores de vulnerabilidad prevalente y fragilidad socioeconómica. Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

La Gestión del Riesgo es medular para hacer frente a los impactos del cambio climático en territorios locales. Sin embargo, la formulación de políticas públicas es previa a ello, la cual requiere de insumos para la acción. Por tal razón las evaluaciones con indicadores robustos, transparentes, y de fácil comprensión, son ineludibles para la toma de decisión tanto para formular como para implementar.

La Gestión del Riesgo de Desastres en municipios costeros amenazados por una serie de peligros presentes y futuros a consecuencia del Cambio Climático se debería apoyar en un sistema de indicadores debidamente evaluados. En el presente trabajo cuya finalidad es el diseño de un sistema de indicadores para evaluar probabilísticamente el Riesgo de Desastre de los destinos costeros, se tomó como marco de referencia el "Programa de Información e Indicadores para la Gestión de Riesgos" diseñado por el BID, IDEA, y la RED. Si bien la finalidad del presente trabajo es, la problemática local, dicho programa brinda los conceptos y la metodología para sistematizar los problemas de los impactos del cambio climático en territorios locales, que tiene al turismo como principal y, en ocasiones, como único recurso económico.

Claro que dicho marco de referencia (programa de información de indicadores para la gestión del riesgo) está pensado para escalas nacionales y a veces contempla el riesgo en las escalas locales, pero como un todo a escala nacional. Ejemplo: de ocurrir granizadas locales, las expresan en una única sumatoria para todo el territorio. Por tal dificultad se decide trabajar con los factores de vulnerabilidad prevalente IVP, y de los desastres locales IDL, para brindar insumos para las políticas públicas y para la gestión. Pero las dificultades continúan con la falta, de información fidedigna, debiendo recurrir indicadores proxy. En esa línea se diseñaron fichas de indicadores para facilitar la tarea describiendo y conceptualizando los temas, los subtemas, indicadores, su medición y evaluación y por último que otra institución lo utiliza.

De la sistematización realizada surgen dos nuevos indicadores del factor Vulnerabilidad Prevalente que son puesto a discusión. Estos indicadores refieren a la actividad en destinos costeros turismodependiente, como lo es Pinamar, juntamente con el Municipio de la Costa, y Villa Gessell. El primero en el apartado de vulnerabilidad prevalente susceptible con exposición es denominado “Territorio con aptitud turística” para ser medido por el % de ocupación en el territorio de las instalaciones hoteleras, el de las residencias de los habitantes, las segundas residencias de turista, y por último y no menos importante% ocupación del atractivo playas, incluidos los servicios. El otro indicador también del factor de vulnerabilidad prevalente, pero en el apartado fragilidad socioeconómica se considera para su medición “contribución del turismo al PBI.

Lo que estaría en discusión si estos indicadores reemplazan a los VPE 8 (Vulnerabilidad Prevalente de exposición) y VPF8(Vulnerabilidad Prevalente fragilidad socioeconómica) o los complementan.

REFERENCIAS

BID (2016) Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos Programa para América Latina y el Caribe, División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgo de Desastres (INE/RND) NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-765 Argentina disponible en línea https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7279/Nota_Tecnica_Indicadores%20GRD%20Argentina_v5.pdf?sequence=1

Consultado 15/10/2018

BID (2015) Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos Programa para América Latina y el Caribe, BID División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgo de Desastres (INE/RND) NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-780 Venezuela

Disponible en línea

https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7145/Nota_Tecnica_Indicadores%20GRD_Venezuela.pdf

Consultado 02/07/2018

Cardona, O.(2001) La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: una crítica y una revisión necesaria para la gestión. International work-conference of vulnerability in disaster theory and practice. Wengen, Holanda.

García, M.(2011) Escenario de riesgo climático por sudestadas y tormentas en Mar del Plata y Necochea-Quequén, provincia de Buenos Aires, Argentina. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Uberlândia, v. 2, n. 2, p. 286-304,

Giddens, A. (2009) La Política del Cambio Climático, Alianza Editorial, Madrid

IPCC. (2013) Quinto Informe de Evaluación. AR5

http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

12/07/2018

IPCC, 2014: Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)]. En: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, págs. 127-141. Disponible en https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf

Consultado 10/09/ 2018

Narváez, L. Lavell, A., Pérez Ortega, G. (2009) La Gestión del Riesgo de Desastres Un enfoque basado en procesos, Secretaría de Comunidad Andina, Lima

Puccio H. , Grana N., Adaniya S y Marshall G (2017 a) LA REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS DE DESASTRES EN DESTINOS TURÍSTICOS COSTEROS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. ABORDAJE METODOLÓGICO en Actas del E-ICES 12 ISBN 978-987-1323-61-6 (paginas 380 – 390) disponible en línea <http://www.uncuyo.edu.ar/ices/eices-12> consultado el 20/09/2018

Puccio, H, Grana N., Adaniya S y Marshall G 2017b) CAMBIO CLIMÁTICO Y LA REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS DE DESASTRES EN DESTINOS TURÍSTICOS COSTEROS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. LAS ESTRATEGIAS METODOLOGICAS PARA LA BUSQUEDA Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN en actas del Congreso *VIII Simposio Internacional y XIV Jornadas Nacionales de Investigación-Acción en Turismo – CONDET 2017: Desafíos del turismo para el desarrollo sostenible*

Romero, G. y Maskrey, A. 1993. Cómo entender los desastres naturales. En Maskrey, A. (compilador). Los Desastres No Son Naturales. La Red. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Bogotá. 6-10.

Vera, F.; López Palomeque, F.; Marchena, M. y Antón, S. (1997) Análisis Territorial del Turismo

Wilches-Chaux, G. (1993) *LA VULNERABILIDAD GLOBAL* en Los Desastres No Son Naturales Compilador: Andrew Maskrey. Perú, editado por La RED.

PNRRD PLAN NACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES 2018 - 2023 https://www.preventionweb.net/files/60547_pnrrd201820233.pdf

RIESGO SÍSMICO EN EL DISTRITO EL PLUMERILLO, LAS HERAS, MENDOZA

Robledo, S. ^a Alegre, F. ^b García, P. ^c

^{a,b,c} CCMA, Instituto de Geografía, F. F. y L. UNCuyo

e-mail: ecogeo@ffyl.uncu.edu.ar

RESUMEN

El riesgo sísmico es estudiado por especialistas de diversas disciplinas. Desde las ciencias sociales, la principal contribución se vincula con el concepto de proceso o de construcción social del riesgo y con el análisis de la vulnerabilidad social. El área urbana de Las Heras está sujeta a diversos riesgos naturales y antrópicos. En este caso se analiza el riesgo sísmico por la envergadura que tiene para Mendoza en general y Las Heras, en particular. El objetivo de la ponencia es evaluar el riesgo en el distrito El Plumerillo, Las Heras, Mendoza, teniendo en cuenta cuatro dimensiones, como plantea Claudia Natenzon: peligro, vulnerabilidad social, exposición e incertidumbre. Este trabajo forma parte del proyecto aprobado y financiado por SECTyP, UNCuyo, denominado: “Riesgos ambientales, vulnerabilidades sociales, salud y políticas públicas. El caso de Las Heras, Mendoza”. Este trabajo exploratorio se realizó sobre la base de la observación directa y relevamiento en el distrito elegido; encuestas a la población, recopilación de fuentes documentales y entrevistas a informantes claves. El distrito analizado se encuentra en el área de licuefacción del Gran Mendoza, con alta vulnerabilidad social y una escasa internalización del tema en la población y en quienes tienen poder de decisión.

Palabras Clave: Riesgo Sísmico, Vulnerabilidad Social, Peligro, Políticas Públicas.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Mendoza, junto con San Juan, ostenta uno de los mayores riesgos sísmico del país. Su posición al este de la gran cadena de Los Andes y su cercanía al área de subducción (350 km aproximadamente) entre las placas de Nazca y Sudamericana explican, en parte, la amenaza sísmica.

Dentro de la provincia, el área al norte del río Mendoza tiene las condiciones más críticas. El departamento de Las Heras se halla justamente en esta zona de alta amenaza. En esta ponencia se analizará, especialmente el distrito El Plumerillo “ver fig. 1”.

Cabe acotar que en el documento del plan estratégico territorial municipal (Municipalidad de Las Heras, 2018) se considera a los sismos como la principal amenaza.

MARCO METODOLÓGICO

Es un trabajo exploratorio en el que se adopta la conceptualización de Claudia Natenzon, (2016) para analizar el caso estudiado; de acuerdo con ella el riesgo se materializa en función de sus cuatro componentes, “ver fig. 2”:

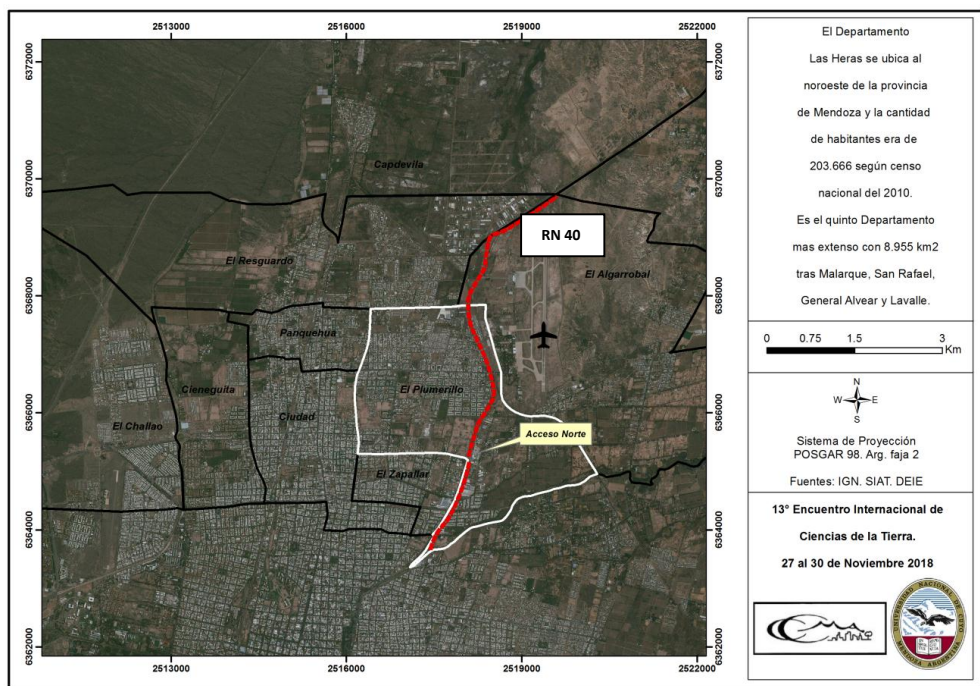


Figura 1 Área de estudio

Fuente: Federico Alegre sobre imagen Google Earth



Figura 2 Esquema de los componentes del riesgo

Desde las ciencias sociales se visualiza el riesgo como una construcción social e histórica, donde la vulnerabilidad social adquiere un papel fundamental. Para la realización de la ponencia se efectuó un relevamiento del distrito focalizando la observación en los factores que potencian dicho riesgo; además se utilizaron datos censales para evaluar la vulnerabilidad social. Se hicieron entrevistas a informantes claves y encuestas a la población.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL RIESGO

Cada sociedad va construyendo en su devenir histórico, económico, social, político sus condiciones de riesgo. Como sostiene García Acosta “*La sociedad construye contextos*”

frágiles que se asocian e incrementan las dimensiones de la vulnerabilidad” (García Acosta, V., 2005, p: 22).

El área urbana del departamento de Las Heras ha ido sumando a lo largo de su historia condiciones de pobreza y marginalidad. Al formar parte de la aglomeración de Mendoza y no destacarse por su actividad vitivinícola se asentó población trabajadora que buscaba vivir cerca de la ciudad en viviendas económicas¹.

Un departamento con escasas fuentes de trabajo, albergó a pobladores con condiciones socioeconómicas limitadas. Esto se tradujo en un paisaje urbano de casas bajas, de adobe o de ladrillo sin terminar. Las diversas crisis económicas que ha sufrido el país aumentaron la población residente en asentamientos precarios.

El municipio tiene recursos limitados para transformar las condiciones sociales estructurales.

LA AMENAZA SÍSMICA, EL ACECHO INVISIBLE

La amenaza es concebida como el fenómeno, en este caso de origen natural, que puede producir daños a una población.

En el Gran Mendoza predominan los sismos intraplacas, es decir aquellos que se producen por la presión que ejercen las placas tectónicas y que dan como resultado, al este de la cordillera, un conjunto de fallas activas. Son estas fallas las que originan estos sismos de hipocentros cercanos.

Si bien el Gran Mendoza tiene diversas fallas, hasta ahora no estudiadas íntegramente, se destacan: la de Barrancas que originó el sismo de 1985, la falla del Cerro de la Cal, origen del terremoto de 1861 para la mayoría de los autores y la de Uspallata-Potrerrillos. En el área de estudio interesa especialmente la del Cerro de la Cal por su cercanía.

“La falla Cerro La Cal se ha caracterizado al norte de la ciudad de Mendoza y al parecer su traza continuaría hacia el sur ingresando por la calle Perú []. El desnivel topográfico de casi 1,2 m desarrollado a lo largo de esta arteria ha sido interpretado como la escarpa de la falla, la cual habría sido utilizada como terraplén para la localización del Ferrocarril Belgrano” (Moreiras, S. y otros, 2014, p:348)

El distrito El Plumerillo se encuentra ubicado en el área de licuefacción del Gran Mendoza. Se entiende por tal, a la pérdida total o parcial de resistencia de los materiales debido a un evento sísmico y vinculado con las características del suelo y con el nivel de la napa freática.

Es decir que hay áreas donde los suelos son poco consolidados y las napas freáticas son superficiales; es aquí donde el terreno es más susceptible a que cualquier estructura construida pierda su estabilidad.

El área de licuefacción del Gran Mendoza se extiende en la llanura aluvial del río homónimo y comprende parte de Las Heras y de Guaymallén, incluyendo el distrito de estudio.

De acuerdo con estas dos variables, la situación de El Plumerillo es preocupante, ya que se encuentra cerca de la línea de falla y la constitución del suelo y la napa de agua cercana a la superficie, le confieren la posibilidad de sufrir procesos de licuefacción “ver fig.3”.

¹ Para ampliar este aspecto se puede consultar a Robledo, S. y Alegre ,F. (2017)

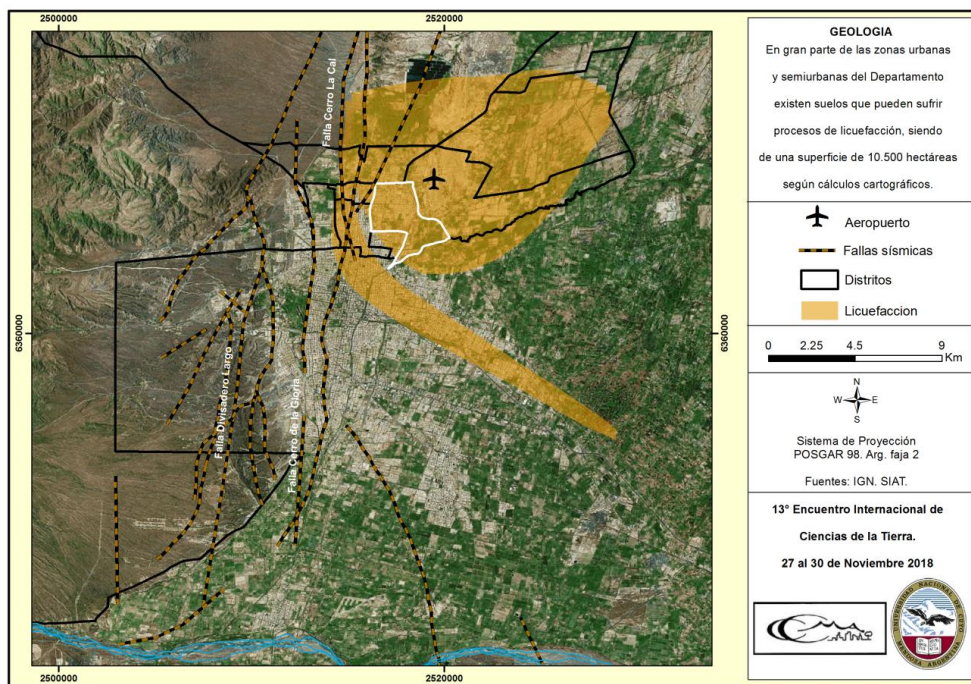


Figura 3 Amenaza sísmica: fallas geológicas y área de licuefacción

Fuente: Federico Alegre, sobre la base de Google Earth y SIAT.

Además, si se analiza el registro de epicentros sísmicos, El Plumerillo tiene sismos de magnitud media “ver fig. 4”.

EXPOSICIÓN, CONFIGURACIÓN DEL ESPACIO

La exposición, que, como explica Natenzon, “*se expresa territorialmente como construcción histórica que entrelaza los procesos físiconaturales con las relaciones socioeconómicas*” (Natenzon, C. 2016, p: 11), se expresa en la distribución espacial de actividades, infraestructura y población. En este caso se analizan las variables cantidad de habitantes y usos del suelo.

El primer dato para tener en cuenta es cuántas personas viven en el área de estudio. De acuerdo con el último censo disponible, El Plumerillo concentra la mayor cantidad de habitantes del departamento de Las Heras; se puede inferir, entonces, que el número de posibles afectados en un terremoto sería significativo con relación a otros distritos. “ver tabla I”.

El área en cuestión presenta una mixtura de usos del suelo, ya que en él se hallan barrios residenciales, establecimientos comerciales e industriales, infraestructura de servicio y áreas agrícolas. El distrito está dividido en dos partes por la avenida Acceso Norte, al

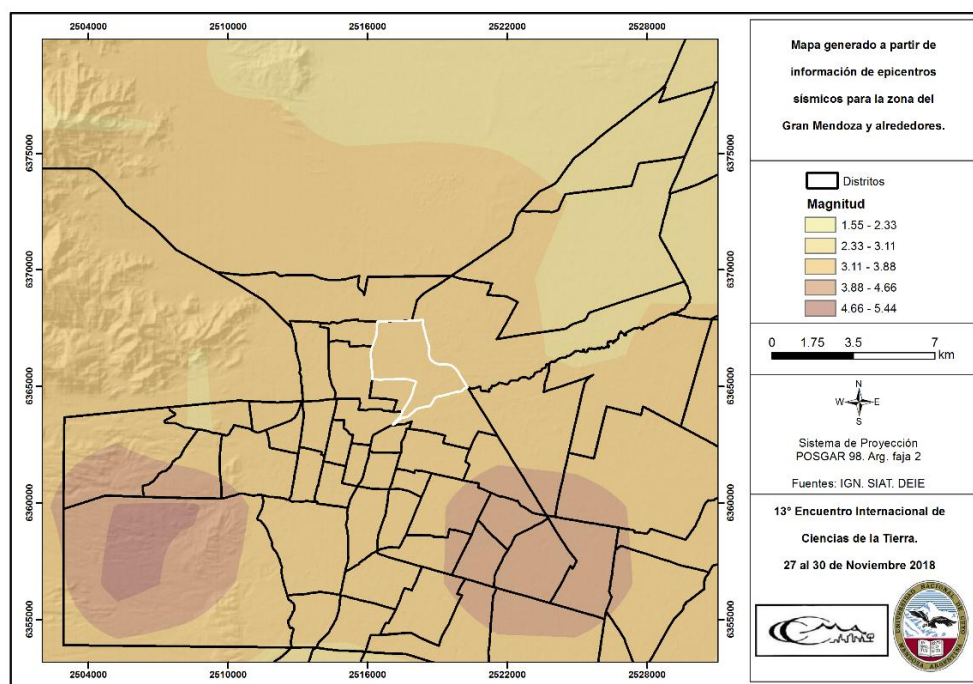


Figura 4 Mapa de magnitudes sísmicas

Fuente: Federico Alegre sobre la base de SIAT e IGN

oeste predomina la función residencial y al este el área agrícola e industrial. Cabe señalar que esta avenida es nexa con la Ruta Nac. 40 y une el aeropuerto con el centro de la ciudad, siendo esto muy importante de tener en cuenta en el caso de una catástrofe.

Tabla 1. Población por sexo según distrito, Las Heras, 2010

DISTRITO	SEXO			
	Nombre	total	varones	mujeres
Capdevilla		6665	3424	3241
Ciudad		35322	16804	18518
El Algarrobal		13506	6848	6658
El Borbollón		4276	2143	2133
El Challao		30943	15022	15921
El Plumerillo		38307	18777	19530
El Resguardo		23688	11593	12095
El Zapallar		14614	6930	7684
La Cieneguita		15287	7321	7966
Panquehua		14077	6801	7276

***No se han considerado los distritos no urbanos**

Fuente Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda, 2010

VULNERABILIDAD SOCIAL, COMPONENTE FUNDAMENTAL

La vulnerabilidad social se puede definir como aquellas condiciones estructurales que la comunidad tiene, incluye características sociales y económicas, independientemente de la amenaza. Se han seleccionado algunas variables que ayudan a explicar la situación socioeconómica de los habitantes del distrito.

Un aspecto fundamental es la calidad constructiva de las viviendas. El Censo Nacional de Población 2010 no toma como variable “viviendas antisísmicas,” por ello se ha recurrido a la categoría viviendas con calidad constructiva insuficiente².

La distribución espacial de las viviendas con mala calidad de construcción se extiende en Las Heras en la periferia del área urbana; El distrito El Plumerillo posee un 19% de sus viviendas en la categoría seleccionada “ver fig. 5”. Además, algunos radios del distrito tienen viviendas en situación crítica, especialmente al este del Acceso Norte. Igualmente hay que señalar que, probablemente haya otras viviendas no consideradas en esta categoría, que no sean sismorresistentes.

Según el director de Defensa Civil de Las Heras “*las características de las viviendas son un gran problema, terrenos inestables, casas que se hunden, predominio de adobe*” (Entrevista realizada por el grupo de investigación)

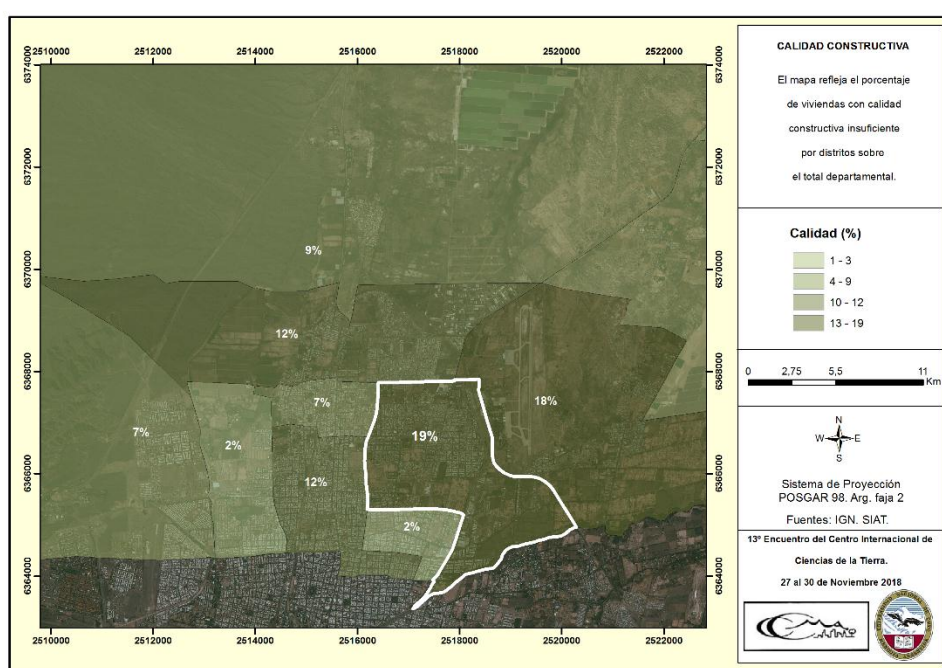


Figura 5 Calidad constructiva de las viviendas

Fuente: Federico Alegre sobre la base del censo Nacional de Población, DEIE

La observación directa permite agregar que, sobre todo al este de la Av. Acceso Norte, hay muchas viviendas de adobe en deficiente estado de conservación. Éstas tienden a concentrarse sobre calle Pascual Segura, relictos de antiguas viviendas rurales, muestran sus fachadas de adobe. En las calles Zapata, Callejón Barrionuevo, Junín y Maipú se observa mixtura de viviendas de adobe y ladrillo, muchas de ellas con signos de deterioro.

² Calidad de la vivienda. Se clasifica en:

- Calidad satisfactoria: refiere a las viviendas que disponen de materiales resistentes, sólidos y con la aislación adecuada. A su vez también disponen de cañerías dentro de la vivienda y de inodoro con descarga de agua.
- Calidad básica: no cuentan con elementos adecuados de aislación o tienen techo de chapa o fibrocemento. Al igual que el anterior, cuentan con cañerías dentro de la vivienda y de inodoro con descarga de agua.
- Calidad insuficiente: engloba a las viviendas que no cumplen ninguna de las dos condiciones anteriores.

Fuente: Censo Nacional de Población, 2010

Al oeste de la Av. de Acceso Norte la franja que se encuentra al sur de calle Independencia y que corresponde a los barrios Pellicier, Bonfanti y Jofré tienen casas de edificación antigua, aunque de ladrillo, pero el estado de conservación de las mismas es muy malo. La situación socioeconómica de los moradores impide que puedan hacer arreglos a las viviendas y por ello se consideran en mal estado.

No se observan carteles de importancia en las avenidas comerciales: Lisandro Moyano e Independencia. Otro elemento a destacar es el tamaño de los árboles de calle Olascoaga, grandes carolinos, que podrían caer en caso de sismo.

También, se advierte que algunos barrios de este sector tienen calles estrechas lo que puede significar un inconveniente en caso de una emergencia.

El mal estado de las calles convierte a las mismas en obstáculos para la llegada de auxilio. Esto se observa en gran parte del distrito. Al este de la avenida de Acceso Norte los baches han sido señalizados por los vecinos con ramas de árboles. Al oeste, sobre todo en algunos barrios, el estado de las calles indica el abandono del municipio. Calles que han perdido el asfalto, pozos, basura sin recolectar, señales viales destruidas. Todo ello, si bien no se relaciona directamente con el riesgo sísmico, sí se vincula con la ausencia del estado.

El sector sur del distrito tiene barrios en mejores condiciones, sólo ocasionalmente se descubre una casa de adobe, la mayoría son de ladrillo vigado.

Otro barrio para destacar es el Ujemvi 1, ubicado al este del distrito. El mismo está formado por viviendas simoresistentes en buen estado de conservación. Sin embargo está ubicado en un campo electromagnético importante. A los fines del riesgo sísmico lo que hay que remarcar es la posibilidad de que las líneas de alta tensión colapsen. La estación transformadora, además de la problemática de la contaminación electromagnética, puede ser un factor de riesgo en caso de sismo.

Una variable fundamental de la vulnerabilidad social, como ya se expresó, es la situación socioeconómica de la población, por ello se analizaron datos de NBI y población desocupada. Con respecto a los hogares con NBI, el este del departamento es el que presenta los mayores porcentajes, quedando el área de estudio incluida. En el distrito el 21% de los hogares tiene NBI, “ver fig. 6”.

Al este de la Av. Acceso Norte corresponde a la antigua área agrícola, por ello vastos sectores de la población no satisfacen sus necesidades básicas. Además, al este de la mencionada avenida se hallan los asentamientos Democracia (200 familias) ,Junín y Callejón Barrionuevo (118 familias) y P. Segura y FFCC San Martín,(30 familias); todos ellos con población muy vulnerable.

Hacia el oeste, también aparecen barrios de radicación de viviendas precarias como el Santa Teresita. También se hallan los asentamientos Familias Unidas, (70 hogares) San Francisco (11 familias), Pucará (20 hogares) y Terrenos B° Santa Teresita (70 familias). Son estas condiciones estructurales previas las que determinan la vulnerabilidad ante un evento catastrófico. En toda el área urbana de Las Heras viven en asentamiento 2.261 hogares. (Municipalidad de Las Heras, 2018)

En general la población de todo el distrito tiene condiciones socioeconómicas insuficientes para enfrentar un desastre, no sólo serán los más afectados, sino que su capacidad de recuperación dependerá de la ayuda externa que reciban. El nivel socioeconómico es una variable sensible que ayuda a comprender las posibilidades que

tendrán sus habitantes de mejorar sus viviendas o de reponerse luego de un hecho catastrófico.

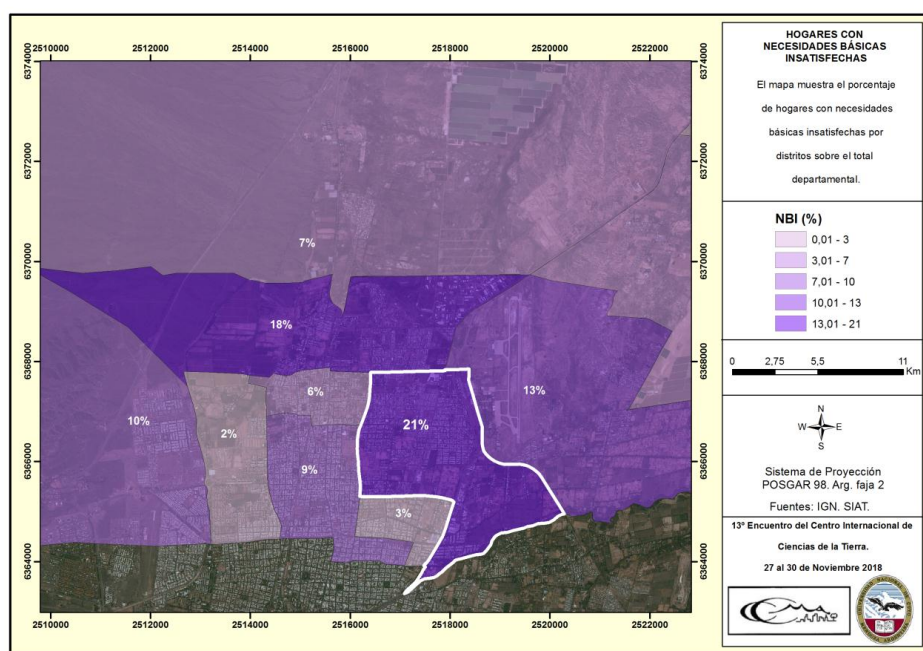


Figura 6 Hogares con NBI en El Plumerillo.

Fuente: Federico Alegria, sobre la base de del Censo Nacional de Población, 2010, DEIE

Relacionado con lo anterior, se analizaron los datos de ocupación o desocupación de la población. En este caso se tomaron los resultados del censo 2010, la mayor concentración de desocupados se produce en el centro del área urbana departamental. En el distrito estudiado el 19% de la población está desocupada. La variable trabajo se relaciona con las posibilidades que esa familia tendrá de atravesar una situación catastrófica y también de prevenirla.

Con respecto a la composición de la población por edad, este distrito cuenta con una gran población infante - juvenil. Los menores de 14 años son vulnerables porque en una emergencia, dependen, en gran parte de la actitud y decisiones que tomen los mayores, es decir tienen menor autonomía para actuar. Del total de habitantes del distrito, el 20% son niños o adolescentes.

En cuanto al nivel de alfabetización, se considera a quienes no saben leer ni escribir, en este sentido, se repite la situación preocupante ya que el 20 % de los habitantes presenta esta condición que se agudiza al este de la avenida Acceso Norte “ver fig. 7”.

Con el fin de correlacionar las variables analizadas para valorar la vulnerabilidad social, se ha tomado una escala de 1 a 5 donde 1 representa la menor vulnerabilidad y 5 la mayor. La vulnerabilidad aumenta hacia el norte y este del área urbana departamental. El Acceso Norte divide al distrito hacia el este vulnerabilidad se incrementa, sin embargo se puede calificar a todo el distrito con muy alta vulnerabilidad “ver fig. 8”.

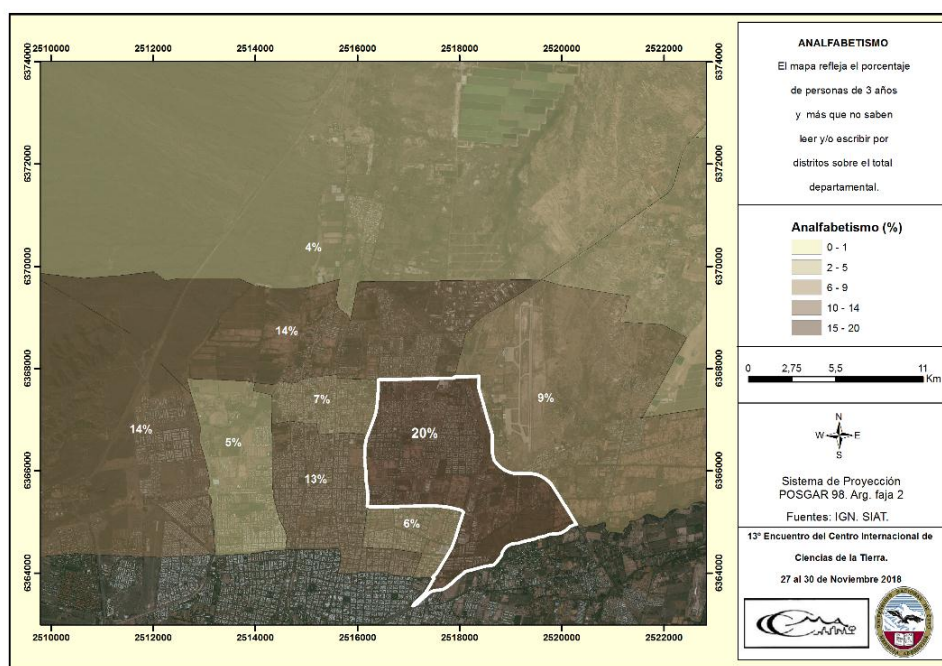


Figura 7 Población analfabeta, distrito El Plumerillo

Fuente: Federico Alegre, sobre la base del Censo Nacional de Población 2010, DEIE.

INCERTIDUMBRE, LO QUE NO SE SABE O NO SE VE

Como señala Natenzon (2016) la incertidumbre debe considerarse parte del riesgo, involucra dimensiones no cuantificables del mismo. Incluye aspectos de la percepción de los grupos sociales involucrados, valores e intereses en juego, decisiones políticas. En la incertidumbre están las apreciaciones subjetivas de los pobladores, por ejemplo. También se consideran ciertas capacidades o incapacidades del estado. La incertidumbre abarca “*lo que no se sabe*” es decir aquello que la ciencia no ha dado respuesta todavía.

Por ello se consideró importante realizar una entrevista a quien tiene a su cargo Defensa Civil en el municipio. Se rescata como muy positivo que quien ha sido designado en esa función tiene una vasta experiencia en situaciones de emergencia, desastres de diverso tipo y rescate.

Ello ha influido, por ejemplo en la preocupación por realizar simulacros y por capacitar a la población de los diversos barrios a partir de la constitución de “brigadas”. Estas personas que forman las “brigadas” lo hacen voluntariamente, pero reciben capacitación de cómo actuar en una emergencia y conforman grupos con perfiles profesionales y laborales interesantes (enfermeros, bomberos, albañiles, maestras, etc.). Cada brigada está formada por cinco integrantes. De la entrevista se desprende también la capacitación que tiene el personal de Defensa Civil y los Bomberos del departamento como una fortaleza. Actualmente se trabaja en capacitar a los funcionarios de segunda línea (información obtenida de la entrevista realizada).

Entre los aspectos que generan incertidumbre está el hecho de que no todos los barrios tienen “brigadas” y esto está relacionado con la poca importancia que tiene para la población la preparación ante un riesgo, poca conciencia sísmica a pesar de todos los esfuerzos que se hacen desde distintos ámbitos. Hay preconceptos que han influido en que no quieran conformar estas brigadas.

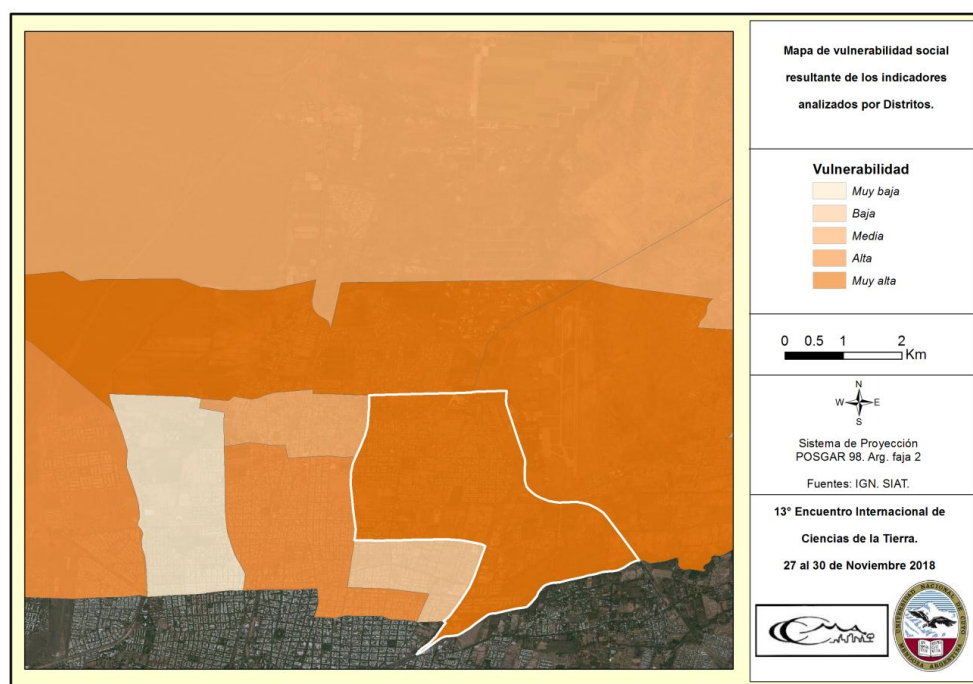


Figura 8 Vulnerabilidad social, distrito El Plumerillo de Las Heras

Fuente: Alegre, F. sobre la base de la información del Censo Nacional de Población, 2010

Además las tramas sociales existentes en las comunidades, relaciones sociales tensas y la supremacía de la inseguridad como problemática sustancial hacen que no les interese trabajar sobre los riesgos, como el sísmico.

Así ante la pregunta sobre qué riesgos afectan el área donde vive, los sismos sólo los reconoce el 8%, mientras que la inseguridad es mencionada por el 38% de los encuestados “ver fig.9”. Más llamativo es aún que cuando se les pidió ordenar las problemáticas el 100% ubica en primer lugar a la inseguridad.

Como fortaleza se destaca que la población reconoce el rol del municipio y cree que está preparado para intervenir en caso de una emergencia o catástrofe “ver fig. 10”.

La incertidumbre se incrementa con la falta de un conocimiento profundo de la amenaza sísmica de quienes tienen el poder de decisión. Es así que parece claro la necesidad de monitorear la falla del Cerro la Cal, menos preciso es el conocimiento sobre la posibilidad de que gran parte del área urbana colapse por el fenómeno de licuefacción. Estos aspectos quedaron muy claros en la entrevista realizada. Además hay desconocimiento sobre cuáles son las áreas que presentan la vulnerabilidad social más alta, sólo se asocia la vulnerabilidad sísmica a la calidad de la vivienda, dejando otros aspectos de lado.

Con relación a cómo se trabaja para disminuir la vulnerabilidad social, se visualizan una serie de programas vinculados con ayuda social, programas de salud, vacunación, entrega de materiales para mejorar las viviendas, etc. Se trabaja en forma coordinada entre Desarrollo social, Salud y Defensa Civil. Sin embargo con excepción del trabajo que se lleva a cabo para mejorar los servicios, no se observan medidas que modifiquen estructuralmente la vulnerabilidad social, sobre todo en lo que respecta de la calidad de la vivienda y las condiciones laborales.

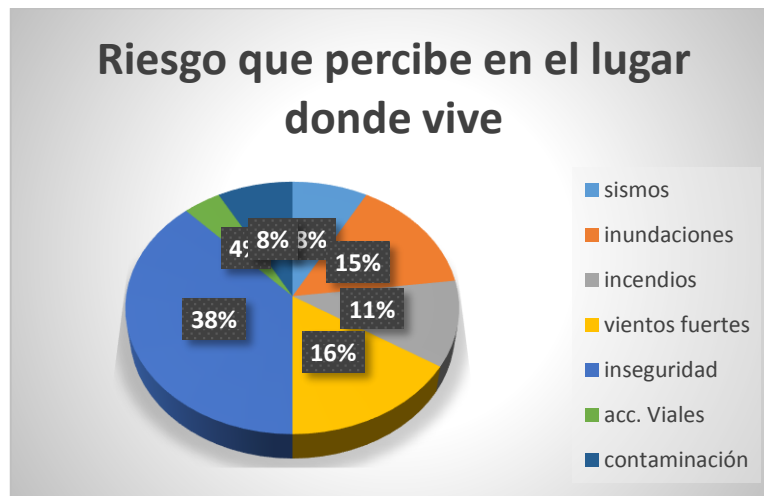


Figura 9 Riesgos percibidos por la población de El Plumerillo

Fuente: Silvia Robledo, sobre la base de las encuestas realizadas.



Figura 10 Preparación del municipio para actuar en una emergencia, según percepción de los habitantes

Fuente: Silvia Robledo sobre la base de las encuestas realizadas

Con respecto al aspecto científico de la incertidumbre se rescata como positivo los trabajos que se están haciendo en el departamento para monitorear las fallas geológicas y su comportamiento.

RIESGO SÍSMICO SIGNIFICATIVO

Con la finalidad de llegar a determinar el riesgo del distrito El Plumerillo, se relacionaron las variables analizadas, especialmente aquellas que conforman el peligro y la vulnerabilidad social. El mapa de riesgo resulta de superponer la carta de magnitud sísmica y licuefacción (amenazas) y la de vulnerabilidad. El resultado muestra que el riesgo del distrito es muy alto “ver Fig. 11”.

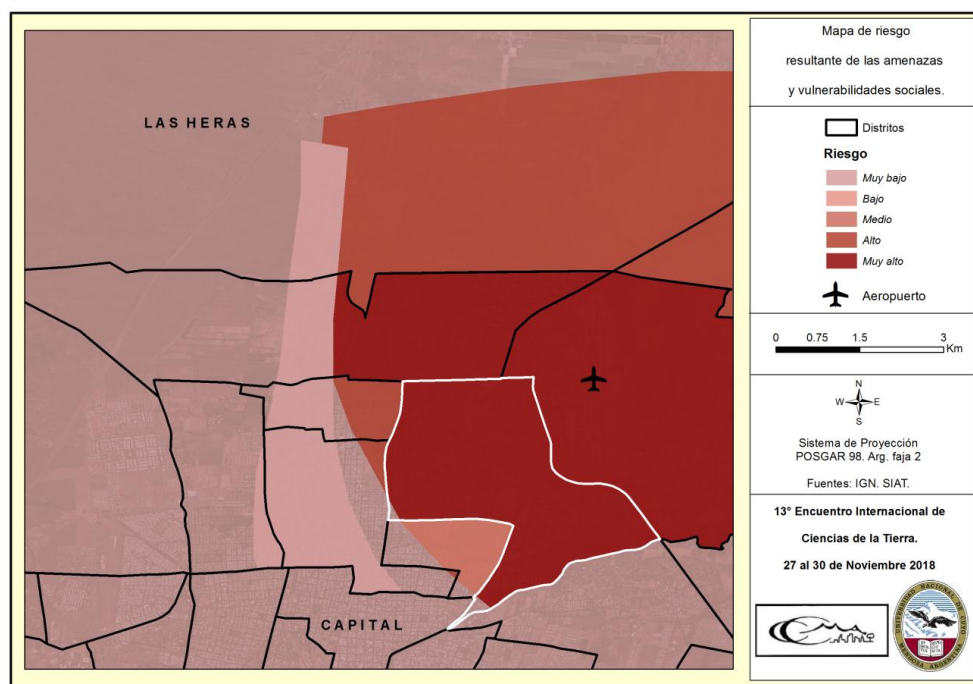


Figura 11 Riesgo sísmico, distrito El Plumerillo de Las Heras.

Fuente: Alegre, F. sobre la base de la información de DEIE. SIAT.

CONCLUSIÓN

De los habitantes que en 2010 residían en el distrito El Plumerillo el 20% presenta alguna condición de vulnerabilidad, lamentablemente no hay datos que actualicen a nivel de distrito estas cifras preocupantes. La pobreza está en la base de la vulnerabilidad social, de un modo contundente en el distrito estudiado; si bien hay otras áreas con esta problemática en el departamento de Las Heras, en El Plumerillo, sobre todo al este de la avenida de Acceso Norte, la vulnerabilidad es muy alta.

Por otro lado se visualiza un desinterés en los ciudadanos por las temáticas ambientales, en general y por los riesgos en particular. En este sentido, son muy importante las acciones que se realicen de prevención, que no pueden quedar limitadas al ámbito escolar. Se deben prever campañas de concientización que ayuden a mantener en alerta a los ciudadanos y a los gestores de decisiones.

La amenaza se materializa en la presencia de fallas activas y en la constitución de los suelos.

La mala calidad de las viviendas con predominio de adobe es un factor decisivo a tener en cuenta; este hecho se agrava porque las viviendas de ladrillo se presentan en algunos sectores, muy deterioradas y sus moradores no pueden afrontar los gastos para mejorarlas.

Hay una intencionalidad positiva de quienes tienen la gestión del riesgo en el municipio para avanzar en la capacitación y prevención; sin embargo las condiciones estructurales no son resueltas y por ello la vulnerabilidad social sigue siendo muy alta. Además hay ausencia del estado que se visualiza en el “abandono” de algunos barrios.

REFERENCIAS

García Acosta, V. El riesgo como construcción social y la construcción social del riesgo. *Desacatos*, n°019, ISSN 1405-9274 Centro de Investigaciones, y Estudios Superiores en Antropología Social, México, (2005).

Mingorance, F. Morfometría de la escarpa de falla histórica identificada al norte del Cerro La Cal, Zona de falla La Cal, Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61 (4): 620-638, (2006)

Moreiras, S. Et. Al., El frente orogénico activo de los Andes centrales a la latitud de la ciudad de Mendoza (32°50'-33°S), *Andean Geology* 41 (2): 342-361. mayo, 2014, disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/andgeol/v41n2/art04.pdf>

Municipalidad de Las Heras, Plan estratégico territorial, Las Heras, Programa de Fortalecimiento Institucional de la Planificación Territorial de la Secretaría de Planificación Territorial y Coordinación de Obra Pública (SPTCOP) (2018).

Natenzon, C. La problemática del riesgo y las catástrofes. Planteo de la cuestión, material de unidad 1, curso: *Tratamiento de catástrofes, riesgo y vulnerabilidad social*, FLACSO, Argentina (2016).

Robledo, S. y Alegre, F. Construcción social del riesgo e injusticia ambiental. El caso del área urbana de Las Heras, Mendoza, *VI Congreso Nacional de Universidades Públicas y XVI Encuentro de Profesores en Geografía del Nordeste*, ISBN 978-987-3619-23-6, (2017).

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

DEIE, Datos del Censo Nacional de Población 2010.

Entrevista al Director de Defensa Civil de Las Heras.

DESARROLLO Y FABRICACIÓN DE UN MICROSENSOR DE GAS DE BAJA POTENCIA PARA LA DETECCIÓN DE AMONÍACO A BAJAS CONCENTRACIONES

D.Rodríguez^a, J.Bonaparte^a, N.G.Boggio^{a,b}, A. Fascizcewski^a

^a Depto.de Micro y Nanotecnología -INN, Comisión Nacional de Energía Atómica

^b Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (INN – CONICET)

e-mail : boggio@cnea.gov.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo y microfabricación de un sensor de gas. El modo de funcionamiento de estos sensores se basa fundamentalmente en las variaciones de su conductividad cuando se encuentra en presencia de determinados gases. La reacción del gas en la superficie del semiconductor produce un cambio en la resistencia eléctrica. Para poder funcionar correctamente la película sensible se calienta a una temperatura entre 200°C y 400°C. Para utilizar estos sensores en equipos portátiles como narices electrónicas o monitores de gases se requiere que la potencia utilizada para mantener la película sensible a la temperatura de funcionamiento sea muy baja. Esto se obtiene mediante el desarrollo de sensores de dimensiones reducidas (microsensores) con técnicas de microfabricación de la industria electrónica. El microsensor desarrollado está constituido por una película delgada de SnO₂ depositada sobre un sustrato de silicio micromaquinado. Esta película se encuentra calentada por un microcalentador integrado en el microsensor para obtener una temperatura adecuada de funcionamiento. Para analizar el diseño propuesto se realizaron simulaciones de los comportamientos mecánico (rigidez estructural, tamaños máximos y mínimos de las estructuras) y térmico (distribución de temperaturas y potencias eléctricas involucradas). La caracterización del sensor frente a diferentes concentraciones de amoníaco gaseoso en aire, dio como resultado una respuesta lineal para concentraciones entre 50ppm (valor límite permisible de exposición) a 6ppm, siendo este último su límite de detección. La temperatura de operación de la película sensora fue en torno a 180° C y un consumo de potencia muy reducido, menor a 50mW. Los resultados de este desarrollo permiten contar además con una plataforma para la microfabricación de sensores de gas, sobre la que se pueda incorporar diversos tipos de películas sensoras, a requerimiento de otras instituciones públicas o del sector privado.

Palabras Clave: Sensor de gas, Películas delgadas, Monitoreo ambiental

INTRODUCCIÓN

Los sensores de gas desempeñan un papel vital entre las aplicaciones tecnológicas más importantes en nuestra vida cotidiana. Los usos típicos de sensores de gas incluyen la detección de compuestos tóxicos y gases explosivos con fines de seguridad pública y doméstica, procesos industriales, el monitoreo de la contaminación ambiental, y más recientemente en el diagnóstico de enfermedades de diverso tipo, la identificación del grado de maduración de frutos comestibles o la detección de plagas en los cultivos. Entre los diversos tipos de sensores de gas, [Barsan et al., Korotcenkov et al. (2007), Franke et al.(2006)) los de tipo resistivos son los más atractivos debido a la facilidad de fabricación, operación simple, bajo costo de producción y miniaturización. Un sensor de gas resistivo típico contiene una película de detección activa, cuya conductividad es altamente sensible a las sustancias presentes en los ambientes circundantes. El primer dispositivo comercial de sensor de gas fue desarrollado en la década de 1960 utilizando óxido de metal como la capa de detección [Ihokura et. al. 1994] Desde entonces, la investigación en esta materia tuvo como objetivos mejorar la sensibilidad, la selectividad, la velocidad (respuesta y tasa de recuperación) y la estabilidad del sensor. El desarrollo en sensores de gas logró un progreso significativo impulsado por la nanociencia y la nanotecnología emergentes. Por otra parte las crecientes necesidades de dispositivos pequeños requieren de la miniaturización de los sistemas de análisis. La miniaturización ofrece beneficios no solamente económicos (la fabricación en serie cuesta menos), sino también la reducción de tamaños de muestra para análisis, portabilidad y consumo de reactivos.

Las características del sensado se relacionan con las reacciones, térmicamente activadas, entre las especies a ser detectadas, las partículas de la película sensora y las adsorbidas previamente. Estas reacciones conducen a una variación de la conductividad de la película, conducida al exterior por contactos y conductores eléctricos. Para optimizar la respuesta del dispositivo, en general se prefiere operar la película sensora a una temperatura controlada y uniforme elevada, normalmente de varios cientos de grados centígrados. A fin de mantener el consumo eléctrico dentro de niveles aceptables ($<100\text{mW}$), es práctica usual ubicar, o integrar los calefactores y películas sensoras sobre una plataforma aislada térmicamente del sustrato portante del dispositivo.

En el presente trabajo se describe el desarrollo de un proceso de microfabricación para obtener un sensor de gas de película delgada con reducido consumo de potencia eléctrica.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El sensor propuesto se basa en una plataforma calefactora micromaquinada térmicamente aislada, dentro de la cual se integran los microcalefactores y los contactos eléctricos sobre los cuales descansa la película sensora. La plataforma se realizó mediante una película

dieléctrica suspendida, sobre la cual se depositaron las termorresistencias que componen el calefactor y los contactos eléctricos de la película sensora. La suspensión de toda la estructura ofrece la aislación térmica necesaria.

El microsensar de gas que se desarrolló está constituido por una película delgada de SnO₂ depositada sobre un sustrato de silicio micromaquinado. Esta película se encuentra calefaccionada térmicamente por un microcalefactor integrado en el microsensar para obtener una temperatura comprendida entre 200°C y 400°C

Diseño y proceso de microfabricación propuesto

Para el diseño de nuestro sensor se tuvieron en cuenta dos aspectos: lograr la mayor cantidad de sensores por oblea de silicio y que el proceso de microfabricación tenga el menor número de pasos posibles.

Para analizar el diseño propuesto (ver Fig.1) se realizaron simulaciones que abarcaron dos aspectos:

- simulación mecánica: rigidez estructural, tamaños máximos y mínimos de estructuras suspendidas. Análisis de sensibilidad a las variaciones de los parámetros.
- simulación térmica: distribución de temperaturas y potencias eléctricas involucradas.

El proceso de fabricación está constituido por unos 12 pasos. Abarcan desde el depósito de la fotorresina hasta el encapsulado de los sensores individuales (“dice” en inglés).

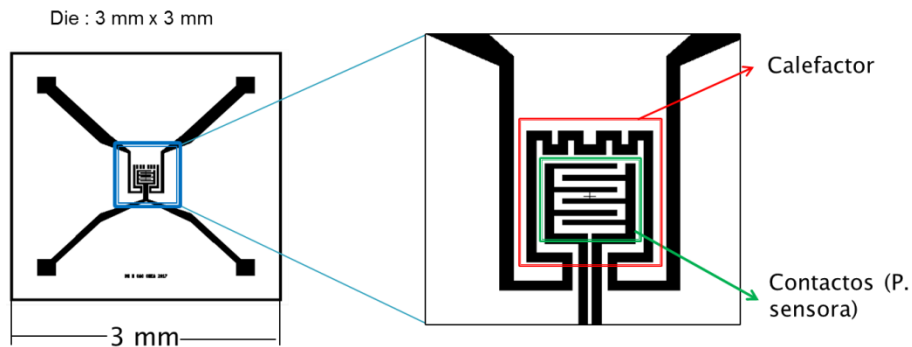


Figura1. Esquema del sensor propuesto. En la ampliación de la parte central del sensor se puede observar el detalle del diseño.

La totalidad de la estructura propuesta se pudo realizar con el equipamiento disponible en la sala limpia del CAC.

RESULTADOS OBTENIDOS

El proceso de microfabricación se llevó adelante en forma satisfactoria (no se detallan todos los pasos en el presente trabajo), logrando una alta tasa de sensores bien conformados por oblea (figura 2, a y b).

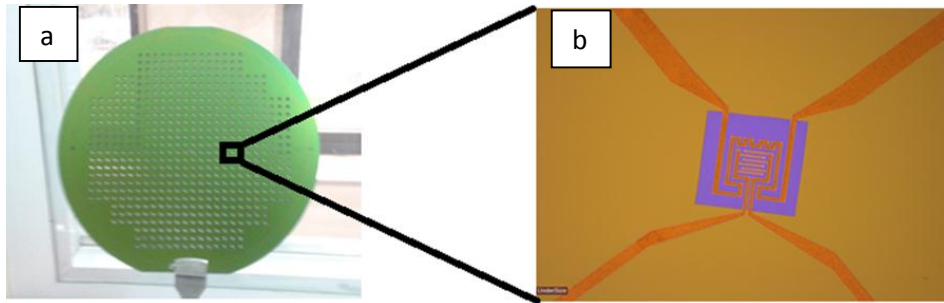


Figura 2: a) Oblea de silicio maquinada, b) fotografía de un sensor individual

Posteriormente se cortó la oblea para obtener los sensores individuales (dicing). Esta etapa constituyó uno de los pasos críticos, dado que se produce una alta tasa de ruptura de las películas suspendidas.

Los sensores individuales bien conformados luego del dicing fueron montados en encapsulados (ver figura 3)

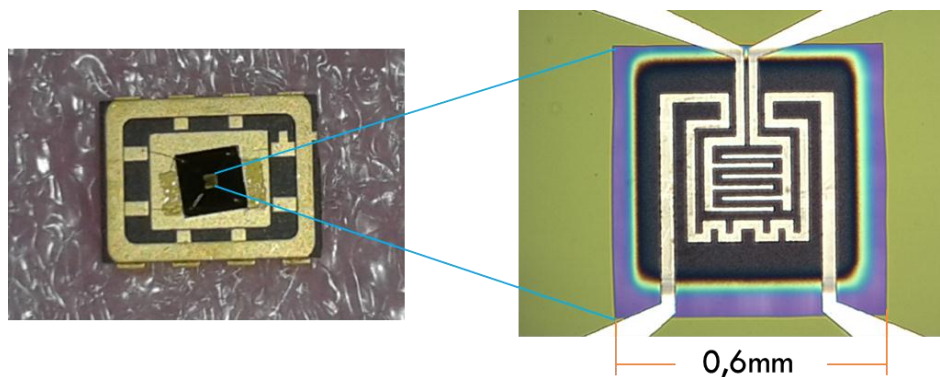


Figura 3: Sensor individual montado sobre un encapsulado.

Caracterización eléctrica

Se realizó la caracterización eléctrica de los sensores utilizando una estación de prueba (ver figura 4) que permite medir los sensores individuales antes de realizar el encapsulado. En esta etapa se estudió la respuesta del calefactor midiendo la resistencia eléctrica frente a valores de tensión aplicada entre 100mV y 5V.

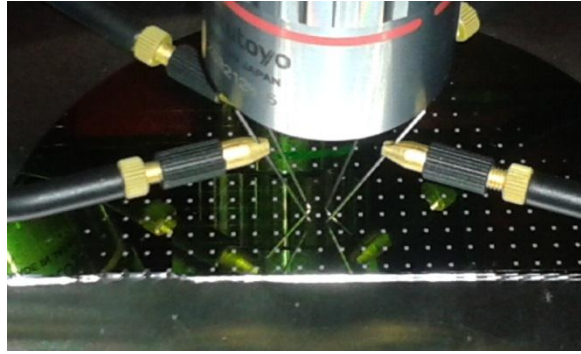


Figura 4: Se observan las puntas de prueba de la estación de prueba sobre los contactos eléctricos del microcalefactor y de la película sensible.

A continuación se muestra a modo de ejemplo una serie de mediciones sobre un sensor en particular:

Tensión [Volt]	Resistencia [Ω]	Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]
0,1	324	25 (T ambiente)
1,0	342	30
1,5	361	45
2,0	382	62
2,5	404	81
3,0	427	101
3,5	450	123
4,0	472	143
4,5	494	158
5,0	516	180

Tabla 1: Se presenta la conversión de resistencia eléctrica en temperatura, para una serie de tensiones eléctricas aplicadas al calefactor.

De esta manera se puede regular el calentamiento de la película sensora al variar la tensión aplicada al calefactor.

Simultáneamente durante las mediciones, se registraron al microscopio las modificaciones superficiales que se producen durante el calentamiento al aplicarse las diferentes tensiones aplicadas. La película sensora se encuentra suspendida sobre una membrana de nitruro de silicio (en color violáceo en las fotos) cuyo espesor es de alrededor de 250nm. Los cambios observados hacia una tonalidad más oscura al aumentar la tensión eléctrica, corresponden a deformaciones mecánicas de la membrana como resultado del calentamiento local, respecto de la periferia, más fría (ver Fig.5).

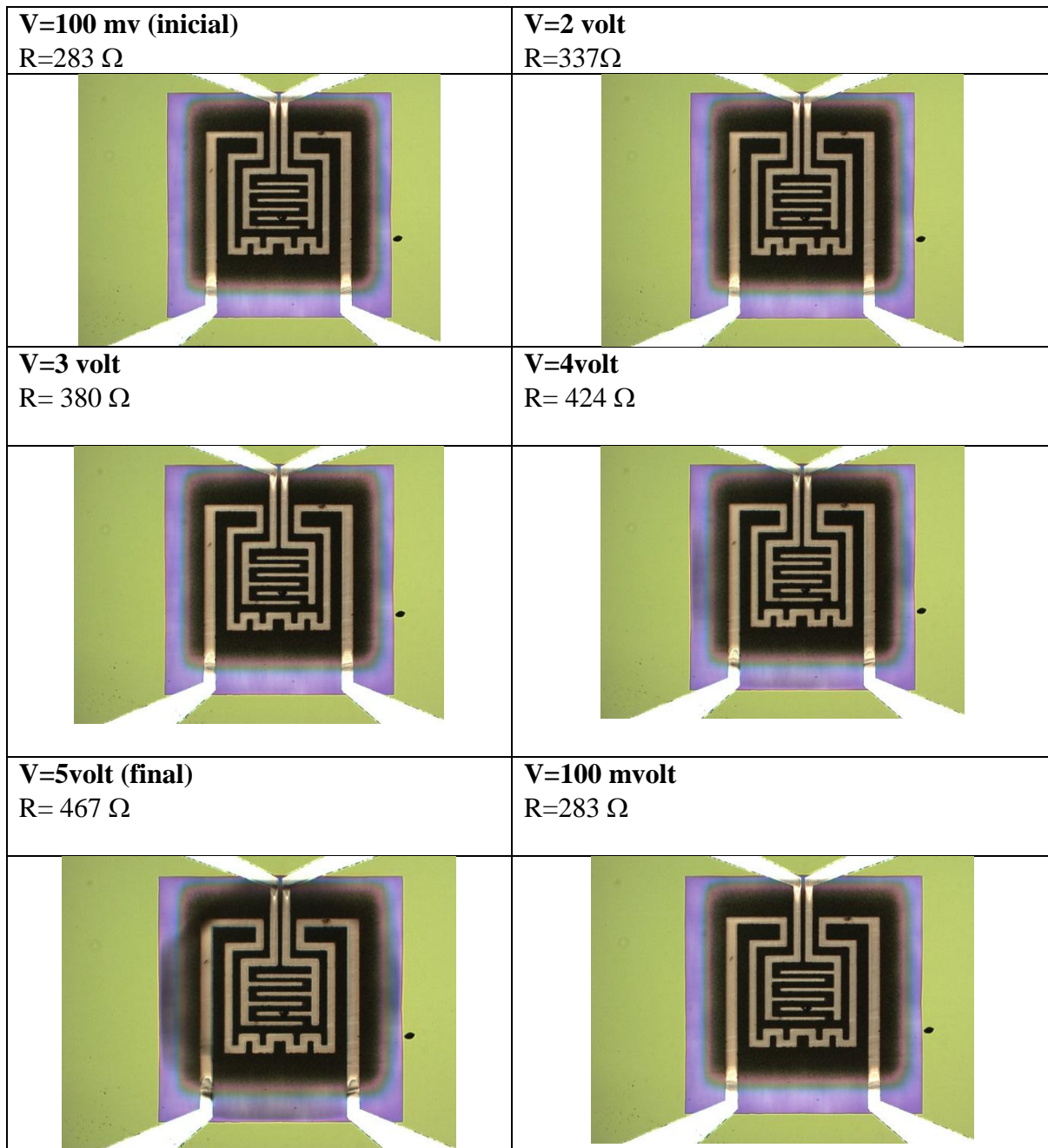


Figura 5: Calentamiento de la película sensora: se observan los cambios superficiales en función de la tensión aplicada

Caracterización frente a gases

Luego de ser encapsulados, se llevó a cabo la caracterización de los sensores, para lo cual se evaluó su respuesta en un banco de gases. Para ello se colocó cada sensor dentro de una cámara con un volumen aproximado de 75 cm^3 . Como gas portador, se inyectó aire sintético a un caudal controlado de $80 \text{ cm}^3 / \text{min}$ que a su vez constituye la línea de base.

A continuación se presentan los resultados correspondientes a un sensor ya encapsulado. Las mediciones fueron realizadas aplicando una tensión de 5 V al calefactor, obteniendo potencia disipada entre 44 y 49 mW . La temperatura de operación de la película sensora en estas condiciones es de 180° C aproximadamente. Por otra parte la película sensora está conectada a un potencial 1 V . Se mide entonces la respuesta del sensor como la variación de la resistencia eléctrica en función del tiempo de respuesta. Los resultados se presentan en la siguiente Fig. 6:

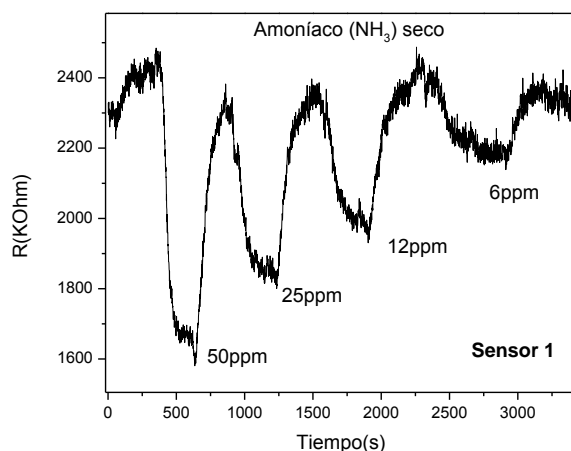


Figura 6: Respuesta del sensor Vs. concentración de amoníaco a diversas concentraciones.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un proceso para fabricar un microsensado de gas de SnO_2 con un consumo del orden de 50 mW .

De acuerdo con los objetivos propuestos, se llevó a cabo la fabricación de los microsensados de manera satisfactoria. Dentro de los pasos de fabricación la etapa crítica a mejorar es el corte de la oblea en dices (sensores individuales) dada la alta tasa de ruptura de las membranas suspendidas.

La plataforma micromaquinada, con el calefactor incorporado, permite utilizar distintas películas sensoras permitiendo una amplia variedad de aplicaciones, a requerimiento de instituciones públicas o privadas.

REFERENCIAS

Barsan N., Koziej D., Weimar U. Sens. Actuators, B 121, 18 (2007)

Franke M. E., Koplín T. J., Simon U. Small, 2, 36 (2006)

Ihokura K., Watson J. The Stannic Oxide Gas Sensor Principles and Applications, CRC Press, Boca Raton, FL, USA , 1994

Korotcenkov G. J. Mater. Sci. Eng. B 139, 1, (2007)

LABORATORIO BIOAMBIENTAL DE ESCALAMIENTO INGENIERIL COMO HERRAMIENTA PARA ALCANZAR NIVELES DE MADURACIÓN TECNOLÓGICO DEL ORDEN DE DESARROLLO: TECHNOLOGY READINESS LEVELS (TRL) 6 y 7

Adalgisa Scotti^a, Juan Cerioni,^b Hugo Reviglio^b, Mauricio Visciglia^a, Sol Cerioni^b, Roberto Biondi^b, Ana R. Castaño Gañán^a, Martín Gómez^a, Felipe Genovese^b

^a ICES, Comisión Nacional de Energía Atómica, ARGENTINA

^b Grupo GEA, FR San Rafael, UTN, Urquiza 314, 5600, San Rafael, Mendoza, ARGENTINA

e-mail scotti@cnea.gov.ar

RESUMEN

En este trabajo presentamos el Laboratorio Bioambiental de Escalamiento Ingenieril, situado en el Centro Tecnológico de Desarrollo Regional Los Reyunos de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Éste Laboratorio es una herramienta para el escalamiento de ensayos bioambientales, los cuales se encuentran a nivel de demostración de prueba de concepto y mediante un diseño adecuado se pueden escalar a prueba piloto o prototipo con el objetivo de transferencia de tecnología aplicable en entorno real. Nosotros planteamos al Laboratorio como un Demostrador Tecnológico que permite adaptar las condiciones y las variables de trabajo para hacer factible que la madurez tecnológica alcance el grado de innovación con TRL 6 -7. Se exponen dos casos de escalamiento ingenieril en las áreas de biotecnología ambiental. El caso 1 se trata de un Módulo de Depuración Vegetal para fitorremediación de suelos y aguas contaminadas por metales pesados, desarrollado en un PID FRSR UTN y el caso 2 consiste en Piletas de biolixiviación y bioacumulación para testear consorcios bacterianos, en desarrollo por un ERA MIN Unión Europea. En ambos casos las variables y las condiciones de trabajo elegidas permiten pasar de "Prueba de concepto probada" TRL 3-4 a "entorno relevante" TRL 6-7 para alcanzar los objetivos planteados de transferencia tecnológica.

Palabras Clave: TRLs, Entornos real y simulado, Demostrador Tecnológico, Laboratorio Bioambiental.

INTRODUCCIÓN

En el Centro Tecnológico de Desarrollo Regional la FRSR junto a la CNEA ICES puso en marcha el Laboratorio Bioambiental de Escalamiento Ingenieril. En este se pueden escalar los ensayos realizados a nivel laboratorio inicial de comprobación de prueba de concepto y llevarlos a escala de prototipo o prueba piloto en escenario relevante para poder transferir el desarrollo a nivel industrial. El Laboratorio cuenta con 2 piletas de 2,8 m ancho x 5 m largo x 0,60 m profundidad (promedio), con 5 % de pendiente conectadas por un sistema hidráulico a cámaras colectoras de efluentes. El sistema cuenta con tanques para el ingreso de agua, sistema de cañería de ingreso de líquido por flujo vertical y/u horizontal, impermeabilización y cubiertas de nylon y tela antigranizo (Fig. 1). Mediante este laboratorio se pueden escalar las pruebas de concepto equivalente a TRL 1-3/4 y llevarlos a prototipo o prueba piloto en escenario relevante que equivale a TRL 6/7.

La maduración de la tecnología tiene 9 niveles que se extienden desde los principios básicos de la nueva tecnología hasta llegar a sus pruebas con éxito en un entorno real. Los tres

primeros niveles (TRL 1-3) abordan la investigación tecnológica más básica hasta llegar a una primera prueba de concepto. El Desarrollo Tecnológico se lleva a cabo desde los niveles siguientes hasta llegar a un primer prototipo (TRL 4-6). El TRL 6 establece la validación del sistema o subsistema en un entorno relevante mientras que el TRL 7 establece la validación y certificación completa en un entorno real. Se entiende por entorno relevante un entorno con condiciones que se aproximan o simulan suficientemente a las condiciones existentes en un entorno real o de misión. TRL 8 aborda un sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones y el TRL 9 establece un sistema probado con éxito en entorno real (Fig. 2) (NASA, 2006)



Figura 1. Vista interna y externa del MDV. **a.** Vista de las piletas y su conexión a cámaras colectoras. **b.** Vista del Laboratorio

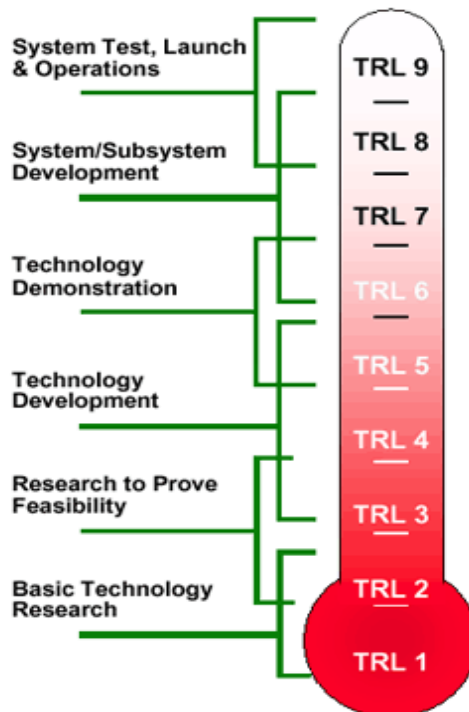


Figura 2. TRLs en los distintos estadios de la generación del conocimiento y su transferencia tecnológica a escala operativa sostenible industrial. (NASA, 2006)

La Asociación Europea de Organizaciones de Investigación y Tecnología (EARTO) ha publicado un enfoque integral y una discusión sobre los TRL.

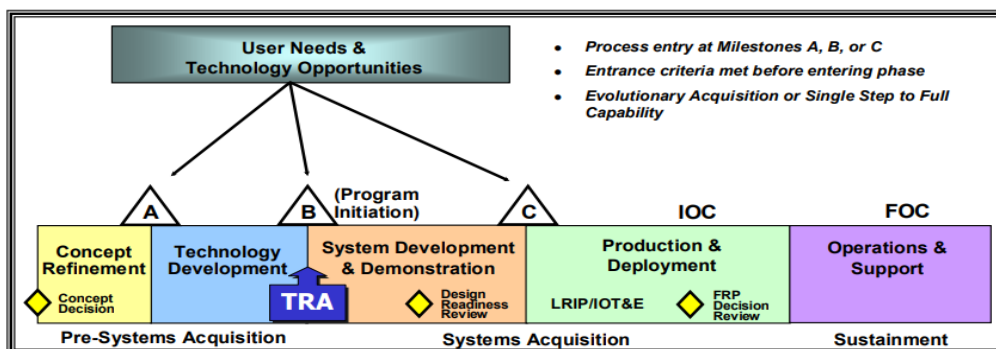
Actualmente se utilizan estos criterios para cuantificar la madurez de la transferencia tecnológica en programas internacionales de diversa índole, tanto de Unión Europea como de USA (por ejemplo Horizon 2020, Departamento de Energía de los Estados Unidos DOE).

Technology Program Management Model (TPMM)

¿Cómo sabemos desde cuál TRL partimos y a cuál TRL llegamos mediante la aplicación del proyecto?

La Fuerza Aérea de los Estados Unidos desarrolló un calculador de nivel de maduración tecnológica. Esta herramienta es un conjunto estándar de preguntas que produce una visualización gráfica de los TRL logrados. Esta herramienta está destinada a proporcionar una instantánea madurez tecnológica en un momento dado en el tiempo.

El Technology Program Management Model o TPMM (Carver et al., 2006) es un modelo de actividad de alta fidelidad de “TRL-gate” que proporciona una herramienta de gestión flexible para ayudar a los gerentes de tecnología a planificar, administrar y evaluar sus tecnologías para lograr una transición tecnológica exitosa. El modelo proporciona un conjunto básico de actividades que incluyen tareas de ingeniería de sistemas y gestión de programas que se adaptan a los objetivos de desarrollo y gestión de la tecnología. Este enfoque es integral, sin embargo, consolida las actividades complejas que son relevantes para el desarrollo y la transición de un programa tecnológico específico en un modelo integrado. (Fig. 3).



DoD 5000 Metric

➤ **Technology Readiness Assessment (TRAs) - Required at MS B**

➤ **TRAs using Technology Readiness Levels (TRLs)**

Figura 3. Diagrama del modelo de gestión de programas tecnológicos (TPMM por sus siglas en inglés: Technology Program Management Model) (Craver Jeffrey T. et al., 2006).

Para las tecnologías complejas que incorporan varias etapas de desarrollo, se ha desarrollado un esquema más detallado llamado *Matriz de Trayectoria de Preparación Tecnológica*, que abarca desde unidades básicas hasta aplicaciones en la *sociedad*. Esta herramienta pretende mostrar que el nivel de preparación de una tecnología se basa en un proceso menos lineal, pero en una vía más compleja a través de su aplicación en la sociedad.

PROBLEMÁTICA

A pesar de los incentivos para llevar la investigación a la producción, los aspectos prácticos a veces son difíciles de realizar. Al utilizar los TRL del DoD como criterio (por ejemplo), la investigación tiende a centrarse en TRL 1-3, mientras que la preparación para la producción tiende a centrarse en TRL 6-7 o superior. *Tender un puente de TRL-3 a TRL-6 ha demostrado ser difícil en algunas organizaciones.* Intentar apresurar la investigación (prototipos) en la producción (totalmente probado bajo diversas condiciones, confiable, sostenible, etc.) tiende a ser más costoso y consume más tiempo de lo esperado.

OBJETIVO

Disponer de una herramienta para el escalamiento de ensayos de laboratorio de nivel de comprobación de prueba de concepto a escala de prueba piloto o prototipo con el objetivo de transferencia de tecnología aplicable en entorno real.

CASOS EN DESARROLLO EN EL LABORATORIO AMBIENTAL DE ESCALAMIENTO INGENIERIL

Caso 1: Módulo de Depuración Vegetal (MDV)

En este caso, mediante un PID UTN FRSSR, se logró escalar, desde TRL 3 a TRL 6, un sistema biorremediador de suelos y aguas contaminadas por metales pesados para ser transferido a la industria. La transferencia tecnológica de la prueba piloto a escala relevante (TRL 6) fue aplicada a la Comisión Nacional de Energía Atómica y a la Empresa Ambiental GT Ingeniería. En la Figura 4 se ve el esquema general de la fitorremediación y una de las piletas con el sistema biorremediador. Se obtuvo la calibración del sistema para ser aplicado a territorio (Scotti A. et al 2019 y Scotti et al., 2017).

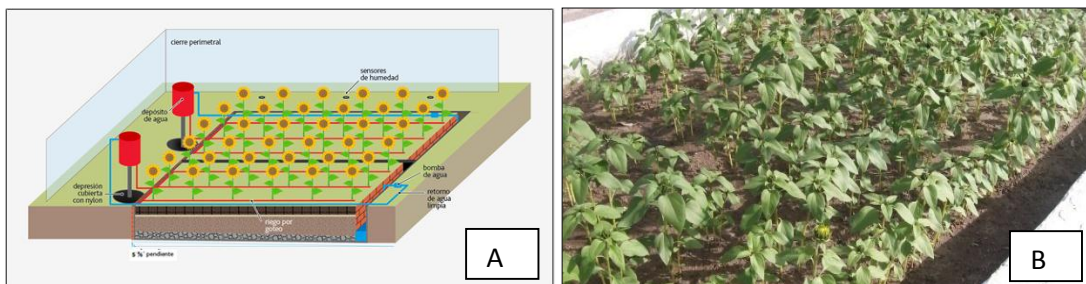


Figura 4. A: Esquema del diseño en MDV para fitorremediación. B: Pileta sembrada con el sistema biorremediador

Las bases tecnológicas utilizadas involucran al comportamiento de los humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical modificado en el volumen de sustrato y en el tiempo de retención hidráulica (Akatros CS. & Tsihrantzis V., 2007) y el sistema biorremediador está basado en la simbiosis micorrizica de especies hiperacumuladoras (Glick B.R., 2003) (Smith S.E. & Read D.J., 2008).

Caso 2: BioCriticalMetals

El BioCriticalMetals es un proyecto internacional con participación del sector público (Universidades) y privados (empresas mineras) de Portugal, Rumania y Argentina, financiado por ERA MIN Unión Europea. La función de la FRSSR mediante el Laboratorio Ambiental es la de escalar los resultados de consorcios bacterianos de biolixiviación y bioacumulación de tungsteno proveniente de los residuos de mina Las Carolinas de San Luis. El diagrama de escalamiento abarca las dos piletas, en una se coloca suelo más el consorcio biolixiviador, el efluente con el tungsteno se recoge en la pileta colectora y es transportado a la pileta 2 donde se coloca el consorcio bioacumulador. A los residuos de ambos procesos se los trata con nano partículas de Fe cero valente y fitorremediación. El esquema de los procesos y la función de las piletas se pueden ver en las diapositivas presentadas al 2º meeting realizado en el Centro Tecnológico de Desarrollo Regional de la FRSSR. (Fig. 5). Previamente al escalado en las piletas, se procederá a una evaluación de las secuencias programadas a micro escala, en una simulación de las piletas reales (Figura 6). El proyecto está en ejecución con fecha de inicio de la etapa mencionada en junio 2019 y finalización en diciembre 2019. Las bases tecnológicas utilizadas involucran la biotecnología para el uso de bacterias productoras de sustancias lixiviantes como las bacterias productoras de sulfato, como también la recuperación de los elementos en estudio mediante bacterias acumuladoras y precipitadoras como las reductoras de sulfatos (Zhiguo et al., 2010; Olson et al. 2003).

Recuperación de materiales de interés

La recuperación de metales por hidrometalurgia (Zhiguo et al, 2012), permite seleccionar del residuo los elementos que presentan valor económico y se encuentra en riesgo su disponibilidad, (<https://ec.europa.eu/growth/sites/growth/files/critical-importance-risk.jpg>).

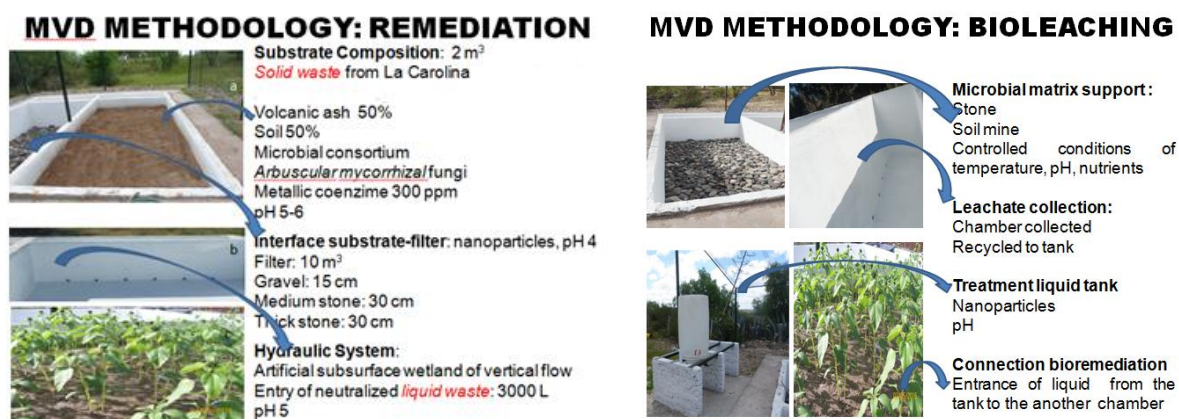


Figura 5 Esquemas de llenado de piletas para los test de remediación y biolixiviación en el escalamiento del proyecto BioCriticalMetals.

Otras fuentes importantes de contaminantes con metales pesados son las actividades antrópicas como: el uso de combustibles fósiles, los aerosoles urbano-industriales, los desechos líquidos y sólidos de origen animal y humano, la industria minera, química y textil y los productos químicos empleados en el sector agropecuario. Se ha comprobado que los suelos agrícolas presentan metales pesados por el uso de agroquímicos (fertilizantes fosfatados y fungicidas cúpricos).

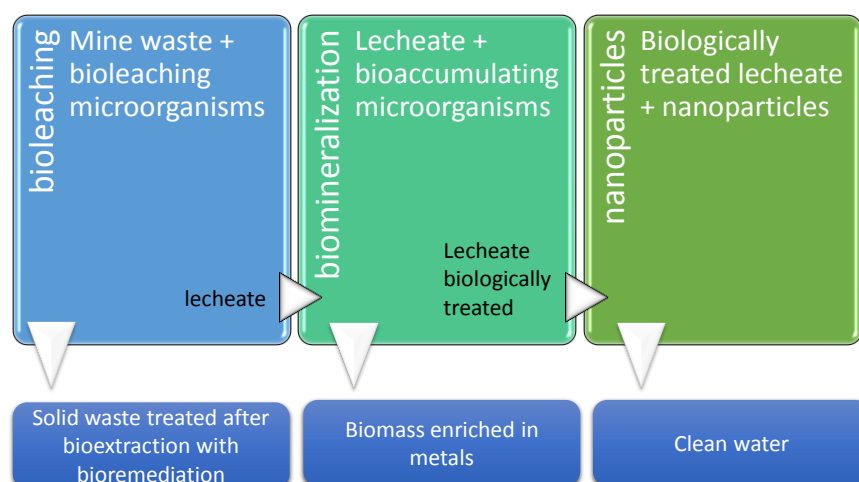


Figura 6. Evaluación de las secuencias programadas a micro escala.

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y la acumulación dependen en primera instancia del movimiento de los metales desde la solución del suelo a la raíz de la planta. La posibilidad de movimiento o no de estos elementos contaminantes es lo que les permite estar disponibles en el suelo o lixiviarse del perfil hacia las capas de agua subterráneas disminuyendo su calidad o definitivamente contaminándolas. La biodisponibilidad de los mismos depende del tipo de suelo (textura), de ciertas características físico-químicas del suelo, como pH, Eh° (potencial redox), contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y de las condiciones ambientales, como temperatura, humedad relativa, precipitaciones. Mediante técnicas adecuadas pueden extraerse de la biomasa utilizada en los MDV, los elementos que presentan interés económico y riesgo de disponibilidad natural.

Utilización de nanopartículas en los diseños del MDV

En la actualidad se está diseñando un experimento utilizando las nanopartículas de Fe cero Valente en distintos estratos del filtro del MDV como también en la salida de efluente hacia cámara colectora.

ESCALAMIENTO- TRLs – INVESTIGACIÓN – DESARROLLO – INNOVACIÓN

Distintas clasificaciones permiten identificar cuál es el nivel de maduración tecnológica que alcanza un determinado experimento. En la tabla 1 la clasificación está basada en el entorno, si la experimentación se realiza en laboratorio los TRL se ubican en un rango entre 1 a 4, si el entorno no es en laboratorio, sino que es en territorio ficticio simulando un entorno real, se denomina entorno relevante y abarca los TRL 5 y 6. Si el ensayo se realiza en territorio real abarca los niveles 7 a 8.

Tabla 1. TRL clasificados según el entorno comprometido.

TRL 9	Entorno real
TRL 8	
TRL 7	
TRL 6	Entorno de simulación
TRL 5	
TRL 4	Entorno de laboratorio
TRL 3	
TRL 2	
TRL 1	

Tabla 2. TRL clasificados según las definiciones de Investigación, Desarrollo e Innovación.

TRL 9	Innovación
TRL 8	
TRL 7	
TRL 6	Desarrollo
TRL 5	
TRL 4	Investigación
TRL 3	
TRL 2	
TRL 1	

Tabla 3. Clasificación de la maduración tecnológica en función de su introducción en la industria.

TRL 9	Despliegue
TRL 8	Producto o servicio comercializable Certificaciones pruebas específicas
TRL 7	Prototipo/Demostrador Desarrollo tecnológico
TRL 6	
TRL 5	
TRL 4	Prueba de concepto Investigación Industrial
TRL 3	
TRL 2	
TRL 1	

Si la clasificación utilizada involucra la investigación en la etapa de demostración de prueba de concepto en entorno de laboratorio, los TRL se ubican en el rango de 1 a 4, si ya la investigación a nivel de prueba de concepto está demostrada pero se quiere pasar a generar un desarrollo patentable como invención o modelo de utilidad tanto de prueba piloto como de prototipo, que pueda transferirse al medio, pero requiere previamente diseñarse como “desarrollo tecnológico” y calibrar las variables a aplicar en territorio, los TRL que abarca son 5 y 6 (Tabla 2). En el caso que se estén realizando los ensayos a nivel de territorio o **sistemas modulares transferibles al territorio** y ya las calibraciones de las variables del sistema estén

realizadas (en los TRL previos) pero se necesita probarlos en territorio y evaluar su funcionamiento, los TRL que se ubican en este sentido abarcan los niveles 7 – 9. En la industria nuclear hay tendencia a generar un TRL 10 en el cual la nueva tecnología está lo suficientemente probada en territorio como para decir que es segura, (Ibáñez de Aldecoa Quintana, J: M:, 2014).

Otro tipo de clasificación es aquella que refiere el nivel de factibilidad de aplicación en el mercado o industria de un determinado servicio o producto. Los TRL 1 a 3 refieren a las etapas de investigación aplicada a la demostración de una prueba de concepto, los TRL 4 a 7 se refieren a la puesta a punto y puesta en marcha de un desarrollo tecnológico ya sea un prototipo o una prueba piloto de un servicio o producto. Los TRL 8 y 9 corresponden al producto o servicio listo para ser comercializado o aplicado con las certificaciones y pruebas específicas requeridas (Tabla 3).

Tabla 4. Clasificación de los TRL según el tamaño experimental.

TRL 9	Escala Real =1
TRL 8	
TRL 7	
TRL 6	Ingeniería (Engineering Scale) 1/10 < Escala < 1
TRL 5	
TRL 4	Laboratorio. Banco. (Laboratory/Bench Scale) Escala < 1/10
TRL 3	
TRL 2	
TRL 1	

Por otra parte, también es posible identificar distintos niveles de maduración tecnológica teniendo en cuenta el tamaño del diseño experimental. De esta manera si los ensayos se realizan a escala pequeña de laboratorio con replicación experimental, la escala que se utiliza es la denominada menor a 1/10, en este caso los TRL involucrados abarcan de 1 a 4. Si en cambio la experimentación se realiza a escala real, aplicada directamente en territorio útil, la escala se denomina 1 y abarca los TRL 7 a 9. La ingeniería de escala intermedia entre < 1/10 y 1 es aquella que abarca los TRL 5 a 6 (Tabla 4).

¿Qué piden las convocatorias internacionales en relación a los TRL?

- TRL's bottom-up approach: el solicitante indica el TRL de partida y el TRL final al que se llegará una vez finalice el proyecto.
- TRL's top – down approach: la propia convocatoria establece, en general o para cada línea temática, los TRLs que se deberían abordar.

DESARROLLADOR TECNOLÓGICO – TRL 6 – 7 - DETALLE DE LA PLANTA DEPURADORA VEGETAL – ESCALAMIENTO PARA BIORREMEDIACIÓN

La **Planta Depuradora Vegetal** (PDV) tiene como objetivo el escalamiento de los experimentos en maceta a transferencia industrial para la recuperación de suelos y aguas contaminadas. La PDV está conformada por un sistema biorremediador asentado sobre dos estructuras ingenieriles, denominada cada una: **Módulo Depurador Vegetal** (MDV).

El MDV consiste en una pileta de 3 x 6 x 0,6 m³ con una pendiente de 5% conectada mediante un sistema hidráulico a una cámara recolectora, desde la cual puede medirse y reciclarse el efluente. El MDV constituye un sistema cerrado impermeabilizado al cual se le pueden agregar metales pesados y/o hidrocarburos en el suelo y/o el agua para testear el comportamiento y dinámica de los contaminantes. Se comporta como un humedal artificial subsuperficial modificado de flujo vertical y/u horizontal. El relleno está compuesto por varios estratos, compuestos por tierra más cenizas volcánicas en proporción 50:50, y un filtro de capas de grava de diferente granulometría, para que el sistema tenga buena percolación. La PDV cuenta con tela antigranizo, nylon invernadero, sistema de riego y pluviómetro. Los tanques son para el almacenamiento de agua para riego, la cual puede estar contaminada, en ese caso el sistema absorbe los contaminantes, y el agua se escurre hacia la cámara recolectora con menor carga de la que entra hasta llegar a niveles aceptables para ser volcados a cuenca hídrica. Los contaminantes quedan en mayor proporción en la especie vegetal hiperacumuladora micorrizada utilizada. El sistema también puede funcionar para la descontaminación de suelos, en este caso los contaminantes están en el sustrato y se riega con el agua limpia contenida en el tanque (Figura 7).

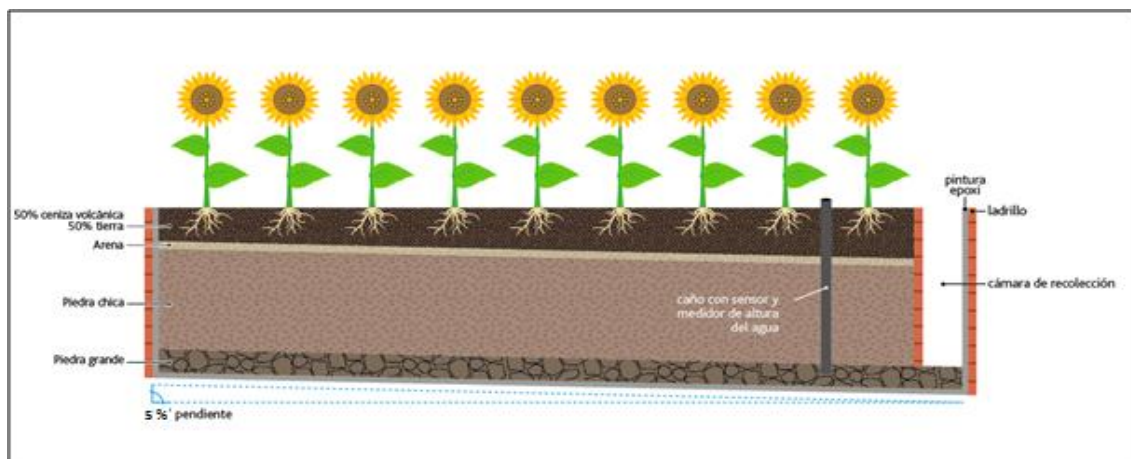


Figura 7. Corte frontal de la planta

Por lo tanto, el MDV constará de un emisor domiciliario o industrial de efluentes contaminados con los que se regarán las plantas en caso de biorremediación de agua contaminada, y en el caso de restauración de suelos el agua de riego no debe presentar contaminantes. Es decir que se utilizará el agua contaminada, pre-tratada en ajuste de salinidad y pH para regar las plantas cuando los contaminantes están en fase líquida. Otros componentes del MDV son las cámaras de bombeo e inspección, un sistema de distribución, un sistema de drenaje y recolección de agua, sensores de humedad, y un cierre perimetral protector. El sistema de riego es por flujo vertical u horizontal. En la Figura 4 A se encuentra esquematizada la Planta Piloto, donde están señalados los elementos que la componen.

Una vez que la vida útil del sistema termine, se debe proceder a realizar la **limpieza** de este, en primer lugar, se extraen la biomasa, se lleva a un horno (muflado) y se reduce a cenizas, en algunos casos se pueden recuperar ciertos metales pesados utilizando los métodos adecuados para tal fin. Terminada esta tarea, las cenizas serán guardadas en recipientes para residuos peligrosos y luego se almacenarán en depósitos bien asegurados, tarea llevada a cabo por el operador correspondiente. Según la legislación vigente (Ley 24.051) el **operador de residuos peligrosos** registrado en la DPA (Dirección Provincial de Ambiente) autorizado por ésta para las corrientes contaminadas que el operador demostró estar en condiciones de almacenar, retira las cenizas para ser llevadas a **disposición final**. En el caso que estas cenizas sean utilizadas para líneas de investigación hidrometalúrgica con otros institutos se conservarán en

el laboratorio. El IGAG por sus siglas en italiano: Instituto de Geología Ambiental e Geoingeniería, socio del ICES, manifestó su interés en la línea de recuperación de metales a partir de las cenizas. Para completar esta etapa se limpiará el sustrato que también ha absorbido contaminantes, para ello se sembrarán nuevamente especies vegetales micorrizadas por un período determinado y después se incinerarán repitiendo los pasos mencionados anteriormente. Si las cenizas provenientes del sustrato son aptas químicamente, pueden reutilizarse en el MDV ya que uno de los componentes del sistema son cenizas volcánicas debido a que favorecen la biodisponibilidad de los contaminantes. Los correspondientes tiempos y cantidad de etapas de limpieza del PDV dependerán del tipo y concentración de los residuos iniciales del efluente o del suelo a tratar.

En la Figura 8 se observan distintos aspectos de la PDV. En la fotografía A se muestra una imagen general de PDV, en la B el sistema de drenaje desde la pileta principal a la cámara colectora, en C la vista de los dos MDV, con distintos niveles de relleno, la pileta de la izquierda tiene 10 cm de piedra bocha, la pileta de la derecha tiene 10cm de piedra bocha, 15 cm piedra mediana, 10 cm de piedra chica y 15 cm de sustrato 50:50, tierra: cenizas volcánicas y Zn en 350 ppm como cofactor metálico enzimático inductor de metalotioneínas que colaboran en el ingreso de metales a la planta. En la fotografía D se muestra el sustrato sembrado en su estadio inicial, en la E el estadio intermedio y en la F el estadio final.



Figura 8. PDV aspectos generales (A, B, C) y en funcionamiento (D, E, F).

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Las medidas de seguridad PREVISTAS para la PDV consisten en:

- 1- Impermeabilización de fosa: pintura epoxi y membrana.
- 2- Cierre perimetral.
- 3- Cartelería.
- 4- Botiquín y matafuegos.
- 5- Monitorizaciones periódicas.

Diagnóstico precoz

Se realizará mediante la presencia de una o más de las siguientes situaciones: a) el monitoreo del aumento sostenido de los valores de metales registrados como “línea de base” en el suelo de la periferia de la PDV a diversas profundidades, b) una pérdida de efluente, c) una rotura del cierre perimetral, d) detección de concentraciones fuera de lo esperado en los controles químicos periódicos de los tanques, la cámara recolectora y/o el sustrato, e) análisis de metales pesados en las especies nativas hiperacumuladoras que rodean el cierre perimetral.

Control de calidad

Se realizará mediante el llenado de planillas de control de planta colocando: nombre del operador, día, horario, tarea realizada, prueba de hidráulica para detectar pérdidas, infiltraciones, fecha de impermeabilización, inspección de cámaras, volumen de ingreso de agua de riego, presencia de agua en cámara colectora, color de agua de ingreso, presencia de plagas, espesor del sustrato, observación de humedad periférica, mm en pluviómetro, colocación de contaminantes, toma de muestra para monitoreo (suelo y/o agua). Esta planilla está duplicada *in situ* y “*on line*”.

Procedimiento de trabajo seguro

En relación al AMBIENTE:

- Actividades que puedan afectar al AIRE

Los movimientos de suelo debidos a maquinarias y operaciones humanas, sumadas a sucesos de vientos, podrían ocasionar la dispersión de material particulado y contaminación a zonas cercanas. Este problema es de corto plazo dado que se produce sólo durante la etapa de movimiento de suelo para el llenado de la Planta Depuradora Vegetal.

Se propone el siguiente procedimiento seguro:

- Evitar trabajos de movimiento de suelo cuando hay vientos fuertes.
- Realizar en tiempo y forma el llenado.

- Actividades que puedan afectar al SUELO y/o AGUA

La formación accidental de lixiviados podría percolar a las capas subyacentes de suelo, y/o napas de agua subterránea arrastrando contaminantes. Este problema es de corto plazo debido a que se produce en eventos aislados y accidentales ante la ruptura de la membrana impermeable.

Se propone el siguiente procedimiento seguro:

- Utilizar membrana impermeable de alta densidad sobre la base de la PDV.
- Disponer de material para la enmienda de la membrana en caso de rotura.
- Monitorear los indicadores previstos de riesgo descriptos anteriormente, sensores, bioindicadores.

- Actividades que puedan afectar la FLORA Y FAUNA

Los movimientos de suelo debidos a maquinarias y operaciones humanas, sumadas a sucesos de vientos, podrían ocasionar la dispersión de material particulado y contaminación a zonas cercanas afectando la flora y fauna del lugar. Este problema es de corto plazo dado que se

podría producir sólo durante la etapa de movimiento de suelo para el llenado de la Planta Depuradora Vegetal.

Se propone el siguiente procedimiento seguro:

- Evitar trabajos de movimiento de suelos cuando hay vientos fuertes.
- Trabajar siempre en sitios de tratamiento destinados para tal fin y apropiadamente delimitados.
- Monitorear los bioindicadores destinados a tal fin.

En relación a las PERSONAS:

En cuanto al uso de herramientas y elementos de seguridad, al uso de insumos y materias primas y al uso de maquinarias y automotores, se establece:

- Uso de los elementos de protección personal según actividad involucrada.
- Prohibición de uso de ropa suelta, cadenas y anillos.
- Sólo podrán ingresar al predio aquellas personas habilitadas y autorizadas para trabajar en el proceso.
- Sólo podrán realizar trabajos en el predio de tratamiento quienes hayan dado previo aviso al responsable Técnico del proyecto y recibido debida autorización.
- Sólo podrán realizar trabajos en el predio de tratamiento quienes hayan recibido debida capacitación conforme al trabajo a realizar.
- Los carteles debidamente ubicados en el predio son normas de seguridad y como tal se deben respetar. No obstaculizar su visualización.
- Informar acerca de cualquier situación que implique un riesgo para la salud.
- No comer, fumar o beber en el predio de tratamiento.
- Si se presentan heridas en las manos, no se intervendrá en la preparación y empleo de los materiales en tratamiento.
- La ropa, equipos y herramientas deberán lavarse bien después del uso y guardarse en un lugar seguro.
- Retirar del predio todos los envases utilizados y hacer una disposición final segura de ellos.
- No se puede correr en el predio.

Documentos a consultar

- NORMA OHSAS 18001:2007
- MANUAL SGS
- Ley Nacional 24.051 Residuos Peligrosos

REFERENCIAS

- Akratos CS, Tsihrintzis V. *Ecol Engin.* 29(2): 173-191 (2007).
- Craver, Jeffrey T.; et al. (2006). Technology Program Management Model, Army Space and Missile Defense Command Technical Center, presented at the NDIA Systems Engineering Conference "United States Department of Defense (DoD) (2006).
- Glick BR., *Biotechnol Adv* 21:383-393. (2003).
- <https://ec.europa.eu/growth/sites/growth/files/critical-importance-risk.jpg>
- Ibañez de Aldecoa Quintana JM, Niveles de madurez tecnológica Technology readiness levels: TRLS: una introducción. *Economía industrial*, ISSN 0422-2784, N° 393 pág. 165-171 (2014).

- NASA, Technology Readines Levels (2006).
https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html
- Olson et al. *Appl Microbiol Biotechnol* 63:249–257 (2003).
- Scotti, A., Silvani V., Cerioni J., Visciglia M., Benavidez M., Godeas A. Pilot testing of a bioremediation system of water and soils contaminated with heavy metals: Vegetable Depuration Module. *International Journal of Phytoremediation*. (2019 in press). Doi:10.1080/15226514.2019.1583634.
- Scotti, A., Silvani V., Cerioni J., Visciglia M., Benavidez M., Reviglio, H., Godeas A. Desarrollo del Módulo Depurador Vegetal como escalamiento industrial de un sistema biorremediador de suelos y aguas contaminados por metales pesados. *Revista UTN FRSR Disco compartido 2.0* ISBN 978-987-1896-79-0 (2017).
- Smith SE. & Read DJ, Mychorrhizal Symbiosis, third ed. Academic Press, New York (2008).
- Zhiguo et al. *FEMS Microbiol Ecol* 74 155–164 12 (2010).
- Zhiguo et al. *Hydrometallurgy* 125–126, 2012, 81–89 (2012).

GEOMICROBIOLOGÍA PARA PROSPECCIÓN POR URANIO EN ARENISCAS Y SU ASOCIACIÓN MINERALÓGICA EN LA CUENCA NEUQUINA

Scotti Adalgisa^{ab}, Rojas Guillermo^c, Servant Marcela^c, Catálfamo Pablo^c

^aFacultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

^bInternational Center for Earth Sciences (ICES), Comisión Nacional de Energía Atómica

^cComisión Nacional de Energía Atómica Regional Cuyo

e-mail: scotti@cnea.gov.ar; grojas@cnea.gov.ar;
cservant@cnea.gov.ar; catalfamo@cnea.gov.ar

RESUMEN

El transporte y depósito de Uranio está relacionado con el potencial redox (Eh) y el pH existente en la celda geológica. La mineralización uranífera en presencia de hidrocarburos está vinculada con el potencial de reducción proveniente de la biodegradación del petróleo pesado (1,2). A nivel de superficie la composición bacteriana es modificada por la presencia de gases provenientes de la biodegradación. (3,4). El objetivo de este trabajo es incorporar un método microbiológico de prospección en superficie para aquellos depósitos de U, Th y K que se encuentren en profundidad. Nuestra hipótesis establece que la relación microbiana Bacillus sp/Mesófilas aeróbicas (B/MT) totales está vinculada con la biodegradación de petróleo pesado y la precipitación uranífera, haciendo de esta relación bacteriana un método complementario de prospección microbiológica de radioisótopos (5). Se recolectaron 20 muestras de suelo en la cuenca petrolífera Neuquina para el análisis: microbiológico, espectrométrico, radimétrico total y químico para U, Th y K radioactivo. Se realizó un análisis estadístico mediante componentes principales utilizando el programa Statistica 7 y se estudiaron las zoneografías correspondientes. El análisis estadístico mostró la correlación altamente significativa entre la relación (B/MT) y las concentraciones de K (en %), U y Th radioactivos (en ppm).

Palabras Clave: Prospección, Microbiología, Radioisótopos, Cuenca Neuquina

INTRODUCCIÓN

La asociación de la mineralización de uranio con bitúmenes está ampliamente conocida para numerosos depósitos de este elemento. Si bien el petróleo no puede ser considerado como una fuente de uranio o como el fluido que transportó al mismo, las relaciones que existen entre roca portadora u hospedante y los yacimientos de petróleo, son evidentes. Se encuentran numerosas manifestaciones de bitúmenes uraníferos en diversos tipos litológicos como areniscas, conglomerados y brechas de falla y en diferentes períodos geológicos como el Precámbrico, Cámbrico, Pérmico, Triásico, Cretácico y Terciario, siempre relacionadas a cuencas sedimentarias (Fig. 1).

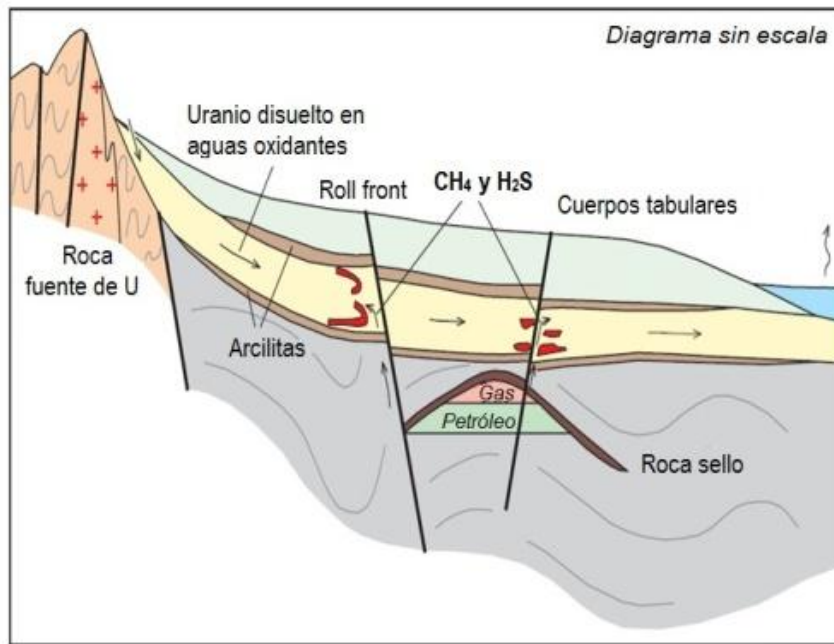


Figura 1. Diagrama de mineralización uranífera en presencia de hidrocarburos. Modificado de Jaireth, S. et al. (2008).

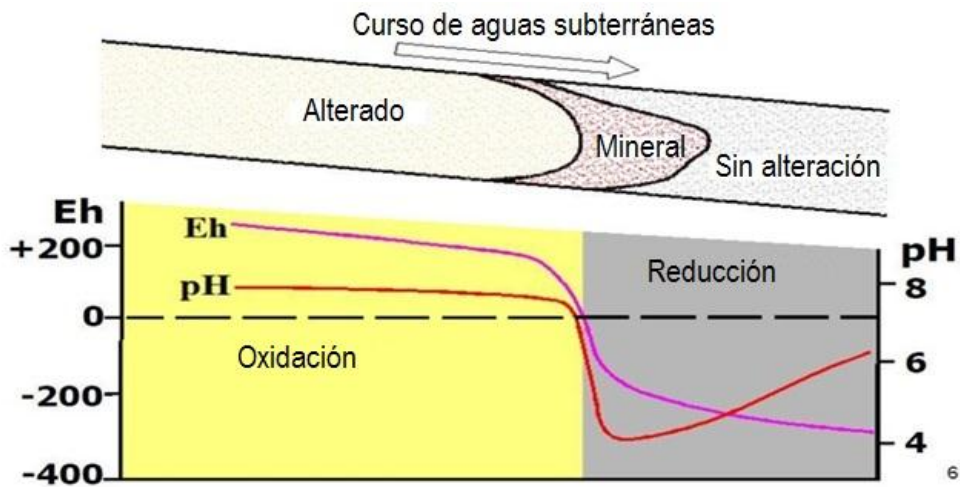
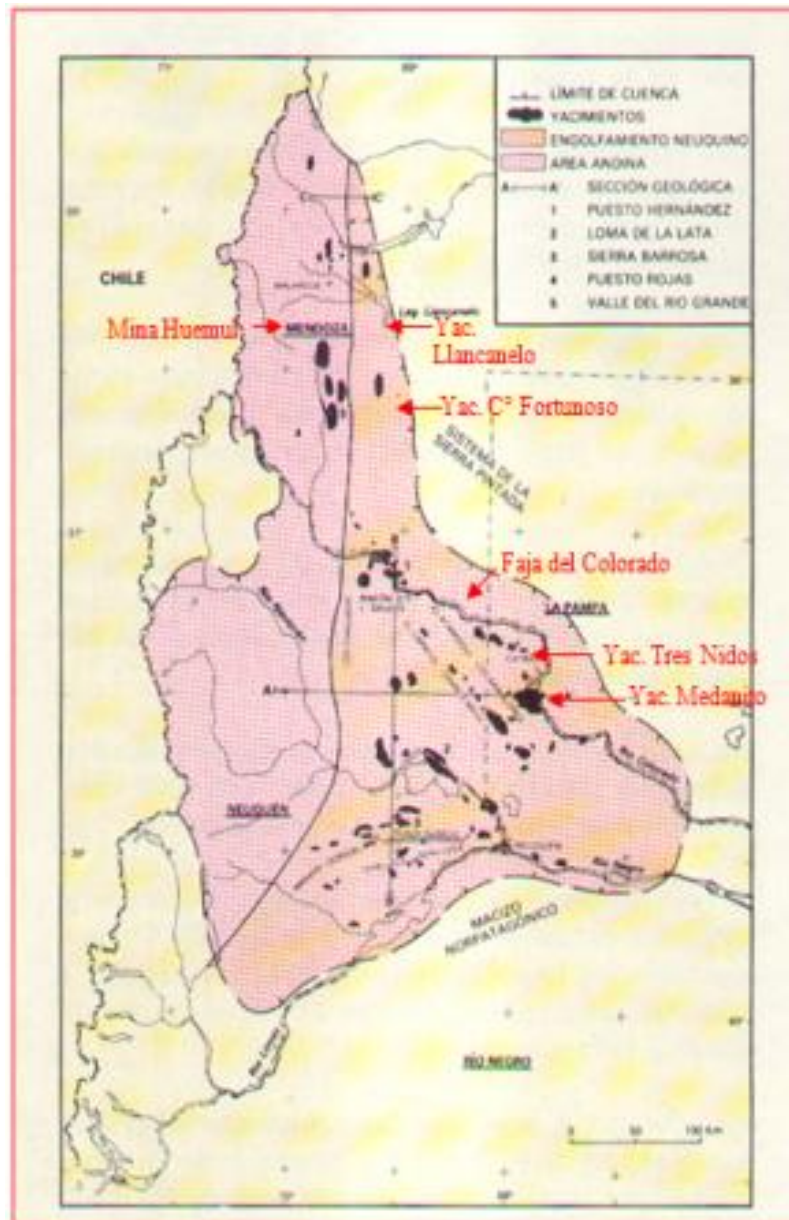


Figura 2. Condiciones de Eh-pH durante el transporte y deposición de U. Modificado de Pourbaix, M., Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions.

La biodegradación de petróleos asociados a las mineralizaciones de uranio fue observada en numerosos depósitos y yacimientos mundiales y, a modo de ejemplo, en Temple Mountain, Utah y en Grand Canyon, Arizona, ambos en los Estados Unidos de América, y en Lodève, Francia (Landais1989). En la Argentina, se ha verificado la íntima relación del uranio a petróleo pesado en el yacimiento Huemul, ubicado en el departamento de Malargüe, Mendoza. Es el único ejemplo nacional y que ha sido explotado por la CNEA hace ya varias décadas. Fue objeto de estudio la mineralogía y la génesis del yacimiento en numerosos

trabajos y, particularmente, Milka K. de Brodtkorb (1966) determinó la existencia de cuatro tipos de petróleos pesados o asfaltos, discriminados por sus propiedades ópticas, siendo sólo uno de ellos el portador de la pechblenda que es el mineral preponderante en la mina. Estudios posteriores a nivel mundial determinaron, concluyentemente, que esa capacidad reductora, en condiciones favorables de Eh y pH (Fig. 2), está dada por un proceso de destrucción progresiva de hidrocarburos lineales dejando un residuo viscoso y pesado. En la cuenca Neuquina se conocen petróleos biodegradados y presenta notorios efectos de ese proceso en los sectores someros de la misma, principalmente, en aquellos próximos a los bordes de la cuenca, denominado también, plataforma (Fig. 3). Es un ejemplo de que la biodegradación es un fenómeno de tipo regional por la amplia distribución, ya sea en subsuelo como en superficie, de hidrocarburos alterados biológicamente. Las mejores condiciones darían a

menores profundidades y sectores más al borde de la Vaca Muerta (Cevallos 2011).



en
cercaos
cuenca.
se han
Formación
(Cevallos

Figura 3. Yacimientos de hidrocarburos sobre el borde de la cuenca Neuquina con petróleo pesado o con evidencias de posible biodegradación (Tomado y modificado de Turic et al. 1987).

Tabla 1. Potencial redox a pH 7 y Oxígeno disuelto requerido para cada una de las parejas redox descriptas. (Lehninger, A., 2005)

Parejas Redox	Eh ₇ (milivoltios)	Oxígeno disuelto (mg/L)
NO ₃ ⁻ /NO ₂ ⁻	+450 a +400	4.0
NO ₂ ⁻ /NH ₃	+400 a +350	0,4
Fe ³⁺ / Fe ²⁺	+300 a +200	0.1
SO ₄ ²⁻ / S ²⁻	-150 a -200	0.0
CO ₂ / CH ₄	-250 a -300	0.0

Algunas bacterias pueden convertir compuestos químicos peligrosos en otras formas menos nocivas para la vida y por ello son ideales para la limpieza de zonas con derrame de petróleo y, de forma general, en el tratamiento de residuos tóxicos (Batista García et al. 2011) (Sanket et al. 2008). Los aceptores más comúnmente utilizados por los microorganismos son el oxígeno (en el caso de aeróbicas), los nitratos, el hierro (III), los sulfatos y el dióxido de carbono (en anaeróbicas), (Tabla 1). (Lehninger2005). A nivel de superficie la composición bacteriana es modificada por la presencia de diversa concentración de gases provenientes de la biodegradación. La base científica de los métodos de prospección microbiológica de exploración y prospección de petróleo consiste en la migración de hidrocarburos ligeros gaseosos, como: metano (C1), etano (C2), propano (C3) y butano (C4), desde el reservorio hasta la superficie del yacimiento y en la asimilación de estos compuestos hidrocarbonados por grupos específicos de microorganismos que habitan el subsuelo de estos ecosistemas (Rasheed et al.2008; McLee et al.1972; Batista García et al. 2011). También hay diversos biomarcadores, que indican qué tipo de degradación tiene el petróleo. Estos biomarcadores son compuestos orgánicos predominantes como resultado de la biodegradación microbiana (De Vasconsellos 2009). Existen bacterias que oxidan metano, etano, propano y butano, y que además, usan exclusivamente estos gases como única fuente de carbono y energía para su crecimiento. La densidad de estas bacterias varía de áreas con presencia de hidrocarburos respecto a otras donde no se localizan reservorios de petróleo (Horvitz 1939). Al género *Bacillus sp.* pertenece un gran número de microorganismos degradadores de petróleo (Tucker et al. 1994). Esta cepa es capaz de formar esporas lo que la hace más resistente a ambientes agresivos (Du Teau et al. 1998; Narvaez Flores et al. 2008). Considerando lo anteriormente expuesto se consideró la relación *Bacillus sp* / Mesófilas aeróbicas totales, apta para testear la densidad de bacterias en superficie que utilizan los hidrocarburos provenientes de la degradación del petróleo realizada por bacterias anaeróbicas en profundidad. El objetivo de este trabajo es incorporar un método microbiológico indirecto de prospección en superficie para aquellos depósitos de uranio que se encuentren en profundidad. Para lo cual se llevó a cabo un muestreo aleatorio de la zona de interés, a dichas muestras se le realizaron los análisis preliminares presentados en este trabajo, los cuales sirvieron como base para desarrollar un muestreo sistemático en campañas sucesivas. Para ello nos basamos en las siguientes hipótesis: Nuestra hipótesis 1 consiste en suponer que los hidrocarburos desempeñan un papel clave en la precipitación de uranio en el área. Nuestra hipótesis 2 consiste en sostener que la proporción de *Bacillus sp* en relación con la cantidad de bacterias mesófilas aeróbicas totales es un indicador de anomalías microbiológicas producidas en cuencas uraníferas en presencia de petróleo pesado biodegradado.

METODOLOGÍA

El sitio de estudio comprende 600 km² de la cuenca Neuquina. Se recolectaron 20 muestras de suelo para el análisis microbiológico, espectrométrico, radimétrico y químico. Las mediciones espectrométricas se realizaron con equipo de campo, RS-125 Super-Spec, radiation y las radimétricas con el equipo SPP-2. Las muestras de suelo fueron enviadas al laboratorio de Geoquímica de la Regional Cuyo donde se determinó uranio lábil con el equipo de Fluorescencia láser Scintrex UA3, y potasio químico por medio de la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica, equipo Perkins Elmer Analyst 200, mientras que la determinación de torio químico fue realizada en el Centro Atómico Constituyentes, mediante la técnica de ICP-Masa. La determinaciones microbiológicas fueron realizadas por la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria de la UNCuyo. Las determinaciones microbiológicas se realizaron sobre material recolectado en forma estéril, conservado en heladera durante la campaña. El recuento de bacterias mesófilas aeróbicas totales se realizó en agar para recuento en placa, e incubación a 37 °C durante 24 h. El recuento de *Bacillus sp.* se realizó en agar para recuento en placa, incubación a 37 °C durante 24 h., previo calentamiento de la muestra a ebullición. El muestreo se realizó hasta la profundidad en general de 1 m. Se realizó un análisis estadístico mediante análisis de componentes principales y regresión lineal múltiple con Statistica 7. Se realizaron las zoneografías de los valores mostrados en la Tabla (2) utilizando el software Arcgis, Sistema de Información Geográfica 10.2 y con el método de interpolación IDW (*Inverse Distance Weighted*).

RESULTADOS

En la Tabla 2 se observan los resultados de los puntos muestreados con sus coordenadas geográficas. El estudio estadístico exploratorio realizado sobre la base del análisis de componentes principales arrojó el siguiente dendrograma de la Figura 4. A continuación se muestran los gráficos correspondientes a las zoneografías donde se puede observar cómo se distribuyen los valores de las variables analizadas en el territorio en estudio.

Tabla 2. Resultados de radimetría total, espectrometría in situ para K, U y Th y de mediciones químicas para U, K y Th para cada uno de los puntos muestreados.

MUESTRA	RADIMETRÍA (c/s)	Mesófilas Aerobias totales	Bacillus sp (ufc/g)	Relación Bacillus/MAT (%)	ESPECTROMETRÍA (in situ)			DATOS QUIMICOS (Laboratorio)				Coordenadas Geográficas	
					K %	U ppm	Th ppm	U Labil ppm	Total ppm	K %	Th ppm		
Ycq-1- M 1	60.00	57000.00	3000.00	5,26	1,60	2,20	6,70	1,20	3,30	1,30	8,40	37 46 22,6	67 59 57,8
Ycq-6- M 2	65.00	17000.00	500.00	2,94	1,40	3,40	8,50	1,80	3,30	1,60	7,15	37 45 18,6	67 57 45,7
Ycq-112- M 3	65.00	20000.00	1000.00	5,00	1,80	1,00	9,40	1,50	3,30	1,60	8,25	37 45 50,2	68 04 44,5
Ycq-115- M 4	65.00	25000.00	750.00	3,00	1,70	2,80	7,40	1,50	3,00	1,60	7,85	37 46 30,8	68 05 26,1
Ycq-117- M 5	75.00	80000.00	1500.00	1,88	1,80	3,50	7,80	1,80	3,60	1,70	7,30	37 45 24,1	68 03 05,9
Ycq-119- M 6	75.00	70000.00	5000.00	7,14	1,80	2,00	7,40	1,60	3,00	1,50	7,90	37 55 39,7	68 03 25,1
Ycq-122- M 7	60.00	80000.00	6750.00	8,44	1,90	0,60	9,80	1,60	2,80	1,50	6,35	37 54 16,7	68 02 17,4
Ycq-126- M 8	60.00	100000.00	4250.00	4,25	1,50	1,90	7,50	1,50	3,00	1,50	7,20	37 54 42,5	68 05 8,4
Ycq-128- M 9	75.00	42000.00	3500.00	8,33	1,60	2,70	9,50	1,50	2,70	1,50	6,70	37 57 46,8	68 06 10,3
Ycq-131- M 10	60.00	110000.00	2250.00	2,05	1,50	1,40	7,40	2,30	3,00	1,20	7,95	37 46 15,5	68 02 4,0
Ycq- 302- M 11	60.00	22000.00	2020.00	9,18	2,10	3,10	7,20	2,00	3,70	1,80	SD	37 53 16,3	67 54 39,2
Ycq- 314- M 12	50.00	70000.00	130.00	0,19	2,10	1,30	9,40	1,90	3,10	1,80	6,10	37 50 53,8	67 58 17,1
Ycq- 331- M 13	50.00	160000.00	1810.00	1,13	1,90	0,00	9,10	2,00	3,70	2,10	4,55	37 51 35,7	67 54 22,8
Ycq- 341- M 14	60.00	170000.00	5180.00	3,05	2,00	1,90	6,50	1,60	2,40	1,80	5,35	37 51 35,0	67 58 51,1
Ycq- 350- M 15	50.00	140000.00	5480.00	3,91	2,00	1,50	8,70	1,60	2,40	1,90	4,15	37 48 15,2	67 56 18,4
Ycq- 360- M 16	50.00	450000.00	3280.00	0,73	1,60	0,70	9,00	1,90	3,10	1,60	5,55	37 46 25,0	67 54 25,6
Ycq- 371- M 17	50.00	110000.00	20.00	0,02	2,10	2,70	7,60	1,50	2,00	1,70	5,15	37 49 53,1	68 01 38,2
M 18	50.00	190000.00	4720.00	2,48	1,70	2,40	7,90	2,00	3,20	1,60	6,50	37 45 42,1	67 57 43,3
M 19	50.00	200000.00	2930.00	1,47	1,80	2,10	7,40	1,90	3,40	1,60	5,80	37 46 22,5	67 57 58,1
M 20	60.00	190000.00	2320.00	1,22	1,90	3,70	8,00	1,60	3,80	1,50	4,90	37 42 33,7	68 2 5,5
Blanco F	50.00	260000.00	2200.00	0,85	1,50	1,30	7,60	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Blanco D	55.00	110000.00	2800.00	2,55	1,50	2,40	9,40	SD	SD	SD	SD	SD	SD

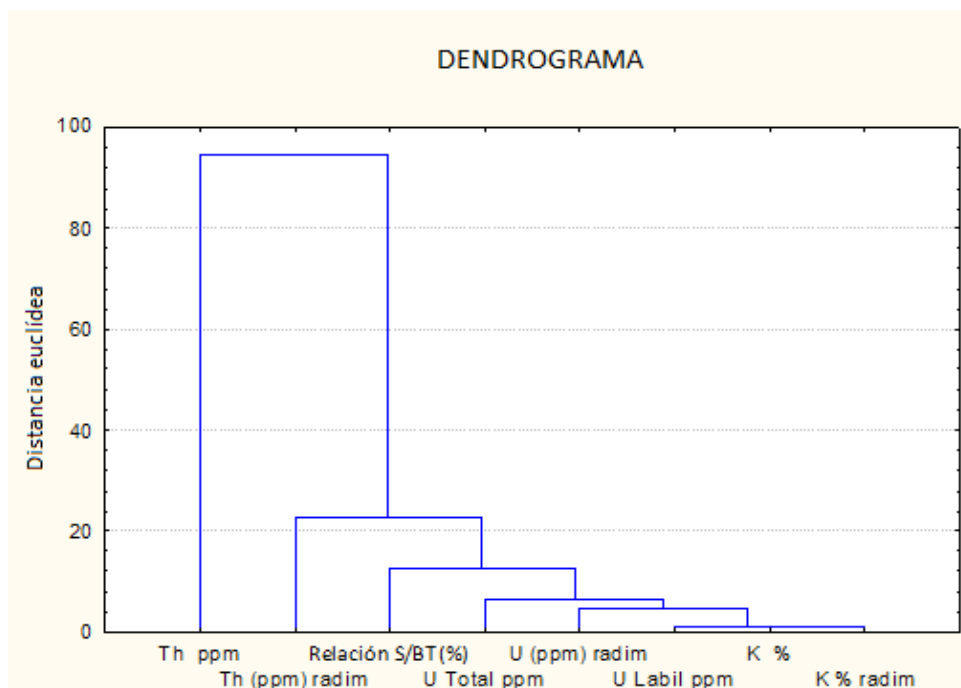


Figura 4. Dendrograma de las variables analizadas

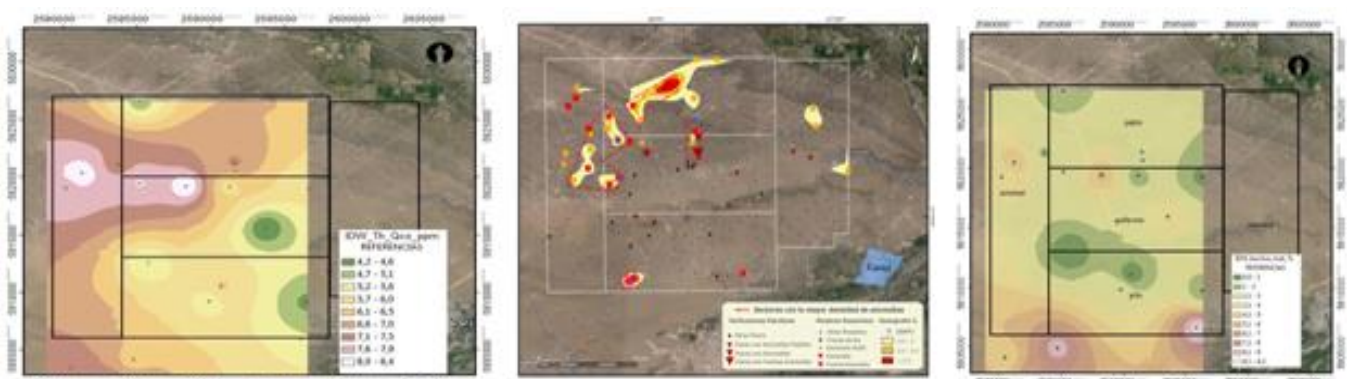


Figura 5. (izquierda a derecha) Zoneografías de Th, anomalías de U Fuente Karkanis 2014, Relación B/MT

CONCLUSIONES

El estudio exploratorio estadístico de componentes principales arrojó que la relación *Bacillus sp* /mesófilas aeróbicas totales se correlaciona significativamente con los valores de U, K, Th y radimetría total; esto puede observarse en el dendrograma. La observación de la zoneografía correspondiente a la relación microbiológica, muestra valores altos en la parte inferior de la zona en estudio, correspondiéndose con las anomalías de U descritas en la bibliografía. En la zona norte del muestreo se observa un lineamiento en dirección NO-SE coincidiendo con algunos puntos de las anomalías de U en subsuelo. Las zonas negativas también se corresponden con la descripción de anomalías de la bibliografía.

Estos resultados preliminares deben corroborarse aumentando el número de muestras y relacionando estos resultados con valores de U, K y Th encontrados en profundidad, tarea que

se llevará a cabo en las siguientes campañas, elevando el grado de estudio de la zona de interés.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente la colaboración de la Ing. Ana Castaño Gañan, el Geólogo Constantino Karkanis y al Dr. Martín Pedro Gómez.

REFERENCIAS

- Batista García, R.Al. A.L. ,Quesada Quintero, A. ,Sánchez Reyes, S., López Guerra y Z.Domínguez Sardiñas, “*Microbiología y biotecnología aplicadas a la exploración y producción petroleras*”. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 42, No. 1, pp. 35-41. (2011).
- Brodtkorb, M.K., *Mineralogía y consideraciones genéticas del yacimiento Huemul, provincia de Mendoza*. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XXI, N° 3, pp. 165-179. (1966).
- Cevallos, M.; Vamonde, D.; Rivero, M.; Rojas, C.; Kim, H.; Galarza, T.; Legarreta, P., *Exploración y desarrollo del tren de petróleo pesado del río Colorado, margen occidental de la cuenca Neuquina, Argentina*. VIII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. IAPG. (2011).
- De Vasconcellos, S.P.; Crespim E.; Da Cruz, G.F.; Marques-Simioni, K.C.; Santos Neto, E.V.; Marsaioli, A.J.; Olivera, V.M., *Isolation, biodegradation ability and molecular detection of hydrocarbon degrading bacteria in petroleum samples from a Brazilian off shore basin*. Organic Geochemistry. 40,574.(2009).
- DuTeau, N.M.; Rogers, J.D.; Bartholomay, C.T.; Reardon, K.F., *Species-Specific Oligonucleotides for Enumeration of Pseudomonas putida F1, Burkholderia sp. Strain JS150, and Bacillus subtilis ATCC 7003 in Biodegradation Experiments*. Applied and Environmental Microbiology, vol. 64 nº12, 4994-4999.(1998).
- Horvitz L.. *On geomicrobial prospecting*. Geophysics, 4:210-228. (1939).
- Karkanis, C., *Primer informe de prospección geoquímica de los cateos próximos a la localidad de Colonia Catriel, provincia de Río Negro y del cateo Lucas, provincia de La Pampa*. Informe interno. CNEA, (2015).
- Landais, P., *Biodegradation of oils in uranium deposits, en Metallogenesis of uranium deposits*. IAEA. (1989).
- Lehninger, A., *Bioquímica* 3 edición Ed. Omega. ,(2005)
- McLee A, Kormendy A, Wayman M., *Isolation and characterization of n-butane utilizing microorganisms*. Canadian Journal of Microbiology;18:1191-1195.(1972).
- Narvaez Flores S., Gómez, M., Martínez, M., *Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos, aisladas a partir de sedimentos del Caribe Colombiano*. Boletín de investigaciones marinas y costeras - vol. 37 (1).(2008).
- Rasheed M, Veena M, Satish T, Patil D, Dayal A., *Geomicrobial prospecting method for hydrocarbon exploration in Vengannapalli Village, Cuddapah Basin, India*. Current Science;95:361-366. (2008).
- Sanket J, Chirag B, Anjana D., *Production of biosurfactant and antifungal compound by fermented food isolated Bacillus subtilis 20B*. Bioresource Technology.
- Tucker J., Hitzman D., 1994. *Detailed microbial surveys help to improve reservoir characterization*. Oil and Gas Journal;6:65. (2008).
- Manual of acid in situ leach uranium mining technology*. IAEA-TECDOC -1239. August (2001)

ÍNDICES DE DIFERENCIACION DE HIELO Y NIEVE- CASO DE ESTUDIO: VOLCAN INCAHUASI, FIAMBALÁ, CATAMARCA

Serra M.^a y Herrera C. G.^{ab}

^a Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG), FTyCA,
Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

^b Departamento de Formación Básica, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca,
ARGENTINA

e-mail: malvinaserra@gmail.com

RESUMEN

Los avances de la tecnología hacen propicia la oportunidad para analizar, desde diversas perspectivas, las características superficiales y subterráneas del planeta, utilizando no solo los conocimientos científicos sino también los programas y softwares de aplicación. En este sentido, a través de operaciones estadísticas y numéricas aplicadas sobre los datos de las matrices que componen una imagen satelital, se puede obtener información que no es percibida por el sentido de la vista, de utilidad en la descripción de procesos glaciares y periglaciares, como los que se encuentran en el área de estudio. Las operaciones matemáticas realizadas sobre la información digital multiespectral admitió la discriminación de tonalidades en una imagen satelital que permite diferenciar la mayor o menor densidad de acumulación de masas de hielos y nieve, el flujo de la nieve y el área que ocupa, en el volcán Incahuasi, ubicado al noroeste de la provincia de Catamarca, localidad de Fiambalá; en un valle longitudinal por el que discurre el río Chaschuil, que es alimentado por las aguas de deshielo que nacen en la cima de los volcanes. Los resultados obtenidos se definen por una fórmula matemática específica para cada cobertura, utilizando por ejemplo, índices de diferenciación de nieve y de hielo.

Palabras Clave: multiespectral, procesamiento digital, imagen satelital, periglaciario

INTRODUCCIÓN

Todos los elementos de la corteza terrestre, rocas, suelos, vegetación y agua, absorben, reflejan o emiten una cantidad de energía que depende de la longitud de onda, de la intensidad y tipo de radiación incidente, así como también de las características de absorción de los objetos y de la orientación de estos respecto al sol o fuente de iluminación. Esta energía puede ser propia de los elementos o puede ser energía que emiten por el fenómeno físico de reflexión de la luz solar.

La energía que los sensores pueden captar en las imágenes satelitales abarca un amplio rango de longitudes de onda del espectro electromagnético, del cual el ojo humano puede percibir una fracción menor denominada espectro visible, cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 0,4 a 0,7 micrones. Longitudes de onda mayores a 0,7 micrones se denominan infrarrojo cercano (longitudes de onda comprendidas entre 0,76 a 0,90 micrones), medio (1,55-1,75 micrones) y lejano (entre 10 y 12,5 micrones).

Estos niveles de energía contienen información que se almacena en matrices que representan un área de la superficie terrestre, a cada elemento de la matriz (pixel) se le

asigna un número que representa un nivel de color gris. A su vez esta forma de almacenar la energía emitida por la superficie terrestre puede ser definida por capas que representan distintas longitudes de onda del espectro electromagnético, es decir que se presenta una matriz tridimensional que se corresponde con las dimensiones de la superficie terrestre y con las bandas del espectro electromagnético que representa.

A través de operaciones estadísticas y numéricas aplicadas sobre los datos de las matrices que componen una imagen satelital se puede obtener información que no es percibida por el sentido de la vista y que fue de utilidad, por ejemplo, en el estudio de procesos geológicos que ocurren en la cuenca alta del río Chaschuil, que presenta manifestaciones conspicuas de glaciares y periglaciares en la cima de volcanes que poseen más de 5000 y 6000 msnm, como el volcán Incahuasi.

En algunos trabajos, como Alonso, C. y Moreno, V. (1996), se utilizan técnicas de teledetección para extraer de imágenes satelitales la información sobre la cubierta de nieve acumulada en las cabeceras de las cuencas de alta montaña, a través de operación de composición a color, distinguiendo la nieve de otra cubierta de la superficie terrestre y las nubes. Por otro lado, Cartes, M. (2009), para la discriminación de la cobertura de nieve empleó el Índice de Diferenciación de Nieve Normalizado (NDSI), concluyendo que un umbral $NDSI = 0,7$, para cualquier época del año, representaba la mejor alternativa como elemento discriminatorio. Para la diferenciación entre la cobertura de hielo y de nieve, Loarte, E. et al. (2015) aplicó el realce de desviación estándar en 1 y 2 grados sobre una combinación de bandas 5-4-2 y en algunos casos lo complementó mediante la combinación 4-3-2, de tal manera que visualmente se pueda diferenciar estas coberturas. Complementariamente sobre la combinación de bandas 5-4-2 aplicó otros realces de ecualización y de mínimos y máximos.

Las geofomas que se realizaron son típicas de ambiente glaciar y periglaciar (donde se observó la intensidad del espectro de la acumulación de nieve, cuya reflexión varía acorde a la potencia de la capa de hielo).

El área se ubica en el noroeste del departamento Tinogasta, al oeste de la Provincia de Catamarca, dista 350 km de la capital catamarqueña. Es un valle longitudinal atravesado por el cauce del río Chaschuil, cuyos afluentes principales son Cazadero Grande, Las Lozas y San Francisco. El Valle de Chaschuil limita al norte con el cordón de San Buenaventura, al este con la sierra de Las Planchadas y al oeste con la República de Chile.

El clima es semiárido frío, temperaturas nocturnas inferiores a 0°C durante todo el año y gran amplitud térmica diaria, por encima de los 4500 msnm presenta evidencias de hielos permanentes, de tipo glaciar y nieves, glaciares de escombros, suelos congelados, permafrost, y en el área pedemontana domina la actividad eólica, tanto de acumulación como de deflación. Se ubica al sur de la Puna austral, en el marco de la región de Sierras Pampeanas Noroccidentales y Cordillera Frontal, y su relieve es típico de esas provincias geológicas.

Teledetección Espacial

La teledetección espacial es la técnica que adquiere información de la superficie terrestre o de elementos ubicados sobre la misma, desde sensores remotos instalados en plataformas espaciales que se encuentran a cierta distancia sobre la superficie de la tierra, sin mantener contacto directo con los mismos, siendo necesario que entre el elemento en análisis y el sensor remoto exista una interacción energética de un haz natural (teledetección pasiva) o artificial (teledetección activa) que permita la reflexión y emisión de la señal sobre la superficie. Chuvieco, E. (1990).

La radiación es uno de los procesos por el cual se transfiere la energía térmica. Según la Ley de Stefan Boltzman todo cuerpo con una temperatura mayor a cero absoluto (-273,15 ° C) emana energía y ésta se incrementa con la temperatura. La radiación electromagnética se transmite de un lugar a otro en forma de ondas a la velocidad de la luz constituida de dos campos de fuerzas ortogonales entre sí: eléctrico y magnético, el campo electromagnético, como se puede observar en la Figura 27. Este flujo se caracteriza por dos elementos: la longitud de onda (distancia entre dos picos sucesivos de una onda que puede medir de micrómetros a kilómetros) y la frecuencia (es el tiempo que transcurre desde el paso de dos picos de una onda medida en ciclos por segundo o Hertzios). La energía radiante de un fotón es directamente proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda por lo que conocido el valor de uno de estos elementos se puede conocer el contenido energético. Brito, E. (2014).

Espectro electromagnético

Las longitudes de onda pueden ser cortas (rayos gamma, rayos X) y largas (microondas, radar, etc.). En la teledetección es muy común establecer regiones o bandas donde la radiación electromagnética manifieste un comportamiento similar basándose en la longitud de onda y en la frecuencia. Estas bandas se denominan como espectro electromagnético. Ver Fig. 1.

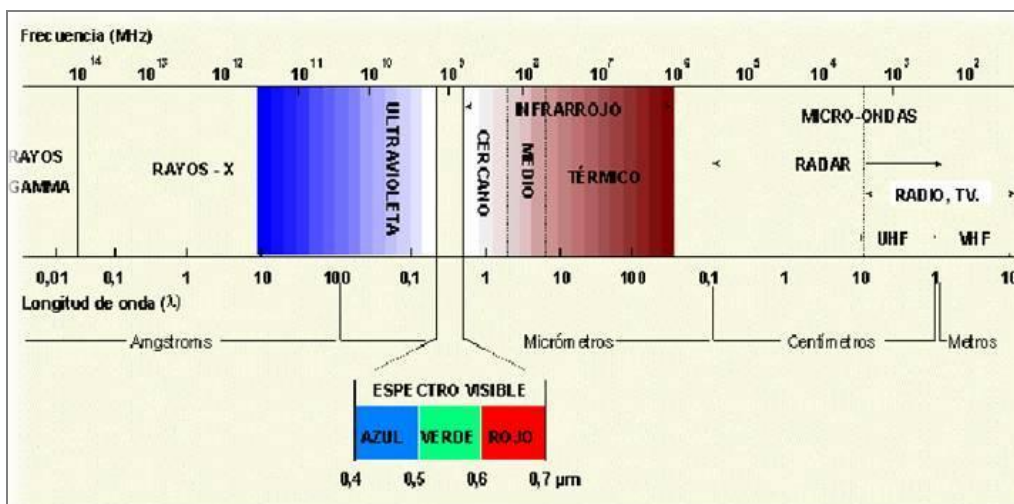


Figura 1: Espectro electromagnético

Fuente: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/elementos.aspx>

De estas bandas espectrales las empleadas en teledetección, con sus respectivos intervalos de longitud de onda, son: espectro visible (0,4-0,7 micrones-μm), infrarrojo: próximo (0,7-1,3 μm), medio (1,3-8 μm) y térmico (8-14 μm), y microondas (a partir de 1 mm).

El espectro visible es la única radiación electromagnética que el ojo humano puede percibir, se compone de tres bandas de los colores primarios: rojo (R= red), verde (G= green) y azul (B= blue), cuya composición da como resultado el color real. Entre otras características: penetran en el agua, tienen un gran efecto de dispersión atmosférica y en esta región la radiación solar es máxima por lo que trabajan durante el día.

El infrarrojo próximo se utiliza mucho por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad. El infrarrojo medio es la región donde existen procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre, al igual que en el infrarrojo próximo existe una alta reflectancia de la vegetación y permite obtener imágenes en condiciones nocturnas. El infrarrojo térmico permite detectar el calor

procedente de las distintas cubiertas, la energía total que recibe el sensor es el resultado de la emitancia de la superficie en función de su temperatura. Las microondas atraviesan las nubes y permiten la obtención de imágenes tanto en el día como en la noche. Estas ondas son capturadas por sensores activos. Chuvieco, E. (1995).

Dentro del estudio de glaciares el espectro visible y el infrarrojo próximo y medio se utilizan para capturar la reflectancia espectral de la superficie y para discriminar entre nieve de hielo, y hielo de otros materiales. Por ejemplo, la reflectividad es mayor para la nieve fresca que para la helada. Además, la nieve sucia muestra los valores más bajos de reflectividad. También permiten clasificar la nieve en función de la estacionalidad. En la región del infrarrojo próximo se puede diferenciar la nieve de las nubes. La región del infrarrojo térmico es utilizada para medidas de temperatura superficial, para identificar lagunas, glaciares cubiertos y estimar el espesor del hielo en el mar. Las microondas son utilizadas porque dentro de las mismas se puede discriminar: la nieve y el hielo del agua y de la roca, el hielo nuevo del hielo antiguo en el mar. Se puede distinguir la nieve de los humedales y permite medir el tamaño de grano, densidad masa y sustratos.

MÉTODOLÓGÍA

Pre-procesamiento

El pre-procesamiento consiste en todas las correcciones previas a la interpretación que se realicen a las imágenes satelitales de distintos sensores para corregir distorsiones originadas por la plataforma, la rotación terrestre, el sensor o la atmósfera. Los receptores realizan estas correcciones en algunos casos y en otros el detalle de la imagen es suficiente en función del objetivo del estudio. Estas correcciones permiten determinar las coordenadas geográficas y comparar con una misma unidad de medida. Determinarán la fiabilidad de los resultados del procesamiento siendo necesario realizar una corrección geométrica y radiométrica.

- **Corrección geométrica**

Es el cambio de posición que ocupan los píxeles de la imagen, lo que permite corregir errores sistemáticos u otros de ajuste, Chuvieco, E. (1990). Es necesario para poder comparar con una misma unidad de medida entre áreas de distintos años, por lo tanto, todas las imágenes deben ajustarse.

La precisión del ajuste debe ser superior a 0,2 píxeles e inferior a 1 píxel, para asegurar un error inferior al 10% en la comparación. Sin esta corrección geométrica de las imágenes, las superficies obtenidas supondrían cambios donde no existen. Para realizar el ajuste geométrico se debe tener una serie de puntos de control que se pueden obtener de información cartográfica base o de otra imagen que tenga una buena precisión geométrica. A partir de la información de referencia se toman puntos entre esta y la imagen a la que se le realiza el ajuste, sobre rasgos comunes como elementos hidrológicos, caminos, casas, etc., esto dependerá de la resolución de la imagen, Ponce, C. (2008).

- **Corrección radiométrica**

Es la técnica donde se modifican los números digitales originales para corregir distorsiones provocadas por la interacción con la atmósfera (principalmente por la presencia de partículas que afectan a la señal registrada) o problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor y asignarles el valor ideal del mismo rango espectral que deberían tener. En el caso del bandeo o “stripping” este se da por el mal funcionamiento del sensor y afecta el valor de los píxeles en una o más bandas espectrales y aparecen sobre la imagen satelital, Collet, M. (2010). Según las anomalías específicas detectadas sobre las imágenes satelitales se puede realizar: una restauración de líneas o píxeles perdidos, una corrección del bandeo de la imagen, una corrección atmosférica o una conversión de números digitales a parámetros físicos, Chuvieco, E. (1990).

En este caso, como el objetivo comprende una zona altamente reflectiva como es la nieve y el glaciar, se decidió realizar una corrección atmosférica aplicando el Método de Chávez (1996) más conocido como Dark Object Substraction (DOS) que consiste en la corrección del histograma, de las imágenes satelitales, por sus valores mínimos o determinando los mismos desplazando cada banda de la imagen, considerando que los cuerpos con mayor absortividad, por ejemplo el agua o sombras, tienen una radiancia espectral muy próxima a cero, la cual varía según el espectro y se ve afectada por la interacción de la atmósfera. Este valor mínimo se debe restar del valor original situando el valor en el origen del histograma en cero y los demás píxeles se ajustan por la resta de este valor corrigiéndose la interacción atmosférica que afecta estos valores en cada banda.

Procesamiento digital

Realizadas las correcciones descritas anteriormente, las imágenes satelitales de distintas fechas quedan ajustadas y sus valores digitales originales quedan homogeneizados para ser procesadas. El procesamiento se define como todas las técnicas aplicadas que permiten obtener resultados mediante la transformación de los datos de las imágenes satelitales estudiadas, satisfaciendo un objetivo para su posterior interpretación.

La técnica más adecuada será aquella que permita evadir los errores como omisión (carencia de información) y comisión (falta alarma), disminuyéndolos en gran medida obteniendo resultados satisfactorios, Ponce, op. cit. Se debe mencionar que en este caso de estudio, no se aplicaron realces o filtros a las imágenes debido a que la cobertura analizada, compuesta de hielo, nieve y rocas, presenta una gran reflectancia uniforme en todas las bandas del espectro electromagnético. Al realizarse una clasificación digital, la aplicación de los mismos no es conveniente por cuanto su aplicación modifica la información original de los números digitales creándose una nueva imagen de salida, mejoran el análisis visual y digital en muchos casos.

- **Composición de color**

Dentro de todo el proceso de la obtención de datos es muy importante el análisis visual, la composición de color es la mezclar de tres distintas bandas de una imagen satelital a

las cuales se les aplica cada uno de los tres colores primarios (R, G, B). La composición de estos colores se obtiene por dos procesos: aditivo (la suma de dos colores primarios obtiene un color complementario: cian, magenta o amarillo y la suma de los tres colores complementarios dan como resultado el blanco) y substractivo (resulta de la absorción de la luz: roja, verde o azul, por parte de los colores complementarios y la mezcla de los tres se visualiza como negro). Lo más frecuente es aplicar al color rojo a una banda del infrarrojo próximo, al verde o al rojo la del infrarrojo medio, y el azul a una banda del visible (rojo o verde), Chuvieco, E. (1990). Esta mezcla será seleccionada según un criterio y orden oportuno, lo que permite visualizar imágenes de los distintos espectros (bandas) y finalmente discriminar superficies de manera visual. Dentro de esta composición también se puede aplicar una banda artificial obtenida tras el cálculo de un índice (por ejemplo, el NDSI-ver el acápite siguiente).

- **Índice de normalización diferencial de nieve (NDSI)**

Para mapear o estimar la cobertura nival o glaciaria es necesario distinguir la misma de otras coberturas y de las nubes, y compensar los efectos de la atmósfera y de la superficie del terreno. El NDSI, por sus siglas en inglés, es la comparación de la información espectral de una banda frente a otra y su resultado permite obtener esta discriminación en forma de otra banda. En este caso la comparación se realiza entre una banda del espectro visible (Banda 2) y una del infrarrojo medio (Banda 5). En el espectro visible la nieve es altamente reflectiva (la banda 1 puede usarse para distinguir nieve en áreas con sombras), en el infrarrojo cercano es más absorbente, y dentro del rango 1,55 a 1,75 micrómetros (infrarrojo medio) existe una discriminación automática entre la nieve y las nubes manifestaciones las nubes más brillantes que la nieve. Tomando en cuenta los valores de reflectancia aparente (Rp) de cada banda el cálculo del índice, ver ecuación (1), se realiza de la siguiente manera, Dozier, J. (1989):

$$\text{NDSI} = \frac{\text{Rp Banda 2} - \text{Rp Banda 5}}{\text{Rp Banda 2} + \text{Rp Banda 5}} \quad (1)$$

Nombre del Índice	Fórmula	Descripción
Índice de Nieve Diferencial Normalizado -NDSI-	$\frac{\text{Verde} - \text{SWIR}}{\text{Verde} + \text{SWIR}}$	Para mapear la diferenciación de nieve-hielo en áreas cubiertas de nieve
Índice de Nieve y Hielo Diferencial Normalizado -NDSII-	$\frac{\text{Rojo} - \text{SWIR}}{\text{Rojo} + \text{SWIR}}$	Para mapear la diferenciación de nieve-hielo en áreas cubiertas de nieve y hielo
Índice Glaciar Diferencial Normalizado -NDGI-	$\frac{\text{Verde} - \text{rojo}}{\text{Verde} + \text{rojo}}$	Para mapear zonas de diferenciación entre nieve y hielo y una mezcla de hielo y flujos de hielo
Índice de Nieve y Hielo Diferencial Normalizado -NDSII2-	$\frac{\text{Verde} - \text{NIR}}{\text{Verde} + \text{NIR}}$	Para mapear distintas zonas de hielo y nieve en distintas clases

Figura 2: Fórmulas e índices espectrales para el mapeo de coberturas de Nieve y Hielo mediante imágenes satelitales. (Pellikka et al., 2009)

Si el resultado, de cada pixel, es mayor que el umbral de 0,4 significa que el área de ese pixel pertenece a una cobertura glaciaria o de nieve, Dozier, J. (1989). Se debe dar una previa conversión de números digitales a reflectividades, aunque algunos autores

emplean directamente los números digitales de la imagen si no se pretende conceder un valor físico a los resultados, la valoración será relativa, pero se mantendrá el principio del cálculo, Chuvieco, E. (1990). Ver Fig. 2.

RESULTADOS

Se utilizaron imágenes satelitales correspondientes a los años 2002 y 2015 de verano e invierno en ambos casos.

Para realizar el procesamiento digital de las imágenes obtenidas de la zona de estudio se utilizó el software libre SoPI 3.0. Con la ayuda de este software se realizó un apilado de bandas, composición de color, recorte del área alrededor de los volcanes Incahuasi y San Francisco, georeferenciación y álgebra de bandas para obtener índices de diferenciación de nieve y hielo. Por último, con ayuda de la edición vectorial de SoPI, se realizó la delimitación de los conos de los volcanes Incahuasi y San Francisco para observar la evolución de los periglaciares desde el año 2002 al año 2015, a través de los índices de diferenciación de hielo y nieve y de la composición de color elegida.

Para obtener la composición de color adecuada para el tipo de cobertura que se deseaba caracterizar, se elaboraron en primer lugar las firmas espectrales correspondientes a nieves eternas, nieve de bajo espesor, agua y roca, que permitieron diferenciar las coberturas según su respuesta espectral. Ver Fig. 3.

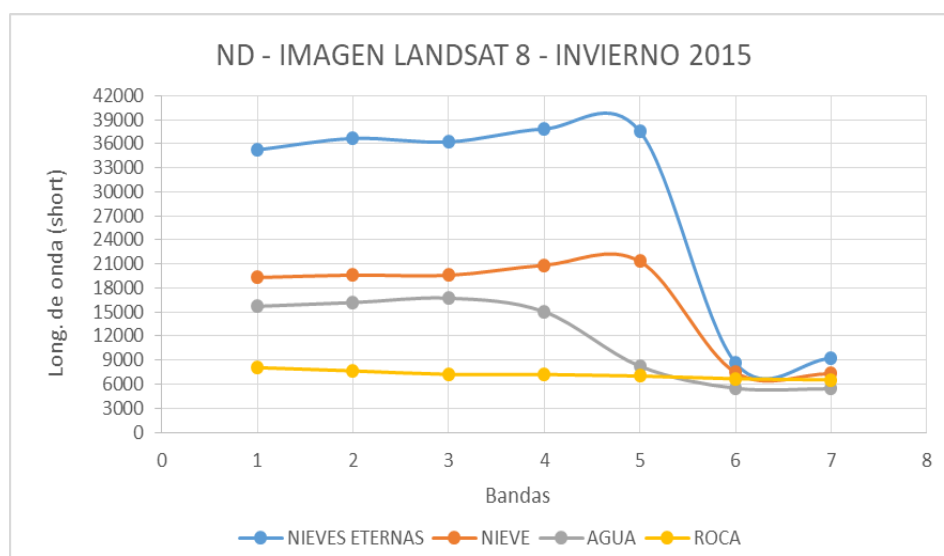


Figura 3: Firma espectral de la imagen LANDSAT 8 de invierno del año 2015

La nieve tiene alta reflectancia en las zonas visibles del espectro disminuyendo hacia la zona infrarrojo medio. La nieve fresca tiene mayor reflectancia que la nieve firme, disminuyendo también su reflectancia hacia el infrarrojo medio.

Respecto al hielo glaciario tiene alta reflectancia en las bandas visibles del espectro electromagnético, especialmente en las bandas azul y verde, disminuyendo sensiblemente hacia el rojo. La suciedad en el hielo disminuye considerablemente su reflectancia. Pandey, P. et al (2016)

El comportamiento para el agua y la roca es distinto, teniendo menor reflectancia que los anteriores y mostrando una marcada disminución en el infrarrojo cercano, donde la reflectancia es mayor para hielo-nieve.

En el caso particular de la zona de estudio, para el año 2015, la firma espectral de mayor reflectancia corresponde a nieves eternas. En invierno, que es la época de precipitación nival, esta se acumula y permanece en la cima de los volcanes y cuando llega el verano se transforma en hielo denominado “penitentes o neves”. La nieve restante, que es la que tiene menor reflectancia en la firma espectral, se derrite y fluye a menores cotas siendo el principal aporte de agua dulce para el río Chaschuil.

Según el comportamiento observado en las firmas espectrales de las coberturas de interés, se realizó la composición de color, obteniéndose la mejor combinación para las imágenes 2002 con las bandas 542 y para las imágenes 2015 con las bandas 653, el resultado de ambas combinaciones es el mismo ya que el satélite LANDSAT 8 incorpora una banda de aerosoles, lo que modifica el lugar de cada banda. Esta combinación falso color es ideal para la delimitación de la nieve-hielo lo que permite diferenciar bien la cubierta de nieve-hielo del sustrato rocoso.

La utilización de índices NDSI (Índice de Nieve Diferencial Normalizado) permite diferenciar nieve de otras coberturas debido principalmente a la alta reflectancia de la nieve en la parte visible del espectro electromagnético y la baja reflectancia en la zona infrarrojo cercano o infrarrojo de onda corta, a diferencia de las nubes que mantienen alta reflectancia en la zona infrarroja del espectro, logrando este índice también la separación de nubes y nieve. Hall, D. K. et al. (2011).

Del análisis de la firma espectral del hielo al tener un descenso importante en la reflectancia en la banda roja de la zona visible del espectro, donde la nieve mantiene niveles elevados de reflectancia, se puede diferenciar con mayor claridad hielo y nieve utilizando el índice NDSII (Índice de Nieve y Hielo Diferencial Normalizado). Keshri, A. K. (2009).

Por último, con ayuda de la herramienta de procesamiento de imágenes de SoPI “álgebra de bandas”, se aplicaron las fórmulas de los distintos índices, y se delimitó el área del cono del volcán en estudio para observar la evolución del ambiente glaciar/periglacial.

Los mejores resultados se dieron en las bandas del visible, especialmente en la banda 2, y en las bandas del infrarrojo cercano, donde las coberturas de nieve y de hielo presentan valores altos de reflectancia. Serra, M. y Herrera, C. (2017)

Los resultados obtenidos sirven de base para diferenciar los distintos espesores de hielo y las superficies de hielo/nieve de suelos congelados o salares.

El procesamiento de las imágenes ayudó a identificar y localizar geográficamente áreas cubiertas por glaciares, herramienta óptima en la determinación de su existencia en la región.

El mejor realce se observó en la combinación falso color 542 para las imágenes 2002 y para las imágenes 2015 con la combinación de bandas 653. El contraste de colores entre la nieve y la roca desnuda facilitó su delimitación y permitió diferenciar la nieve de otras cubiertas similares. Ver Fig. 4.

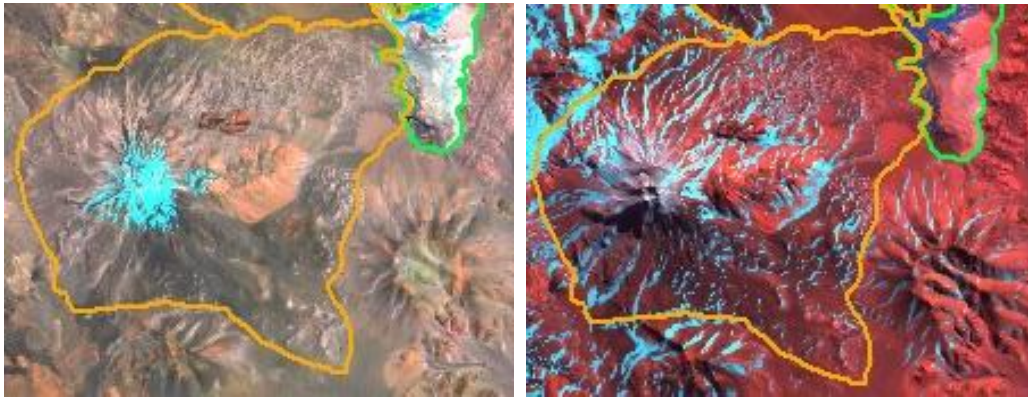


Figura 4: combinación de color 542 en imágenes LANDSAT 7, verano e invierno 2002. Permite diferenciar la cobertura glaciar en distintas épocas del año mostrando un gran contraste entre nieve-hielo y roca.

Las distintas tonalidades en el color de la nieve se relacionan con su espesor, cuanto más brillante el color mayor espesor de nieve. En la imagen de verano el color de la nieve es brillante porque solo se encuentran nieves eternas.

La obtención de Índices de Diferenciación de Nieve y Hielo constituye una herramienta importante ya que facilito la comprensión de la evolución glaciar que sufrió la zona desde el año 2002 al año 2015, permitiendo observar como la cubierta de hielo pierde espesor y superficie con el paso del tiempo.

Al comparar con el Índice NDSI las imágenes de invierno del año 2002 y 2015, se puede analizar el aumento de las temperaturas que afectaron al lugar. Esto se refleja al observar posibles suelos congelados (polígono rojo) y nieves eternas como principales coberturas en la imagen de invierno de 2002 y nieve de bajo espesor como principal cobertura en la imagen de invierno de 2015, que además no presenta suelos congelados en la cima de los volcanes como sucede en la imagen 2002. Se deduce la presencia de suelos congelados en base a los valores de pixel tomados en los puntos marcados en rojo en la imagen, que se asemejan a los valores estandarizados para este tipo de coberturas. Ver Fig. 5.

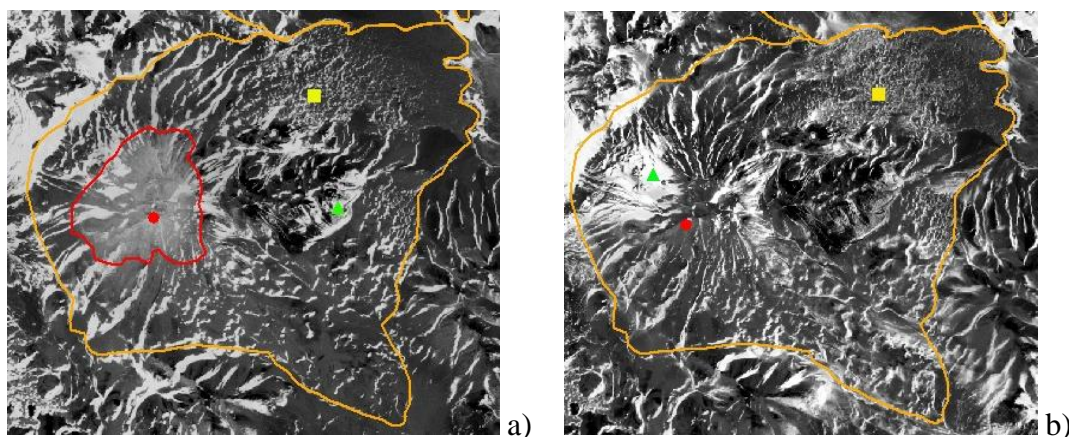


Figura 5: aplicación del índice NDSI. a) En la imagen LANDSAT 7 del invierno de 2002, se observan suelos congelados en la cima de los volcanes (polígono rojo), nieve de gran espesor y en menor medida nieve de bajo espesor. b) En la imagen LANDSAT 8 del invierno de 2015, se observa en mayor medida nieve de bajo espesor y no se presenta suelos congelados.

Para corroborar este análisis visual se tomaron los valores ND de los puntos marcados en la Fig. 50. Se obtuvieron valores de reflectancia entre 0,5 y 0,6 para los suelos congelados (rojo), valores alrededor de 0,7 para las nieves eternas (verde) y entre 0,2 y 0,4 para la nieve de bajo espesor (amarillo). En el caso de la cima del volcán en el año 2015, los valores de reflectancia fueron muy bajos (alrededor de 0,1), lo que indica que en este año los suelos no llegaron a congelarse pudiendo provocar un mayor derretimiento de nieve con el aumento de las temperaturas en verano.

Debido a la importancia de analizar la cobertura de nieve-hielo en la imagen de invierno de 2015, se aplicaron tres índices que permitieron diferenciar la nieve fresca de nieves eternas, superficies congeladas y los flujos de nieve. Solamente utilizando la composición de color, estas diferenciaciones no son posibles, ya que la cobertura se observa homogénea impidiendo realizar estas interpretaciones y obtener los valores de reflectancia que indican de forma precisa la dinámica glaciar. Ver Fig. 6.

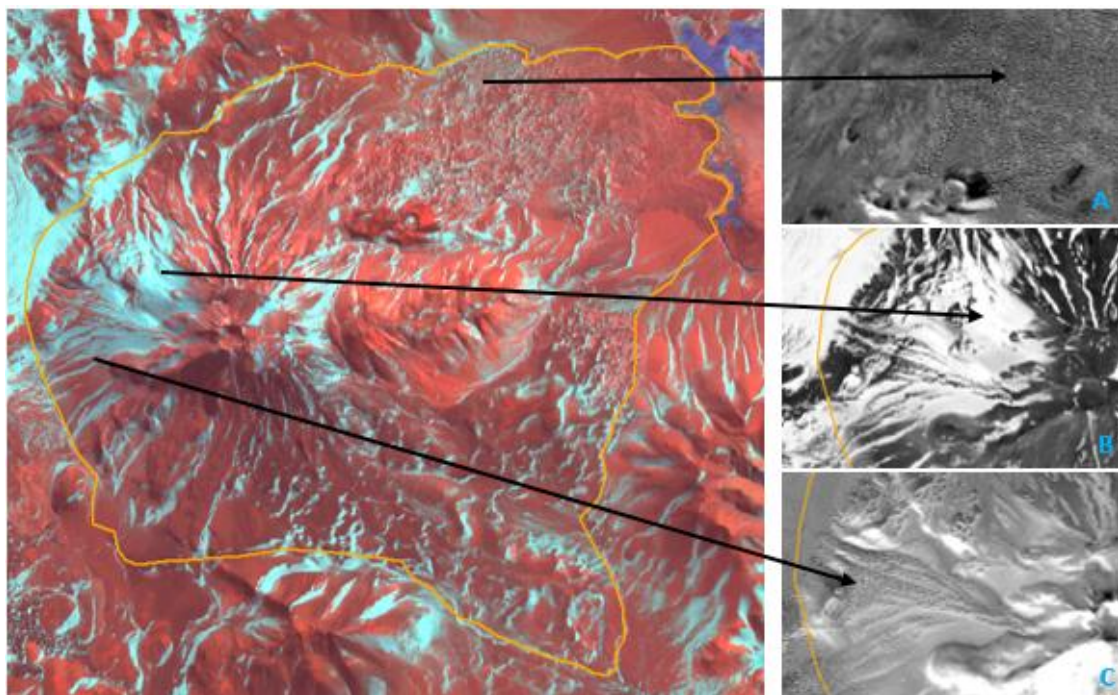


Figura 6: diferencia entre tres Índices Normalizados de Diferenciación de Nieve-Hielo para una imagen LANDSAT 8 de invierno de 2015. A) Índice NDSII, permite diferenciar la nieve de menor espesor. B) Índice NDSI, permite mapear la nieve y hielo. C) Índice NDGI, permite observar los flujos de nieve.

La aplicación del procesamiento digital de imágenes satelitales es una herramienta óptima para el estudio de superficies de hielo y nieve, permite su delimitación y clasificación, como así también, realizar un estudio de detalle de la evolución glaciar que se observa en la región.

Se considera a los glaciares presentes en el volcán Incahuasi, como la manifestación última de reserva de agua dulce, que potencia su importancia por pertenecer a una región de clima semiárido riguroso donde el recurso hídrico es escaso.

CONCLUSIONES

Se considera a los glaciares presentes en el Valle de Chaschuil, como la manifestación última de reserva de agua dulce, que potencia su importancia por pertenecer a una región de clima semiárido riguroso donde el recurso hídrico es escaso.

Los resultados obtenidos sirven de base para diferenciar los distintos espesores de hielo y las superficies de hielo/nieve de suelos congelados o lagunas.

El presente informe evidencia la presencia de una morfología glaciar en vías de extinción debido a los procesos erosivos reinantes, describiéndose para el sector estudiado, geoformas glaciares de erosión y de acumulación en la cima y las laderas de los volcanes que superan los 6000 msnm.

Los avances de esta investigación contribuyen con el Inventario Nacional de Glaciares de acuerdo a lo establecido en la Ley Nacional de Glaciares N° 26.639.

El mapeo de cubiertas de hielo, nieve y agua, a partir del análisis de diferentes imágenes satelitales, demostró un gran cambio en el comportamiento climático que atraviesa la región.

Se observó un aumento de la superficie de la laguna que es alimentada por el deshielo de glaciares de alta montaña en épocas de verano, y una disminución cada vez más rápida de las superficies de hielo y nieve que se acumulan en las cumbres de los volcanes.

Por otro lado, utilizando el ND, se obtuvieron valores correspondientes a suelos congelados en la cima del volcán Incahuasi en la imagen satelital del año 2002, que no se encuentran para el año 2015; pudiéndose concluir que el derretimiento de nieve en épocas de deshielo es mayor año a año.

Los mejores resultados se dieron en las bandas del Visible y mediante distintas combinaciones de bandas en RGB.

El mejor realce se observó en la combinación falso color 542 para las imágenes 2002 y para las imágenes 2015 con la combinación de bandas 653. El contraste de colores entre la nieve y la roca desnuda facilitó su delimitación y permitió diferenciar la nieve de otras cubiertas similares.

La utilización de Índices de Diferenciación permite una mayor discriminación del comportamiento de las diferentes coberturas presente en la cuenca.

La aplicación del procesamiento digital de imágenes satelitales es una herramienta óptima para el estudio de superficies de hielo, nieve y rocas, permite su delimitación y clasificación, como así también, realizar un estudio de detalle de la evolución glaciar que se observa en la región.

Recomendaciones

En vistas de que se presentan glaciares expuestos en los volcanes de mayores altitudes se recomienda que, si bien se han diferenciado en campo áreas que se pueden describir como suelos congelados, son necesarios mayores estudios para definir si son capas sub-congeladas, suelos congelados o permafrost. En este trabajo, de acuerdo al índice del pixel obtenido, se definen como suelos congelados en la cima de los volcanes superiores a 6000 msnm.

Por último, este trabajo constituye un aporte a la propuesta que se está formalizando desde IMCoDeG, para incluir el valle de Chaschuil en las nominaciones para ser declarado Parque Nacional de Argentina.

REFERENCIAS

- Alonso, C., y Moreno, V. (1996). Análisis multitemporal de imágenes LANDSAT TM en la cartografía de las masas de hielo y nieve aplicada a la modelización hidrológica. *Revista de Teledetección*, 7, 35-47.
- Brito Chasiluisa, C. E. (2014). Análisis espacial y temporal de la variación de cobertura nivo-glaciar en el Nevado Cayambe mediante imágenes satelitales Landsat y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de ingeniería civil y ambiental. Quito, Ecuador.
- Cartes, M. (2009). Tesis de posgrado: Pronóstico de Volúmenes de Deshielos Mediante Redes Neuronales Recurrentes e Imágenes Satelitales Modis. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Chavéz, Jr. P. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 62, N° 9, September 1996, pp. 1025-1036, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, U.S. Geological Survey, 2255 N. Gemini Drive, Flagstaff, AZ.
- Chuvieco, E. (1990). CHUVIECO, E.; Fundamentos de Teledetección Espacial, Edic Rialp.SA. Madrid 1990.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de Teledetección Espacial (2da ed.). Ediciones Rialp. Madrid, España. ISBN 84-321-2680-2.
- Collet, M. (2010). Suivi apatio-temporal des calottes glaciaires De l'Antisana et du Cotopaxi (équateur): Analyse par télédétection dans un contexte de changement climatique. Tesis Universidad de Rennes 2-Haute Bretagne. Rennes, Francia.
- Dozier, J. (1989). Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper, Department of Geography and Center for Remote Sensing and Environmental Optics. University of California, Santa Bárbara and Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. California.
- Hall, D. K. y Riggs, G. A. (2011). Normalized-difference snow index (NDSI). In *Encyclopedia of snow, ice and glaciers* (pp. 779-780). Springer Netherlands.
- Keshri, A. K., Shukla, A., y Gupta, R. P. (2009). ASTER ratio indices for supraglacial terrain mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 30(2), 519-524.
- Loarte, E., Rabatel, A., y Gomez, J. (2015). Determinación de la variación espacio-temporal de la altura de la línea de equilibrio de los glaciares de la Cordillera Blanca, Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* (4), 19-30.

- Pandey, P. (2016). Remote Sensing of Mountain Glaciers and Related Hazards. In Environmental Applications of Remote Sensing. InTech.
- Ponce, C. (2008). Escuela politécnica del ejército carrera de ingeniería geográfica y del medio ambiente análisis de cambio de cobertura vegetal y fragmentación en el corredor de conservación comunitaria El Ángel - Bosque Golondrinas, provincia del Carchi (1996 - 2005). Sangolqui – Ecuador.
- Serra, M. y Herrera, C. G. (2017) Procesamiento Digital de Imágenes Landsat Tm para el Análisis de Nieve/Hielo en los Volcanes Incahuasi y San Francisco – Catamarca, Argentina. 12° Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra. Mendoza, Argentina

APLICACIÓN DE UN MÉTODO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA EL CONOCIMIENTO DEL SUBÁLVEO DEL RÍO LOS ÁNGELES EN EL TRAMO SUR DE LA SUBCUENCA, PROVINCIA DE CATAMARCA

Tálamo, E.^a, Vilches F.^a, Varela, N.^a, Sánchez M. ^a, Achá E.^a, Córdoba C.^a y Palomeque L.^a

“Departamento de Geología, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: esteban.talamo@gmail.com

RESUMEN

El presente aporte se realiza en el marco del proyecto de investigación “Identificación de áreas de amenazas hídricas y deslizamientos en la Subcuenca del río Los Ángeles, Departamento Capayán, provincia de Catamarca”, generado desde la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. El principal objetivo del trabajo es contribuir al conocimiento del subálveo del río Los Ángeles, en su tramo sur, buscando establecer la presencia de diferentes facies en el subsuelo, estimar la profundidad del inicio de la zona saturada y determinar presencia, profundidad y tipo de basamento hidrogeológico. Para lograr el objetivo se optó por la aplicación de técnicas geofísicas (Prospección geoelectrica en corriente continua, Método del Sondeo Eléctrico Vertical), sobre la base de los buenos resultados logrados en dos secciones ubicadas en el sector norte y centro de la cuenca. De la interpretación de la prospección geoelectrica, se logran contrastes en las electrocapas que permiten establecer el espesor del relleno aluvial, afirmar que la composición del mismo incluye materiales muy gruesos, saturados y que, bajo ciertas condiciones, podrían ser captados para la extracción de agua subterránea y su posterior uso doméstico o de riego. El desarrollo de esta metodología y los resultados obtenidos permiten concluir sobre la buena respuesta de este método en estudios ambientales de cuencas, permitiendo definir características con relevancia en aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos y de riesgo ambiental.

Palabras Clave: Prospección Geoelectrica, Álveo, río Los Ángeles, Catamarca.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo surge de un complemento técnico dentro del Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado: “Identificación de áreas de amenazas hídricas y deslizamientos en la Subcuenca del río Los Ángeles, Departamento Capayán, provincia de Catamarca” perteneciente al Consejo de Investigación (Secretaría de Ciencia y Tecnología) de la Universidad Nacional de Catamarca. Siendo el aporte del presente, un complemento geofísico tendiente a establecer la presencia de diferentes facies en el subsuelo, estimar la profundidad del inicio de la zona saturada y determinar presencia, profundidad y tipo de basamento hidrogeológico, entre otros aspectos. Por tratarse de un aporte complementario dentro del proyecto, esta práctica metodológica se ha realizado en un proyecto anterior, en dos sitios: 1 - en el propio pueblo de Los Ángeles (Tálamo et al., 2014) y 2 – en el paraje de Santo Domingo (Tálamo et al., 2017). Ante los buenos resultados obtenidos en los sitios anteriores, se aplicó nuevamente esta metodología en un tramo sur de la subcuenca, en las inmediaciones de finca El Talar (ver Fig. 1).

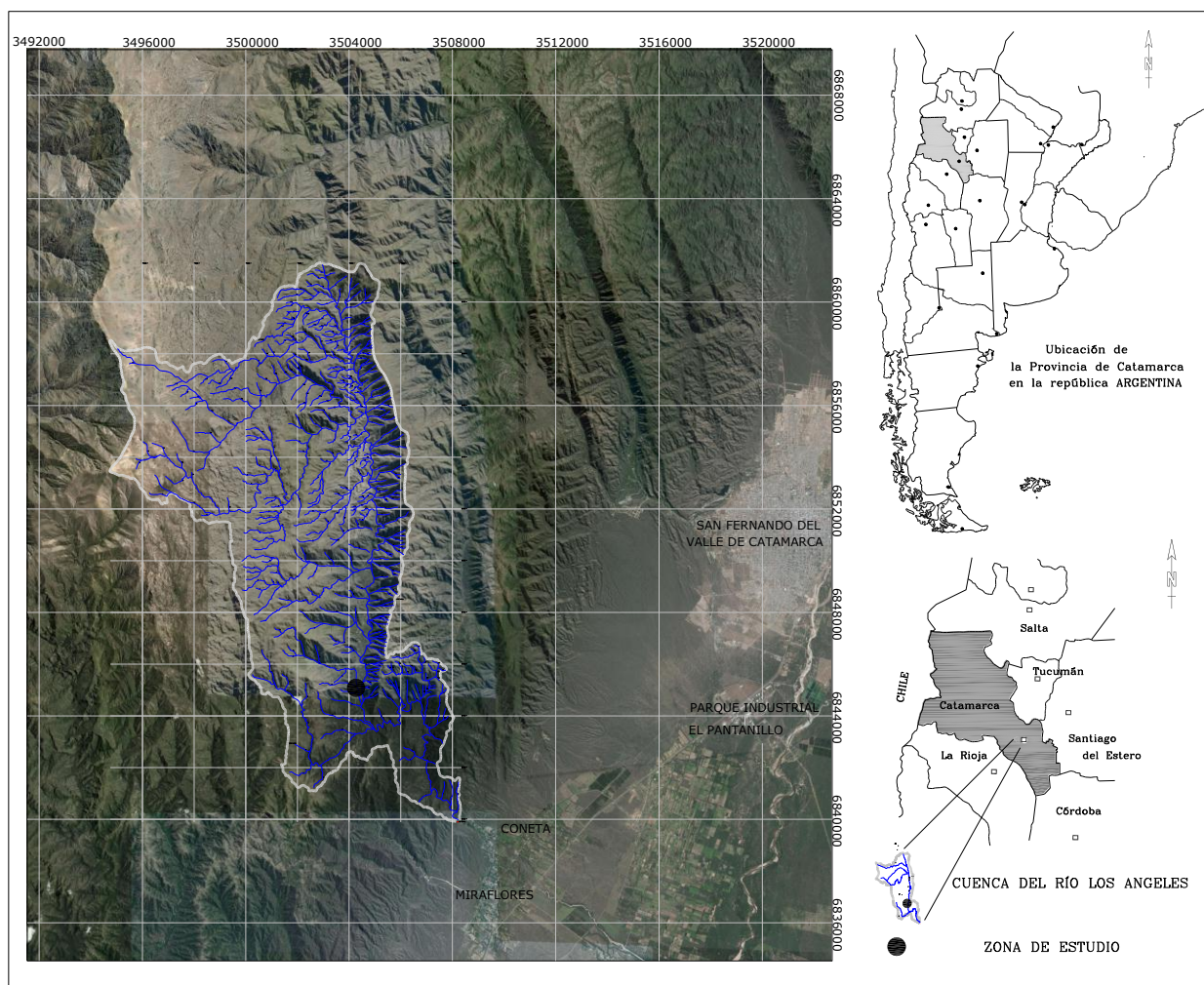


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

METODOLOGÍA

Se realizó una breve caracterización geológica del área para establecer condiciones de litología, presencia de estructuras y facies que influyan en aspectos hidrogeológicos o que condicionen la circulación del agua en la subcuenca.

El estudio geofísico propuesto para la complementación de información del subsuelo del valle del río los Ángeles, es el método del SEV (Sondeo Eléctrico Vertical). Como primera medida se realizó un reconocimiento de campo para establecer aquellos sitios en los cuales se podría realizar sondeos eléctricos verticales. Es importante destacar que para ciertas prácticas geofísicas, es necesario contar con espacios rectos libres, por donde se pueda transitar con los electrodos de corriente que utiliza el método. Por las características geomorfológicas de la quebrada del río Los Ángeles, a la altura de El Talar, se pudieron ubicar cuatro sitios propicios para la realización de los registros geofísicos.

La característica física que se mide en el método resistivo, empleando corriente continua, es la capacidad que poseen los terrenos naturales de conducir la corriente eléctrica. Si se introduce un par de electrodos en la superficie plana de un terreno homogéneo e isótropo y se hace circular una corriente eléctrica continua de intensidad (I), se puede registrar la caída de potencial (ΔV) que existe, también en superficie, entre dos puntos del terreno (García, 2010). A través de estas medidas y en base a la ley de Ohm, puede conocerse la resistividad de los terrenos involucrados en el circuito. La manera de disponer los electrodos por los que se introduce la corriente y

aqueellos con los que se registra el potencial en la superficie de un medio cuya resistividad se desea investigar, da lugar a diferentes dispositivos o arreglos electródicos. Para el presente trabajo se optó por una configuración tetrapolar, rectilínea y simétrica conocida como dispositivo Schlumberger, de constante geométrica: $K = \pi \cdot (AM \cdot AN) / MN$. Este arreglo electródico que cumple con la siguiente condición: $MN < 0 = AB/5$ (ver Fig. 2).

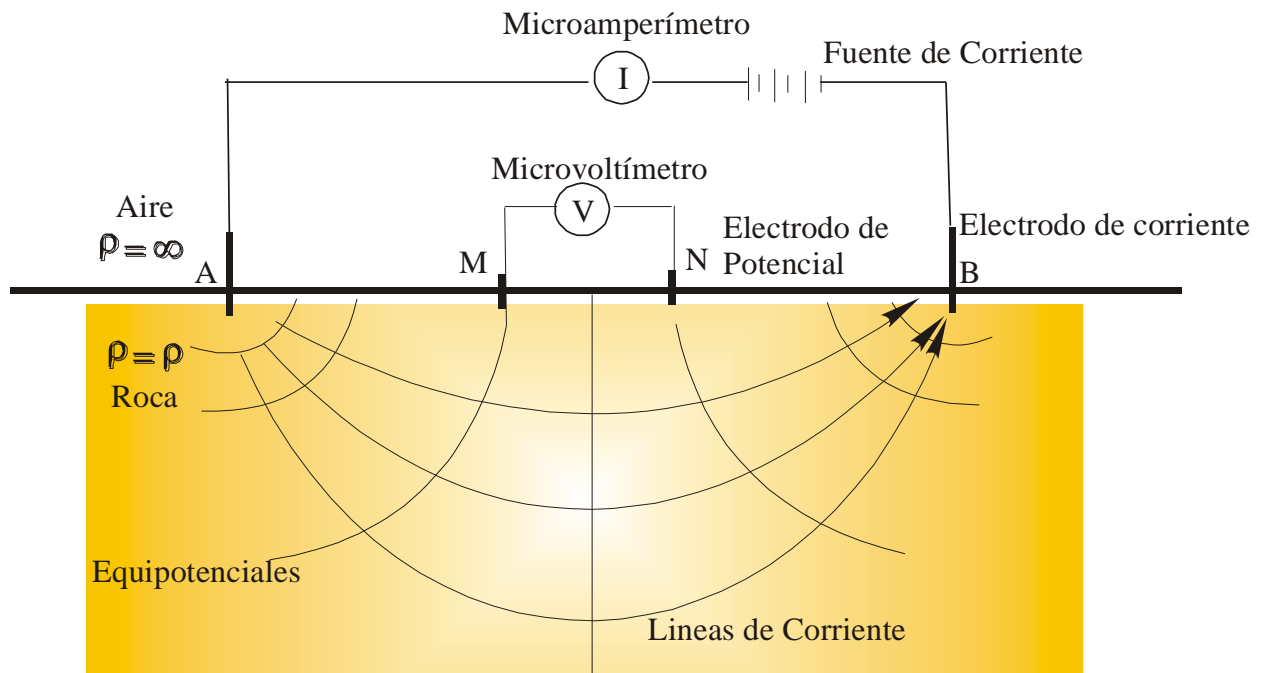


Figura 2. Configuración electródica de Schlumberger.

El estudio se realizó con un equipo marca CGEG CO Ltd. Modelo DUK – 2 A, autocompensador, de corriente continua con lectura directa de resistividad, perteneciente a CONHIDRO SRL. (ver Fig.3).

Se usaron electrodos de corriente de acero inoxidable y de potencial, de cobre, en solución saturada de sulfato de cobre. Se emplearon cables de corriente de cobre acerado de 1 mm de sección y 1.000 metros de longitud. Como fuente de energía se utilizaron fuentes de pilas que alcanzan los 540 Voltios. Las longitudes entre los electrodos de corriente fueron variables, hasta distancias máximas de 500 metros. Las separaciones entre los electrodos de potencial, MN, variaron entre 1 y 100 metros.

La curva de campo se graficó en papel bilogarítmico de módulo 62,5 mm, donde la abscisa corresponde a los valores de OA (en metros) y la ordenada, a los de ρ_a (resistividad aparente en Ohm.m). La interpretación se realizó con programas de computación. El resultado final es un gráfico donde las marcas representan a los puntos de la curva de campo empalmada y la línea continua corresponde a la curva de interpretación optimizada que responde al modelo físico y matemático más ajustado (Ver Fig.4).



Figura 3. a. Realización del SEV 1. b. Realización del SEV 3.

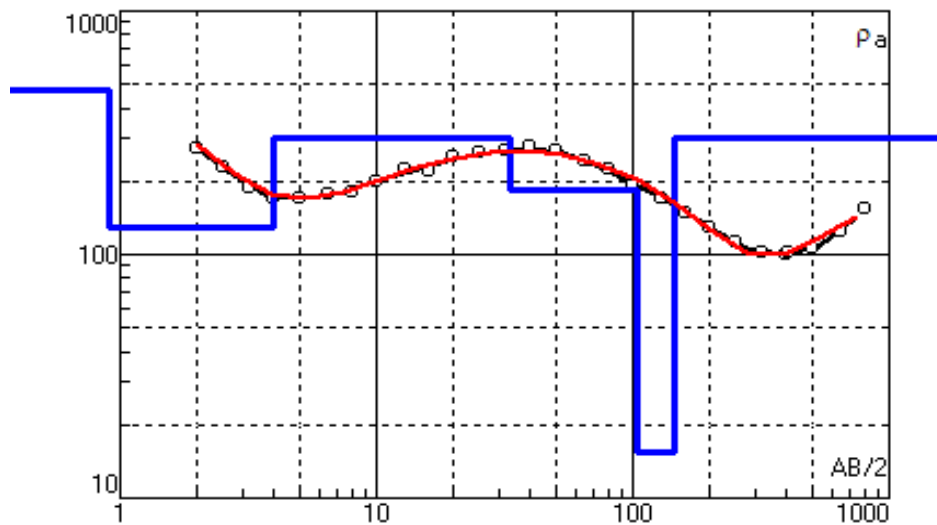


Figura 4. Representación en gráfico bilogarítmico de la curva de campo empalmada (en negro) y la curva de interpretación optimizada que responde al modelo físico – matemático mas ajustado (en rojo). En azul se representa el modelo geoelectrico con las resistividades verdaderas y las profundidades.

RESULTADOS

La zona estudiada se desarrolla en la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas, donde se observan grandes bloques del basamento cristalino (que involucra a rocas ígneo-metamórfico de edad precámbrica-paleozoica inferior, Formación la Cébila: esquistos bandeados, micacitas cuarcíferas y felsíticas calcosilicáticas). El resto del área la ocupan sedimentos pocos consolidados asignados al cuartario, producto de la erosión del substrato Basamento metamórfico. En el entorno de la subcuenca no afloran las rocas sedimentarias neógenas. La morfología de la zona de estudio se corresponde con las características geomorfológicas generales de la región, que se definen por un neto control estructural dado por lineamientos de rumbo meridional predominante. Los cordones serranos se corresponden con bloques de basamento y los valles longitudinales con depresiones tectónicas (Blasco, et al. 1994). El sitio relevado es un pequeño valle con rellenos de materiales fluviales y aluviales, con predominio de bloques, rodados, gravas con matriz variable entre arenosa y limoarcillosa.

La interpretación del modelo físico-matemático obtenido mediante la prospección geofísica, se realizó teniendo en cuenta el ambiente geológico y geomorfológico de la comarca. Lamentablemente, no existen antecedentes de pozos excavados o perforados que brinden

información del subsuelo, la cual permitiría un mejor ajuste en los modelos de interpretación logrados. La localización de los sondeos se indica en Figura 5.

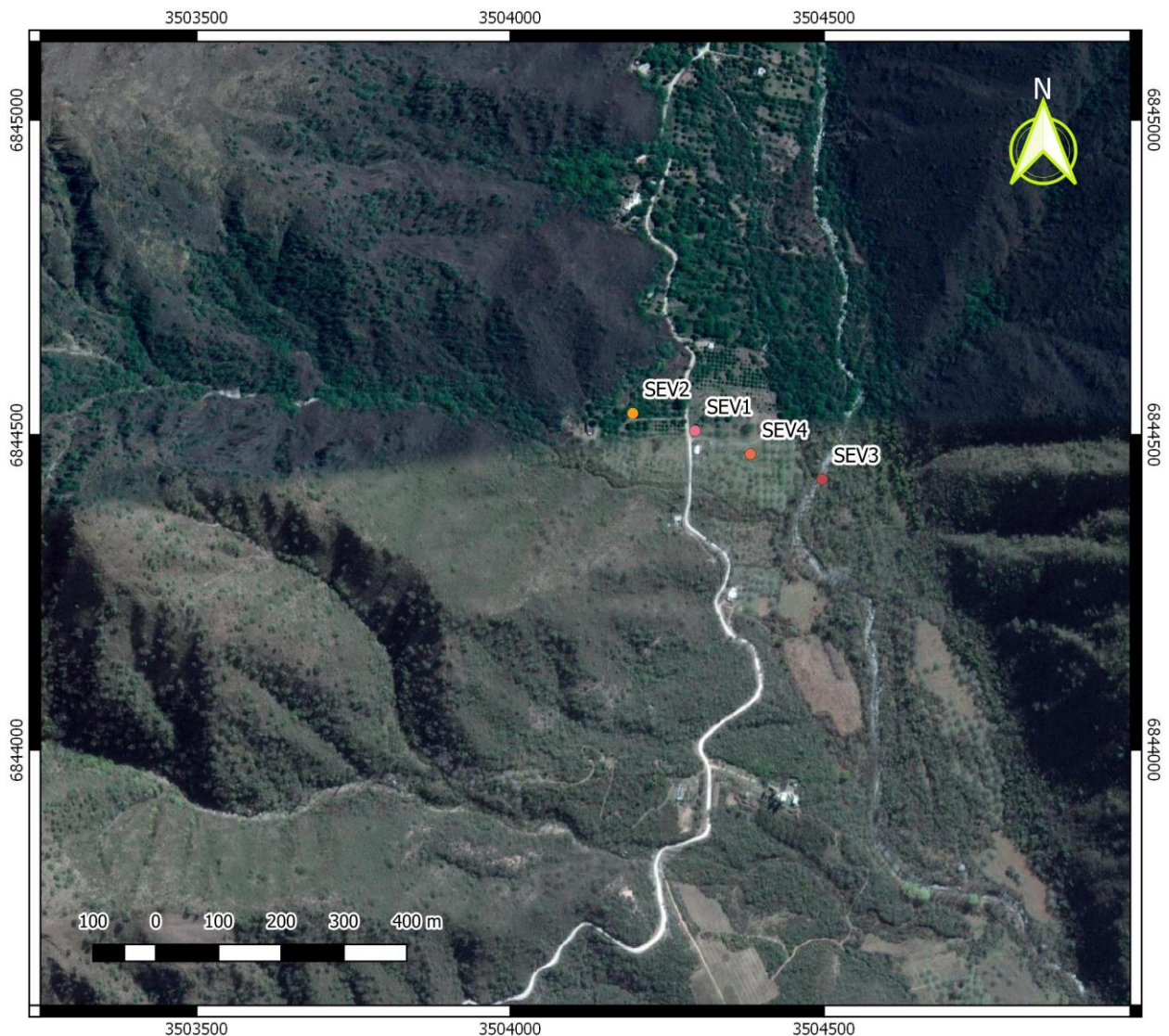


Figura 5. Detalle de la ubicación de sondeos eléctricos verticales (SEV).

Los resultados de la investigación geoelectrica y la interpretación del modelo de cada sondeo eléctrico vertical, se aprecian en la Figura 6.

Perfil geoelectrico

Luego de analizar las distintas electrocapas detectadas en cada sondeo eléctrico vertical (SEV), se realizó un perfil geoelectrico donde se correlacionaron las unidades que presentan una respuesta similar desde el punto de vista de configuración de curva. De esta manera y luego de establecer el modelo más acorde a las condiciones geológicas – geomorfológicas de la zona de estudio, se individualizaron tres unidades mayores que fueron denominadas, de arriba hacia abajo, Unidad 1 o Zona Resistiva Superior (Relleno moderno seco), Unidad 2 o Zona Semiresistiva (Relleno moderno saturado), Unidad 3 o Zona Resistiva Inferior (Basamento Rocoso Cristalino). El presente perfil permite observar las variaciones faciales del subsuelo en un corte transversal oeste - este. (ver Fig.7).

La Unidad 1 o Zona Resistiva Superior presenta una potencia variable entre 6 metros en el SEV 3 y 34 metros en el SEV 2. Esta unidad está compuesta por horizontes con valores resistivos,

representando a niveles de conglomerados, gravas y arenas, con una variable cantidad de matriz limoarcillosa. Esta Unidad, representa los depósitos cuaternarios modernos de la región, secos.

La Unidad 2 o Zona Semiresistiva solo es interpretada en los SEV 3 y 4, a profundidades de 6 y 17 metros respectivamente. Presenta una potencia de entre 7 metros en el SEV 3 y 15 metros en el SEV 4. Esta unidad está compuesta por horizontes con valores de menor resistividad con respecto a la capa Suprayacente, (variables entre 521 y 100 Ohm.m), representando a las mismas facies, pero saturadas con agua de buena calidad.

La Unidad 3 o Zona Resistiva Inferior fue detectada a profundidades de 34, 21, 33 y 13 metros para los SEV 2, 1, 4 y 3. Esta Unidad posee valores altos a muy altos de resistividad, por lo que son atribuidos a la presencia de las rocas del basamento cristalino en facies de mayor o menor alteración.

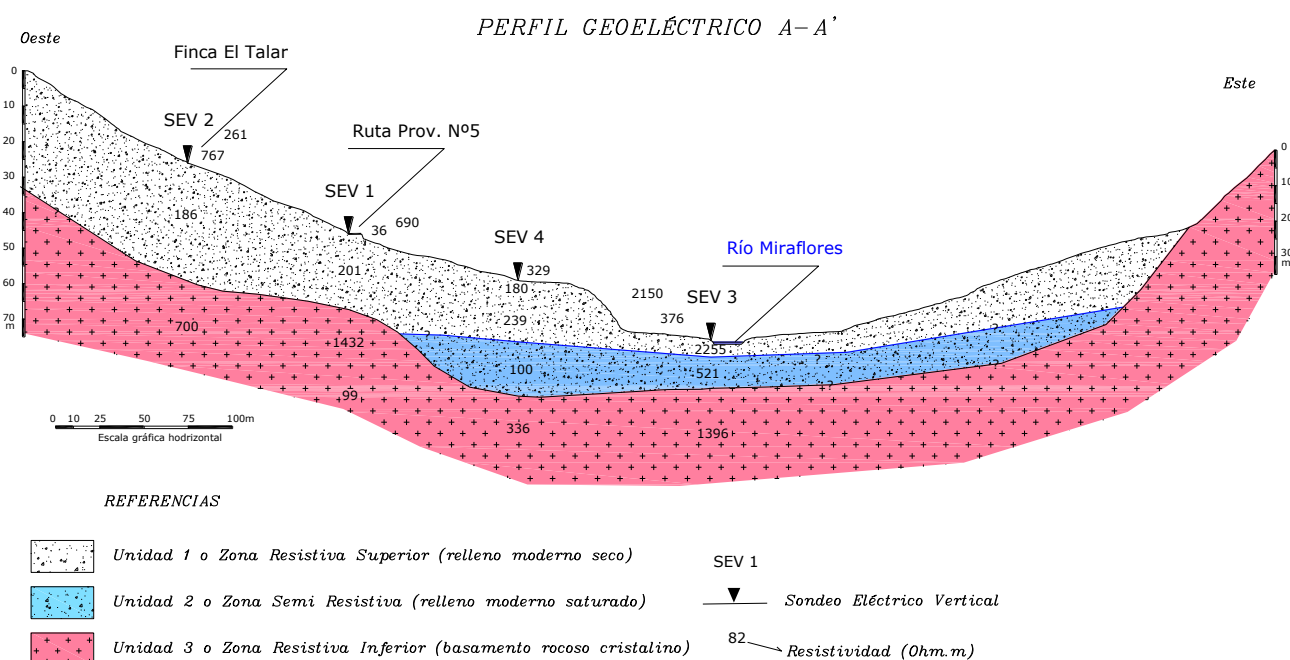


Figura 7. Perfil geoelectrico A - A'.

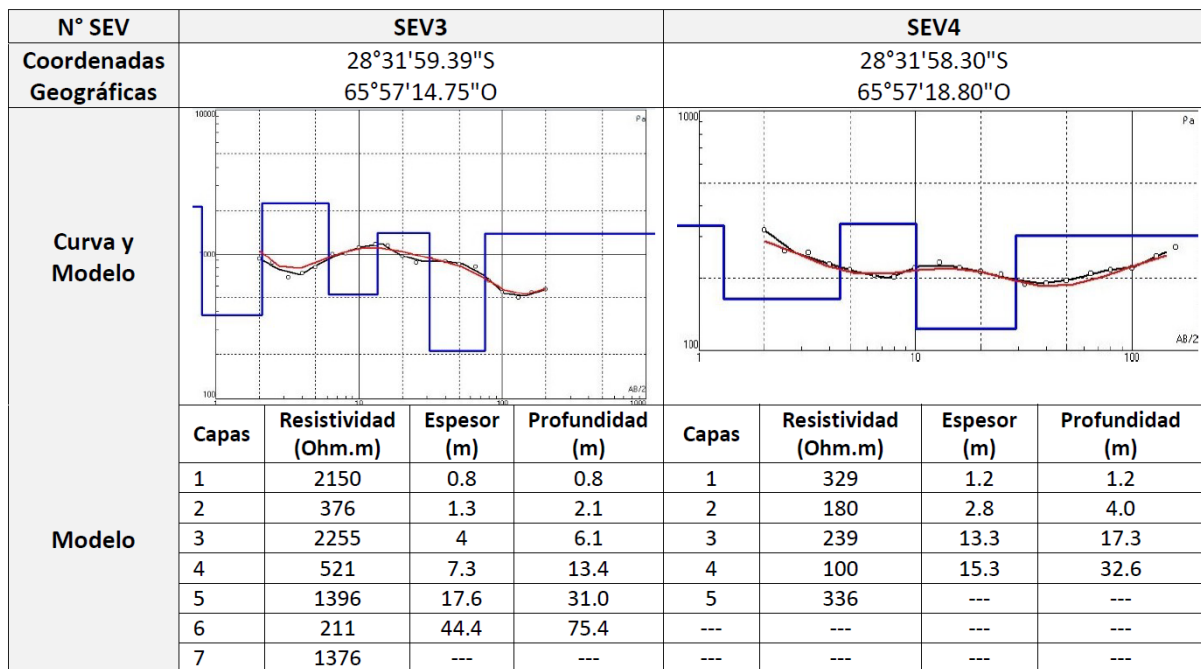
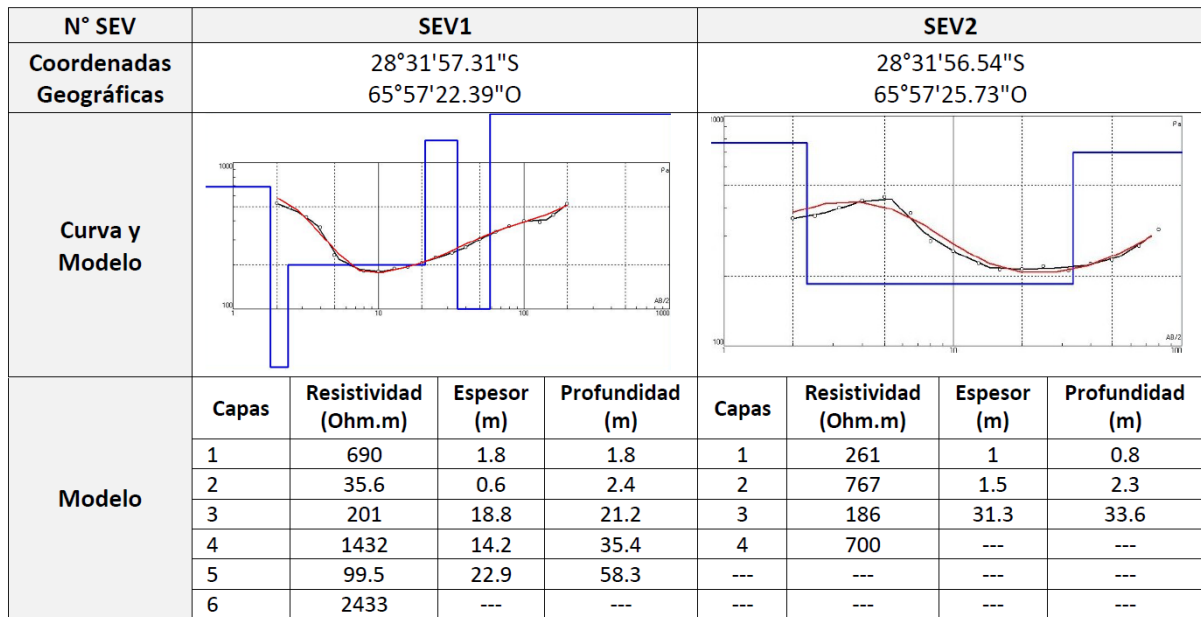


Figura 6. Curvas de campo, curvas de interpretación y modelo geoelectrico de cada SEV.

CONCLUSIONES

- El área de estudio se desarrolla en la zona sur de un pequeño valle tectónico, limitado por rocas metamórficas pertenecientes al basamento cristalino y rellenado con materiales fluviales y aluviales, con predominio de bloques, rodados, gravas con cantidad variable de matriz, arenosa y limoarcillosa.
- Los resultados de la prospección geofísica permitieron agrupar a las electrofacies en tres unidades mayores que fueron denominadas, de arriba hacia abajo, Unidad 1 o Zona Resistiva

Superior (Relleno moderno seco), Unidad 2 o Zona Semiresistiva (Relleno moderno saturado), Unidad 3 o Zona Resistiva Inferior (Basamento Rocoso Cristalino).

- El espesor del relleno fluvio-aluvial no superaría los 30 metros en la zona occidental del perfil y llegaría a 13 metros en las inmediaciones del actual cauce del río Miraflores.
- La Unidad 2 o zona saturada, solo es detectada en los SEV 3 y 4, definiendo un espesor de 7 y 15 metros respectivamente.
- La escasa profundidad del techo de la Unidad 2 (inicio de la zona saturada) y la alta permeabilidad que poseen los materiales fluviales en subsuelo (Unidad 1), hacen que el acuífero identificado tenga una alta vulnerabilidad a la contaminación.
- La presencia de un acuífero libre, detectada por métodos geofísicos, abre la posibilidad de contemplar este recurso, como fuente de abastecimiento de agua para la población, mediante la construcción de pozos excavados o perforados.
- La técnica geofísica empleada (Sondeos Eléctricos Verticales) posee una buena respuesta para caracterizar el subsuelo, permitiendo esbozar un modelo geológico que contempla el tipo y profundidad de basamento hidrogeológico, probable existencia de la zona saturada y algunos indicadores de cambios faciales.

AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Javier Díaz, por la participación en las etapas de ejecución de la prospección geofísica, interpretación de resultados y confección del perfil geoelectrico. A los estudiantes y técnicos Daniela Cedrón, Federico Díaz, Nicolás Ibáñez y Walter Acevedo, por la colaboración en los trabajos de campo.

REFERENCIAS

- Blasco G., Caminos R., Lapidó O., Lizuaín A., Martínez H., Nullo F. Panza J. y Sacomani S. Descripción Hoja Geológica 2966 – II – San Fernando del Valle de Catamarca. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Secretaría de Minería de La Nación. 1994.
- García R.F. Apuntes Teóricos Hidrogeología. Escuela de Geología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. 2010.
- Orellana E. Prospección Geoelectrica en Corriente Continua. Ed. Paraninfo ISBN 84-283-1153-6 – Madrid, España. 1982.
- Tálamo E.; F. Vilches; M.L. De Souza; S. Fuentes; L. Palomeque; N. Varela. Aplicación de técnicas geofísicas en estudios referidos al manejo y protección del Recurso hídrico en la gestión ambiental de cuencas. Argentina. San Fernando del Valle de Catamarca. Libro. Artículo Completo. Congreso. VI Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida - 7mo Congreso de Ambiente y Calidad de Vida. Universidad Nacional de Catamarca. 2014.
- Tálamo E.; F. Vilches; M.L.; N. Varela y L. Palomeque. Estudio geofísico para el conocimiento del subálveo del río Los Ángeles en su tramo central, Provincia de Catamarca. Revista Investigaciones en facultades de ingeniería del NOA. 2017. ISSN: 1853-6662 - Número 3. Editores: Lazarte, Ivanna M.; Beltramini, Paola I.; Póliche, María V.; Cañas, Martha S. Secretaría de Investigación de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca, Noviembre 2017.

MODELO DE SINTONIZACIÓN COMPUTACIONAL APLICADO A LA PREDICCIÓN DE INCENDIOS¹

Tardivo M.L.^{a,b,d}, Caymes-Scutari P.^{a,b}, Bianchini G.^a, y Méndez-Garabetti M.A.^{a,c}

^aLaboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD). Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información. Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional,

Rodríguez 273, Mendoza, Argentina.

^bConsejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

^cInstituto Tecnológico Universitario, Universidad Nacional de Cuyo,

Centro Universitario, Mendoza, Argentina

^dDepartamento de Computación, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nac. 36, Km. 601, Córdoba, Argentina.

e-mail:lauratardivo@dc.exa.unrc.edu.ar

RESUMEN

La complejidad de la predicción de incendios forestales radica en el nivel de incertidumbre relativo a la cantidad de variables consideradas por el modelo, la dificultad de medirlas con exactitud, las limitaciones computacionales para su implementación, etc. En los últimos años se ha desarrollado un conjunto de métodos para la reducción de incertidumbre, los DDM-MOS (Métodos Conducidos por Datos con Múltiples Soluciones Solapadas). Los DDM-MOS realizan la predicción de la línea de fuego en base a la agregación de múltiples soluciones consideradas a lo largo del proceso de predicción. Cada DDM-MOS se caracteriza por el nivel de utilización que posee de elementos de Estadística, Computación Evolutiva y Metaheurísticas, Paralelismo, y Sintonización, que imprimen mejoras ya sea en cuanto a calidad de predicción, tiempo de ejecución o utilización de recursos. El uso de Estadística dio lugar al primer DDM-MOS, a través de la utilización de un experimento factorial que, para un incendio dado, calcula diferentes probables comportamientos cuyos resultados se analizan estadísticamente a fin de agregar la información y determinar la tendencia. La incorporación de Algoritmos Evolutivos permite trabajar con una población o muestra del espacio de búsqueda y así reducir el tamaño del experimento factorial de acuerdo a la orientación lograda por el proceso evolutivo. La Computación Paralela potencia el proceso de búsqueda tanto en términos de tiempo como en términos de jerarquización del espacio de búsqueda, al considerar varias poblaciones en paralelo. Metaheurísticas como Evolución Diferencial y Optimización por Enjambre de Partículas (y su hibridación) explotan las bondades de cada una de ellas. El proceso de Sintonización adapta de forma dinámica la cantidad de recursos computacionales utilizados, a fin de alcanzar una ejecución más eficiente. En este trabajo, se propone un modelo para sintonizar de forma automática y dinámica el parámetro que regula la cantidad de generaciones del proceso evolutivo, a fin de evitar estancamiento y convergencia prematura.

Palabras Clave: Incendios Forestales, Sintonización Dinámica, Estancamiento, Convergencia.

¹ Trabajo financiado mediante los proyectos SIUTIME0004736TC y SIUTNME0004819 de la UTN-FRM.

INTRODUCCIÓN

La predicción del comportamiento de un incendio forestal consiste en determinar cómo será la propagación del fuego sobre el terreno en un instante de tiempo futuro. Generalmente, los métodos de predicción implementan modelos que describen el comportamiento del fuego, y utilizan como dato de entrada un grupo de variables representando aquellos factores que condicionan la propagación. Entre ellas encontramos la velocidad y dirección del viento, la pendiente del terreno, el tipo de material combustible, la humedad de dicho material, etc. Lamentablemente, no es posible contar con los valores exactos para estos factores, debido a la imposibilidad de dotar todo el terreno forestal con instrumentos de medición y, sobre todo, debido a que algunos cambian dinámicamente durante el desarrollo del incendio (Bianchini et al, 2010). En la Fig. 1 se muestra una instantánea del incendio acaecido el pasado 21 de septiembre en el Cerro Arco (Mendoza), el cual ocasionó numerosas pérdidas materiales y ecológicas, y requirió la evacuación de la zona. Constituye uno de los innumerables ejemplos que a nivel nacional e internacional ponen en relieve la necesidad de contar con herramientas de ayuda a la decisión que aceleren y orienten las estrategias de la lucha contra el fuego.



Figura 1. Incendios en el pedemonte mendocino.²

Durante los últimos años se ha desarrollado una serie de métodos que pretenden reducir el impacto negativo que causa esta falta de conocimiento acerca del valor de las variables. Tal es el caso del método ESSIM-DE (*Evolutionary Statistical Method with Island Model and Differential Evolution*), el cual utiliza Estadística para obtener el patrón de comportamiento de la línea de fuego, el algoritmo evolutivo Evolución Diferencial (Price et al, 2005), para orientar la búsqueda hacia mejores soluciones, y Cómputo en Paralelo a través de un modelo de islas y múltiples poblaciones, con dos jerarquías de procesos que cooperan en la obtención de las predicciones, lo que permite explorar un amplio espacio de búsqueda y a la vez acelerar el proceso de predicción (Talbi, 2009). Ambos aspectos se explican en la sección siguiente.

² Fuente: <http://www.unidiversidad.com.ar/incendio-destrozos-y-evacuados-en-el-cerro-arco>

ESSIM-DE ha sido estudiado en el último tiempo con el fin de identificar aquellos aspectos que puedan ser factores limitantes de mejor rendimiento, en términos de calidad de las predicciones obtenidas y tiempo de respuesta. En este sentido, se propone dotar a ESSIM-DE con capacidades para su sintonización dinámica, lo que habilitará un mejor aprovechamiento de los recursos al adaptar durante la propia ejecución ciertos parámetros dependientes del problema o del estado del sistema. Dicho proceso de sintonización se logra a partir de cuatro fases que sucesivamente actúan sobre la aplicación: **instrumentación** para anotar la aplicación con las métricas necesarias, **monitorización** para recolectar y clasificar las métricas, **análisis** para evaluar el estado del sistema en función de las métricas, y **sintonización** para concretar los ajustes necesarios en la aplicación a fin de adaptar su comportamiento. Si bien excede el alcance de este trabajo, cabe mencionar que también se propone a ESSIM-DE como parte de un entorno de generación de aplicaciones paralelas autosintonizables (Caymes-Scutari et al, 2016). La primera mejora consistió en la incorporación de un nuevo **operador de reinicio (r) de la población** al inicio de cada paso de predicción, el cual permite evitar el estancamiento global del proceso de búsqueda. El método con dicho operador (llamado **ESSIM-DE(r)**) ha logrado buenos resultados en calidad de predicciones (Tardivo et al, 2017). En la misma línea, y considerando otro nivel de mejora, nos hemos enfocado en utilizar dicho operador en conjunto con estrategias de sintonización dinámica, las cuales permiten mejorar aquellos aspectos críticos para el rendimiento del método durante la ejecución. En este caso, se proponen mejoras en el criterio utilizado para detectar cuándo la metaheurística que orienta la búsqueda ha convergido adecuadamente, y por lo tanto puede interrumpirse su ejecución a fin de obtener un resultado útil en un tiempo de ejecución menor. La sintonización dinámica consta de cuatro etapas (Naono et al, 2010). En la etapa de **instrumentación** se incluyen directivas en el código fuente para registrar ciertas métricas de interés, necesarias para evaluar el comportamiento de la aplicación de acuerdo al tipo de conocimiento específico que se considere en relación a la misma. En la etapa de **monitorización** se registran en tiempo de ejecución dichas métricas, las cuales son procesadas en la etapa de **análisis** y, en base este conocimiento específico, se definen acciones de sintonización necesarias para mejorar el rendimiento. Posteriormente, en la etapa de **sintonización** se aplican, en tiempo de ejecución, las acciones definidas tendientes a mejorar los aspectos críticos.

Recientemente, hemos incorporado el proceso de sintonización dinámica aplicado al componente evolutivo de ESSIM-DE(r), con el fin de detectar dinámicamente **el límite (l) de iteraciones** requeridas en la etapa de evolución de las poblaciones (**ESSIM-DE(lr)**). En este trabajo se presenta una propuesta para mejorar el proceso de sintonización dinámica, en base a una nueva estrategia en la cual se propone analizar la tendencia decreciente de la distribución de la población a lo largo del proceso evolutivo. La nueva propuesta tiene como fin ajustar el rendimiento del método de acuerdo con el contexto de ejecución corriente, así como también al tipo de incendio considerado y a los diferentes parámetros que guían el proceso evolutivo en sí. Si bien en este trabajo el modelo de sintonización se aplica a un sistema de predicción de incendios, su utilización puede generalizarse para mejorar la performance de otras metaheurísticas, métodos de predicción y/o casos de estudio.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. Primero, se describe el proceso de predicción general de ESSIM-DE. Posteriormente, se describen las etapas del proceso de sintonización, incluyendo las métricas monitorizadas, analizadas, y las acciones de sintonización tendientes a mejorar el rendimiento. Luego, se define la nueva estrategia de sintonización que se propone en este trabajo, centrada en una de las dos métricas del modelo de rendimiento. Seguido, se presentan los resultados obtenidos con esta nueva estrategia, utilizando dos casos de quema controladas reales. Finalmente, se expresan las principales conclusiones y el trabajo a futuro.

PROCESO DE PREDICCIÓN CON ESSIM-DE(lr)

ESSIM-DE(lr) es un método general de reducción de incertidumbre con un esquema paralelo de Múltiples Poblaciones y Migración, o Modelo de Islas (Talbi, 2009). Ello significa que el proceso de búsqueda de soluciones o predicciones acordes al fenómeno real se lleva a cabo mediante el tratamiento en paralelo de diferentes sectores o muestras del espacio de búsqueda. Cada muestra se denomina **población** y se considera una **isla** a un conjunto de procesos que cooperan para el tratamiento de una población particular. El proceso de migración permite que las diferentes islas intercambien información con cierta regularidad, a fin de mejorar el proceso de búsqueda (Tardivo et al, 2017). La doble jerarquía de ESSIM-DE(lr) reside en un nivel superior que coordina la búsqueda global y en paralelo de todas las islas, y en un nivel inferior a nivel de cada isla que se ocupa de procesar una población particular mediante la interacción y cooperación entre el proceso *Master* de la isla y los procesos *workers* que la componen. La Fig. 2 ilustra esta relación entre el algoritmo evolutivo Evolución Diferencial y el Paralelismo en la arquitectura de ESSIM-DE(lr).

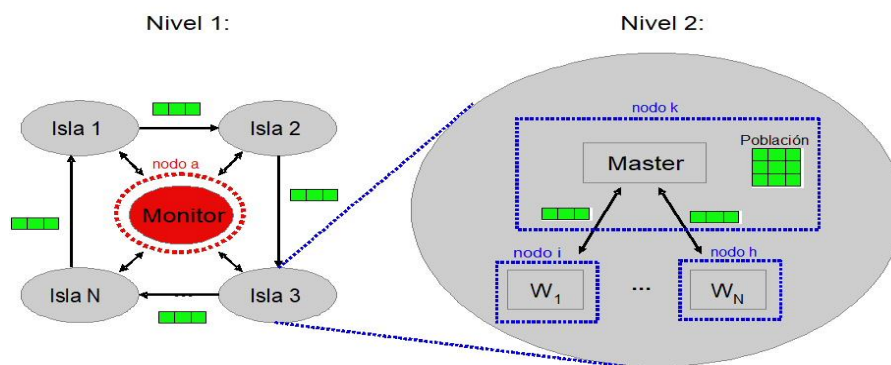


Figura 2. Arquitectura jerárquica de ESSIM-DE en dos niveles con islas.

Por su parte, en la Fig. 3 se ilustran las etapas del proceso predictivo, ligadas a la funcionalidad de cada tipo de proceso (*Master*, *worker* o *Monitor*), las cuales se explican en mayor detalle a continuación. Para realizar la predicción del frente de fuego, en ESSIM-DE(lr) el desarrollo total del incendio es dividido en diferentes instantes de tiempo discretos, denominados pasos de simulación. En cada paso de simulación la entrada es un mapa representando el estado inicial del incendio, y la salida constituye el mapa con la predicción de la línea de fuego. ESSIM-DE(lr) opera en cuatro etapas (ver Fig. 3) que son llevadas a cabo por una jerarquía de procesos en dos niveles. En el nivel

superior opera un proceso **Monitor** que comanda y supervisa el funcionamiento del nivel inferior, conformado por las islas. En cada isla se implementa con un modelo **Master/Worker** (Wilkinson y Allen, 2005) y se administra una población de individuos (muestra), los cuales representan diferentes combinaciones de valores para las variables que describen el entorno del incendio, también denominado escenario de quema (velocidad y dirección del viento, topografía del terreno, tipo y humedad de la vegetación, etc.).

El flujo general del proceso de predicción comienza por la Etapa de Optimización (ver Fig. 3). La Etapa de Optimización (**EO**) se lleva a cabo entre los procesos **workers** (**W**) y el **Master** (**M**) de cada isla. Esta etapa permite evolucionar una población de individuos en base al algoritmo Evolución Diferencial (*Differential Evolution*, DE) (Price et al, 2005), el cual es un optimizador estocástico basado en múltiples soluciones candidatas, o individuos. El proceso **Master** inicializa la población (**pop**), aplica los operadores de mutación y cruzamiento de DE para generar nuevos individuos candidatos, y distribuye los individuos entre los **workers**. Los **workers** realizan la simulación de acuerdo al escenario y al mapa real del incendio en el instante $t(i-1)$, y

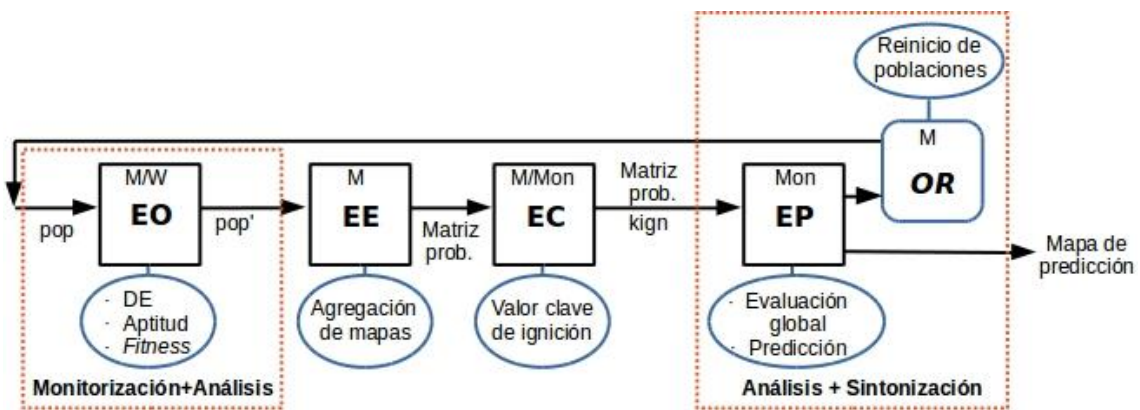


Figura 3. Esquema general de **ESSIM-DE(lr)**. **DE** Evolución Diferencial, **M**: *Master*, **Mon**: *Monitor*, **W**: *Worker*, **EO**: Etapa de Optimización, **EE**: Etapa Estadística, **Kign(t)**: Valor clave de ignición del instante t , **EC**: Etapa de Calibración, **EP**: Etapa de Predicción, **OR**: Operador de Reinicio poblacional.

evalúan la aptitud de la predicción obtenida, ponderando la precisión de la simulación mediante la función de *fitness* (ver Ec. (1)). En la ecuación, **A** representa el conjunto de celdas en el mapa real sin el subconjunto de celdas quemadas antes de iniciar el proceso de predicción, y **B** representa el conjunto de celdas en el mapa predicho sin el subconjunto de celdas quemadas antes de iniciar la predicción.

$$fitness = \frac{A \cap B}{A \cup B} \quad , \quad fitness \in [0,1] \quad (1)$$

Los **workers** devuelven al **Master** el mapa de quema y la aptitud del mismo para que el **Master**, siguiendo una política elitista, realice el reemplazo en **pop** (Tardivo et al, 2017). El **Master** también comunica individuos de su isla hacia otras islas en un proceso de migración, lo cual permite relacionar los diferentes espacios de búsqueda que representa

cada población. Una vez que la población completa las diferentes generaciones evolutivas, es introducida en la Etapa Estadística (**EE**). En esta etapa se construye una matriz de probabilidades (Matriz **prob.**) a partir de la agregación de todos los mapas de quema asociados a los individuos de la población evolucionada (**pop'**). Cada celda indica la probabilidad de ignición de la misma en base a la información de esa isla (Bianchini et al, 2010; Méndez et al, 2016).

En la Etapa de Calibración (**EC**) se determina la tendencia de la línea de fuego. En esta etapa, el *Master* computa lo que denominamos valor clave de ignición (**kign**), el cual será utilizado en la Etapa de Predicción del siguiente instante de tiempo. El Monitor (**Mon**) recibe las matrices de probabilidades y los valores clave de ignición en su Etapa de Calibración. El Monitor es el encargado de seleccionar cuál es la isla con mejor aproximación al incendio real, para realizar la predicción de la línea de fuego para el instante $t+1$ con estos datos, en la Etapa de Predicción (**EP**), usándose nuevamente la Ec. (1).

Una vez que se obtuvo la predicción para el paso de simulación considerado, ESSIM-DE(lr) avanza hacia el siguiente paso de predicción. Es importante destacar que ESSIM-DE(lr) cuenta con un operador denominado **reinicio poblacional**, representado por la etapa **OR** (ver Fig. 3). Este operador previene el estancamiento global de DE, al generar un nuevo espacio de soluciones independientes de las anteriores al inicio de cada paso de simulación. Por lo tanto, el proceso de predicción comienza con una población completamente distribuida al inicio de cada instante de tiempo en los cuales se divide la duración del incendio total.

SINTONIZACIÓN DINÁMICA EN ESSIM-DE(lr)

En esta sección y en la siguiente presentamos el modelo matemático de rendimiento que permite analizar y decidir en qué momento ha de detenerse la evolución sin perjuicio de la calidad del resultado, con el consecuente ahorro de tiempo de ejecución, y por lo tanto una toma de decisión más temprana. El modelo se presenta en este caso en concordancia con ESSIM-DE(lr), pero el mismo puede ser utilizado para sintonizar, adaptar o mejorar el comportamiento de otros métodos o algoritmos. En primer lugar, se documenta la primera estrategia utilizada para mejorar la condición de corte. En la subsiguiente sección se avanza más allá, explicando cómo es posible mejorar aún más el criterio de la condición de corte.

El proceso *Master* de cada isla es el que determina el fin de la Etapa de Optimización de la población de su isla, es decir, es quien decide cuándo la población frena su evolución para continuar con las siguientes etapas del proceso de predicción. En ESSIM-DE(lr) la condición de fin del ciclo evolutivo (también denominado límite de iteraciones) tiene una doble influencia en el proceso de optimización, puesto que limita la cantidad de generaciones evolutivas por las cuales evolucionará cada población y, en consecuencia, determina el tiempo de ejecución del proceso evolutivo. Por lo tanto, hemos incorporado el proceso de sintonización dinámica aplicado al límite de iteraciones evolutivas.

En la definición del proceso de sintonización hemos considerado dos posibles problemas asociados al proceso evolutivo de ESSIM-DE(lr): la convergencia prematura

y el estancamiento. La convergencia prematura es la situación en la cual la población converge a un óptimo local, debido a la pérdida de diversidad. Por su parte, el estancamiento es la situación en la cual el optimizador no es capaz de generar nunca más una nueva solución mejor que la anterior, aun cuando la población no hubiese convergido. Esto significa que, aun cuando la población presente cierta diversidad, el optimizador es incapaz de encontrar mejores soluciones (Lampinen y Zelinka, 2000). El problema del estancamiento de la población depende de los movimientos efectivos del optimizador Evolución Diferencial. Cuando se genera un nuevo individuo se produce un movimiento en el espacio de búsqueda que representan los individuos de la población. Este movimiento se considera efectivo si el nuevo individuo generado posee mejor valor de aptitud respecto de su antecesor. De todos los posibles movimientos que se realizan en la población, algunos son efectivos, mientras que otros no lo son, y por lo tanto estos últimos implican un esfuerzo computacional en vano. Para abordar dichos problemas se propuso cuantificar dos métricas diferentes para la población. Las métricas son:

- **Movimientos efectivos** (métrica **ME**): cuantifica el porcentaje de individuos que luego de un ciclo evolutivo han sido mejorados (mejor valor de aptitud que el de su predecesor).
- **Diversidad poblacional** (métrica **IQR**): cuantifica la dispersión de la población, es decir, la variabilidad de la distribución de la población. Para ello, se computa el Rango Intercuartil de los valores de aptitud de los individuos (Healey, 2007)

La métrica IQR permite cuantificar la distribución de la población en base a la medición de la dispersión de los valores de aptitud de los individuos, y por lo tanto puede servir como indicador de convergencia. Para detectar estancamiento se incluye la medición de los movimientos efectivos del optimizador a través de la métrica ME. En consecuencia, se puede considerar que la población está estancada y/o converge a un óptimo local si se cumple la condición de la Ec. (2).

$$IQR \leq umbral_IQR \wedge ME \leq umbral_ME \quad (2)$$

En caso de que la condición de la Ec. (2) se cumpla en alguna isla, se considera que la población debe finalizar el ciclo evolutivo, y se puede proceder con el resto de las etapas de ESSIM-DE(lr). Para ambas métricas, los valores de umbral a establecer serán considerados como porcentaje, de manera tal de utilizar valores ponderados respecto del máximo valor de cada métrica ($0 \leq umbral_IQR \leq 1$, $0 \leq umbral_ME \leq NP$, con NP el tamaño de la población). En ESSIM-DE(lr) los dos valores $umbral_IQR$ y $umbral_ME$ de la Ec. (2) se definen estáticamente con valores que se mantienen fijos durante toda la predicción. El objetivo de este trabajo es presentar una nueva estrategia de sintonización dinámica para la métrica IQR, de manera tal que no se requiera utilizar un valor pre-definido y con el fin de ajustar dicho valor de acuerdo al paso de predicción considerado.

El proceso de sintonización se incluye en la Fig. 3 con recuadros en líneas de puntos rojos. Los valores de aptitud son registrados en la **Etapas de Monitorización** y las métricas son computadas en la **Etapas de Análisis** del *Master*. Al finalizar cada iteración, cada *Master* envía las métricas de su isla hacia el proceso *Monitor*, quien

realiza una agregación de los valores recibidos en su **Etapas de Análisis** y determina si existe alguna isla con tendencia a estancamiento y/o convergencia prematura en la **Etapas de Sintonización**. Si se evalúa como verdadera la Ec. (2) con los valores computados de alguna de las islas, el *Monitor* determina que la población ha evolucionado lo suficiente como para frenar la evolución y realizar la predicción, e iniciar con el siguiente paso. Luego, se aplicará el operador de reinicio poblacional (**OR**) para comenzar el proceso evolutivo del siguiente paso con una nueva población (nuevo espacio de búsqueda).

NUEVA ESTRATEGIA DE SINTONIZACIÓN DINÁMICA

Como ha sido mencionado, en ESSIM-DE(lr) se utiliza un valor de *umbral_IQR* prefijado como parámetro de la ejecución. Esta definición constituye un criterio general que no permite considerar las características particulares del caso de quema considerado y del contexto de ejecución. Para ejemplificar se incluyen tres gráficos diferentes (ver Fig. 4) con los valores que adquiere la métrica *IQR* a lo largo de las iteraciones evolutivas. Cada gráfico corresponde a un caso de quema particular, e incluye la tendencia de tres semillas diferentes (s1, s2 y s3). El eje y representa el valor de *IQR* registrado, y el eje x la iteración en la que fue computado. Se puede observar que en el caso I los valores de *IQR* comienzan a ser crecientes y luego decrecen. En el caso II los valores son decrecientes, mientras que en el caso III es fluctuante hasta converger. Dado que la distribución de los valores de aptitud de la población está influenciada por múltiples factores (la velocidad de convergencia del método, el factor de mutación, la probabilidad de cruzamiento, la cantidad de individuos que participan en la migración, etc.), es posible notar en la Fig. 4 que la forma de las gráficas de los valores de *IQR* es diferente de un caso de quema a otro.

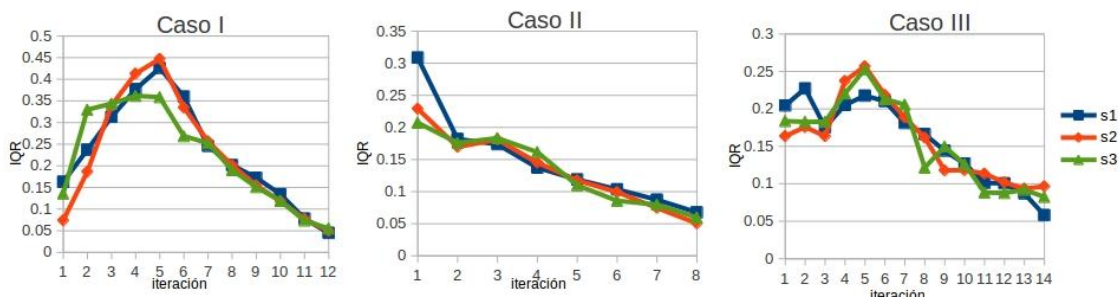


Figura 4. Ejemplo de variación de *IQR* durante el proceso evolutivo para tres casos de quemas (I, II y III), con diferentes semillas.

También es posible notar en las gráficas que en cada caso se requiere diferente cantidad de iteraciones para lograr un valor de *umbral_IQR*, por ejemplo, si fijamos un determinado valor en el eje y como *umbral_IQR*, sea 0.05, en el caso I se alcanza dicho umbral con 12 iteraciones, en el caso II con 8 iteraciones aproximadamente, y en el caso III con 14 iteraciones (para s1). Analizando cada gráfico, también es posible notar que con distintas semillas se obtienen líneas de gráfico con formas similares en cada caso de quema. Todos estos argumentos indican que la variación de las distribuciones de los

valores de aptitud de los individuos a lo largo del proceso evolutivo es particular de cada caso de quema considerado, independientemente de la semilla utilizada.

Se plantea, entonces, utilizar la información de la dispersión de la población en la sucesión de valores de *IQR* a lo largo de las generaciones evolutivas. La idea es detectar que la población se encuentre en un estado con tendencia al estancamiento y/o convergencia, haciendo uso de la historia de las distribuciones. Para ello, se propuso registrar el mínimo valor de *IQR* obtenido, actualizando dicho valor en cada iteración, y compararlo respecto del valor actual de *IQR* en la iteración corriente. En la Fig. 5 se ejemplifica la idea utilizando una de las líneas generada con una semilla del caso III.

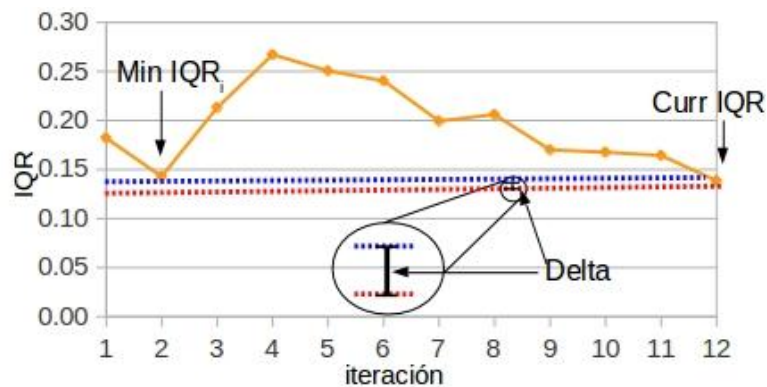


Figura 5. Ejemplo de cómputo de los valores *Delta*.

En la gráfica se señala el mínimo valor *IQR* registrado y el valor de *IQR* corriente. Si la diferencia entre ambos, denominada *Delta*, es muy pequeña, entonces la población ha logrado una distribución muy similar en alguna de las iteraciones anteriores. Por lo tanto, el criterio de sintonización queda definido por la Ec. (3).

$$Delta \leq umbral_DELTA \wedge Delta >= 0 \wedge ME < umbral_ME \quad (3)$$

En la Ec. (3) se verifica que la tendencia del *IQR* sea decreciente, controlando que *Delta* asuma un valor entre cero y un cierto valor pequeño *umbral_DELTA*, donde $Delta = (Min_IQR - Curr_IQR)$, *Curr_IQR* es el valor de *IQR* de la iteración corriente, y *Min_IQR* es el mínimo registrado. Por su parte, también se considera el valor de la métrica *ME*, la cual es requerida para analizar si el optimizador aún cuenta con movimientos efectivos a realizar sobre el espacio de búsqueda, también considerando un cierto valor de umbral. La Ec. (3) es computada en cada iteración a lo largo del proceso evolutivo de la metaheurística Evolución Diferencial, de acuerdo con la distribución actual de la población, en la generación corriente, para cada mapa de quema y condiciones particulares de la ejecución. La condición de la Ec. (3) verifica la tendencia de los valores de dispersión de la población. A diferencia del uso de un valor de *umbral_IQR* fijo, esta propuesta permite realizar una sintonización independientemente de los valores que adquiera la métrica *IQR*, considerando el progreso del proceso evolutivo y, por lo tanto, ajustando el criterio de finalización en base a las características particulares de cada población. En resumen, más allá del análisis numérico que sustenta a este modelo, la propuesta pretende mejorar los tiempos de ejecución, puesto que la condición utilizada como criterio de corte es una propiedad específica de cada

población, lo que permite evitar aquellos ciclos innecesarios por haberse alcanzado un nivel de convergencia aceptable. Utilizaremos la nomenclatura ESSIMDE(ldr) para indicar la incorporación de la nueva propuesta que analiza las tendencias de **distribuciones (d)**.

RESULTADOS OBTENIDOS

Para validar la propuesta se han utilizado dos casos reales de estudio correspondientes a incendios controlados realizados en diferentes terrenos de Serra de Lousã, Gestosa, Portugal, todos pertenecientes al proyecto SPREAD (Viegas, 2004). Cada caso posee una duración expresada en minutos, una pendiente en grados y una superficie específica en metros cuadrados. Los dos casos de quema considerados se describen en la Tabla I.

Tabla I. Casos de quema: dimensión, pendiente y tiempo de inicio, fin e incremento.

Caso	Ancho (m)	Alto (m)	Pend (gr)	T. Inicial (min)	T. final (min)	Incr. (min)
A	89	109	21	2.0	14.0	2.0
B	89	91	21	2.5	12.5	2.5

Para cada uno de ellos se computaron los valores de fitness y de tiempos, para un promedio de 10 semillas. Los experimentos fueron realizados utilizando un total de 41 unidades de procesamiento Intel Q9550 2.83GHz, con memoria RAM de 4GB DDR3 1333Mz. El valor del parámetro utilizado en ESSIM-DE(ldr) fue establecido en base a experimentación previa realizada como proceso de calibración estática, en donde se utilizaron diferentes combinaciones de valores para *umbral_IQR*. En dicha experimentación resultó seleccionado como valor del parámetro *umbral_IQR*=5%, teniendo como criterio un compromiso entre calidad de predicción y tiempo de respuesta. El valor del parámetro *umbral_DELTA* para ESSIM-DE(ldr) es establecido en este trabajo como valor de referencia al 1%. El resto de los parámetros requeridos fueron establecidos en base a experimentación previa con ESSIM-DE(ldr) y se detallan en la Tabla II.

Tabla II. Configuración de los parámetros utilizados en la experimentación.

Parámetro	Valor
Tamaño de la población	200 individuos
Porcentaje de individuos en migración	20%
Frecuencia de migración	1 iteración
Estrategia de DE	DE/best/1/bin
Probabilidad de Cruzamiento	0.45
Factor de Mutación	0.9
Cantidad de Islas	5
Cantidad de <i>workers</i> por isla	7

Los resultados obtenidos son presentados en la Fig. 6, en la cual se incluyen dos gráficos representando los resultados obtenidos en la experimentación con los casos A y B de la Tabla I. En cada gráfico se incluyen los valores de *fitness* promedio obtenidos por ESSIM-DE(lr) y por la nueva propuesta ESSIM-DE(ldr), para cada paso de predicción. La Tabla III incluye los tiempos de ejecución promedio obtenidos.

Tabla III. Tiempos de ejecución (segundos) en promedio.

Caso	ESSIM-DE(lr)	ESSIM-DE(ldr)	Reducción
A	1790	1265	29%
B	734	485	33%

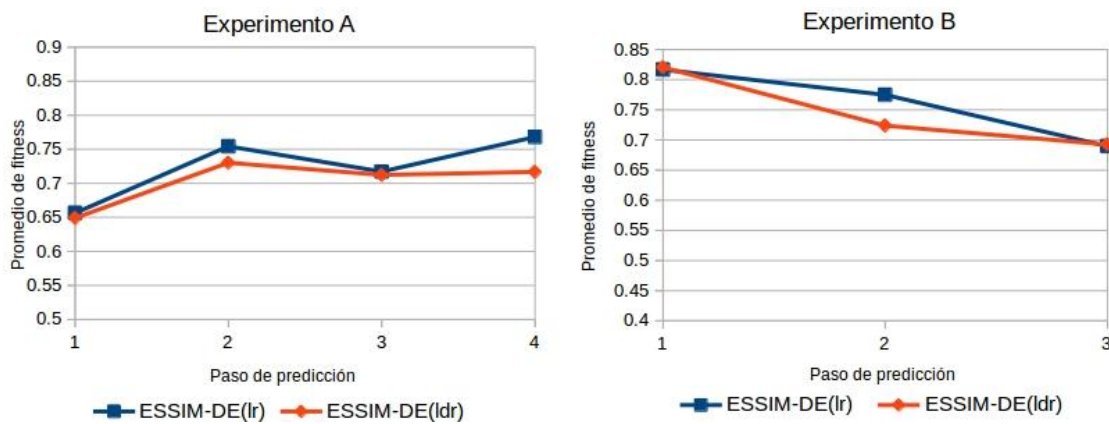


Figura 6. Promedios de fitness para cada experimento.

El Experimento A cuenta con cuatro pasos de predicción. Se puede observar que ESSIM-DE(ldr) obtiene valores de fitness similares a ESSIM-DE(lr) en los pasos 1 y 3, mientras que ESSIM-DE(lr) obtiene valores ligeramente superiores en el paso 2 y 4. Sin embargo, ESSIM-DE(ldr) obtiene una reducción de un 29% aproximadamente en los tiempos de cómputo. Esto se debe a que el nuevo criterio de sintonización detecta anticipadamente la tendencia al estancamiento y/o convergencia, de acuerdo con las características de la población en cada iteración, por lo tanto, se reducen los tiempos de ejecución del proceso de optimización y, por ende, de la simulación total. El Experimento B cuenta con tres pasos de predicción. Es posible notar que los resultados son similares a los obtenidos en el Experimento A, en este caso la nueva propuesta logra una reducción de los tiempos de cómputo promedio en un 33% aproximadamente. Los resultados obtenidos demuestran que la nueva propuesta de sintonización con monitorización de la tendencia de las distribuciones es efectiva, logrando calidad de predicciones similares a la utilización de una estrategia con valores fijos en la métrica *IQR*, pero a un costo computacional menor. En los métodos de predicción como ESSIM-DE, estas reducciones resultan significativas para que las predicciones puedan ser obtenidas a más corto plazo, con anticipación a la propagación del frente de fuego.

CONCLUSIONES

En este trabajo se aplicó el operador de reinicio de poblaciones en conjunto con un nuevo criterio de sintonización dinámica al método ESSIM-DE. La nueva propuesta, con nomenclatura ESSIM-DE(ldr), permite considerar las características particulares de cada caso de quema, gracias a la detección del estancamiento y/o convergencia de las poblaciones en base al análisis de una tendencia decreciente de los valores de dispersión. Los resultados indican que la nueva propuesta logra calidad de predicciones similares al criterio previo, con un tiempo de ejecución menor. Las reducciones de tiempo están asociadas a una detección anticipada del fin del ciclo evolutivo, de acuerdo con las características particulares de cada caso, y habilitan la toma de decisiones combativas con mayor antelación. Como trabajo a futuro se propone calibrar el valor definido para el nuevo parámetro *Delta*, de manera tal de estudiar la sensibilidad del método al mismo y con el fin de definir un criterio auto-adaptable para dicho valor.

REFERENCIAS

- Bianchini, G., Denham, M., Cortés, A., Margalef, T., Luque, E. (2010) “Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution”, *Journal of Computational Science* Vol 1 Issue 4, pp. 229-237. Elsevier.
- Caymes-Scutari, P., Bianchini, G., Sikora, A., Margalef, T., (2016) “Environment for Automatic Development and Tuning of Parallel Applications” HPCS 2016, International Workshop on Parallel Optimization using/for Multi and Many-core High Performance Computing, Innsbruck, Austria. pp. 743-750. IEEE.
- Healey, J. F. (2007) *The Essentials of Statistics: A Tool for Social Research*, Thomson/Wadsworth.
- Lampinen, J. y Zelinka, I. (2000), “On the Stagnation of the Differential Evolution algorithm”, *I.C. Soft Computing*, pp. 76-83.
- Mendez Garabetti, M. Bianchini, G., Caymes Scutari, P., Tardivo M.L. (2016). “Increase in the quality of the prediction of a computational wildfire behavior method through the improvement of the internal metaheuristic”, *Fire Safety Journal*, pp. 49-62. Elsevier.
- Naono, K., Teranishi, K., Cavazos, J. y Suda, R. (2010) *Software Automatic Tuning: From Concepts to State-of-the-Art Results*, Springer, New York.
- Price K., Storn R., Lampinen J. (2005) *Differential Evolution - A practical approach to global optimization*. Springer-Verlag New York, Inc.
- Talbi, E. (2009) *Metaheuristics: From Design to Implementation*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
- Tardivo, M.L., Caymes-Scutari, P., Méndez-Garabetti, M. y Bianchini, G. (2017) “Optimization for an Uncertainty Reduction Method Applied to Forest Fires Spread Prediction”, *Computer Science – Cacic 2017*, pp. 13-23. Springer.
- Viegas, D. X. (2004). *Project Spread – Forest Fire Spread Prevention and Mitigation*, <http://www.algosystems.gr/spread/>. Accedido el 10 de Julio de 2018.
- Wilkinson, B., Allen, M. (2005) *Parallel Programming: Techniques and Applications Using Networked Workstations and Parallel Computers*. Pearson Prentice Hall.

ANÁLISIS DE LOS DATOS PROCESADOS POR UN ARREGLO DE SENSORES HIDRO-ACÚSTICOS: UN CASO PARTICULAR

Veca, A. C.

*Instituto de Automática, INAUT, Facultad de Ingeniería, FI, Universidad Nacional de San Juan, UNSJ,
ARGENTINA.*

e-mail: aveca@inaut.unsj.edu.ar

RESUMEN

El trabajo parte del análisis de los datos captados y procesados por una de las estaciones internacionales de monitoreo de explosiones nucleares. Estas estaciones subacuáticas, 11 en total, que se encuentran ubicadas estratégicamente, obtienen información sensorial de naturaleza diferente. Por un lado, mediante un arreglo acústico sumergido a una profundidad del orden de los 850 metros, reciben información sonora de muy baja frecuencia (infrasonidos). Por otro, disponen de sensores sensibles a ondas T-phase, a fin de obtener información sobre terremotos. A partir de lo anterior, se analiza una perturbación acústica captada por el arreglo de sensores pertenecientes a las estaciones HA10 y HA04, ubicadas en las cercanías de la isla Ascensión e isla Crozet, situadas a una distancia de 6.500 y 7.800 km de la fuente, respectivamente. La perturbación indicó la presencia de una emisión acústica de corta duración y de dos ecos. Posteriormente y con la finalidad de verificar la exactitud de los sistemas de registro, se realizó una detonación en la zona estimada a la ubicación de la emisión detectada. Con la totalidad de los datos adquiridos se procedió a modelar trayecto de la energía acústica y determinar las posibles reflexiones y refracciones. En primer lugar, se determinó que la naturaleza de la emisión se debió a una fuente omnidireccional, monopolar e impulsiva. Posteriormente se observó que al ser grande la probabilidad de que la energía viajara por el entorno del eje del canal sonoro profundo (SOFAR), existiera conversión de onda esférica a cilíndrica, disminuyendo notablemente la atenuación. El estudio se completó con la estimación de la energía liberada por la fuente, en función de las atenuaciones impuestas en el trayecto por el medio, demostrándose que el conjunto de estaciones puede detectar y procesar información sensorial de suma importancia, para casos que no se consideraron en su concepción.

Palabras Clave: emisión acústica, reflexión, refracción, subacuático, SOFAR

INTRODUCCIÓN

Como todo proceso ondulatorio, el conocimiento de la velocidad del sonido es indispensable para el estudio de la propagación de la energía acústica, independientemente del rango de frecuencias que se trate. En el océano, la propagación del sonido no es una función lineal de la profundidad, ya que depende de múltiples factores que además se encuentran acoplados entre sí (Coppens, 1981). La presión, densidad, PH, salinidad, temperatura y latitud geográfica, son las variables responsables de su variabilidad con la profundidad (ver Fig. 1) (Kinsler et al, 1980, Munk, 1995, and NOLTR 61-179, 1961). La salinidad se debe a la presencia de aniones como cloruros, bromuros, carbonatos, etc. y cationes como calcio magnesio, potasio, etc., lo que hace un total de aproximadamente 73 elementos químicos, tomándose como valor promedio una salinidad de 35 ppm. La variación del PH está comprendida entre 7,5 y 8,4. El gradiente de la velocidad del sonido varía con la profundidad, presentando a una profundidad dada (velocidad mínima) una inversión de pendiente (ver Fig. 2), que define el denominado “eje del canal sonoro profundo” o SOFAR (del inglés Sound Fixing And Ranging) (Scott, 2009). Como se observa, existen cuatro zonas: capa superficial, termoclina estacional, termoclina principal y capa isotérmica profunda. La mayor variabilidad la presenta la capa superficial, ya que depende fundamentalmente de la meteorología local y

del sol, la termoclina estacional es más estable, pero depende de la estación del año. En la termoclina principal, la disminución de la temperatura presenta un leve gradiente. La termoclina profunda presenta una temperatura constante entre 4° y -1 ° C hasta el fondo marino y la velocidad del sonido se incrementa con el aumento de presión. En latitudes adyacentes a los polos, esta capa se encuentra cercana a la superficie del mar y en el Ártico ésta puede eliminar completamente a las otras capas.

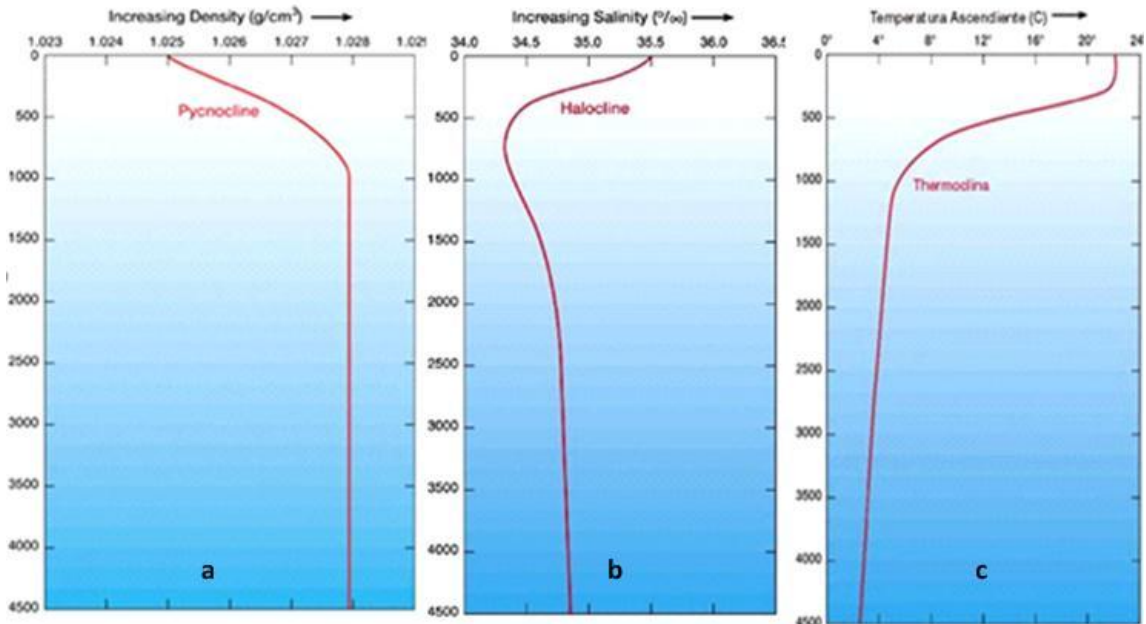


Figura 1. Principales variables que influyen la velocidad del sonido con la profundidad. a-densidad, b- salinidad, c-temperatura

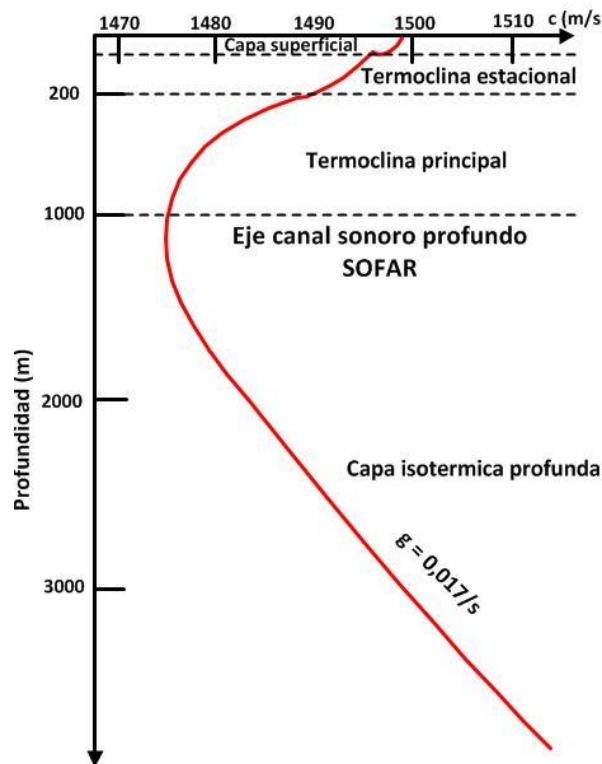


Figura 2. Velocidad del sonido con la profundidad y definición de zonas

Se puede demostrar que en las cercanías del SOFAR (por encima y por debajo) [Munk, 1995], la energía de una fuente acústica que viaje por su interior es mínimamente afectada por la atenuación del trayecto, ya que se trata de una propagación de un frente de onda cilíndrico; que es como si se tratara de una guía de onda. Esta característica puede utilizarse para transmitir información a miles de kilómetros con reducida pérdida de presión sonora, similar a lo que sucede en el área de las comunicaciones, cuando se emplea propagación ionosférica. En un medio sub-acuático intervienen dos factores principales que contribuyen a las pérdidas de propagación: el fenómeno de absorción y el de dispersión geométrica (Kinsler et al, 1980). La absorción del medio acuático para la transmisión de señales acústicas puede resumirse en la ecuación empírica de [Medwin, et al, 1998], la cual se muestra a continuación:

$$\alpha = \frac{0,11f^2}{(1+f^2)} + \frac{44f^2}{(4100+f^2)} + 0,000275f^2 + 0,0003 \quad (1)$$

donde: f es la frecuencia de la señal acústica en [kHz] y α es el coeficiente de absorción en dB/km. Las pérdidas de transmisión en el SOFAR vendrán dadas por la divergencia geométrica de la señal y la absorción del agua. Al igual que sucede para el canal superficial, la onda acústica comienza propagándose de forma esférica, hasta cierta distancia de transición r_t , para la cual, gracias al confinamiento energético ocasionado por el canal, se puede considerar cilíndrica. En este punto, ya no existen contribuciones debido a las reflexiones en el fondo o la superficie. Las pérdidas de transmisión se pueden expresar según la ecuación (2), sólo para distancias mayores a la de transición, donde ya pueda considerarse divergencia cilíndrica (Velo, 2007 and Quino, 2009).

$$TL = 10 \log r + 10 \log r_t + \alpha r \times 10^{-3} \quad (2)$$

donde: r es la distancia del trayecto recorrido. La diferencia entre la atenuación de onda esférica y la onda cilíndrica es de un factor de dos, ya que, $TL_{esf} = 20 \log(r)$ y $TL_{cil} = 10 \log(r)$.

Dentro de este contexto, a continuación se presenta el estudio de una anomalía hidroacústica generada por una fuente omnidireccional, impulsiva de un solo pulso y de muy baja frecuencia que es captada por un conjunto de sensores hidro-acústicos situados entre 6.500 y 7.800 km de distancia y ubicados a 850 metros de profundidad. El trabajo se divide en dos partes, en la primera se describen las características especiales de las estaciones hidroacústicas que registraron la emisión de la fuente objeto de estudio. En la segunda, se analiza la información acústica emitida por la fuente y captada por los sensores y, se la compara con una prueba de calibración que consistió en una detonación, obteniendo conclusiones que completan el trabajo.

ESTACIONES HA

La Organización del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) [CTBTO] ha establecido un sistema global de estaciones de vigilancia, que registran los datos necesarios para la verificación del cumplimiento del Tratado. La red de estaciones de vigilancia es capaz de registrar entre otras, las ondas de choque generadas por una explosión nuclear subterránea, en el océano o en la atmósfera. Actualmente, dispone de una red global de 337 estaciones de monitoreo de las cuales 296 están certificadas, y se encuentran clasificadas de acuerdo al tipo de monitoreo que pueden realizar. Sísmicas primarias (44), sísmicas secundarias (108), infrasonido (51), hidroacústicas (11), radiactivas (69) y gases radioactivos (13). (Arranz, 2003, Graeber, 2006). La vigilancia hidroacústica detecta las ondas acústicas producidas por fenómenos naturales y producidos por el hombre en los océanos (Bradley, 2015), permitiendo la detección de explosiones y fenómenos sísmicos. (Bittner, 2008). La red de vigilancia está formada por once estaciones y cubren todos los océanos, que comprenden el 70% de la superficie de la tierra (ver Fig. 3). Esta red utiliza dos técnicas diferentes para la detección de la energía acústica; estaciones de hidrófonos y estaciones de T-phase (Metz, 2017). Las primeras son

extremadamente sensibles a la detección de ondas acústicas (ondas P), generadas por fenómenos submarinos, incluyendo explosiones que puedan ocurrir a miles de kilómetros. Las estaciones de T-phase se incluyeron en la red para mitigar el elevado costo de las estaciones de hidrófonos. Están formadas por equipos sísmicos localizados en pequeñas islas y resultan más efectivas en la detección de energía hidroacústica. También existe la conversión de energía hidroacústica a sísmica (Rodgers, 1999). Las estaciones hidroacústicas transmiten los datos en tiempo real al Centro Internacional de Datos (CID), localizado en Viena, Austria.



Figura3. Ubicación geográfica de la red global de estaciones hidroacústicas. Con círculo rojo, las estaciones involucradas en este trabajo

ESTACIONES HIDROACUSTICAS HA10 Y HA04

Dada la ubicación geográfica de la fuente acústica bajo estudio, las estaciones HA10 y HA04 fueron las que detectaron la emisión, fundamentalmente la estación HA10 ubicada en la isla Ascensión. Ambas están divididas en dos instalaciones, con orientación sur-norte (norte-sur), esto es, HA10S, HA10N, (7.84°S, 14.49°W, 8.95°S, 14.65°W), HA04S y HA04N en la isla Crozet (46.4°S, 51.9°E). En el caso de HA10, los sensores hidroacústicos se encuentran separados por una distancia de 126 km (Ver Fig. 4).

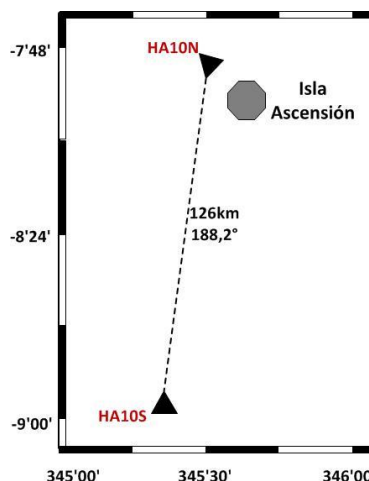


Figura 4. Ubicación geográfica de la estación HA10

Suponiendo una velocidad del sonido en el orden de 1500 m/s, la diferencia de tiempo de arribo de un fenómeno hidroacústico entre las dos estaciones, sería de 85,2 segundos. En la estación HA10, los hidrófonos están anclados a 3 km de profundidad (sobre el piso del canal) y a una distancia de la superficie del océano de 850 metros (eje del canal sonoro profundo SOFAR) (Keen, 2001, Jones et al, 2004). Los mismos forman un arreglo (array) de tres hidrófonos separados entre sí, por una distancia de 2 km. En la Fig. 5 se muestra un esquema del arreglo de sensores en las cercanías de la estación y de la separación de los mismos.

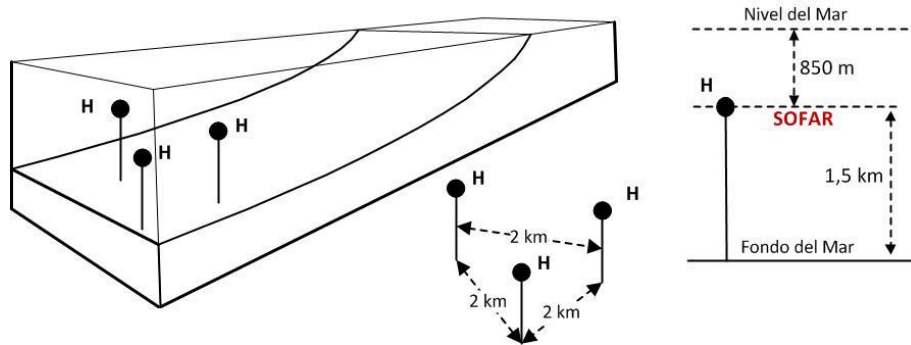


Figura 5. Esquema de la posición del arreglo de sensores acústicos en la estación HA10

El SOFAR de la isla Ascensión, tiene un corte de baja frecuencia de aproximadamente 3 Hz, debido a su grosor limitado (eje del canal a 1,5 km, con velocidad del sonido en el orden de 1481m/s), el ancho de banda de los hidrófonos que forman el arreglo está comprendido entre 1 Hz y 100 Hz [Evers et al, 2017]. Por lo tanto, las señales obtenidas se procesan previamente con un filtro Butterworth de segundo orden, con frecuencias de corte de 3 y 5 Hz. Antes del filtrado, se diezman con un factor de cuatro y con una frecuencia de muestreo de 250 Hz. Posteriormente, se determina la hora de llegada, hora de inicio, hora de terminación, etc., la amplitud, el período, el azimut, el retardo y el análisis cepstral. La Fig. 6 muestra parte de la información procesada (CTBTO informe 108, 2018); registro analógico (izquierda abajo), espectrograma (izquierda arriba), el espectro de densidad de ruido (derecha). El espectrograma y el registro de nivel de ruido, están referidos a 1uPa. Como se observa, las bajas frecuencias presentan mayor nivel en el espectro (110 dB) en las cercanías de 1 Hz, debido a la baja atenuación de las bajas frecuencias, mientras que la media se encuentra en el orden de 80 dB.

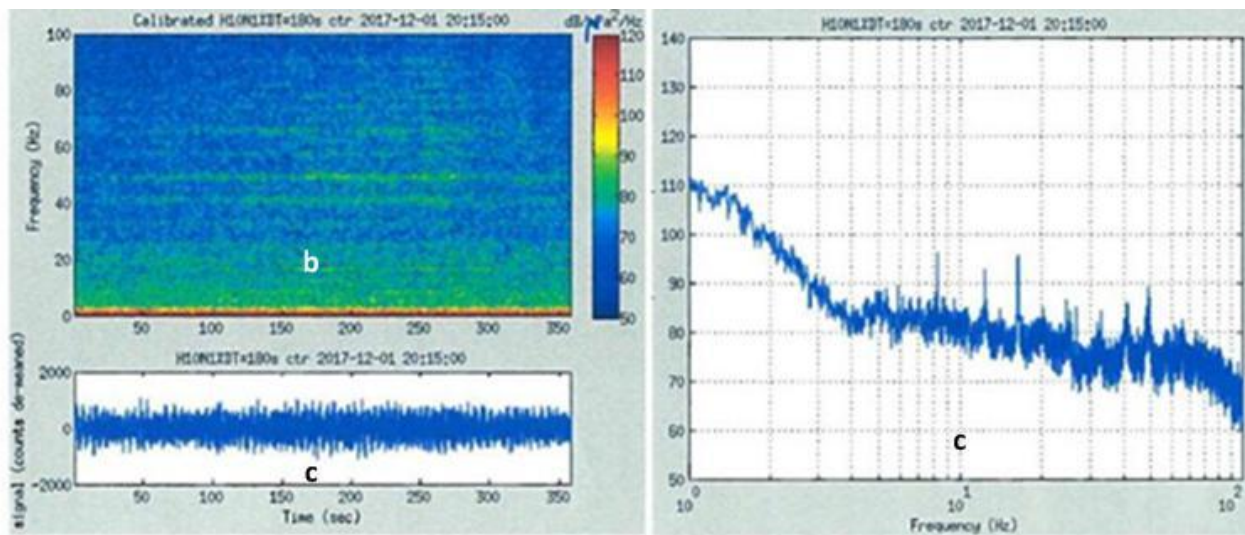


Figura 6. Registro de parámetros hidroacústicos en la estación HA10S en condiciones normales

ANALISIS DE UN CASO

La Fig. (7), muestra el registro tomado por la estación HA10N (CTBTO informe 108, 2017), como consecuencia de la emisión de la fuente. Comparando éste con el de referencia (ver Fig. 6), se observa una notable elevación del nivel de presión sonora. El registro analógico muestra una típica señal impulsiva y el espectro de densidad de potencia presenta un pico de frecuencia del orden de 10 Hz. Con la información recibida por las estaciones HA10 y H04N, se determinó por triangulación el lugar geográfico aproximado de la fuente en el punto 45.40 S, 59,24 W, resultando una distancia del orden de 6.500 km para la estación HA10 y de 7.800 km para la estación H04N.

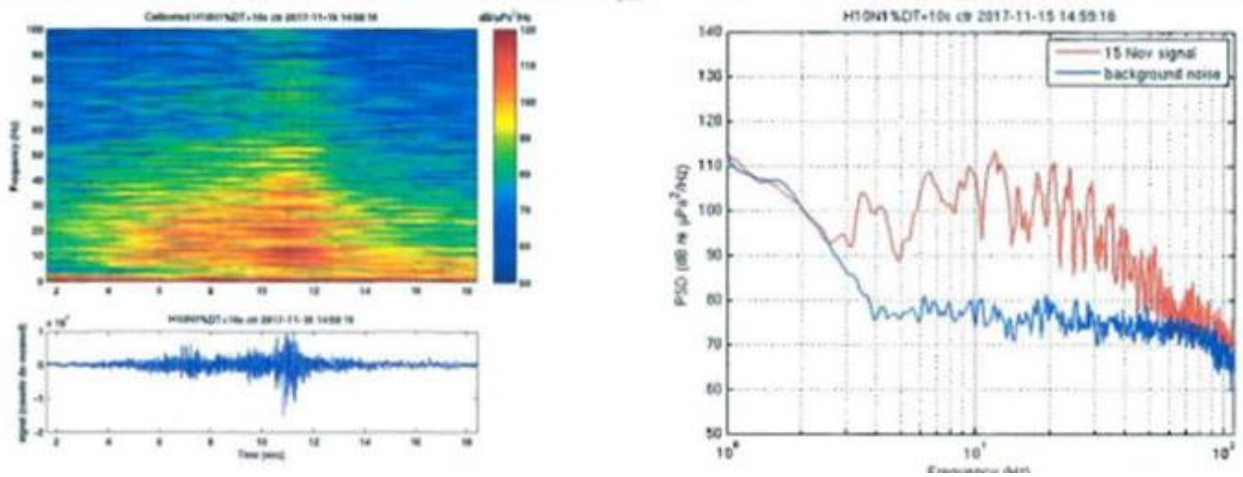


Figura 7. Registro del arribo de una señal acústica de baja frecuencia y alta intensidad a la estación HA10

CALIBRACION DE LOS SENSORES

Posteriormente al arribo de la señal registrada se llevó a cabo una calibración de los sensores, la que consistió en detonar una carga explosiva ubicada en el mismo lugar geográfico de la triangulación, preparada para emitir una energía similar a la registrada (CTBTO informe 108, 2017).

El nivel de presión sonora "EL" en dB y el tiempo de duración en seg. de una fuente basada en una detonación de TNT, fue determinado a través de (Veca, 2018) de acuerdo a los trabajos de (Medwin et al, 1998, Ecraf, 1946, and Jones, 2004).

El cálculo se inicia estimando el nivel de presión sonora "EL" sobre la fuente que representa la energía máxima disponible. Se parte con la información del peso de la carga explosiva obtenido en (Veca, 2018), peso (w) = 108 Kg. El diámetro de la fuente se adoptó en función de w (Jones, 2004) $r = 1,47 * w^{(1/3)}$. Remplazando estos valores según se indica en (Veca, 2018), se obtiene:

$$P_o(t_o) = 8,98 * 10^6 \text{ Pa},$$

$$t_o = 6,2 * 10^{-4} \text{ s}$$

$$EL = 223,99 \text{ dB}.$$

También se determinaron las distancias de transición y de salto. Las características del SOFAR del atlántico sur para dicha latitud (ver Fig. 8), se obtuvieron de (Keen, 2014). Finalmente, la profundidad de la fuente usada durante la calibración fue de 40 m (CTBTO informe 108, 2018).

Introduciendo estos valores en las expresiones arriba citadas, se obtuvo: $r_s = 81,24 \text{ Km}$ y $r_t = 46,8 \text{ Km}$. Para el cálculo de la atenuación total de la energía que viaja por el canal hasta donde se encuentran los sistemas de registro, se usó la expresión (2) obteniendo, $TL = 114,84 \text{ dB}$. Por lo tanto, la presión sonora resultante es la diferencia

$$EL - TL = 223,99 \text{ dB} - 114,84 \text{ dB} = 109,15 \text{ dB},$$

que representa el nivel de presión sonora en el punto tomado como receptor, esto es, donde se encuentra el sistema de registro.

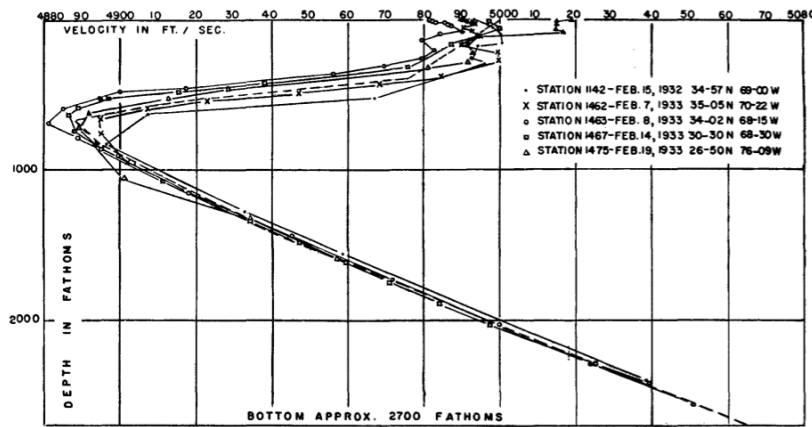


FIGURE 2.—Velocity-depth curves from ATLANTIS hydrographic data
 Figura 8. SOFAR atlántico sur

Como se observa, el resultado de la estimación está en el orden del nivel de presión sonora que indica la Fig. 9. La Fig. 10 compara los espectros de densidad de potencia de la fuente y de la calibración, concluyendo que la energía entregada por carga de TNT usada en la calibración, es menor que la de la fuente bajo estudio.



Figura 9. Comparación del nivel de presión calculada y la determinada en la calibración

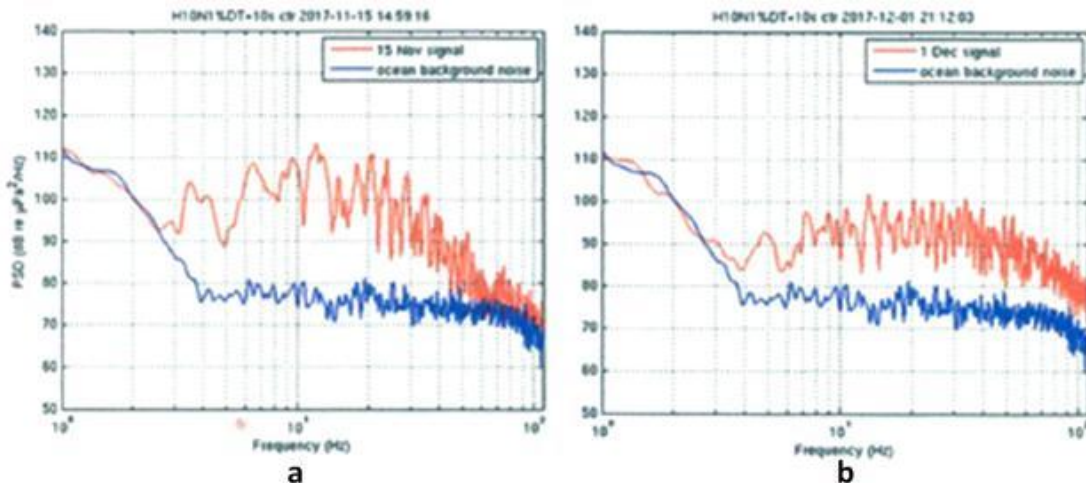


Figura 10. Espectros de densidad de potencia. a-fuente, b- calibración

Finalmente, en la Fig. 11 y Fig. 12 se muestran los espectrogramas correspondientes a las estaciones HA10S y HA04S, respectivamente. En la parte superior, el generado por la fuente y en la parte inferior el

resultante de la calibración, corroborando una vez más que la energía entregada al medio por la fuente, fue mayor que la usada en la calibración.

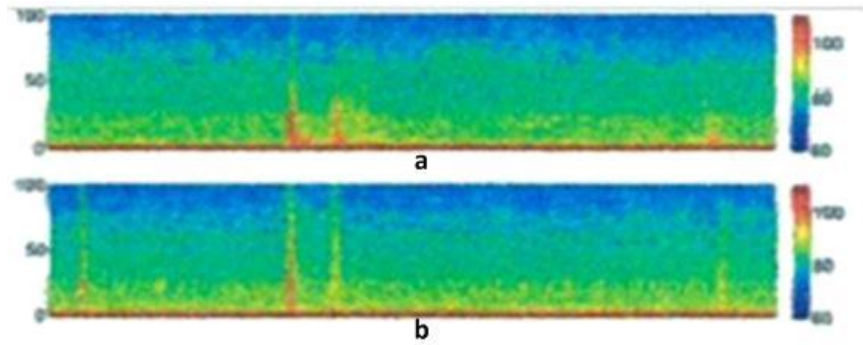


Figura. 11. Espectrogramas estación HA10S. a-fuente, b-calibración

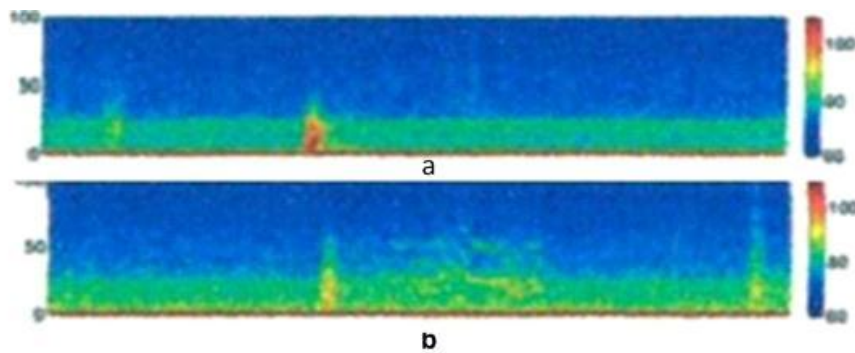


Figura. 12. Espectrogramas estación HA04S. a-fuente, b- calibración

ANÁLISIS DE LOS ECOS

En la Fig. 13 se muestra el registro en la estación HA10S a continuación de la calibración. Claramente se observan dos arribos, uno principal y el segundo tomado como una posible reflexión. En la Fig. 14 se muestra el registro de la fuente bajo estudio. Existen tres señales; el arribo principal y dos ecos, debidos a reflexiones, a continuación del pico de presión sonora analizado, dos más que no corresponden al análisis anterior. Como la fuente sonora generó sólo un pulso, existen dos posibilidades acerca de la génesis de éstos. La primera, diferencia de tiempos de arribo por reflexiones en el fondo o en el techo del SOFAR. La segunda, por reflexiones en alguna pared del continente cercana a la fuente.

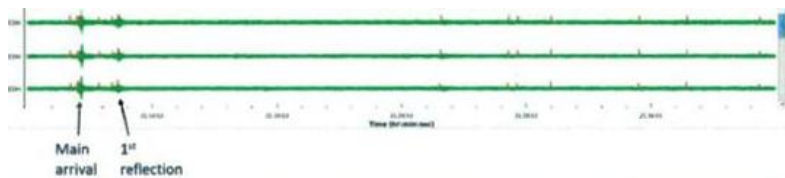


Figura13. Señales analógicas resultante de la calibración en la estación HA10S

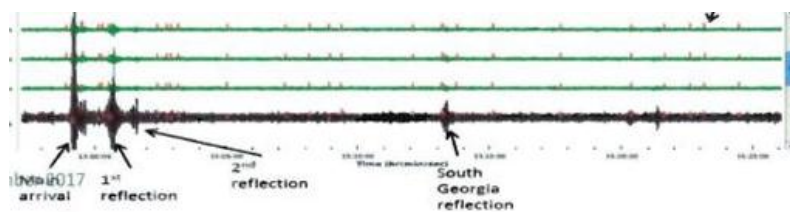


Figura14. Señales analógicas provenientes de la fuente bajo estudio en la estación HA10S

El posible modelo teórico para el estudio de los ecos (Medwin et al, 1998) se muestra en la Fig. 15. Donde $P_o(t)$ representa la emisión de la fuente, $P(t)$ la presión compuesta por los tres trayectos, R_{10} y R_{12} los coeficientes de reflexión para el primer y segundo eco (Frish, 1980), respectivamente. Los factores de amplitud representan la atenuación del trayecto y el retardo del tiempo de tránsito.

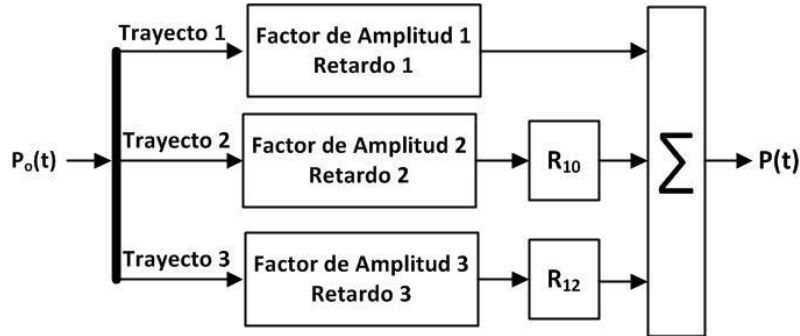


Figura 15. Modelo teórico de las señales recibidas por el sistema de registro

La diferencia de tiempos de arribo de los ecos respecto al pico del trayecto directo, fue de alrededor de 82 y 30 segundos respectivamente. Tomando como referencia una velocidad de propagación del sonido del orden de 1.500 m/s, la diferencia de distancia entre la recorrida por el primero es de 135 Km y la del segundo, 45 Km, distancias que no pueden compararse con la distancia total. Con respecto a la tercera reflexión que aparece en el registro de la Fig. 14, para una diferencia de tiempo del orden de 18,2 minutos, lo que equivale a una distancia aproximada de 1.640 km, coincide con la posición geográfica indicada (Isla Georgia). La falta de mayor información a la hora de compaginar este trabajo, sugiere que debe realizarse un estudio más profundo para completar este punto.

CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó un estudio tendiente a la caracterización de la emisión de una fuente acústica sumergida en el océano atlántico sur, situada a 6.500 km y 7.800 km de dos estaciones hidroacústicas que la detectaron. La información registrada se comparó con registros de referencia, determinando que se trató de la emisión de una fuente monopolar, omnidireccional e impulsiva de un solo pulso. A continuación se compararon los registros con los obtenidos como consecuencia de la calibración del sistema de registro, que consistió en la detonación de 108 kg de TNT en las cercanías de la fuente bajo estudio. Con el conjunto de parámetros disponibles, se estimó la presión máxima y el tiempo de duración de la emisión, la distancia de transición de onda esférica a onda cilíndrica y el nivel de presión sonora sobre los sensores hidroacústicos. Se corrobora que el nivel de presión sonora calculado sobre los sensores, está en el orden del obtenido en los registros.

Del análisis se desprende que, la información para la estimación de la caracterización de la fuente, pudo ser realizada por la información de la carga detonada, fundamentalmente por el peso de esta última.

Finalmente, se aborda el análisis de dos ecos que arribaron a la estación, 82 segundos y 30 segundos después del arribo principal, tiempo que determina distancias del orden de 135 y 45 km, respectivamente. Evidentemente se trata de reflexiones muy cercanas al lugar de emisión de la fuente. Por cálculo simple, se corrobora la posición geográfica de la tercera reflexión. Para determinar el lugar de las dos primeras reflexiones, habría que hacer un estudio muy específico que supera los alcances del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Aparicio, et al. Modelos de Propagación de Señales Acústicas en Entornos Subacuáticos. Dep. Electrónica, Univ. de Alcalá, 2010.
- Arranz, M. G. A Global Network of Hydroacoustic Stations for Monitoring the Comprehensive Nuclear-Test-ban Treaty. PACS: 43.10.Qs. TecniAcustica, Bilbao, 2003
- Bittner, P., Jonathan, E., Villarroel, M. *Contribution of the IMS Global Network of Hydroacoustic Stations for monitoring the CTBT, 2008.* www.google.com.
- Bradley, D. L., Nichols, S. M. Worldwide Low-Frequency Ambient Noise. *Acoustics Today*, 20-26, volumen 11, issue 1, 2015.
- Carey, W. M. Lloyd's Mirror image Interference Effects. *Acoustics Today*, Volume 5, Issue 2, pp.14-20, April 2009.
- Coppens, A. B. Simple equations for the speed of sound in Neptunian waters. *J. Acous. Soc. Am*, 69, 862 (1981).
- CTBTO, Preparatory Commission. <https://www.ctbto.org/>
- Ecrart, C. Principles and applications of underwater Sound. Summary Technical Report of Dision 6, NDRC, Volume 7. Wasshinton, 1946.
- Evers, L. G., Wapenaar, K., Heaney, K. D. and Snellen, M. Deep ocean sound speed characteristics passively derived from the ambient acoustic noise field. *Geophysical Journal International*, Volume 210, Issue 1, 1 July 2017, Pages 27-33,
- Frish, G. V., Oppenheim, A. V., Martinez, D. R. A technique for measuring the plane-wave reflection coefficient of the ocean bottom. *J. Acoust. Soc. Am*. 68(2), Aug. 1980.
- Graeber, F. M., Coyne, J. and Tomuta, E. The current status of hydroacoustic data processing at the international data centre. 28th Seismic Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies, pp.717-724, 2006.
- Jones, A. D. and Clarke, P. A. Uuderwater Sound Received Fron Some Defence Activities in Shallow Ocean Regions. *Proceedings of Acoustics*, 2004.
- Keen, E. The SOFAR Channel https://rvbangarang.files.wordpress.com/2014/01/sofar_channel.pdf
- Kinsler, L. E. Frey, A. B. Coppens, A. B. and Sanders, J. V. *Fundamentals of Acoustics*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc, 1980.
- Lawrence, M. W. Acoustic Monitoring of the Global Ocean for the CTBT. *Proceedings of Acoustics* 2004, pp. 455-459, 3-5 November 2004, Gold Coast, Australia.
- Medwin, H., Clay, C. S. *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press, 1998.
- Metz, D., Watts, A. B. Grevemeyer, I., Rodgers, M., and Paulatto, M. Ultra-long-range hydroacoustic observations of submarine volcanic activity at Monowai, Kermadec Arc. *Research Letters*. [10.1002/202015GL067259](https://doi.org/10.1002/202015GL067259), *Geophysical Research Letters*. Agupublications, 2016.
- NOLTR 61-179. Sea water density in the ocean as a function of depth, and a method for utilizing this information in design of pressure Vessels which will remain in a constant depth range between the Surface and the bottom. United States Naval Ordnance Laboratory, White Oak, Maryland, 1961.
- Preliminary info regarding Dec 1J 2017 calibration explosion in support of ARA San Juan search. CTBTO. <http://revistacabecitasnegras.com/wp-content/uploads/2018/03/Informe-108-Anexo-Pregunta-557-CTBTO-11217.pdf>
- Rodgers, A., Harben, P. Modeling the Conversion of Hydroacoustic to Seismic Energy at Islands and Continental Margins: Preliminary Analysis of Ascension Island Data UCRL-JC-134303, Lawrence Livermore National Laboratory, 1999.
- Veca, A. C. Análisis de una anomalía hidroacústica. XVI Congreso Argentino de Acústica. Trabajo AdAA2018-33. Buenos Aires, 2018.
- Veloso Alarcón, M. E. Simulación de propagación de ondas sonoras, con aplicaciones en acústica subacuática. Tesis de grado, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Ingeniería Acústica, Valdivia-Chile 2007.
- Quino Cerdán, J. M. Propagación de onda acústica en océanos. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Tesis Doctoral, México D. F. 2009.

GEORREFERENCIACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE IMÁGENES DE LA COLECCIÓN HERPETOLÓGICA DEL IADIZA

Videla L. M.^a y Bender J. B.^b

^aFCEN, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, ARGENTINA

^bColección de vertebrados, IADIZA CCT CONICET Mendoza, ARGENTINA

e-mail: coleccion.vertebrados.iadiza@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

Las colecciones biológicas son centros de documentación de biodiversidad y son importantes para la predicción y análisis de la distribución espacial de especies. La información geográfica asociada a las bases de datos de las colecciones es una herramienta fundamental aún en proceso de desarrollo. Para complementar la base de datos, se realizó la georreferenciación y digitalización de imágenes de los ejemplares de la colección Herpetológica del Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (CHI-IADIZA) (CCT CONICET Mendoza). La colección actualmente cuenta con 813 ejemplares. Para aquellos registros que no tuvieron georreferencia en campo, se utilizó el método punto radio el cual permite describir una localidad como combinación de un par de coordenadas y una distancia desde ese punto considerada como incertidumbre. Para la recopilación de imágenes se tomó fotografías de cada ejemplar siguiendo el protocolo institucional para la manipulación de los mismos. La información primaria asociada a todos los especímenes de la colección será exportada al portal del Sistema Nacional de Datos Biológicos (SNDB), de libre acceso excepto en el caso de datos considerados "sensibles". El uso de información georreferenciada y la visualización por imágenes de las especies recolectadas permite un acceso actualizado al banco de datos de biodiversidad, facilitando a futuro los estudios que requieran registros herpetológicos de la región.

Palabras Clave: Colecciones biológicas, herpetología, base de datos, georreferenciación, biodiversidad.

INTRODUCCIÓN

Las colecciones biológicas son bibliotecas de especímenes, cuya función es aportar información biológica en distintos niveles: histórica, geográfica, genética, evolutiva, ecológica, anatómica y morfológica (Mora L. and Fuentes H., 2006; Vélez et al, 2012). Las colecciones biológicas son centros de documentación de biodiversidad y son importantes para la predicción y análisis de la distribución espacial de especies.

Los ejemplares de cada colección son almacenados en espacios acondicionados para garantizar la integridad del espécimen a través del tiempo. Junto con el almacenamiento de las especies, se preserva también información relacionada con el contexto en el cual fueron hallados y recolectados. (Cristín A. and Perrilliat M., 2011).

La investigación en ciencias está produciendo un enorme y creciente flujo de información digital. Continuamente se recopilan grandes cantidades de información digital en todas las disciplinas científicas. Esa gran cantidad a su vez crea desafíos sobre la mejor manera de compartir, almacenar, administrar y analizar los datos. La digitalización de las colecciones consiste en informatizar los datos en soporte físico (papel, pieles, etiquetas, etc.) donde también puede estar incluidos o agregarse la georreferenciación de los registros e imágenes, soportes multimedia y las publicaciones asociadas; a todos estos datos que acompañan la muestra biológica se les llama información intrínseca, toda esta información tiene asociados sus metadatos que son “datos acerca de los datos” y sirven para suministrar información sobre los datos producidos.

En las últimas décadas las tecnologías de la información han hecho posible que la humanidad pueda transitar hacia la sociedad del conocimiento. En este paso, la información en formato digital ha jugado un importante papel al haber conquistado las preferencias de los académicos por las facilidades que ofrece de acceso a un vasto cúmulo de información científica y humanística, disponible para su consulta desde cualquier sitio y sin restricciones de horario (Lara et al, 2008). Muchos países destinan recursos para la innovación científico-técnica y la conservación de la información, Argentina ha implementado programas para ello y muchas instituciones asociadas al sistema científico están haciendo punta en estos procesos de compartir información.

Al establecer los consensos necesarios para que la información en formato digital pueda contar con las pautas y procedimientos que ayuden a diversas instituciones a facilitar la producción, la administración y el mantenimiento de sus colecciones digitales, se logra repercutir en un importante ahorro de tiempo y de recursos económicos para el futuro.

Este trabajo muestra la actualización de la base de datos, complementando con información de georreferenciación y digitalización de imágenes de los ejemplares de la colección Herpetológica del Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (CHI-IADIZA) (CCT CONICET Mendoza).

MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo se utilizó la información de ejemplares de la colección Herpetológica del Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (CHI-IADIZA) (CCT CONICET Mendoza) y se trabajó con ellos en un período de 6 meses bajo el programa de pasantías de colecciones de vertebrados.

Se realizó una revisión de la colección, se actualizaron los datos de etiquetas y campos presentes siguiendo el modelo de la Figura 1, se hizo cambio de frascos y recambio de material de fluido (utilizando alcohol al 75% diluido en agua destilada) para los casos que fueron pertinentes.

▶ Acrónimo de la colección - N° de la colección (6 dígitos) será asignado CVI
 ▶ Nombre científico en lápiz

○ ○	Colección de Vertebrados IADIZA - CCT CONICET Mendoza	
	Sexo:	Acrónimo-N°:
	Localidad:	
	Lat.:	Altura:
	Long.:	Fecha: / / ; Hs.
	Medidas:	

Figura 1. Rótulo para fluidos. Se detalla la forma de ingreso de información a completar de acuerdo a los siguientes ejemplos: Sexo (con signo ♀ o ♂); Acrónimo-N°: JBB-0073 ; Colector: Jose Benjamin Bender; Preparador: Jose Benjamin Bender; Localidad: País, Provincia, Departamento, Localidad, otros datos; Lat.: latitud en grados decimales S -35.167952° / Long.: longitud en grados decimales W -58.237399° ; Altura: en metros sobre el nivel del mar; Medidas: de acuerdo a la taxa ver estándares; Fecha: día en número/mes en letra/año en número / Hs. : Fecha de colecta (20/Marzo/1973; 23:15).

Para la digitalización de datos se utilizaron planillas de cálculo. La estandarización de la información se basó en el estándar de Darwin Core (TDWG, 2011). Darwin Core está diseñado por TDWG (*Taxonomic Database Working Group*) para facilitar el intercambio de información acerca de registros biológicos de especies proveyendo definiciones de referencia, ejemplos y comentarios. De los elementos descritos en este trabajo se priorizaron los recomendados por el Sistema Nacional de datos:

Identificador del registro

-Identificador global único, Fecha de última modificación, Tipo de registro, Código de la institución, Código de la colección, Número de catálogo

Elementos taxonómicos

-Nombre científico, Reino, Phylum, Clase, Orden, Familia, Género, Epíteto específico, Categoría infraespecífica, Epíteto infraespecífico, Autor del nombre científico y año de publicación

Elementos de identificación

-Calificador de la identificación

Elementos de localidad

-Cuerpo de agua, País, Provincia o Estado, Localidad

Elementos de evento de colecta

-Colector

Extensión curatorial

-Número de registro del colector

Georeferenciación

-Latitud decimal, Longitud decimal, Datum geodético, Error de coordenadas (m), Protocolo de georeferenciación, Fuentes de georeferenciación

La incorporación de nuevos datos a la colección se centró en el trabajo de georeferenciación tomando como punto de partida y dato principal las georeferencias a campo del colector original. La georeferenciación es un proceso que consiste en determinar la posición geográfica de los objetos geográficos en forma digital a través de sistemas de coordenadas geográficas (Canquillusco J.E., 2012; Fallas J., 2011). Debido a que la georeferencia de una localidad constituye una hipótesis de dónde ocurrió la colecta de los ejemplares, la metodología utilizada es estandarizada de forma tal de ser reproducible (Wieczorek et al, 2012). Para estandarizar los datos de este campo se utilizó el Sistema Geodésico Mundial 1984 o WGS84, que permite localizar cualquier punto de la tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas y se usó la descripción de latitud y longitud en unidades de grados decimales. En caso de no tener georeferencia en campo el proceso en gabinete fue llevado a cabo mediante el método punto-radios. Este método se basa en asignar un par de coordenadas aproximadas a la localidad donde fue encontrado el ejemplar con una distancia desde ese punto (incertidumbre) que delimita el radio de una circunferencia (Wieczorek et al, 2004). Para la descripción de localidades de referencia con coordenadas oficiales se usó como fuente la información del Instituto Geográfico Nacional. En las localidades que no tenían coordenadas oficiales se utilizó Google Earth Pro versión 7.3.91 y GEOLocate para establecer una georeferencia aproximada.

Para la recopilación de imágenes se tomó fotografías de cada ejemplar siguiendo el protocolo institucional para la creación de dichos registros. Éste establece la toma en formato RAW de al menos 3 fotografías del ejemplar en plano dorsal, ventral y lateral. Para el almacenamiento el formato RAW debe convertirse al formato negativo digital (DNG).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se digitalizaron campos de la colección de herpetología de 813 ejemplares pertenecientes a 3 órdenes, 22 familias, 49 géneros y 135 especies. Las relaciones taxonómicas se observan en Apéndice I.

Para el proceso de digitalización de estos ejemplares se completó una planilla con una carga de 8 categorías compuestas por 60 elementos. Se destinaron, en un período de 6 meses de la pasantía, 120 horas reloj de trabajo efectivo, lo que nos permite describir un promedio en el tiempo de carga de información general de un (1) ejemplar cada 9 minutos. Este tiempo varió de acuerdo a la calidad de información precedente, a la repetitividad de los datos asociados y a la posibilidad de recuperación por consulta con los colectores o a través de publicaciones vinculadas.

En la Figura 2 se presentan los datos de las localidades georreferenciadas. Durante el presente período de trabajo se ha podido georreferenciar el 74.54% de las localidades contabilizando un total de 606 puntos de muestreo presentes en la colección Herpetológica del IADIZA. Se cuenta con una representación de herpetofauna de 3 países (Argentina, Brasil y Chile). La Figura 3 muestra la zona de Argentina con mayor frecuencia de puntos de muestreo, siendo Mendoza la provincia que cuenta con mayor cantidad de localidades.

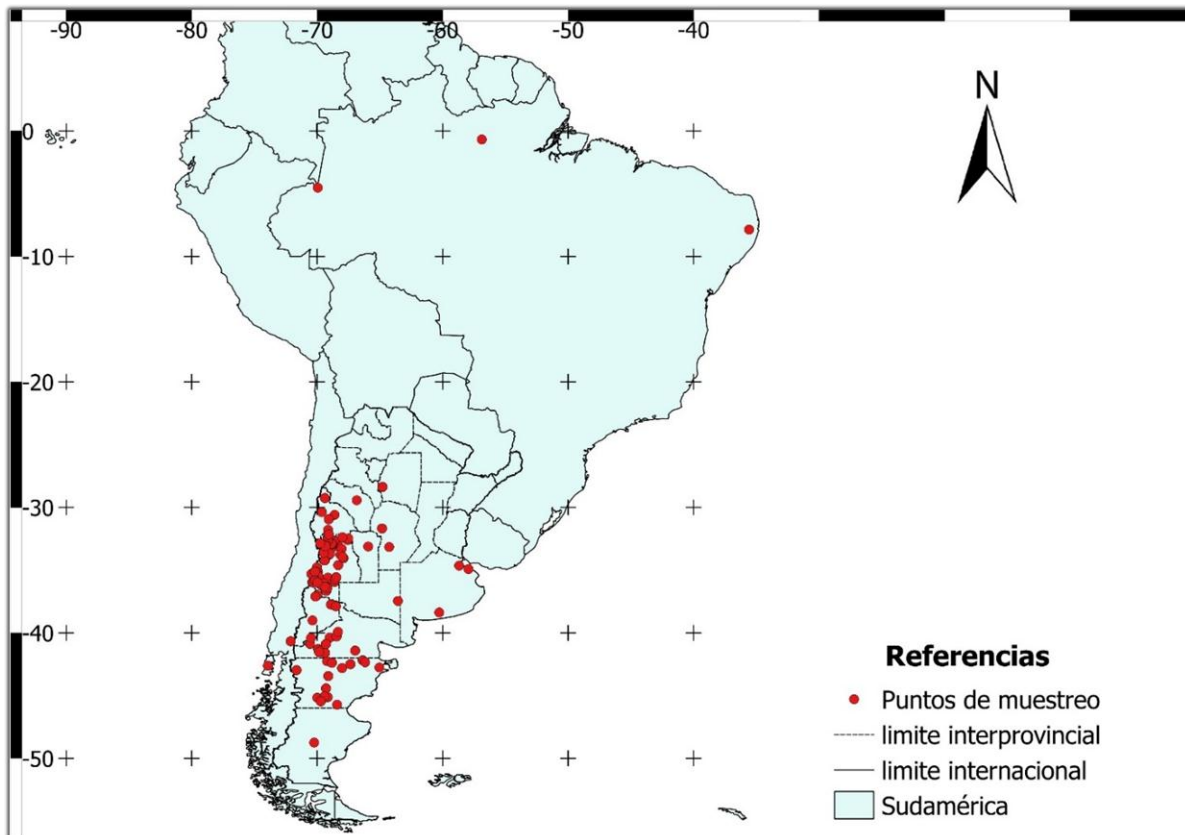


Figura 2. Puntos de muestreo de localidades georreferenciadas para Argentina, Chile y Brasil.

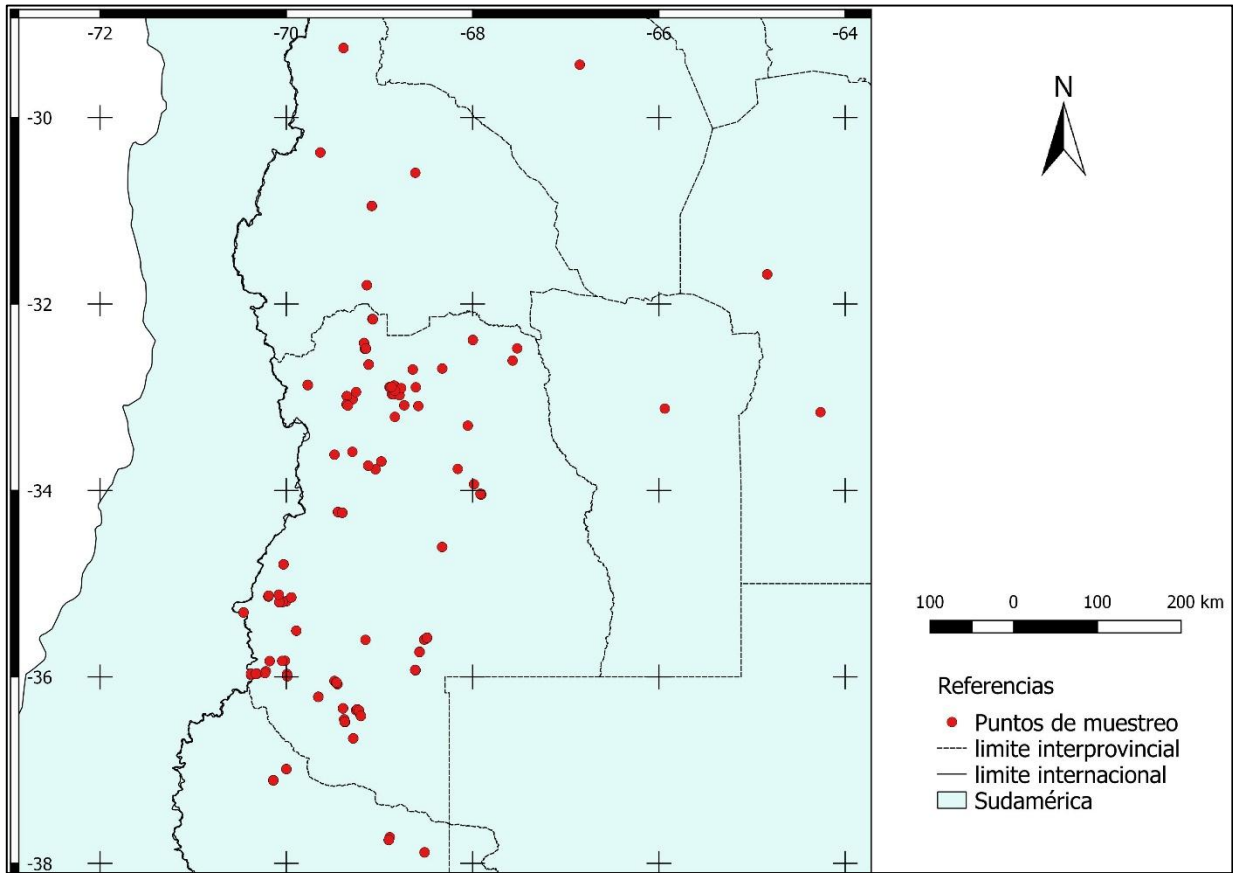


Figura 3. Puntos de muestreo de localidades georreferenciadas para la región oeste del país con centro en la provincia de Mendoza.

En cuanto a la digitalización de imágenes de la colección se llegó a completar solo el 30% de los ejemplares presentes. Se tomaron al menos 3 fotografías del ejemplar en plano dorsal, ventral y lateral y algunas se complementaron con tomas de mayor detalle para registrar características relevantes. Un ejemplo de ello puede verse en la Figura 4. Se procesaron alguna imágenes para ser cargadas a portales web "aptas para su visualización" por lo que se utilizó el formato de imagen JPG a la resolución nativa de la cámara y con una compresión mínima.

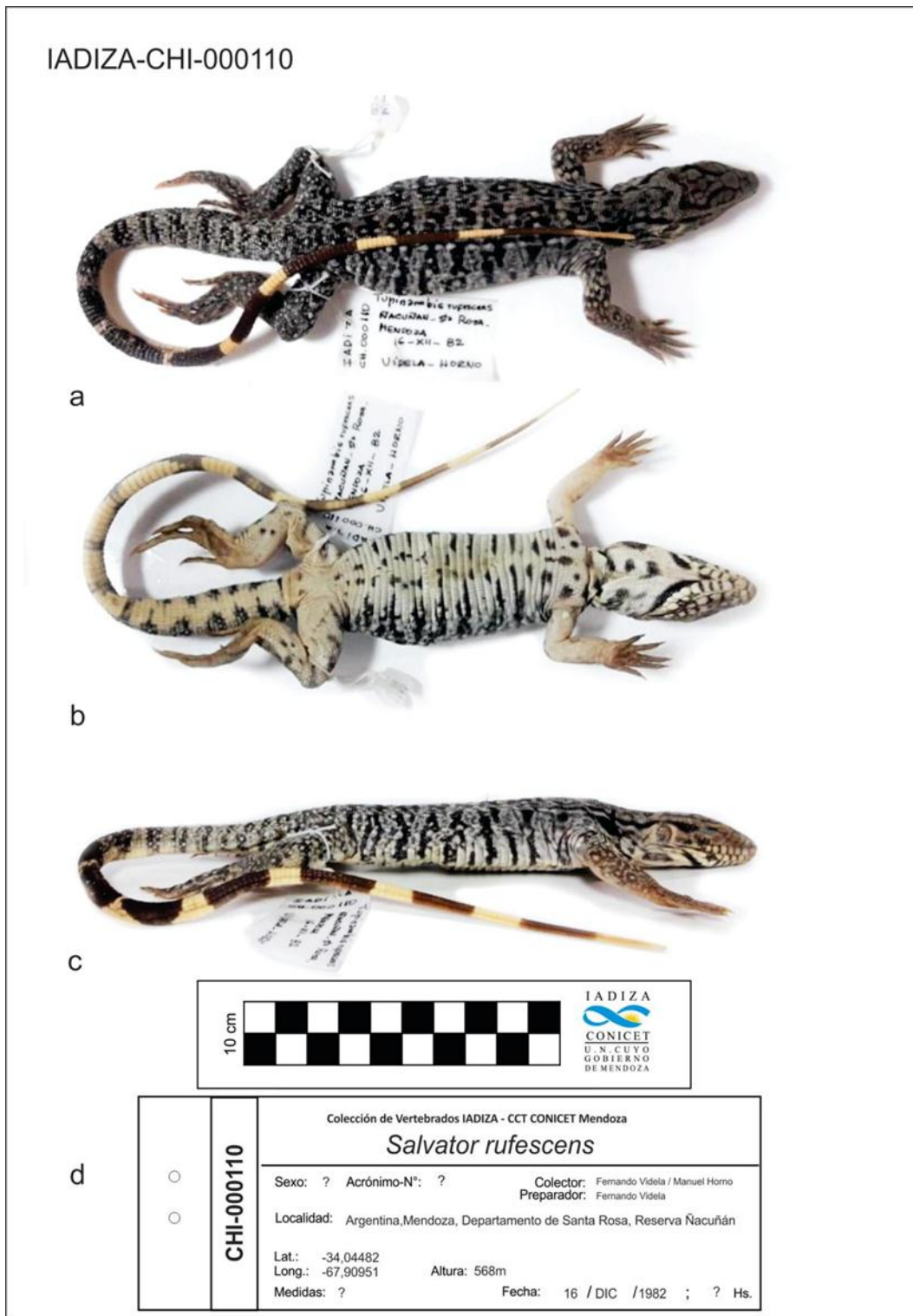


Figura 4. Compilación fotográfica del ejemplar con registro IADIZA-CHI-000110 “lagarto colorado” (*Salvator rufescens*). **a.** vista dorsal; **b.** vista ventral; **c.** vista lateral; **d.** rótulo.

La información primaria asociada a todos los especímenes de la colección exceptuando datos considerados “sensibles” será exportada al portal del Sistema Nacional de Datos Biológicos

(SNDB) creada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva en 2010 (<http://www.datosbiologicos.mincyt.gob.ar/>) el cual tiene como misión conformar una base de datos unificada de información biológica, a partir de datos taxonómicos, ecológicos, cartográficos, bibliográficos, etnobiológicos, de uso y de catálogos sobre recursos naturales y otros temas afines. La información también será compartida en GBIF (Facilidad de Información de Biodiversidad Global <https://www.gbif.org/>) una red internacional e infraestructura de investigación orientada a proporcionar acceso abierto a datos sobre todos los tipos de vida en la Tierra que surgió de una recomendación de 1999 del Subgrupo de Informática de Biodiversidad del Foro Megascience de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

CONCLUSIONES

El uso de información georreferenciada y la visualización por imágenes de las especies recolectadas permite un acceso actualizado al banco de datos de biodiversidad, facilitando a futuro los estudios que requieran registros herpetológicos de la región.

Durante el transcurso de la pasantía y para la presentación de este trabajo no se alcanzó la totalidad de las metas. En el caso de la georreferenciación varias localidades georreferenciadas deben ser revisadas y comparadas con la información presente en los ejemplares y datos de los colectores. Además, para el futuro se prevé la completa digitalización de imágenes que sirvan como punto de referencia de datos.

Las colecciones digitales han tenido un crecimiento acelerado el cual ha exigido replantear los modos de producir, organizar, almacenar, preservar, difundir y adquirir la información a través de formatos digitales. El creciente aumento que han alcanzado los proyectos de digitalización en varias instituciones académicas, plantea un problema para los informáticos y curadores, si se toma en cuenta que en pocos de esos lugares se cuenta con prácticas y procedimientos estandarizados a nivel internacional, que mejorarían en forma importante la calidad de las colecciones digitales.

Contar con una base georreferenciada permite la aplicación de datos a través de los sistemas de información geográfica (SIG). Estos sistemas informáticos capturan, almacenan, procesan y visualizan información espacial. El IADIZA ahora cuenta con sus registros georreferenciados lo que posibilita un análisis del territorio, y el potencial desarrollo de SIG que puedan entregar información de fenómenos geográficos asociados a la biodiversidad y ayuden a mejorar el entendimiento y conservación de ésta a fines de planificar políticas públicas.

APÉNDICE I

Orden	Familia	Género	Epíteto específico
Anura (50)	Alsodidae (5)	Alsodes (3) Eupsophys (2)	pehuenche (3)
	Batrachylidae (5)	Atelognathus (2) Batrachyla (3)	salai (1) reverberii (1) antartandica (1) taeniata (1)
	Bufonidae (10)	Rhinella (9) Melanophryniscus (1)	achalensis (1) schneideri (1) spinulosa (7) stelzneri (1)
	Ceratophryidae (1)	Ceratophrys (1)	cranwelli (1)
	Hylidae (3)	Scinax (1) Phyllomedusa (1) Hypsiboas (1)	nasicus (1) sauvagii (1) cordobae (1)
	Leptodactylidae (23)	Leptodactylus (8) Physalaemus (1) Pleurodema (14)	bufonius (3) chaquensis (2) latrans (2) biligonigerus (1) bufoninum (1) kriegi (1) nebulosum (11) thaul (1)
	Ranidae (3)	Lithobates (3)	catesbeianus (3)
Testudines (1)	Testudinidae (1)	Chelonoidis (1)	chilensis (1)
Squamata (762)	Amphisbaenidae (1)	Amphisbaena (1)	plumbea (1)
	Boidae (4)	Boa (3) Epicrates (1)	constrictor (3) alvarezzi (1)
	Diploglossidae (2)	Ophiodes (2)	striatus (1) vertebralis (1)
	Dipsadidae (39)	Boiruna (1) Erythrolamprus (5) Lygophis (1) Oxyrhopus (3) Philodryas (18) Phimophis (1) Pseudotomodon (3) Xenodon (7)	maculata (1) sagittifer (5) anomalus (1) rhombifer (3) patagoniensis (2) psammophidea (10) trilineata (6) vittatus (1) trigonatus (3) merremi (2) semicinctus (5)

	Elapidae (5)	Micrurus (5)	pyrrhocryptus (5)
	Gymnophthalmidae (1)	Cercosaura (1)	schreibersii (1)
	Leiosauridae (36)	Diplolaemus (9) Leiosaurus (10) Pristidactylus (17)	bibronii (3) sexcinctus (4) bellii (4) catamarcensis (2) paronae (4) achalensis (1) fasciatus (3) nigroiugulus (3) scapulatus (9)
	Leptotyphlopidae (3)	Siagonodon (3)	borrichianus (3)
	Liolaemidae (590)	Liolaemus (236)	anomalus (2) austromendocinus (15) bibronii (36) boulengeri (2) buergeri (11) casamiquelai (1) ceii (1) crandalli (4) cuyanus (2) cyanogaster (1) darwinii (12) eleodori (9) elongatus (35) fitzgeraldi (11) flavipiceus (6) gallardo (1) gracilis (7) gravenhorstii (2) hatcheri (1) josei (8) kingii (1) kriegi (1) multimaculatus (1) parvus (4) petrophilus (4) pictus (6) riojanus (2) rothi (4) ruibali (14) shitan (3) silvanae (1) smaug (8) somuncurae (2) thermarum (4)

		Phymaturus (354)	wiegmannii (2) aguanegrae (4) calcogaster (11) camilae (4) castillensis (3) ceii (6) delheyi (3) etheridgei (11) excelsus (7) extridilus (4) felixi (3) gynechlomus (33) indistinctus (7) nevadoi (26) palluma (49) patagonicus (5) payunia (28) puna (8) roigorum (64) sinervoi (7) sitesi (2) somuncurensis (8) spectabilis (8) spurcus (3) tenebrosus (4) tromen (3) verdugo (25) videlai (3)
	Phyllodactylidae (34)	Homonota (34)	andicola (1) borellii (3) darwinii (15) fasciata (6) underwoodi (7) whitii (1)
	Scincidae (3)	Aspronema (2) Notomabuya (1)	dorsivittatum (2) frenata (1)
	Teiidae (26)	Ameivula (3) Aurivela (3) Cnemidophorus (1) Crocodylurus (1) Kentropyx (1) Salvator (4) Teius (11) Tupinambis (1)	ocellifera (3) longicauda (3) lemniscatus (1) amazonicus (1) calcarata (1) rufescens (4) oculatus (1) teyou (10) rufescens (1)
	Tropiduridae (2)	Tropidurus (2)	etheridgei (1)

			spinulosus (1)
	Viperidae (16)	Bothrops (15) Crotalus (1)	ammodytoides (6) diporus (9) durissus (1)

REFERENCIAS

Canquillusco, J. E. Georreferenciación. *RITS* 7, 22-24 (2012).

Cristín, A., and Perrilliat, M. Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 63(3), 421-427 (2011).

Fallas, J. Georeferenciación de archivos raster y ajuste geoespacial de capas vectoriales con ArcGIS. Univ. Nac. Costa Rica. (2011).

GEOLocate. Platform for Georeferencing Natural History Collections Data. (2005). <http://www.geo-locate.org/>.

Lara, G., Castro, A., López, C., Chávez, G. and Ortiz, D. Digitalización de colecciones: Texto e imagen. UNAM, Dirección General de Bibliotecas, Dirección General de Servicios de Cómputo Académico, Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia. México.1 (2008).

Mora, L., and Fuentes, H. El laboratorio de colecciones biológicas de la Universidad del Mar: perspectivas de una colección regional. *Ciencia y Mar* 28, 34-37 (2006).

Biodiversity Information Standards (TDWG) is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. <https://dwc.tdwg.org/>

TDWG. *DarwinCore*: una guía de referencia rápida. (Versión original producida por TDWG, traducida al idioma español por Escobar, D., Roldan, L.; versión 2.0). Bogotá: SiB Colombia, 33 (2011).

Vélez, D., Calderón, M., Ramírez, M., Castaño, M., Reyes, A.M., Albarracín, R., Liévano, A. and Raz, L. Difusión de datos biológicos en la red como apoyo a la educación ambiental, investigación científica y conservación de la biodiversidad en Colombia. *Renata* 2(4), 49-57 (2012).

Wieczorek, J., Bloom, D., Constable, H., Fang, J., Koo, M., Spencer, C. and Yamamoto, K. Georeferencing quick reference guide. (2012).

Wieczorek, J., Guo, Q. and Hijmans, R. The pointradius method for georeferencing locality descriptions and calculating associated uncertainty. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(8), 745-767 (2004).

EFFECTO DEL AGREGADO DE NANOPARTÍCULAS EN LA INTENSIDAD DE LAS SEÑALES DE CALCIO EN ESPECTROMETRÍA LIBS

Vorobioff J.^{a,b}, Boggio N.^{a,c,d}, Nonino D.^b, Rinaldi C.^{a,c,d}, Toro C.^e, Bojorge C.^e, Azcarate M. L.^{c,e}

^a CNEA, Av. Gral Paz 1499, San Martín, Bs. As. Arg.

^b Universidad Tecnológica Nacional, FRBA, Medrano 951, C.A.B.A., Arg.

^c CONICET, Godoy Cruz 2290, C.A.B.A., Arg.

^d Universidad Nacional de San Martín, 25 de Mayo y Francia, San Martín, Bs.As., Arg.

^e CITEDEF, San Juan Bautista de la Salle 4397-Villa Martelli, Arg.

e-mail: boggio@cnea.gov.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se reporta la incidencia en la intensidad de las señales de calcio producida por efecto del agregado superficial de nanopartículas (NPs) de ZnO a una matriz de zinc metálico, en el análisis de muestras por espectroscopía LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy). La espectroscopia de plasma inducido por láser, conocida por su sigla en inglés como LIBS, es un tipo de espectroscopia de emisión atómica que emplea como fuente de excitación láseres de media y de alta energía. Una de las ventajas de la técnica LIBS es la posibilidad de analizar cualquier sustancia independientemente del estado de agregación, ya sean sólidos, líquidos o gases, incluso en coloides como aerosoles, geles y otros. Debido a que todos los elementos de la tabla periódica emiten luz cuando son excitados convenientemente, la técnica LIBS puede potencialmente resolver la composición elemental de cualquier muestra, estando limitada dicha detección a la potencia disponible de los láseres y a la sensibilidad y resolución espectral de los espectrómetros y detectores, principalmente. En este trabajo se hizo un estudio comparativo en el cual se analizaron muestras con NPs en superficie, NPs en bulk y sin NPs. Las conclusiones de estos estudios preliminares indican que para obtener un incremento neto de la intensidad es importante la relación de concentraciones NPs / Ca. De esta manera la utilización de la técnica LIBS con nanopartículas resulta muy promisoria para la determinación cuantitativa de calcio en muestras de cenizas vegetales o suelos.

Palabras Clave: LIBS, Nanopartículas, cenizas vegetales, suelos

INTRODUCCIÓN

La técnica LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) es ampliamente utilizada para el análisis multielemental debido a que presenta una serie de ventajas como rápida respuesta, un mínimo tratamiento de preparación de muestra y un simple arreglo experimental (Miziolek et. al, 2006). La sensibilidad del LIBS depende de los elementos, y los límites de detección varían generalmente de unos pocos a cientos de ppm dependiendo del instrumento. Sin embargo, la relación señal / ruido relativamente baja constituye un inconveniente que impone una restricción en el uso de esta técnica, por lo tanto puede disminuir la capacidad de la técnica LIBS para detectar las bajas concentraciones de los diferentes elementos minoritarios presentes en matriz. Por esta

razón, se desarrollaron diferentes técnicas para aumentar la relación señal / ruido que incluyen disposiciones experimentales específicas, tales como LIBS de resonancia o LIBS de doble pulso. Recientemente se ha demostrado que el agregado de nanopartículas (NPs) a muestras metálicas incrementa la amplitud de las líneas de emisión en 1 a 2 órdenes de magnitud, mejorando el límite de detección (De Giacomo, 2013). Esta metodología es conocida como NE-LIBS en la literatura científica.

Por otra parte en relación al análisis de suelos, hay numerosos antecedentes publicados que destacan el uso de LIBS (Bustamante et.al., 2006, Diaz et al., 2011, Martin et. al, 2013, entre otros). En el presente trabajo se estudió la influencia en la intensidad de la señal de LIBS por el agregado de nanopartículas de ZnO a una matriz de Zn metálico con CaCO₃ en pequeñas proporciones. La elección del calcio como analito se basa en que es uno de los principales componentes de suelos y su concentración es relevante para la determinación de la cohesividad y/o fertilidad de los mismos.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Preparación de las muestras

Se prepararon pastillas por prensado de una mezcla de polvo de Zn (matriz) con un agregado CaCO₃ de acuerdo a lo descrito en la Tabla 1 incorporando a la mezcla las NPs de ZnO. Las pastillas resultantes son de 1 cm de diámetro y comprimidas a una presión de 6 T / cm².

Tabla I: Composición de las muestras analizadas

Muestra	Composición (% m/m)		NPs de ZnO (mg)	
	Zn	CaCO ₃		
1S	95	5	0.002	agregadas en superficie
2S	99	1	0.002	
3S	99.5	0.5	0.002	
1B	95	5	0.002	agregadas en "bulk"
2B	99	1	0.002	
3B	99.5	0.5	0.002	
1W	95	5	Sin NPs	
2W	99	1		
3W	99.5	0.5		

Instrumental utilizado

Para el análisis se utilizó un espectrómetro LIBS 2500 Plus (Ocean Optics) de acuerdo al esquema que se muestra (ver Fig.1):

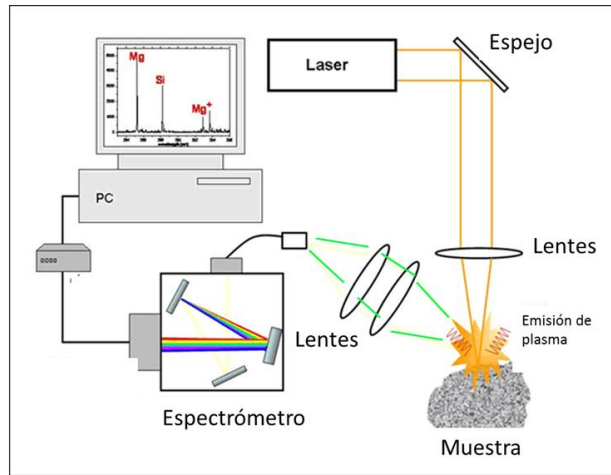
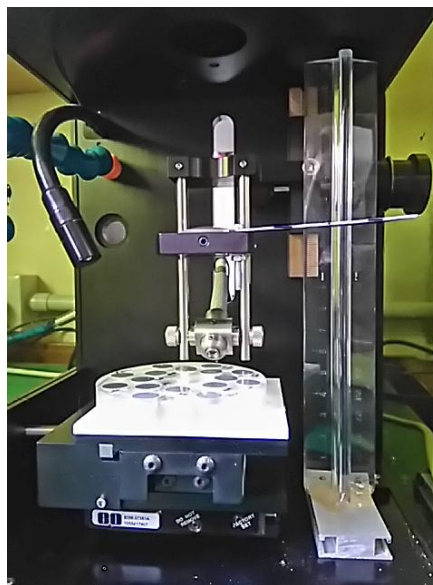


Fig. 1: Esquema del montaje de medición

Las pastillas se colocan en un portamuestras, el cual a su vez se coloca sobre una mesa posicionadora (ver Fig. 2). El sistema permite el movimiento en las 3 dimensiones, de modo que se pueda efectuar un barrido sobre distintos puntos de la superficie en x- y, por otra parte controlar la profundidad del foco del láser sobre la pastilla. Posterior al análisis de la muestra, las pastillas presentan el aspecto que se puede observar en la Fig.3.



Portamuestras

Fig. 2: Plataforma posicionadora con el portamuestras.

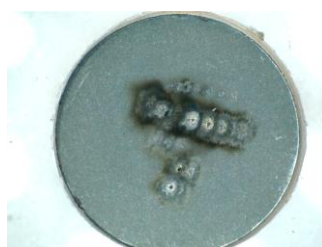


Fig. 3: Detalle de una pastilla de Zn + Ca posterior al disparo con pulsos láser

Procedimiento de medición

El análisis de las muestras se realizó en el rango de 200 nm a 700 nm. Se usó un láser Nd:YAG con $\lambda=1064$ nm y distancia focal de 6 cm. Para establecer las condiciones de máxima intensidad se utilizaron 3 fluencias de salida: 20, 32 y 64 mJ / cm² resultando óptima esta última para la adquisición de los espectros.

Además de la fluencia, sobre cada composición analizada, con el objetivo de obtener la máxima intensidad de señal se dispararon pulsos láser en diversos puntos de la superficie y por otro lado se estudió con 10 pulsos y 100 pulsos en un mismo punto de cada pastilla, en profundidad. La modalidad de disparo de 10 pulsos a 1Hz sobre el mismo punto daba la máxima intensidad y se estableció para medir todas las pastillas. Todas las señales se compararon contra los picos de referencia de la base de datos espectroscópicos del NIST (NIST Atomic Spectra Database, 2017)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta (ver Fig.4) un espectro típico correspondiente a la muestra que contiene 1% de calcio. Se destaca el aumento de la intensidad para los picos a 393,366 nm y 396,847 nm de Ca II que resulta ser del 10% en el caso del agregado de NPs en bulk, mientras que se obtuvieron aumentos de hasta el 40% para el agregado de NPs en superficie.

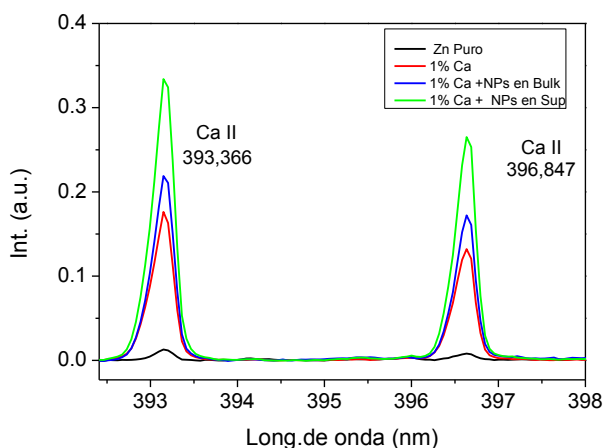


Fig. 4: Detalle del Espectro LIBS de la muestra con 1% Ca, entre 390nm y 400nm.

Además el análisis de todas las composiciones estudiadas se presenta en el siguiente gráfico (ver Fig. 5) en el cual se comparan las muestras con diferentes contenidos de calcio de acuerdo con la Tabla I, y a su vez el efecto del agregado de nanopartículas en el bulk o en la superficie de las pastillas

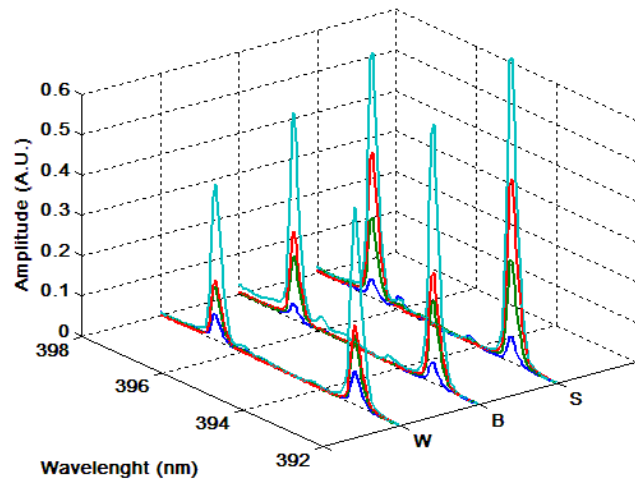


Fig. 5: Espectros LIBS de las muestras entre 392nm y 396nm. Los contenidos de Ca son: 0,5% Ca en azul 1% en rojo y 5% en celeste .Además se presenta el efecto de las nanopartículas: sin NPs agregadas (**W**), con NPs en el bulk de las pastillas (**B**) y con agregados en la superficie (**S**).

Se observa por una parte el aumento de las señales de modo lineal, conforme al incremento del contenido de calcio en el orden 0,5%, 1% y 5%. Pero además el resultado más destacable es que los espectros presentan un incremento en las intensidades de las señales LIBS del calcio en las muestras con NPs agregadas. En particular para las líneas de emisión de 393,10 nm y 396,54 nm se observan en general aumentos entre el 10 % y el 40 % que se mantiene para todas las muestras analizadas, principalmente cuando se trabaja con el valor más alto de energía y las NPs son agregadas en superficie. Por otra parte las señales de la matriz (Zn) que es el componente mayoritario, no sufrieron dicho incremento.

Por otra parte , si representamos los máximos de intensidad de las señales normalizados respecto de la intensidad del Zn en función del contenido de calcio se observa también el efecto neto del agregado de NPs , sobre todo para concentraciones de calcio a partir del 1% (ver Fig. 6) , principalmente en el caso de las NPs en superficie.

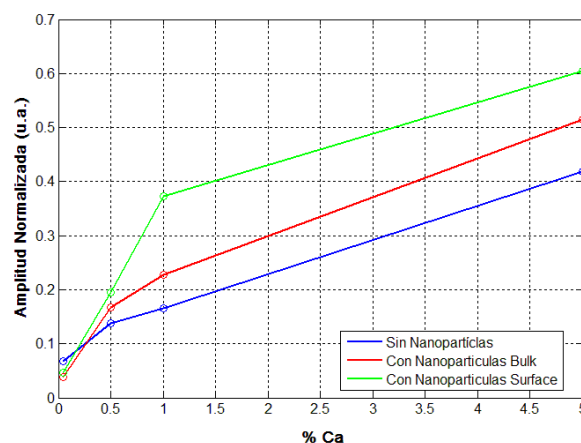


Fig. 6: Máximo de las señales vs. Concentración de calcio para las muestras analizadas, de acuerdo a las NPs agregadas en superficie, bulk o sin NPs.

Este último comportamiento resulta coherente con los resultados presentados en trabajos publicados (De Giacomo et al., 2016), en relación al hecho de que el incremento de la señal se produce dependiendo de la relación entre la cantidad de las NPs agregadas y el contenido del analito a cuantificar.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de señales realizado, podemos afirmar lo siguiente: 1) que la determinación de la concentración de Ca resulta lineal entre 0,5% y 5%, 2) la normalización respecto de la intensidad de Zn en la matriz asegura una baja dispersión de señales, 3) existe una mínima concentración de Ca para la cual el efecto de las NPs es visible.

Podemos afirmar que la incorporación de NPs en mínimas cantidades a la matriz metálica favorece el incremento en las intensidades de las señales LIBS de los componentes minoritarios analizados. Este resultado es muy importante para el análisis elemental en muestras de suelos, pero además se podría extender a otras aplicaciones.

REFERENCIAS

- Beccaglia A.M., Rinaldi C.A., Ferrero J.C., Analysis of arsenic and calcium in soil samples by laser ablation mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 579 (1), 11-16, 2006
- Bustamante M.F., Rinaldi C.A., Ferrero J.C. Laser induced breakdown spectroscopy characterization of Ca in a soil depth profile. *Spectrochimica Acta Part B* 57 303–309(2002)
- De Giacomo, A. Nanoparticle-Enhanced Laser-Induced Breakdown Spectroscopy of Metallic Samples, *Anal. Chem.*, 85, 10180-10187, (2013)
- De Giacomo A., Gaudiuso R., Koral C., Dell'Aglio M., De Pascale O. Nanoparticle Enhanced Laser Induced Breakdown Spectroscopy: Effect of nanoparticles deposited on sample surface on laser ablation and plasma emission. *Spectrochimica Acta Part B* 98 19–27 (2014)
- De Giacomo A., C. Koral, G. Valenza, R. Gaudiuso, and M. Dell'Aglio *Anal. Chem.*, 88, 5251–5257 (2016)
- Díaz D., Hahn D. W., A. Molina. Evaluation of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) as a Measurement Technique for Evaluation of Total Elemental Concentration in Soils. *App.Spec.*, 66, 1 pp.99-106 (2011)
- Diwakar P. K., Laser-induced breakdown spectroscopy for analysis of micro and nanoparticles, *Jour. Anal. At. Spectrom.*, 27, 1110 (2012)
- Martin, M. Z., Mayes, M. A., Heal, K. R., Brice, D. J. & Wullschleger, S. D. Investigation of laser-induced breakdown spectroscopy and multivariate analysis for differentiating inorganic and organic C in a variety of soils. *Spectrochim. Acta B* 87, 100–107 (2013).
- Miziolek, A. W., Palleschi, V. & Schechter, I. *Laser-induced breakdown spectroscopy-fundamentals and applications*. Cambridge University Press (2006).
- NIST Atomic Spectra Database, USA, <http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm> (2017)

CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DEL CINTURÓN VERDE DEL DEPARTAMENTO DE GUAYMALLÉN (Mendoza, Argentina)

Zuluaga J.^a, Cónsoli D.^b, Haye A.^a, Mirábile C.^a, Drovandi A.^{ab}, Valdés A.^b, Micheletti A.^b, Dediol C.^b, Pereyra M.^c

^aInstituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino, ARGENTINA

^bFacultad de Ciencias Agrarias – UNCUYO, Mendoza, ARGENTINA

^cInspección Desaguantes del Pescara; Departamento General de Irrigación –Mendoza, ARGENTINA

e-mail: josemazulu@gmail.com

El área de estudio corresponde al cinturón verde del Departamento de Guaymallén, zona donde se produce la mayor parte de las hortalizas que se comercializan en la provincia, como en otros mercados. En la zona, se viene presentado un gran crecimiento urbano, industrial y agrícola, teniendo mucho valor contar con información actual y pasada que permita a los encargados de las tomas de decisiones, ordenar el crecimiento de un área tan importante para la provincia de Mendoza. Conocer la evolución de la calidad del agua a lo largo de varios años permite aportar recomendaciones y propuestas para el ordenamiento territorial, necesarias para la elaboración del plan municipal de ordenamiento territorial. Para ello, se analizó la base de datos de la calidad físico-química de agua superficial y subterránea monitoreada desde 1999 por el INA-CRA y la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo. Los análisis físicoquímicos incluyen: análisis iónico completo, conductividad eléctrica actual y efectiva, relación de absorción de Sodio, nitratos, fosfatos, coeficiente de álcali y los principales metales pesados. Se han realizado entrevistas a agricultores y funcionarios que manejan el agua de la zona. Mediante análisis estadístico multivariado se han determinado, para diferentes sitios, los parámetros significativos para la determinación de la calidad de agua, para los distintos períodos del año. También se utilizó el modelo EVAR (Evaluación Agronómica del Agua de Riego) desarrollado por los investigadores del INA-CRA para determinar la calidad del agua de riego en cada tramo de los canales Cahchingo y Pescara. Con estos resultados se pueden dar normas de manejo, no solo para el suelo y los cultivos del área en estudio, sino, también para los equipos utilizados y la infraestructura de riego, contribuyendo a la sustentabilidad del oasis. La determinación de los períodos críticos resulta importante para la planificación de monitoreos futuros.

Palabras Clave: cinturón verde, Mendoza, Calidad de agua, EVAR, estadística multivariada

INTRODUCCIÓN

En Mendoza, la agricultura es la mayor demandante de agua, compitiendo con otros usos crecientes (consumo humano, industrial), lo que podría transformar al recurso en limitante para el desarrollo agrícola de la región, tanto en cantidad como en calidad. El modelo productivo de Mendoza, basado en una agricultura de oasis irrigada por la fusión de nieve en cordillera, se encuentra amenazado en el contexto de la mayoría de los escenarios de cambio climático para la región; siendo la mala calidad del agua otro de los problemas que contribuyen a la vulnerabilidad hídrica (Mussetta & Barrientos; 2015). Las proyecciones científicas indican una disminución de la nieve en las montañas con la consiguiente disminución de caudales de los ríos (Villalba et al; 2009). El monitoreo de los parámetros que hacen a la calidad de las aguas usadas para riego en la zona del cinturón verde de Mendoza provee información muy interesante. El hecho de estar monitoreando la calidad del agua de la zona por este grupo de investigadores, desde 1999, genera un importante valor adicional, al poder analizar sus variaciones en el tiempo, mas aun cuando ha ocurrido modificaciones importantes en los

últimos años. Desde el año 2003 está en funcionamiento la presa Embalse Potrerillos que sirve para la distribución del agua en la zona irrigada por el río Mendoza, lo cual implica el principal oasis de la provincia, donde se ubican la mayoría de las actividades agrícolas, industriales y poblacionales. La planta de tratamiento de aguas del colector Pescara desde el 2004 también ha impactado sobre la calidad del agua en la zona del Cinturón Verde, provista de agua superficial mayoritariamente por los canales Pescara y Chachingo. La zona del cinturón Verde de Mendoza es muy valiosa, tanto por la buena calidad de sus suelos para agricultura, como por la cercanía a núcleos urbanos que la hacen apreciada para actividades agrícolas-industriales como para vivir. Ello ha ocasionado una importante modificación del uso del agua y la tierra que impacta en el desarrollo del área. El análisis de la gran base de información con que se cuenta, implica resultados importantes, costosos e integrales, que intentan establecer lo que sucede en la zona, con un criterio científico y validado estadísticamente. Con este trabajo se pretende interpretar los resultados en forma global, recurriendo a técnicas de estadística multivariada que han comenzado a aplicarse con resultados satisfactorios para determinar la significancia de las variaciones, valorar la evolución de los parámetros analizados y evaluar todas las variables en forma global o integrada, corroborando estadísticamente si los resultados implican realmente una tendencia que se sostiene a lo largo de los años analizados, impulsada probablemente por los cambios globales existentes, como la existencia del embalse Potrerillos o el cambio climático que repercute año a año modificando el agua disponible y probablemente su calidad.

Objetivos

El objetivo general es “Evaluar la calidad del agua de riego superficial, en el Cinturón Verde de Mendoza, a través del estudio de la variación de los distintos contaminantes en este agroecosistema.” Para lo cual se analiza si existen variaciones en el tiempo (años) o desde la puesta en funcionamiento del Embalse Potrerillos, que modifiquen la calidad del agua superficial en dicha zona.

Como objetivos específicos también se plantea: “Conocer los contenidos de nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-}), pH, conductividad eléctrica actual (CEA), relación de absorción de sodio (RAS), salinidad y metales pesados (Cd, Pb, Cu, Zn) del agua de riego superficial, en la zona de estudio.”; “Analizar las relaciones existentes entre los diversos parámetros que definen la calidad del agua.” y “Utilizar métodos multivariados para el análisis conjunto de los parámetros que indican la calidad del agua y analizar”.

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

La zona de estudio pertenece al Cinturón Verde de Mendoza, caracterizado por la producción intensiva de hortalizas. Comprende los distritos: Los Corralitos, La Primavera, Km 8, Mundo Nuevo y Las Violetas. El área recibe en forma permanente los aportes de vertientes y eventualmente desagües industriales, pluviales y de drenaje. Hay un gran aporte de agua subterránea en el periodo comprendido entre mayo a octubre y se reciben refuerzos de dotación a partir del Río Mendoza.

El sistema de saneamiento del colector Pescara, es un sistema centralizado de reuso para riego de efluentes líquidos agroindustriales (Rauek et al, 2004). El Canal Pescara en sus orígenes es un canal abierto y sin revestir que originalmente recibía los desagües superficiales del agua de riego. Con el tiempo al producirse un paulatino crecimiento urbano e industrial en las zonas aledañas se transformó en un receptor de líquidos residuales sin tratar así como también de desagües pluvioaluvionales. Dado que atraviesa zonas urbanizadas de los departamentos de Maipú y Guaymallén, provoca ciertas molestias a los pobladores aledaños, principalmente por

la emanaciones desagradables que se producen. En la zona norte de Guaymallén se riegan 3300 ha con estas aguas, más el aporte de vertientes y aguas subterráneas. Los sobrantes y drenajes del cinturón verde contribuyen al riego de 7000 ha en el departamento de Lavalle. El sistema de saneamiento posee una red de conducciones cerradas con un tubería troncal que corre paralela al canal y que tiene como función recibir los efluentes pretratados de las industrias de la zona. Dicho efluente se mezcla con las aguas del colector a cielo abierto y posteriormente se diluye con el aporte de perforaciones de agua subterránea de buena calidad, a fin de llegar a un agua cuyo tenor salino no supere los 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

En el oasis norte de Mendoza, la puesta en funcionamiento de la Presa de Embalse Potrerillos, a partir del año 2003, ha producido un sustancial cambio en el manejo del riego. Por un lado se han modificado las entregas de agua, fundamentalmente en los meses de primavera, paliando los habituales déficit de este período, con lo que se ha modificado la recarga del acuífero subterráneo, el que constituye una de las principales fuentes de abastecimiento de agua de la zona. Además, se ha modificado la calidad del recurso, al desaparecer la casi totalidad de los sólidos en suspensión, provocando un aumento de la infiltración en gran parte de los canales de la red, modificándose así el drenaje de las tierras y aumentando los riesgos de contaminación salina en los suelos (Zuluaga et al., 2007).

Desde 1999 se han tomado muestras de agua (mensual o bimestralmente) en puntos fijos correspondientes a cuatro escenarios: canal Pescara, canal Chachingo, aguas de drenaje y aguas de origen subterráneo. Durante los 19 años de muestreo con que cuenta, se han agregado algunos puntos a los establecidos inicialmente, permitiendo tener mayor detalle de ciertos sitios que se fueron estableciendo de acuerdo a los resultados logrados. Si bien se ha trabajado en el estudio de aguas superficiales, subterráneas y de drenaje, en este trabajo se presentan sólo los resultados correspondientes a aguas superficiales, tomados en los canales Chachingo y Pescara, de los cuales se tiene mayor cantidad de datos. En la Fig. N° 1 se presentan los puntos de muestreo considerados, indicando la ubicación de los mismos en el terreno. A cada uno de ellos se ha asignado una abreviatura (nombre corto) que hace referencia a su ubicación, los cuales son utilizados posteriormente para presentar los resultados y referirse a cada sitio. A continuación se presenta cada uno de ellos.

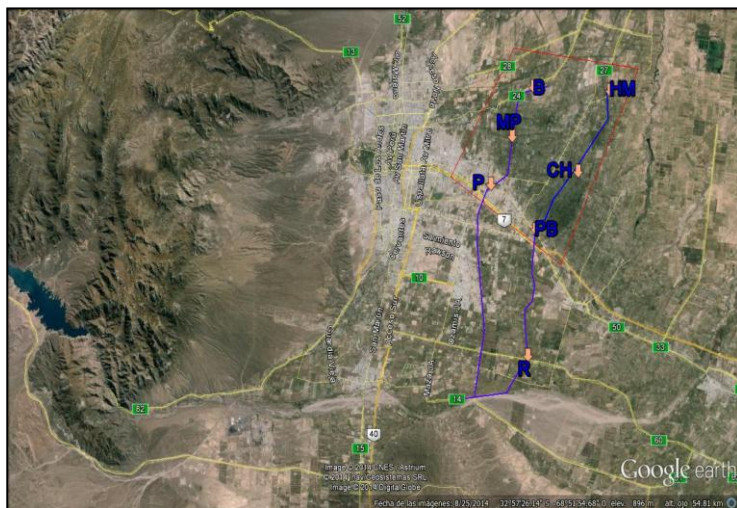


Fig. N° 1: Imagen de la zona de estudio con puntos georreferenciados. Se resaltan en azul los canales Pescara (izquierda) y Chachingo (derecha) y el área del Cinturón Verde de Mendoza (rojo). Fuente: Elaboración propia.

A. Puntos de muestreo sobre el canal Chachingo o canal Vertientes Corralitos: Ruta 60 (R): tomado en la intersección del canal con la Ruta N°60. Este punto se incluyó desde el 2003 y permite evaluar la calidad inicial del agua proveniente del Mendoza antes del ingreso a los

canales Chachingo y Pescara (unos pocos kilómetros más arriba), siendo este punto común a los dos canales; Puente Blanco (PB): ubicado en la intersección del Canal Chachingo y el carril Nacional, donde ingresa el agua al cinturón verde. Este punto se ha monitoreado todos los años desde el inicio de las investigaciones (noviembre 1999); Chachingo (CH): monitoreado en el tramo medio del canal, al este de la villa Los Corralitos y también evaluado desde noviembre de 1999; Hijuela Montenegro (M): este sitio corresponde al tramo final del canal Chachingo donde nace la Hijuela Montenegro. También su monitoreo incluye todos los años involucrados (1999 al 2013).

B. Puntos de muestreo sobre el canal Pescara: Ruta 60 (R): ubicado al inicio del sistema, en la intersección con la Ruta N°60. Este punto se incluyó desde el 2003 y permite evaluar la calidad inicial del agua proveniente del Río Mendoza en el ingreso a este canal; Pescara (P): situado en la entrada del canal Pescara a la zona de estudio, en la intersección con el carril Nacional. Este punto se ha monitoreado todos los años desde el inicio de las investigaciones antes indicadas (noviembre 1999); Matus y Pescara (MP): se ubica en el tramo medio de este canal inmediatamente aguas debajo de la Inspección Desaguantes Industriales del Colector Pescara del DGI. Este punto fue el último en incorporarse a los muestreos en diciembre de 2012; Becases (B): punto situado al final de este canal, llamado así haciendo referencia a una finca cercana al mismo y geográficamente pertenece a Colonia Segovia. Este punto se monitorea desde marzo de 2003.

En el momento de extracción de las muestras, se mide conductividad eléctrica actual, pH, temperatura y oxígeno disuelto, registrando también horario y algunas características en planillas confeccionadas a tal fin. En cada punto se toman tres muestras de agua, una para el análisis de rutina (cationes y aniones), otra para la determinación de metales pesados (a la cual se le adiciona ácido nítrico(1+1)), y la tercera está destinada a la evaluación de nitratos y fosfatos las cuales se conservaran en freezer hasta su determinación. En el laboratorio se valora: Conductividad eléctrica actual (CEA); pH; Cationes y aniones: calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}) por complexometría, sodio (Na^{+}) y potasio (K^{+}) por fotometría de llama, carbonato (CO_3^{-2}) y bicarbonato (CO_3H^{-}) por volumetría ácido base, método Warder; cloruro (Cl^{-}) por volumetría, método Mohr y sulfato (SO_4^{-2}) por método volumétrico con clorhidrato de bencidina (Official Methods of Analysis of AOAC International, 1996); Nitratos (NO_3^{-}) y fosfatos (PO_4^{-3}) por colorimetría con espectrofotómetro HACH 2010; Metales pesados: plomo (Pb), cobre (Cu), Cadmio (Cd) y zinc (Zn) por Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Official Methods of Analysis of AOAC International, 1996). Se realizan los cálculos para determinar Conductividad eléctrica efectiva (CEE) y Relación de Absorción de Sodio (RAS). Posteriormente se clasifican las aguas por salinidad y sodicidad según escala Riverside con modificación de Thorne-Peterson (Thorne y Peterson, 1954 y 1996), según la aptitud regional de Wainstein de aguas de riego de Mendoza (Wainstein, 1968) basada en el esquema de Riverside [modificada por Thorne-Peterson], en el criterio de CEE, en el contenido de yeso de la región y en la eliminación del exceso de sodio por drenaje (Avellaneda, 2004); y Clasificación por coeficiente K (coeficiente de álcali, Hardman-Miller), empleando fórmulas según el ión dominante para cada muestra.

Con los datos recolectados entre 1999 al 2013 (209 Muestras del Canal Pescara, 323 Muestras del Canal Chachingo y 31 variables consideradas) se utilizaron técnicas de estadística multivariada utilizando la herramienta de código libre FactomineR (Le, S., Josse, J. y Husson, F. 2008). Previamente se realizó el tratamiento de muy pocos datos faltantes (0,3%) mediante el uso red neuronal artificial multi percentron bayesiana con la herramienta aiNet, tratando de aproximar el valor numérico faltante, con el conocimiento de los valores del resto de atributos (Césari, 2013). Luego, se siguió la estrategia metodológica de análisis de datos (Lebart, 2007) realizando: Identificación de valoraciones atípicas mediante Análisis factorial de Componentes

Principales (ACP) para visualizar las correlaciones lineales entre mediciones cuantitativas e identificar valores outliers que fueron excluidos del posterior análisis; Estudio factorial donde se realizó ACP proyectando de manera ilustrativa las variables cualitativas explicativas asociadas a identificar punto, mes y año de medición, entre otras; Cartografiados de datos; Caracterización y Validación estadística mediante técnicas DESCO usada para la interpretación del ACP, validación de correlaciones lineales entre variables cuantitativas, identificar diferencias significativas entre medias esperadas para modalidades de variables cualitativas; y técnicas de descripción y validación estadística DEMOD para caracterizar modalidades y variables cualitativas explicativas tales como año de medición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. N° 2 y Fig. N° 3 se presentan los valores de CEA medidos en los 2 canales desde el año 1999 hasta el 2017, pudiendo observar su evolución en el tiempo. En estas figuras, las líneas horizontales rojas marcan el límite del EPAS ($700 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) para no tener restricciones para riego y los máximos de la Resol. 778 del DGI (Máx. Permitido $900 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y Máx. Tolerable $1800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

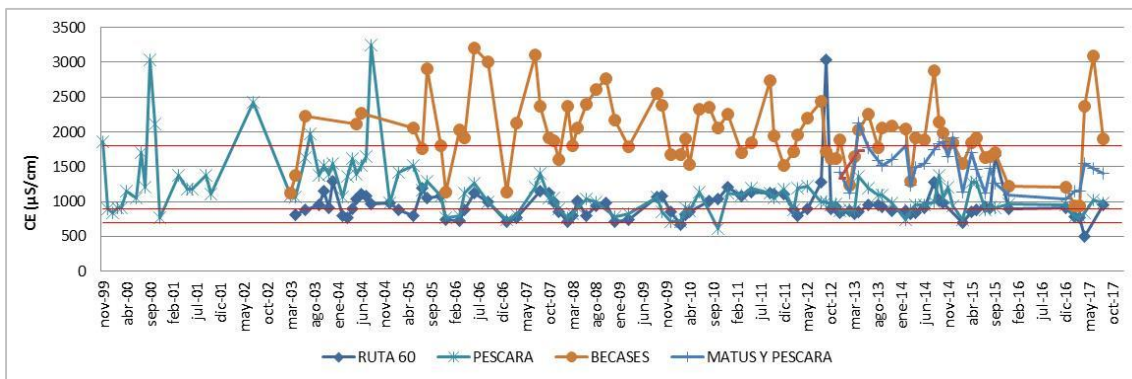


Fig. N° 2: Valores medidos de CEA en los puntos monitoreados sobre el canal Pescara.

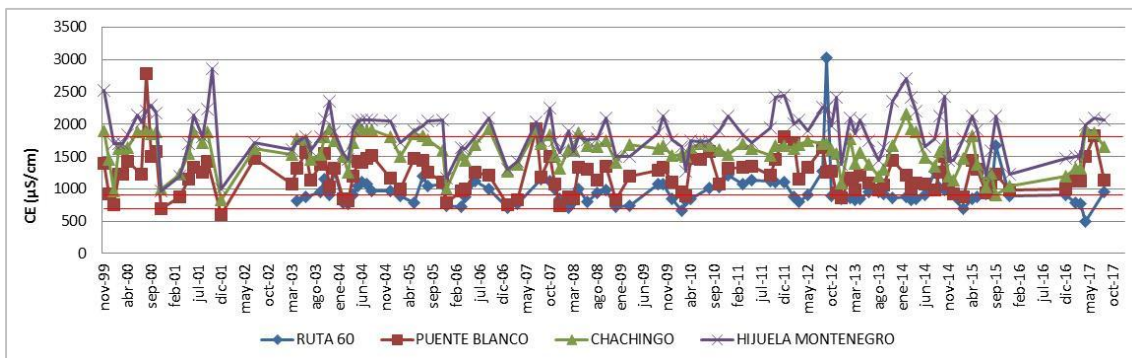


Fig. N° 3: Valores medidos de CEA en los puntos situados sobre el canal Chachingo.

Hacia el final del Canal Pescara los valores llegan a mayores valores que hacia el final del canal Chachingo, a pesar que sobre el primer canal funciona una planta de tratamiento que diluye el agua del canal mediante la mezcla de agua con una batería de perforaciones que se ponen en funcionamiento de acuerdo a la necesidad de dilución del agua. Cabe destacar estos gráficos corresponden solo a una zona variable analizada, por lo que con posterioridad se presentan resultados del análisis estadístico multivariado aplicado al periodo 1999-2013 que resulta mucho mas global que el análisis de cada variable analizada y cuya aplicación ha permitido validar lo que se venía observando en investigaciones anteriores presentadas con este tipo de gráficos para cada variable, pero carecía de un nivel de confianza estadístico y por

una cuestión de espacio no se presentan para el resto de las variables medidas.

A partir de los resultados del ACP, podemos observar en el plano bidimensional de las variables (Fig. N° 4), las relaciones lineales de las mediciones. Dicho plano corresponde a una proyección de las variables iniciales sobre un plano de dos dimensiones constituido por los dos primeros factores. El ángulo permite observar la correlación, siendo positiva en aquellas variables cuyo ángulo se acerca a 0°, no correlacionadas si sus ángulos se acercan a 90° y correlacionadas de manera opuesta cuando el ángulo tiende a ser 180°. Los dos primeros valores propios corresponden a un 44, 30% de la variabilidad, mostrando de esta manera la información sobre los dos primeros componentes factoriales en la Fig. N° 4, donde se visualizan las correlaciones lineales más significativas del estudio.

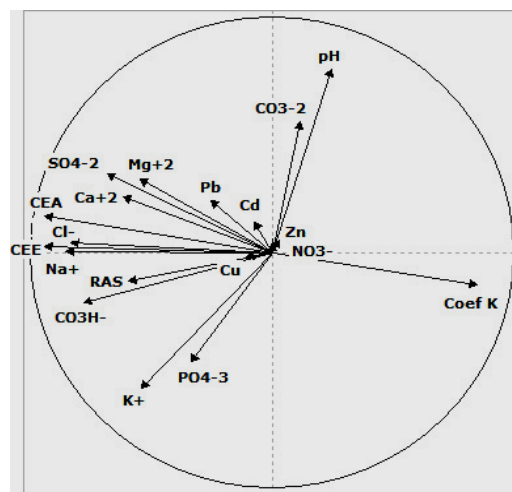


Fig. N° 4: Plano de correlación de las variables considerando todas las muestras analizadas en los Canales Chachingo y Pescara desde 1999 a 2013 (466 observaciones).

En la Fig. N° 4, las flechas indican la dirección de crecimiento de las variables en el espacio factorial y sus ángulos las correlaciones existentes, poniendo en evidencia que existe un importante grupo de variables relacionadas que crecen o decrecen en sentido horizontal, tal como se evidencia también numéricamente en la correlación variable-factor, en la matriz completa de correlación Pearson o en los resultados del DESCO (no se incorporan por razones de espacio). Las variables relacionadas con el factor 1 (horizontal), varían de lado a lado, e incluyen el coeficiente K, la CEA, CEE, la RAS y la mayoría de los iones presentes en el agua.

También existe una variación en sentido vertical, relacionadas con el factor 2, comprendiendo las variables pH, PO_4^{-3} , y CO_3^{-2} . El catión K^+ tiene variación en el sentido diagonal de las esquina superior derecha a la equina inferior izquierda. Dentro del grupo de variables relacionadas positivamente, se encuentran las variable CEA, CEE y casi todas las variables del análisis iónico, (excepto el CO_3^{-2}), indicando con alto nivel de significación estadística, $\alpha=0,01$ (confianza del 99%) que cuando aumenta de CEA y CEE tienden a aumentar los iones Ca^{+2} , Cl^- , (alta o perfecta correlación lineal) Mg^{+2} , SO_4^{-2} , Na^+ , CO_3H^- (correlación moderadamente alta) K^+ , PO_4^{-3} y RAS (correlación moderada baja). Se confirma que las variables que más influyen en la CEA son Ca^{+2} , Cl^- , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , Na^+ y CO_3H^- , indicando los elementos que componen principalmente las aguas de la zona y coincidiendo con los resultados de análisis preliminares realizados en la zona de estudio con una menor cantidad de muestreos y con aguas provenientes de cauces de riego (ya sean canales o drenajes) y subterráneas (Cónsoli D. et al, 2009; Cónsoli, D. et al; 2013). También se aprecia, como es de esperar, la correlación opuesta (confianza del 99%) con el coeficiente K, es decir que al aumentar la CEA, los valores del Coeficiente K tienden a disminuir, requiriendo mayor número de riegos para aportar sales

al suelo.

En el biplot de distancias (plano escalar de las observaciones, producto del ACP), se representa a los individuos en un plano de dos dimensiones, estando las muestras bien representadas en los ejes (por sus contribuciones y cosenos cuadrados). Con la finalidad de establecer tendencias, se han identificado las muestras de diversas maneras por lo cual, en la Fig. N° 5 se las identifican por el sitio al cual pertenecen, poniendo de manifiesto las diferencias en este sentido. Los puntos de muestreo situados al inicio del recorrido del agua presentan valores de salinidad inferiores, aumentando aguas abajo, tal como indican trabajos anteriores de monitoreo (Zuluaga et al, 2010) y en trabajos con similares análisis estadísticos (Cónsoli, et al; 2013). Es de destacar la diferencia que se observa al final de los canales Chachingo y Pescara en sentido vertical, es decir que al final del canal Pescara (puntos Matus y Pescara o Becases) el aumento de la salinidad estaría ligado a los aniones como CO_3H^- y K^+ , mientras que al final del canal Chachingo (puntos Ch. Vert. Corralito e Hij.Montenegro) el aumento se asocia a iones como Ca^{+2} , Mg^{+2} y SO_4^{-2} .

En la Fig. N° 5 fácilmente se visualizan los puntos donde la concentración de los iones alcanzan los mayores valores; sobrepasan en ocasiones las normativas vigentes (lo cual se ha verificado numéricamente). Por ejemplo los elevados contenidos de Cl^- corresponden principalmente a los puntos Pescara, Becases e Hijuela Montenegro, sobrepasando el límite permitido por la resolución 778 del DGI (200 mg L^{-1}). Las mayores concentraciones de Na^+ en agua, que restringen su uso en cultivos sensibles, se detectan mayoritariamente en el canal Pescara, principalmente en el puntos Pescara y Becases, y en el canal Chachingo en el punto Puente Blanco. Las aguas que con mayores contenidos de CO_3H^- (mayor a $8,5 \text{ me L}^{-1}$) que generan severas restricciones para ser usadas en riegos por aspersión en cultivos sensibles (EPAS, 1995) se han detectado principalmente hacia el final del canal Pescara (punto Becases) y en el punto Puente Blanco del canal Chachingo. Algunas aguas presentan contenidos muy altos de SO_4^{-2} , sobrepasando los límites tolerados (Resolución 778 del DGI), principalmente en la Hijuela Montenegro, lo que conlleva a que la CEE sea un 20% menor que la CEA mejorando su aptitud para riego. Los valores más altos de PO_4^{-3} se dan en el canal Pescara, principalmente hacia el final de su recorrido, en el punto Becases, aunque también acá

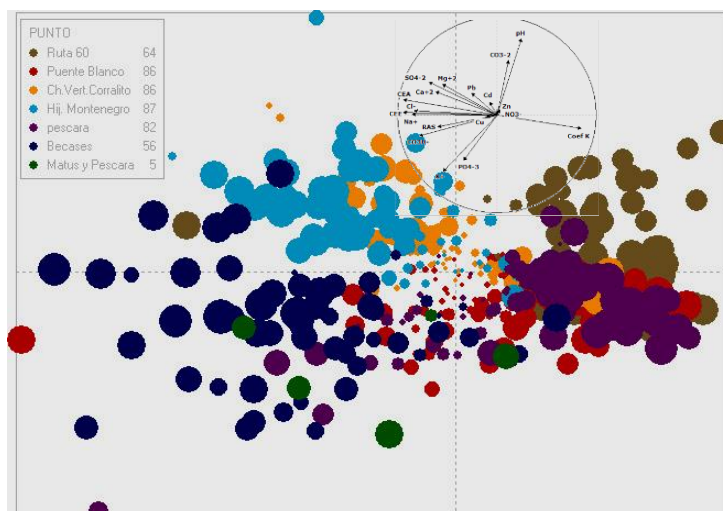


Fig. N° 5: Plano de las observaciones identificadas por punto de muestreo para todas las muestras de agua tomadas en los canales Chachingo y Pescara durante los años 1999 a 2013.

aparecen algunos valores altos en Matus-Pescara, Hijuela Montenegro y Puente Blanco.

Cuando se identifican las muestras según el año de extracción, no se manifiesta un comportamiento determinado y al dividir las muestras tomadas antes y después de la puesta en marcha del Embalse Potrerillos, aparece una diferenciación entre ambos grupos pero las diferencias no son significativas para las principales parámetros (CEA, CEE, RAS, etc), no evidenciándose con claridad una modificación de la calidad del recurso ni una mejora en la contaminación como lo expresan algunos trabajos (Cónsoli, et al; 2013; Zuluaga et al, 2011; Zuluaga et al, 2010; Cónsoli et al, 2009; Bermejillo et al, 2010; Zuluaga, et al, 2007), aunque cabe recalcar que en dichos trabajos la mejora se atribuye a la desaparición de los valores extremos de primavera, principalmente en salinidad y pH. Cabe mencionar que dichos gráficos, como el análisis mensual p trimestral, no se colocan por la limitación de espacio.

En la Fig. N° 6 se presenta el cartografiado de las variables nominales, la cual se valida por medio del DEMOD. En dicha figura se indica con una línea el recorrido del agua en los dos canales, desde el primer punto, Ruta 60 (común a ambos) hasta el final de cada trayecto analizado. En la Fig. N° 6, se evidencia una diferenciación en las características de las aguas de los canales Chachingo y Pescara, las cuales se han caracterizado a partir de los resultados del análisis DEMOD con confianzas del 95 o 99%, validando los resultados.

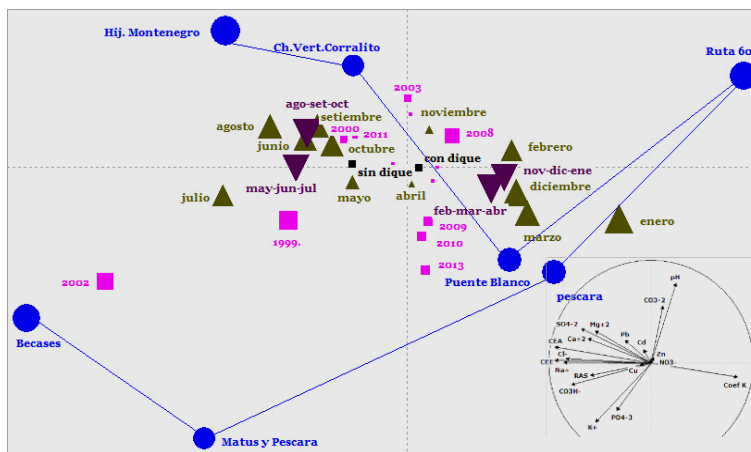


Fig. N° 6: Cartografiado de variables nominales (puntos, años, meses y trimestres) considerando las muestras de aguas superficiales correspondientes a los canales Pescara y Chachingo.

Los valores de pH más elevados aparecen al inicio de los canales (Ruta 60). En este punto, en diversas ocasiones se han determinados picos de pH superiores a la media que se los atribuye probablemente al vuelco de materiales alcalinos provenientes de una villa ubicada aguas arriba del sitio de muestreo, ya que no existen centros urbanos ni establecimientos industriales en la zona, a los que se les pudiera atribuir dicha contaminación y el agua de este canal proviene directamente del río Mendoza (Bermejillo et al, 2009). Cabe mencionar que existe un 2,8% de los análisis donde los valores de pH superan el valor normal de 8,5 para las aguas de la zona, correspondiendo en todos los casos a muestras tomadas en el punto Ruta 60. Por el contrario, los valores inferiores a 6,5 se encontraron sobre el Canal Pescara y en el tramo medio del canal Chachingo, a la altura de Puente Blanco. La disminución de pH en este último sitio, podría deberse a que el mismo, recibe los vertidos de varias industrias agroalimentarias (Zuluaga et al, 2011). Se observa, como lo indican algunos trabajos, que al final del recorrido del canal Pescara el pH es menor, lo que corrobora la presencia de efluentes industriales. (Zuluaga et al, 2010; Bermejillo et al, 2009) y que los valores de PO4-3 en el canal Chachingo son mayores en los primeros tramos, a la altura del Puente Blanco (Zuluaga et al, 2011; Zuluaga et al, 2010; Bermejillo et al, 2009). A pesar que la Fig. N° 6 sugiere una diferenciación entre las aguas analizadas antes de la existencia del Embalse, y las analizadas con posterioridad, la misma no fue significativa para un $\alpha=0,1$.

CONCLUSIONES

Se destaca que en ocasiones y principalmente en los puntos situados hacia el final de recorrido de ambos canales se dan aumentos de salinidad y sodicidad que deberán controlarse, ya que disminuye su aptitud para riego llegando a mayores valores de salinidad, clasificándose por Wainstein como C4 “medianamente salinas” (15% de aumento de CEE), C5 “francamente salina” (45% de aumento de CEE), C6 “fuertemente salina” (90%) o S2 “mediana peligrosidad sódica” (con un RAS que supera 4,4 veces la media, y valores de Na^+ 3,9 veces mayores). La presencia de yeso en el suelo atenúa esta mediana peligrosidad sódica (S2), sin embargo deben ser usadas con cautela y en suelos de textura fina con condiciones de drenaje restringido presentarían un apreciable peligro sódico.

Se han utilizado con éxito métodos multivariados para el análisis de un conjunto de parámetros que indican la calidad del agua, pudiendo estudiar las observaciones o muestras desde distintas perspectivas y validar resultados o tendencias con altos nivel de confianza.

Se ha demostrado que las actividades de explotación agrícola y urbano industrial, generan efluentes y residuos que actúan como fuentes de contaminación significativa, afectando la calidad en los cursos de agua del agrosistema de regadío del Cinturón Verde de Mendoza. También se comprueba que esta contaminación aumenta a medida que el agua avanza por la red de riego y lo hace de manera diferencial según el cauce, lo cual estaría asociado a la zona por la cual transita el agua, corroborando una diferenciación entre los contaminantes que aparecen en los diferentes canales. Se destaca que el canal Chachingo está más asociado a una contaminación de origen agrícola, mientras que el canal Pescara está más asociado a contaminación industrial.

El canal Pescara, presenta un aumento en los contenidos de PO_4^{-3} , K^+ , Na^+ y RAS hacia el final de su recorrido, (Matus-Pescara y Becases) que lo diferencia claramente del canal Chachingo. En el canal Chachingo, el aumento del Na^+ es menor y por el contrario, los contenidos de PO_4^{-3} y K^+ disminuyen respecto a la media de las aguas analizadas. Los mayores contenidos de PO_4^{-3} , PO_4^{-3} y K^+ pueden deberse probablemente por el uso de detergentes en las industrias de la zona y el aumento de la sodicidad manifestado por el RAS o Na^+ , al vuelco de efluentes de dichas industrias.

Por el canal Pescara, los contenidos van aumentando y en el último punto, Becases, los aumentos de PO_4^{-3} y K^+ , se diferencia en el periodo comprendido entre los meses de marzo a diciembre y se producen junto con aumentos significativo de la CEA, CEE y CO_3H^- , asociando los valores más altos al mes de julio para K^+ y CEE, agosto para CEA y PO_4^{-3} y octubre para CO_3H^- . Esto está asociado a que en dichos meses los caudales se ven ajustados debido a las restricciones hídricas de los últimos años.

Se evidencian variaciones cíclicas de la calidad de agua respecto a meses y trimestres, siendo los meses de invierno primavera donde en general aumenta la contaminación del agua para la mayoría de las variables. La caracterización de las variables estudiadas, ha permitido definir en forma significativa los momentos y puntos críticos a considerar para muestreos futuros.

REFERENCIAS

- Avellaneda, M.; Bermejillo, A.; Mastrantonio, L. 2004. Aguas de riego calidad y evaluación de su factibilidad de uso. ISBN: 950-39-0030-1. Editorial EDIUNC. Mendoza, Argentina.
- Bermejillo, A. 2010. El aprovechamiento del agua en el cinturón verde de la provincia de Mendoza: análisis de la calidad hídrica e impacto ambiental. Plataforma de información para políticas públicas (pipp). Disponible en: <http://politicaspUBLICAS.uncu.edu.ar/articulos/index/el-aprovechamiento-del-agua-en-el-cinturon-verde-de-la-provincia-de-mendoza-analisis-de-la-calidad-hidrica-e-impactoambiental->. Consulta: 4/10/2011.
- Bermejillo, A.; Zuluaga, J.; Drovandi, A.; Filippini, M.; Marti, L.; Cónsoli, D.; Valdés, A.; Morsucci, A.

2009. Modificación de la calidad del agua de riego y riesgo freático en el cinturón verde de mendoza. Congreso latinoamericano de ingeniería y ciencias aplicadas- CLICAP 18 al 20 de marzo de 2009. In: memorias del congreso CD ISBN 978-987-575-079-1
- Césari, R.; Césari, M. 2013. Nuevas estrategias para el de análisis y exploración de datos como soporte a la investigación. Carrera del posgrado en red ciencia y tecnología de alimentos, en la facultad de ingeniería de la universidad nacional de jujuy.
- Cónsoli, D. 2013. XXIII Jornadas de investigación y V Jornadas de posgrado. Evolución de la contaminación del agua de riego y clasificación de su calidad dentro del cinturón verde de Mendoza. Proyecto de tesis. Director de tesis: Zuluaga, J. M. Posgrado: Maestría en Riego y Drenaje. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.
- Cónsoli, D.; Zuluaga, J.; Bermejillo, A. 2009. Variación de la calidad del agua de riego del cinturón verde de Mendoza. Congreso Nacional del Agua 2009
- Departamento General De Irrigación (DGI). (1996). “Reglamento general para el control de contaminación hídrica”. Resolución N° 778 (public: bop.30-31/12/96 y 2/1/97) Mendoza.
- Ente Provincial Del Agua y Saneamiento (EPAS). 1995. Normas de calidad de aguas. Documento preliminar. Mendoza. Argentina.
- LÉ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. 2008. Facto mine r: an r package for multivariate analysis. Journal of statistical software. 25(1): 1-18.
- Lebart, L. 2007. Data And Text Mining (Dtm). Software Estadística Exploratoria Multidimensional Para Datos Complejos Que Incluyen Datos Numéricos Y Textuales. Disponible En: [Http://Ses.Telecom-Paristech.Fr/Lebart/](http://Ses.Telecom-Paristech.Fr/Lebart/).
- Mussetta, Paula, & Barrientos, María Julia. (2015). Producer's vulnerabilities to global environmental change: climate, water, economy and society. Revista de la facultad de ciencias agrarias. Universidad nacional de cuyo, 47(2), 145-170. Recuperado en 07 de enero de 2017, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1853-86652015000200012&lng=es&tlng=en.
- Official Methods of Analysis of Aoac International. 1995 16 th Edition – Volumen I.
- Rauk, T. et al. 2004. Saneamiento del colector Pescara. Sistema centralizado de reuso en riego de efluentes líquidos agroindustriales. DGI, MAOP, Mendoza, 15 p.
- Thorne. D. W. Y H. B. Peterson. 1954. Técnica de Riego. Versión Española 1963, México.
- Thorne. D. W. Y H. B. Peterson. 1996. Técnica de Riego Fertilidad y Explotación de los Suelos. Editorial Continental. México .D. F.
- Villalba, R.; Boninsegna, J. 2009. Cambios climáticos regionales en el contexto del calentamiento global en Gobierno de Mendoza (ed.) Informe Ambiental 2009 (Mendoza: Secretaría de Ambiente, Gobierno de Mendoza) p. 103-113.
- Wainstein, P. 1968 “Clasificación de las aguas de riego de Mendoza” Informes Científicos y Técnicos N°15. Instituto de Suelos y Riego, diciembre 1968.
- Zuluaga, J., Drovandi, A.; Bermejillo, A.; Filippini, M.F.; Cónsoli, D.; Salcedo, C.; Valdes, A.; Morsucci, A. 2011. Diagnóstico de la calidad del recurso hídrico en el cinturón verde de Mendoza, Argentina. XVI Congreso Nacional de Irrigación. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación Desarrollado en Culiacán, Sinaloa, México, del 6 al 9 de setiembre de 2011
- Zuluaga, J.; Bermejillo, A.; Drovandi, A.; Filippini, M.; Cónsoli, D. Salcedo, C.; Morsucci, A. 2010. Calidad del agua de riego superficial y subterránea en el cinturón verde de Mendoza. I Jornadas Interdisciplinarias “Ciclo del agua en los agroecosistemas” Facultad de Ciencias Veterinarias - UBA Subsecretaria de Ciencia y Técnica.
- Zuluaga, J.; Bermejillo, A.; Drovandi, A.; Filippini, M.; Cónsoli, D.; Valdés, A.; Morsucci, A. 2008. Calidad del agua de riego y riesgo freático en el cinturón verde de Mendoza. II Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. 5, 6 y 7 de noviembre de 2008. Córdoba, Argentina. ISBN: 978-84-96776-48-7
- Zuluaga, J.; Filippini, M.; Drovandi, A.; Bermejillo, A.; Morsucci, A.; A.; Valdés, A.; Nuñez, M. Cónsoli, D. 2007. Monitoreo de los contaminantes del agua en la 3ra zona de riego del Río Mendoza con el nuevo escenario de operación del Embalse Potrerillos. Congreso Nacional del Agua. 15 al 19 de mayo de 2007. Tucumán, Argentina.

EFLUENTES CON ALTO CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA: IMPACTO EN LOS SUELOS POR SU USO EN RIEGO AGRÍCOLA

Arreghini, M.^a, Peña Cervera, M.^b, Sebök Martín, A.^a, Ojeda, G.^c, Valero, A.^a, Fernández Llano, J.^a, Gil, A.^a, Somonte, A.^c, Mamani, N.^c, Quiroga, M.C.^a

^a GESTAMP, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

^b Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo

^c Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

e-mail: marcela.arreghini@ingenieria.uncuyo.edu.ar

RESUMEN

La provincia de Mendoza basa gran parte de su matriz productiva en el sector agroindustrial, actividad caracterizada por generar efluentes líquidos con alto contenido orgánico proveniente principalmente del lavado de equipamiento que ha estado en contacto con los productos elaborados. La materia orgánica de estos efluentes supera en algunos casos diez veces al de los efluentes domiciliarios. Debido a la escasez de agua, por encontrarse en una zona semiárida, es común la utilización de aguas residuales industriales para el riego de cultivos y forestales. Esta práctica está regulada, estableciéndose valores límites en los parámetros de calidad del efluente industrial al utilizarse para riego. Sin embargo, no existe restricción al contenido de materia orgánica, excepto en casos que pueda verse afectado el recurso hídrico subterráneo o superficial. Si bien es cierto que los suelos de Mendoza presentan en general escaso contenido en materia orgánica, y que su aporte a través del riego podría ser beneficioso, se han observado casos de áreas de reuso con afectaciones, tales como ennegrecimiento del suelo y cultivos con escaso crecimiento o prácticamente secos. La causa principal puede estar dada por el mal manejo de estos efluentes con alto contenido en materia orgánica. Se estudiaron los procesos físico-químicos y biológicos que se producen al introducir estos efluentes en los suelos, con el fin de seleccionar indicadores de impacto en suelo. Los mismos podrán ser estudiados específicamente para poder definir las cargas orgánicas a aplicar sin producir afectación negativa a los suelos típicos de Mendoza, contribuyendo de este modo a la sustentabilidad de las industrias que realizan estas prácticas de riego.

Palabras Clave: Reuso de efluentes, Impacto en Suelos, Efluentes agroindustriales, Indicadores de Impacto

INTRODUCCION

La provincia de Mendoza cuenta con un importante desarrollo agroindustrial, con 2853 industrias instaladas de las que el 36,1 % corresponde al sector vitivinícola y alimentos conservados (IDITS, 2005). Estas industrias generan durante su actividad aguas residuales provenientes principalmente de lavado de equipos que han estado en contacto con el producto elaborado, por lo que en general contienen grandes cantidades de materia orgánica (MO).

Las características desérticas de la provincia y la consecuente escasez de agua, hacen que todo recurso hídrico sea vital, y entre ellos adquieren importancia también las aguas

residuales, tanto de origen sanitario como industrial. Prueba de ello es el aprovechamiento de los efluentes de la planta depuradora de líquidos cloacales de Campo Espejo y la de Paramillos, con 2600 has cada una de cultivos regados con los efluentes tratados (Obras Sanitarias Mendoza, 2010), y el sistema de gestión de los efluentes industriales del Canal Pescara, cuyo destino final es el riego de 10000 ha (<http://www.colectorpescara.com.ar>), por mencionar los más importantes.

La legislación provincial regula la utilización de efluentes industriales tratados para uso en riego (vuelco indirecto), fijando valores límite de parámetros de calidad tanto físico-químicos como bacteriológicos (Resolución DGI 627/00-Anexo I b). En la misma se menciona como parámetro de control de materia orgánica la DBO (Demanda Química de Oxígeno) y DQO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) pero no se fija valor límite, sino que se observa que en cada caso se tendrá en cuenta la posible afectación a los cursos de agua superficial o subterránea y no se tiene en cuenta en la misma el efecto sobre el suelo. Si bien la MO es importante en los suelos debido a que contribuye en la retención de humedad, mejora la estructura y aporta nutrientes cuando se mineraliza, es lógico pensar que la capacidad de asimilación de MO por parte del suelo tenga un límite, y que pasada la misma algunos procesos podrían producir su afectación. La hipótesis anterior surge en ocasión de realizar visitas de campo para la toma de muestras de efluentes en distintos tipos de industrias, en los que se detectó visualmente escaso crecimiento de olivos regados por estos efluentes, como así también plantaciones de alfalfa afectadas y suelos ennegrecidos aparentemente por el exceso de riego con efluentes de agroindustrias.

Por ello se propuso profundizar la investigación sobre los efectos que se producirían al incorporar MO al suelo y la posibilidad de producir desequilibrios en el ecosistema que resultaran perjudiciales tanto para el suelo, como para las plantas, y los percolados que se producen durante el riego de cultivos. En primera instancia se recopiló información sobre antecedentes legales y regulaciones para el contenido orgánico en efluentes industriales para uso en riego, como así también, sobre estudios que se hayan realizado sobre este tema particular. Luego se analizaron las variables que pudieran verse afectadas con la incorporación de MO con el riego, para poder seleccionar indicadores de posible afectación al suelo.

LEGISLACION Y ANTECEDENTES

Además de la Resolución 627/00 del DGI en la Provincia de Mendoza, en nuestro país, referido al uso de efluentes industriales en riego y, en particular al contenido de materia orgánica (DBO, DQO), se cita la Resolución 336/03 del Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción en la Provincia de Buenos Aires, en la que se establecen valores límite de descarga para absorción del suelo de ≤ 200 mg/L para DBO y ≤ 500 mg/l para DQO. Si bien no se establece el fundamento de estos valores, la misma se enmarca en el hecho de que se autoriza la disposición de efluentes domiciliarios en pozos absorbentes, cuyos valores de DBO y DQO por lo general son los mismos que se imponen como límite. Por otro lado, establece una lista de rubros industriales a los que no se les permite la disposición final de efluentes en pozos absorbentes. En la provincia de San Juan se establecen los mismos valores límites de 200 y 500 mg/l para DBO y DQO respectivamente, a través del Decreto N° 2107/06 – Anexo I de Normas de Calidad para descargas de efluentes industriales – Valores máximos permitidos para absorción del suelo.

En cuanto a antecedentes internacionales se puede decir que generalmente se regula la descarga a cuerpos hídricos y el riego para los efluentes de tipo doméstico considerando criterios de protección a la salud, pero no teniendo en cuenta los efectos al suelo. En muchos países se establecen Guías de Reuso con recomendaciones para los parámetros de calidad del agua de riego, y entre ellos en algunos casos los valores de MO expresados como DQO y DBO o como carga orgánica (MO por unidad de tiempo y superficie a irrigar). Por ejemplo, en el Act environment and health wastewater reuse guidelines de Australia (1997), se establece que los efluentes para utilizar en riego deben cumplir por un lado requisitos de salud pública, dando una serie de parámetros de calidad de acuerdo al tipo de reuso, y por otro lado establece los requisitos que debe cumplir el agua de riego con criterios para no afectar el ambiente. Entre ellos establece que las cargas máximas de MO aplicada a la mayoría de los suelos no deben superar los 40 Kg DBO/ha.día. Se fundamenta expresando que 'mientras que los compuestos orgánicos en efluentes cuando se aplican a una tasa adecuada pueden revitalizar la fertilidad del suelo, la sobrecarga continua de MO puede obstruir físicamente los poros del suelo y favorecer a las poblaciones de microbios anaeróbicos en el suelo'.

Otro antecedente a considerar es Israel, país con grandes extensiones de desierto en el cual el 80% de las aguas residuales tratadas son reutilizadas en la irrigación agrícola. La norma establece un valor límite de DBO, en los efluentes utilizados para riego de cultivos industriales, de 60 mg/l, mientras que, para riego de jardines y canchas de golf, menor de 20 mg/l. Se estima que estos dos valores se han tomado teniendo en cuenta la afectación a la salud por el contacto con los efluentes de tipo doméstico, no con un criterio ambiental de afectación al recurso suelo.

En California si bien no se establece un valor para el contenido de MO, es obligatorio un tratamiento del tipo secundario (reducción del contenido de MO) y desinfección para todo efluente a ser reutilizado en agricultura. El agua reciclada se considera segura para riego directo si cumple con la Política para el reciclado de agua (Recycled Water Policy - February 3, 2009 under State Water Board Resolution No. 2009-0011), el California Code of Regulations (CCR) Title 22, además de todas las leyes estatales y federales relacionadas a calidad de agua.

En Chile si bien el reuso en riego se encuentra regulado por Norma Chilena Oficial N°1.333/78 Aprobada por D.S.MOPN°867/78, no se establece un valor límite para la MO en la misma. No obstante el Ministerio de Agricultura ha elaborado una Guía: Condiciones Básicas para la Aplicación de RILes de Agroindustrias en Riego, y Guía de Evaluación Ambiental - Aplicación de efluentes al suelo - G-PR-GA-001 (Año 2010), en las que se establece que los efluentes de agroindustrias a utilizar en riego no deben contener un valor de DBO superior a 600 mg/l o en el caso de que los efluentes superen este valor se aplicarán con una tasa máxima de 112 Kg/ha.día.

Otro antecedente de importancia es el documento de la EPA/625/R-06/016 -Process Design Manual-Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents (2006). En el Capítulo 11, dedicado a la aplicación de efluentes industriales en suelo, se indica que todas las aguas residuales industriales deben caracterizarse para determinar cuál es su 'parámetro de diseño límite' para su aplicación en suelo, basado en el hecho de que el suelo tiene una capacidad de asimilación finita para los componentes orgánicos e inorgánicos. Esa capacidad no debe excederse si se pretende lograr un sistema de tratamiento por el suelo que sea ambientalmente racional y económicamente viable. En este caso se está tomando al suelo como un sistema de depuración. Específicamente para MO se refiere a que es necesario establecer valores de cargas máximas de DBO con el fin

de permitir la re-aireación del suelo para evitar la producción de olores. Cita que, en el Estado de New York, una Guía establece que las cargas orgánicas de DBO no deben exceder los 560 kg/ha·día (Adamczyk, 1977). Este documento además presenta una tabla con una serie de casos de sistemas irrigados con distintos efluentes industriales y las tasas aplicadas en cada caso, las que en principio se entiende que son sistemas con un adecuado funcionamiento. Los datos se presentan en la Tabla 1, tomada del texto citado.

Tabla 1 - Cargas de DBO de efluentes industriales en sistemas de riego

Location	Industry	BOD Loading Rate, kg/ha·day (lb/acre·day)
Almaden, McFarland, CA.	Winery stillage	470 (420)
Anheuser-Busch, Houston, TX.	Brewery	403 (360)
Bisceglia Brothers, Madera, CA.	Winery stillage	312 (279)
Bronco Wine, Ceres, CA.	Winery	143 (128)
Citrus Hill, Frostproof, FL.	Citrus	447 (399)
Contadina, Hanford, CA.	Tomato processing	103 (92)
Frito-Lay, Bakersfield, CA.	Potato processing	94 (84)
Harter Packing, Yuba City, CA.	Tomato processing	393 (351)
Hilmar Cheese, Hilmar, CA.	Cheese processing	249 (222)
Ore-Ida Foods, Plover, WI.	Potato processing	213 (190)
Tri Valley Growers, Modesto, CA.	Tomato processing	224 (200)

En la provincia de Mendoza se consultó a especialistas en tratamiento de efluentes industriales, quienes consideran adecuado la utilización de una carga másica de DBO de 112 kg/ha.día, para el caso de efluentes vitivinícolas. Se cita como antecedente de dicho valor la EPA.

CALIDAD DE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES AGROALIMENTARIOS EN LA PROVINCIA DE MENDOZA

Los efluentes de estas industrias provienen principalmente de actividades de limpieza de las distintas unidades de proceso, motivo por el cual están conformadas generalmente por restos de los alimentos elaborados, detergentes, desinfectante, y álcalis utilizados como desincrustantes. Las características más relevantes para este estudio se presentan en la Tabla 2, tomados de valores promedio de caracterizaciones realizadas en nuestra provincia ((Ruek, 2016). Se incluyen a efectos comparativos, datos de caracterización de efluentes domésticos promedio de efluentes domésticos de la Villa Potrerillos– Mendoza.

Tabla 2- Características de los efluentes agroindustriales en la Provincia de Mendoza

Origen del efluente	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	Nitrógeno (mg/l)		CE micros/cm	pH
			N-NH3	N total		
Vitivinícolas	5400 -7600	9170 - 10330	8 - 11		1670-1820*	5,3 – 6
Elab. de Mosto Concentrado	1950	2700		10 - 16	4400*	3
Procesamiento de tomate	480	775	3		1730*	6,9
Elaboración de durazno	1100	1700	4		1860*	6,7
Domésticos	240	440		51	800 -1200*	7,8

*CE varía de acuerdo a la calidad de la fuente de agua que se utiliza en las operaciones de limpieza

Comparativamente con efluentes de tipo domésticos estas aguas residuales presentan valores de MO superiores en órdenes de 5 a 20 veces. En la Tabla 3 se presentan algunos datos sobre características de los efluentes industriales reportados por (EPA, 2006)

Respecto a algunos constituyentes específicos en la MO de las aguas de origen agroalimentario, se encuentran en distintas proporciones azúcares, ácidos orgánicos, polifenoles, celulosa y almidón.

Tabla 3 - Datos característicos de efluentes industriales reportados por EPA

<i>Constituyente</i>	<i>DBO (mg/l)</i>	<i>DQO (mg/l)</i>	<i>Nitrógeno Total (mg/l)</i>
<i>Procesamiento de alimentos</i>	200 - 10000	300 - 15000	10 - 100
<i>Pulpa y papel</i>	60 - 30000		
<i>Efluente de lácteos</i>	4000	775	90 - 400

EFFECTOS POR LA INCORPORACION DE MO EN LOS SUELOS

La MO del suelo se define en sentido estricto como todo material proveniente de organismos muertos y sus productos de transformación, descomposición y resíntesis, sobre y en el suelo. Proviene de la incorporación de residuos animales y restos vegetales en distintos grados de descomposición y también incluye la biomasa microbiana. Los contenidos de MO de los suelos varían entre 0,5 y 15% de acuerdo a su génesis y se pueden clasificar en < 1% bajo; 1-2% medio bajo; 2-4% medio; 4-8% alto; 8-12% muy alto y >12% extremadamente alto (turberas) (Conti, 2000).

Una vez que es incorporada la MO en el suelo comienza a sufrir transformaciones por medio de procesos de descomposición (partición y separación de los componentes orgánicos por acción mecánica) y mineralización (pasaje de formas orgánicas a inorgánicas). Parte de la MO se reorganiza formando compuestos humificados (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), sin embargo, hoy en día no se tiene del todo claro el proceso de humificación por comprender procesos sumamente complejos. El producto final, es la formación de humus, definido como el producto de transformaciones, descomposiciones y resíntesis de moléculas orgánicas, en las cuales no quedan vestigios microscópicamente visibles de los tejidos o células originales (Conti et. al., 2000).

De acuerdo con los autores citados por (Julca-Otiniano et. al., 2006), Jhonstom, 1991; Gros y Domínguez, 1992 y Conti et. al., 2000, los factores que influyen en el proceso de humificación y, por consiguiente, en la cantidad de humus en el suelo, son la textura del suelo, la aireación, la humedad y los factores climáticos. También son importantes las prácticas de manejo que se realicen en el suelo, ya que, el empleo de abonos minerales, así como la labranza, aceleran la descomposición de la MO en el suelo.

Una consideración importante extraída de Conti (2000), respecto a la formación de humus a partir de las condiciones de oxígeno en el suelo es que, en aerobiosis, los productos de la transformación de la MO son: CO₂, NO₃⁻, SO₄⁻², H₂O, y residuos resistentes, con posterior formación de sustancias humificadas. En cambio, en condiciones de anaerobiosis, se obtiene del proceso de transformación de MO: CH₄, H₂, R-COOH, NH₃, R-NH₂, R-SH, H₂S residuos resistentes y acumulación de residuos orgánicos sin humificar.

Entre las funciones de la MO en el suelo, se puede destacar en cuanto a las propiedades físicas, la formación de agregados que dan estabilidad estructural al suelo, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y mejorando las condiciones de porosidad y aireación. Los efectos sobre las propiedades químicas del suelo, son el aumento de la capacidad de cambio del suelo, reserva de nutrientes, efecto acidificante y de capacidad reguladora ácido-base. Respecto a las propiedades biológicas, la MO favorece los procesos de mineralización, puede tener efectos auxínicos, pueden activar la respiración celular, afectar la biodegradación de pesticidas, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (Julca-Otiniano et. al., 2006; Conti et. al., 2000).

RELEVAMIENTOS DE CAMPO EN AREAS DE RIEGO CON EFLUENTES INDUSTRIALES EN MENDOZA

La problemática planteada y abordada en el presente trabajo de investigación, surge a partir de tomar contacto con distintas empresas del medio, especialmente del rubro vitivinícola, en las que se realiza vuelco indirecto de los efluentes, a través del riego de plantaciones destinadas para este fin. Se han observado distintos tipos de cultivos regados con los efluentes, pero en raras ocasiones riego de vides. Esto último debido a la creencia de que la calidad del agua tratada destinada a estos fines no es buena, y por ello se eliminan vides y se plantan especies forestales como eucaliptus y álamos. En otros casos se realiza la derivación de los efluentes hacia predios con olivos, y en otros se pudo constatar la siembra de alfalfa y riego de parques. En la Figura 1 y Figura 2 se observan imágenes que ilustra los problemas detectados tanto en el suelo como en los cultivos:



Figura 1-Riego de alfalfa con efluentes vitivinícolas



Figura 2-Suelos con efectos de alteración (coloración negra) por efecto de efluentes agroindustriales

Durante el desarrollo del presente estudio se realizó el relevamiento de tres casos de áreas de reuso, en uno de ellos se detectó problemas en el suelo y en los cultivos, por lo que se describen específicamente los datos obtenidos a modo de antecedentes de un manejo ineficiente del agua residual.

El área de reuso cuenta con 0,73 ha, implantadas con árboles del género *Eucaliptus* sp., En el campo, respecto a la vegetación, se pudo observar la presencia de árboles bien desarrollados, de una estatura media con un buen índice foliar y buen estado sanitario, Sin embargo, se encontró en el predio algunos ejemplares secos y otros con un bajo desarrollo foliar. También es baja la cantidad de número de herbáceas que acompañan a los árboles en ese sitio, ver Figura 3,. Por otro lado, las características del suelo que se puede apreciar a simple vista es un suelo seco agrietado, dando un indicio de que se trata de un suelo arcilloso. Existen eflorescencias en la superficie, como un material blanquecino lo cual podrían ser costras salinas, ver Figura 4. Con el suelo mojado se percibe una alta adhesividad y plasticidad, de color muy oscuro y desestructurado, ver Figura 5. El riego se realiza con efluentes de bodega, con una producción diaria promedio de 300 m³/día durante la etapa de vendimia (mediados de febrero hasta fines de abril), con una DBO y DQO promedio de 6000 mg/l y 10000 mg/l respectivamente. Los efluentes son neutralizados y sometidos a separación de sólidos sedimentables. La carga orgánica utilizada de acuerdo a este relevamiento es de 2400 Kg DBO/día ha. El requerimiento hídrico sería de 53 m³/día en verano de acuerdo a (Calderón, 2003), aplicando una lámina de riego de 70 mm cada 10 días en verano y cada 20 días en invierno en plantación de eucaliptus. No obstante, los eucaliptus generalmente se escogen en las áreas de reuso debido a que toleran muy bien el exceso hídrico, cuando la calidad del agua es buena.



Figura 3 - Ejemplares secos en el área de reuso



Figura 4 - Costras en el suelo del área de reuso



Figura 5 - Suelo mojado. Se observa adhesividad y plasticidad

INDICADORES DE AFECTACIÓN AL SUELO

El objetivo del estudio fue contar con antecedentes y estudiar los mecanismos de incorporación de la MO en los suelos para poder seleccionar indicadores que permitan establecer los niveles de cargas orgánicas de los efluentes que produzcan afectación a los suelos. Tomando la definición de (Sarandón, 2006), un indicador es una variable seleccionada y cuantificada, que nos permite ver una tendencia que de otra forma no es fácilmente detectable. Al seleccionarlo deben tenerse ciertas características mínimas de manera que la información sirva para el estudio específico. Entre estas se citan:

- Estar estrechamente relacionados con alguno de los requisitos de la sustentabilidad
- Tener sensibilidad a los cambios en el tiempo
- Presentar poca variabilidad natural durante el período de muestreo.
- Tener habilidad predictiva.
- Ser de fácil recolección y uso, y también confiables.
- No ser sesgados (ser independientes del observador o recolector)
- Ser sencillos de interpretar y no ambiguos.
- Brindar la posibilidad de determinar valores umbrales.
- Ser robustos e integradores (brindar y sintetizar buena información).

Luego de estudiar los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se producen al incorporar la MO al suelo, se describen los indicadores seleccionados para estudiar el impacto que se produciría al incorporar efluentes con altos contenido en MO a los suelos, los que en el futuro podrían ser utilizados para establecer valores umbrales de sustentabilidad:

▪ **Infiltración del suelo**

El movimiento del agua a través de la superficie del suelo se denomina infiltración. El agua entra en los poros por los orificios de la superficie y se mueve hacia abajo debido a las fuerzas de gravedad. Los poros por donde penetra el agua están determinados por el tamaño de las partículas y la estructura del suelo. El suelo está conformado por agregados y la intensidad de agregación es función de la cohesión de los mismos y la adhesividad. Mientras más pequeñas sean las partículas que conforman un suelo y más débil sea su estructura, más chicos son los poros y por lo tanto más lentamente se desplaza el agua hacia abajo. Por el contrario, mientras mayor es el tamaño de las partículas y mejor estructurado esté, más rápidamente se efectúa la infiltración.

Al incorporar al suelo efluentes industriales con alto contenido en MO orgánica, especialmente la de naturaleza insoluble, es posible que los poros del suelo se vayan obstruyendo con material, dificultando el paso del agua y por lo tanto reduciendo su velocidad de infiltración, llegando hasta el encharcamiento. Un antecedente respecto de este indicador es la reglamentación del estado de Washington respecto al diseño de superficies de infiltración para efluentes de tanques sépticos, en la que se indican valores entre 75,5 y 117 Kg de DBO /ha. día para evitar taponamiento del suelo (Darrell, 2001).

La medición de este parámetro se puede realizar con diferentes métodos, pero se aconseja principalmente el uso del método de surcos o el de infiltrómetros, ambos métodos sencillos de aplicar in situ.

- **Disponibilidad de nutrientes en el suelo**

Las plantas necesitan de nutrientes mayoritarios como N, P y K, los que deben encontrarse en proporciones adecuadas y disponibles para ser asimilados. Cuando al suelo se le aporta sustancias orgánicas con relaciones C/N superior a 33, se está aportando sustancias de alto valor energético para los microorganismos del suelo, como hidratos de carbono. Esto puede inducir a un gran crecimiento de microorganismos, los que a la vez requieren también de N, P y otros nutrientes, que toman del suelo, provocando una inmovilización de estos elementos y volviéndose competidores de las plantas (Perez Valenzuela, 1999)

Los efluentes agroindustriales tienen por lo general altas relaciones C:N, lo cual afecta a los procesos de remoción biológica nutricional. Los datos presentados en la Tabla 4, indican que los efluentes con relativamente baja relación C:N, mantienen una alta mineralización comparado con aquellos con altas relaciones. Se observa que relaciones mayores a 23:1 comienza a mostrar valores negativos de mineralización, indicando ineficiente conversión de nitrógeno orgánico a formas inorgánicas de nitrógeno (EPA, 2006).

Tabla 4 - Datos de mineralización de distintos efluentes industriales

Wastewater	C:N	Organic-N Mineralized (%)
Textile Sludge		
Vacuum Filtered Solids	2.5	43
Solids from Lagoon	4.4	9
Wood Processing Wastes		
Paper Mill Sludge	82.2	-45
Fiberboard Mill Sludge	23.0	-12
Poultry Processing Waste		
Waste-Activated Sludge	3.0	52
Fermentation Waste		
Sludge from Brewery Wastewater Treatment Plant	2.4	46
Sludge from Enzyme Production	8.0	24

Por otro lado, los altos aportes de MO pueden producir pérdida de Nitrógeno (desnitrificación). Esto se debe a que se produce un gran consumo de oxígeno en el suelo para la descomposición de la MO, pudiendo ocasionar condiciones anóxicas en profundidad, lo que induce la aparición de organismos facultativos, que emplean nitrato o amonio (ammonia) en su cadena respiratoria para obtener energía, dando como resultado final N₂O (óxido nitroso) que se libera a la atmósfera y compuestos ácidos (Guy, 2011). La tasa de desnitrificación se incrementa por los aumentos de la tasa de riego con efluentes y su frecuencia.

Master et al. (2003) (según Guy et al 2010) encontró que las cantidades de N₂ y N₂O perdidos del suelo por la irrigación con efluentes de baja calidad fue insignificante. Sin embargo, cuando los suelos fueron saturados con efluente concentrado, el nitrógeno perdido por la desnitrificación alcanzó un valor alto, de 3,1% del total del nitrógeno aplicado.

Para valorar la disponibilidad de nutrientes deben realizarse determinaciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio edáficos:

Nitrógeno edáfico

El método de Kjeldahl es el más empleado para la evaluar el nitrógeno total de un suelo, incluyendo en sus formas de N orgánico (85%-98%) e inorgánicas, por lo que contabiliza el nitrógeno tanto directamente disponible como el que se encuentra atrapado en la biomasa del suelo. Por lo tanto, para conocer exactamente lo que se encuentra disponible,

se sugiere la técnica de Bremner y Keeney, por Microkjeldahl para obtener el nitrógeno mineral (NH_4 , NO_2 , NO_3).

Fosforo edáfico

El fósforo presente en el suelo, se lo puede encontrar como fósforo orgánico e inorgánico. El fosforo presente en la fase líquida es el que se encuentra inmediatamente disponible para las plantas. Para la determinación del fósforo disponible en los suelos mendocinos, caracterizados por ser suelos calcáreos, se recomienda aplicar la técnica de extracción carbónica.

Potasio Edáfico

El potasio en el suelo se puede encontrar en distintos estados químicos: no intercambiable (minerales primarios), difícil y parcialmente intercambiable (fijado en las estructuras cristalinas de las arcillas), intercambiable (absorbido en las arcillas) y soluble (en la solución edáfica). El potasio soluble es el que se encuentra directamente disponible para las plantas y para los microorganismos, y se puede determinar en el extracto de saturación por medio de espectrofotometría de adsorción atómica en la solución.

▪ **pH del suelo**

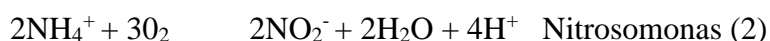
La incorporación de MO al suelo a través de los efluentes produce disminución de pH por distintas razones, dependiendo de la composición del agua residual agregada. Aún en medios aeróbicos, si en el agua residual existen azúcares simples o alcoholes, se producen en el suelo gran cantidad de ácidos orgánicos que provoca una disminución del pH, nitrificación y presencia de CO_2 (Hayes, 1990).

Según se cita en (Espinosa J., 1999) la degradación de las aguas con alto contenido de carbono orgánico soluble a partir de los microorganismos presentes en el suelo, inmediatamente incrementa la emisión de CO_2 , el cual desplaza produce una baja de las concentraciones de oxígeno en el suelo. El CO_2 fácilmente se transforma en bicarbonato (HCO_3^-), según como se muestra en la reacción (1)



La MO contiene también grupos carboxílicos y fenólicos activos que se disocian liberando iones H^+ en la solución del suelo, por lo que su aporte contribuye a la acidificación del suelo.

Por otro lado, la nitrificación produce un exceso H^+ que acidifica el suelo, Ec. (2). Este es un proceso natural necesario para transformar el NH_4^+ en NO_3^- en su nutrición. Estas reacciones solo son posibles en medios aeróbicos, debido al consumo de oxígeno, es un proceso natural en la etapa de mineralización de la MO, una de las principales causas de la acidificación de los suelos (Espinosa J., 1999)



El pH influye en las propiedades físicas y químicas del suelo. Las propiedades físicas resultan más estables a pH neutro. A pH muy ácido hay una intensa alteración de minerales y la estructura se vuelve inestable. A pH alcalino, las arcillas se dispersan, se

destruye la estructura y existen malas condiciones desde el punto de vista físico (Porta Casanellas, 1999).

Para la determinación del pH del suelo, se utiliza un pH-metro y se mide a partir de la muestra secada al aire o a 30°C, a la que luego se le añade agua manteniendo una relación suelo-agua de 1:2,5 y transcurrido un tiempo de una hora aproximadamente, a partir del cual se logra el equilibrio iónico.

▪ **Potencial Redox**

El potencial redox, es una medida de la presión (o disponibilidad) de electrones en una solución. Esta medida es usada para cuantificar el grado de reducción u oxidación electroquímica del suelo (López Rosas, 2009.). El potencial redox del suelo afecta el estado de oxidación o reducción de los elementos químicos presentes y se ve influenciado por la aireación en el suelo, pH y la presencia de agentes oxidantes (EPA, 2006). Mayor potencial implica elementos en estado de oxidación mayor, mientras que a menores potenciales los elementos químicos del suelo están en estado reducido. La presencia de oxígeno en el suelo induce a procesos de oxidación y por ello al aumento del potencial redox. La MO por el contrario tiene un fuerte efecto reductor y sumado a la alta actividad de los microorganismos que consumen rápidamente el oxígeno presente en el suelo, se generan condiciones de bajo potencial redox. Amaral-Sobrinho et. al., en 1983, según (Quadro, 2011) afirman que la aplicación de residuos orgánicos con elevada DBO, pueden causar una reducción de la presión parcial del O₂ del aire del suelo y consecuentemente una reducción del potencial redox del suelo.

En la medida que disminuye la concentración de oxígeno en el suelo, comienzan a aparecer organismos anaeróbicos que para degradar la MO emplean otros elementos como aceptores de electrones para su respiración: el nitrógeno (induciendo la desnitrificación), luego emplean el manganeso (Mn) y el hierro (Fe), formando Mn⁺² y Fe⁺². Continuando en estas condiciones se produce la reducción del anión sulfato SO₄⁼ a anión sulfuro S⁼, que puede combinarse y producir sulfuro de hidrógeno (generando olores desagradables) o combinarse con el catión ferroso para generar sulfuro de hierro (FeS) que precipita causando ennegrecimiento local del suelo (Ávila, 1986)

Por lo tanto, en condiciones de bajo potencial redox, se genera la pérdida de nutrientes esenciales (nitrógeno, manganeso, hierro y azufre) para la planta y genera condiciones anóxicas que dificultan la respiración radicular de la planta, provocando la pérdida de las aptitudes agrícolas de los suelos.

CONCLUSIONES

Luego de haber realizado la búsqueda de antecedentes sobre regulaciones para el contenido orgánico de los efluentes industriales en riego, se puede decir que principalmente existen guías que recomiendan cargas orgánicas expresadas como Kg DBO/ha. día, las que por lo general fijan valores entre 100 y 500 Kg/ha.día. En cuanto a problemas detectados en los suelos se ha podido corroborar que no existe un buen manejo de estos efluentes en la región, y que por tal motivo es aconsejable establecer al menos valores guía para la provincia de Mendoza, a modo de evitar problemas de afectación a suelos, e incluso afectación al agua subterránea. Para establecer un valor guía se considera que deben realizarse estudios locales sobre algún indicador de impacto, entre los que se citan como más representativos, la infiltración del suelo, pH del suelo, disponibilidad de nutrientes y potencial redox del suelo.

REFERENCIAS

- Ávila, J. &. (1986). *Más allá de la herrumbre II. La lucha contra la corrosión*.
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/masalla2>
- Calderón, A. D. (2003). Comportamiento de Eucaliptus sp en Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, 35; 45-52.
- Conti, M. (2000). Materia orgánica del suelo. En F. d. Agronomía, *Principios de Edafología*. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Agronomía.
- Darrell, V. (2001). Organic Loading Rates. Washington, USA.
- DGI. (s.f.). <http://www.colectorpescara.com.ar>.
- EPA. (2006). *EPA/625/R-06/016 - Process Design Manual - Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents*. United State.
- Espinosa J., M. E. (1999). *Acidez y encalado de suelos*.
- Guy, J. L. (2011). *Treated Wastewater in Agriculture. Use and impacts on the soil environment and crops*. Oxford.UK.
- Hayes, A. R. (1990). *Irrigation of Turfgrass with Secondary Sewage Effluent: I. Soil and Leachate Water Quality*.
- IDITS. (2005). *Estudio de la industria en los departamentos de la provincia de Mendoza*. Mendoza.
- López Rosas, H. y. (2009.). Medición del potencial redox del suelo y construcción de electrodos de platino. En *Breviario para Describir, Observar y Manejar Humedales. Serie Costa Sustentable* (págs. 131-138). P. Moreno-Casasola y B. Warner (Eds.).
- Morábito, J. ., (s.f.). NECESIDADES DE RIEGO EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL RIO MENDOZA. Mendoza, Argentina.
- Obras Sanitarias Mendoza. (2010). *Informe Auditoria* .
- Perez Valenzuela, B. R. (1999). *Edafología en la agricultura regadía cuyana*. Mendoza: FUNDAR.
- Porta Casanellas, e. a. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Barcelona.
- Quadro, M. S. (2011). Biomassa e atividade microbiana em solo acrecido de dejetos suíno. *Current Agricultural Science and Technology*, 17.
- Rauek, T. (2016). *Curso sobre tratamiento de efluentes líquidos industriales*. Mendoza.
- Sarandón, S. J. (2006). Evaluación de la sustentabilidad del manejo del suelo en agroecosistemas de la provincia de La Pampa, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Brasileira de Agroecología*, Vol. 1 N°1.
- Ushñahua, L. (2004). Valoración de las aguas residuales en Israel: Consideraciones a tomar en cuenta para la gestión del agua en Perú. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, Vol 7, N.º 13, 64-72.

IMPLICANCIAS SISTEMÁTICAS Y BIOGEOGRÁFICAS DE TRILOBITES (*Athabaskia anax*, CAMBRICO DE PRECORDILLERA, MENDOZA, ARGENTINA) SEGÚN EL TIPO DE FOSILIZACIÓN

Bordonaro, Osvaldo L. ^a, D'Angelo, José A. ^{a, b} y Camí, Gerardo ^c

^a IANIGLA, CCT-CONICET-Mendoza, ARGENTINA.

^b Área de Química, FCEN, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, ARGENTINA

^c Área de Química General e Inorgánica, Departamento de Química Física, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas, UNR, ARGENTINA.

e-mail: obordona@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

En este trabajo se analizan 4 muestras de caparazones (pigidios) de Athabaskia anax (Trilobita) provenientes del Cámbrico Medio de San Isidro (Precordillera de Mendoza, Argentina) que tienen diferentes tipos de composición química y mineralógica, pero que proceden del mismo nivel estratigráfico en areniscas calcáreas de grano fino. Las muestras se estudiaron utilizando Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) y Microscopía Electrónica de Barrido acoplada con Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X dispersiva en Energía (SEM-EDX). Los espectros de FTIR indicaron la ausencia de materia orgánica en las muestras. Los datos de SEM-EDX fueron evaluados utilizando análisis de componentes principales (PCA) para estudiar los agrupamientos formados según las composiciones químicas de las muestras. El modelo de PCA obtenido muestra claramente la presencia de cuatro grupos basados principalmente en los diferentes contenidos de calcio, aluminio, potasio, silicio y magnesio. Cada uno de estos "grupos químicos" está relacionado con diferencias morfológicas en los caparazones. Estos resultados indican que durante los diferentes procesos de fosilización y diagénesis se producen cambios químicos y morfológicos considerables, que no representan morfologías diferentes de los caparazones originales sino que se deben a los procesos de fosilización. En consecuencia la creación indiscriminada de (morfo) especies sustenta una errónea base de datos de biodiversidad fósil y por lo tanto puede ser utilizada en favor o en contra de los modelos de distribución biogeográfica. Tal es el caso del Terrane Cuyania (con Precordillera incluida) que ha sido interpretado como autóctona a Gondwana o alóctona de Laurentia.

Palabras claves: Trilobites, Cámbrico, Fosilización, Biogeografía, Precordillera

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Athabaskia anax (Walcott, 1916) fue reconocida en rocas cámbricas de la Precordillera de Mendoza como una especie de Trilobita del paleocontinente Laurentia, que posee amplia variabilidad morfológica y que está integrada por cinco diferentes taxones. Los nombres de esos taxones hoy sinonimizados son *Clavaspidella digesta* Leanza, 1947; *Mendospidella asperoensis* Rusconi, 1952; *Mendospidella quebradensis* Rusconi, 1952; *Clavaspidella asperoensis* Rusconi, 1952 y *Chilonorria lasherensis* Rusconi, 1952. Todas estas “especies” fueron creadas con metodologías paleontológicas de tendencias “separadoras” (*splitters*), basadas en el concepto de que cualquier variación morfológica es considerada de importancia sistemática. La tendencia separadora no tiene en cuenta (i) la variabilidad intraespecífica, (ii) los factores de conservación (diagénesis) y (iii) la composición química y mineralógica de los ejemplares.

Siguiendo un criterio paleontológico agrupador (*lumper*) donde se tiene en cuenta la variabilidad morfológica intraespecífica; Bordonaro (2014) hizo una nueva diagnosis de *Athabaskia anax* (ver Fig. 1), donde actualizó y unificó las características morfológicas y consideró a los nombres de esas 5 “especies” mendocinas como sinónimos. Esto fue basado en la revisión de todos los ejemplares coleccionados por Rusconi y nuevos ejemplares (350) procedentes de los mismos niveles estratigráficos y con diferentes grados de conservación y diferentes tipos de mineralización. Se pudo observar que todo el material estudiado poseía el mismo rango de variabilidad morfológica que justificaba la asignación a una única especie.

En este trabajo se aporta una evidencia química y mineralógica que indica que algunas variaciones morfológicas de los caparazones de estos trilobites dependen del modo de conservación y tipo de mineralización que poseen.

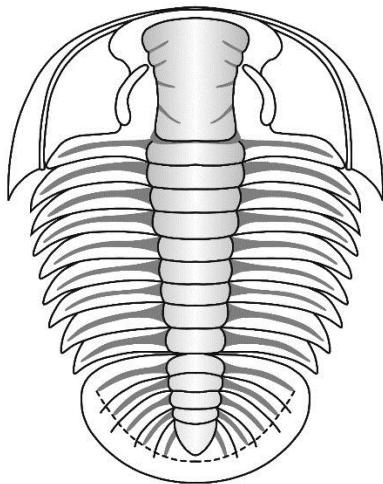


Figura 1.

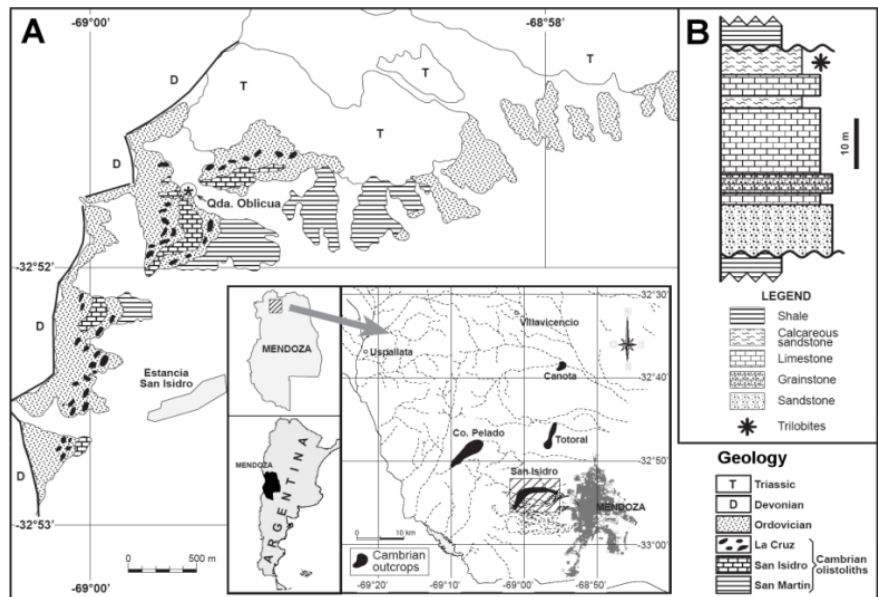


Figura 2.

Figura 1. Reconstrucción de *Athabaskia anax*.

Figura 2. Ubicación geográfica y geológica de los fósiles estudiados

UBICACIÓN Y MATERIALES

Las muestras estudiadas en este trabajo proceden de un único nivel estratigráfico de areniscas finas calcáreas laminadas que afloran en la quebrada Oblicua situada al Norte de la Estancia San Isidro, flanco oriental de la Precordillera de Mendoza, al oeste de la ciudad capital (ver Fig. 2). Dicho nivel está incluido dentro del olistolito San Isidro (sensu Bordonaro, 2014) que está resedimentado en las lutitas negras de la Formación Empozada (Ordovícicas) (ver Fig. 2, A). La edad del olistolito, evidenciada por la fauna de trilobites que posee; está dentro del Cámbrico Medio, Marjumiense, Zona de *Oryctocephalus* según el esquema cronoestratigráfico tradicional de Laurentia, o bien a la Serie 3, Piso 5 del Sistema Cámbrico Internacional.

Para realizar este estudio se utilizaron 4 pigidios que a simple vista poseen 4 diferentes tipos de mineralizaciones. Estas muestras son denominadas QO1, QO2, QO3, y QO4 (ver Fig. 3).

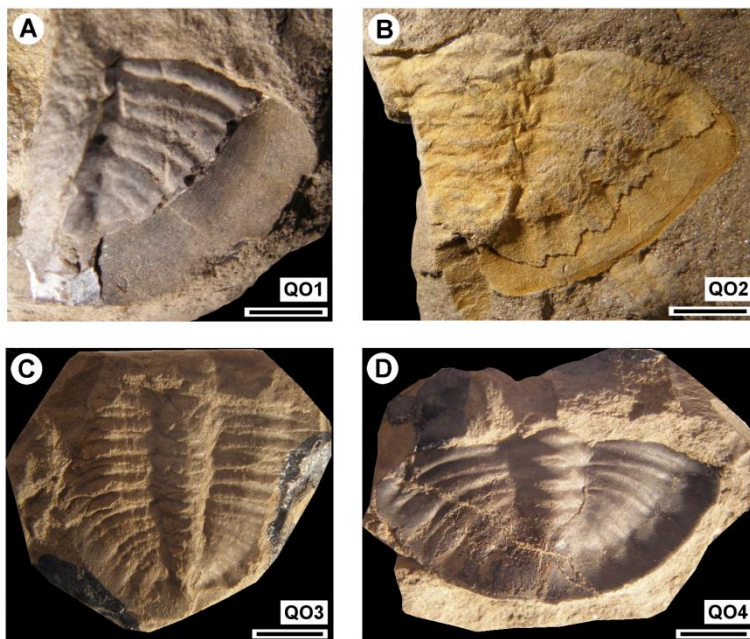


Figura 3: Fotos de los 4 ejemplares estudiados (A: QO1, B: QO2, C: QO3 y D: QO4).

Figura 3.

RESULTADOS QUÍMICOS

Se sabe que la conservación de los caparazones de trilobites es un proceso controlado por varios factores físico-geoquímicos como las elevadas presiones y temperaturas pero principalmente el pH (acidez), la cual determina la disponibilidad de especies minerales (Wilmot and Fallick, 1989). Las diferencias en la preservación química de los exoesqueletos de trilobites presentes en un mismo nivel estratigráfico es algo común (e.g., Klug et al., 2009).

Nuestro modelo multivariado (análisis de componentes principales; PCA) sugiere que la variabilidad química de las muestras de pigidios implica un proceso de preservación que procede a lo largo de un continuo multidimensional.

Las diferencias entre los tipos de fósiles son producto de la posterior diagénesis y meteorización de la mineralización autigénica. La diagénesis posterior siguió rutas tafonómicas distintas y dio lugar a composiciones elementales contrastantes de los cuatro tipos de muestras aquí estudiadas. Entre los posibles constituyentes principales que componen los pigidios, el material carbonoso orgánico, el fosfato de calcio (por ejemplo, apatita) y el sulfuro de hierro (por ejemplo, pirita) (que están ausentes en las muestras estudiadas) son los más susceptibles a la erosión química por hidrólisis.

Los resultados del modelo multivariado (ver Fig. 4) indican una transición desde una composición tipo carbonatos (¿posibles sulfatos?) del caparazón original a una composición basada en silicatos. Concentraciones de Fe de medias a bajas y contenidos de azufre apenas detectables (en todos los tipos de muestras, los resultados no se muestran), podrían estar indicando pseudomorfos de óxidos / hidróxidos de hierro (p. ej., limonita, goethita) formados a partir de pirita.

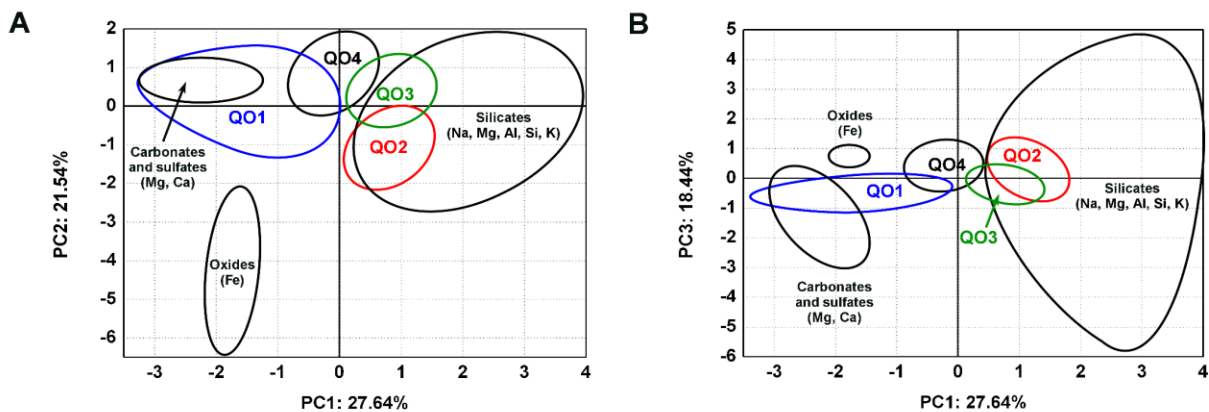


Figura 4: Gráfico simplificado que muestra los resultados del modelo multivariado. **A.** Gráfico de PC 1 vs. PC 2. **B.** Gráfico de PC 1 vs. PC3. En ambos puede verse una transición desde una composición del caparazón tipo carbonatos (¿posibles sulfatos?) (muestra QO1) a una composición basada en silicatos (muestras QO2 y QO3).

Muchos invertebrados paleozoicos usaron calcita baja en Mg ($Mg / Ca < 0.04$), calcita alta en Mg ($Mg / Ca > 0.04$) o aragonita para construir sus cutículas y caparazones (por ejemplo, Zhuravlev y Wood, 2008; Porter, 2010). Hoy en día, existe un consenso generalizado con respecto a la composición química / mineralógica de las cutícula y los caparazones que tenían los trilobites en vida. Se considera que la mayoría eran construidas únicamente a partir de calcita baja en Mg. Esto se basa en dos resultados experimentales que caracterizan las cutículas de calcita bajas en Mg: (i) la buena conservación de las microestructuras finamente cristalinas y (ii) los resultados de los análisis químicos e isotópicos, que son inconsistentes con la presencia anterior de calcita alta en Mg o aragonita (diagenéticamente inestable) (ej. Wilmot y Fallick, 1989).

La Fig. 5 es un esquema que muestra los detalles morfológicos principales, una forma generalizada y geométrica del contorno de pigidio con indicación del tipo de mineralización asociado y las proporciones de Mg / Ca.

Teniendo en cuenta las proporciones de Mg / Ca obtenidas para los cuatro tipos de muestra, las muestras de QO1 y QO4 son, con mucho, los pigidios mejor conservados. Tienen las cantidades más bajas de Mg, es decir, una composición de calcita relativamente baja en Mg. Estos resultados sugieren que las muestras QO1 y QO4 han sufrido una alteración diagenética relativamente menor. En otras palabras, las composiciones química y mineralógica de las muestras de pigidio QO1 y QO4 son similares a la del exoesqueleto de pigidio del organismo que una vez estuvo vivo y, en consecuencia, son las que menores deformaciones han sufrido.

IMPLICANCIAS SISTEMÁTICAS

Las diferencias morfológicas argumentadas para justificar las 5 “especies” que integran la sinonimia de *Athabaskia anax*, según una metodología separadora, se basaron principalmente en los pigidios, las que se sintetizan a continuación:

A - diferencias en la profundidad de los surcos axiales pigidiales, ausencia de surcos intepleurales, (*Mendospidella asperoensis* Rusconi, 1952, págs.. 75 y 76, lámina 1, fig.2 y *Mendospidella quebradensis* Rusconi, 1952, págs.. 76-80, lámina 1, figs. 3 y 4; y lámina 4, figs. 4 y 5).

B -el tamaño, convexidad o aplanamiento del borde marginal del pigidio, con presencia o ausencia de surco marginal, o la extensión de los surcos pleurales dentro del borde marginal o no (*Clavaspidella digesta* Leanza, 1947, págs. 228-230, lámina 1, figs. 5,7,12 y 17) o el menor ancho del borde marginal (*Chilonorria lasherensis* Rusconi, 1952, página 109, lámina 2, fig.3).

C – la mayor o menor convexidad y ancho del axis y la presencia o no de una cresta postaxial que une la pieza terminal con el borde marginal (*Clavaspidella asperoensis* Rusconi, 1952, pág. 108-109, lámina 2, fig.2; *Clavaspidella digesta* Leanza, 1947, lámina I, fig. 17).

D – forma del contorno del pigidio y cantidad de segmentos axiales en el pigidio (*Clavaspidella asperoensis* Rusconi, pág. 108, lámina II, fig. 2; *Chilonorria lasherensis* Rusconi, 1952, pág. 109, lámina II, fig. 3).

Los resultados de este estudio indican que hay una relación directa entre el tipo de mineralización de cada ejemplar y ciertos detalles de las morfologías. Esas diferencias se enumeran a continuación (ver Fig. 5).

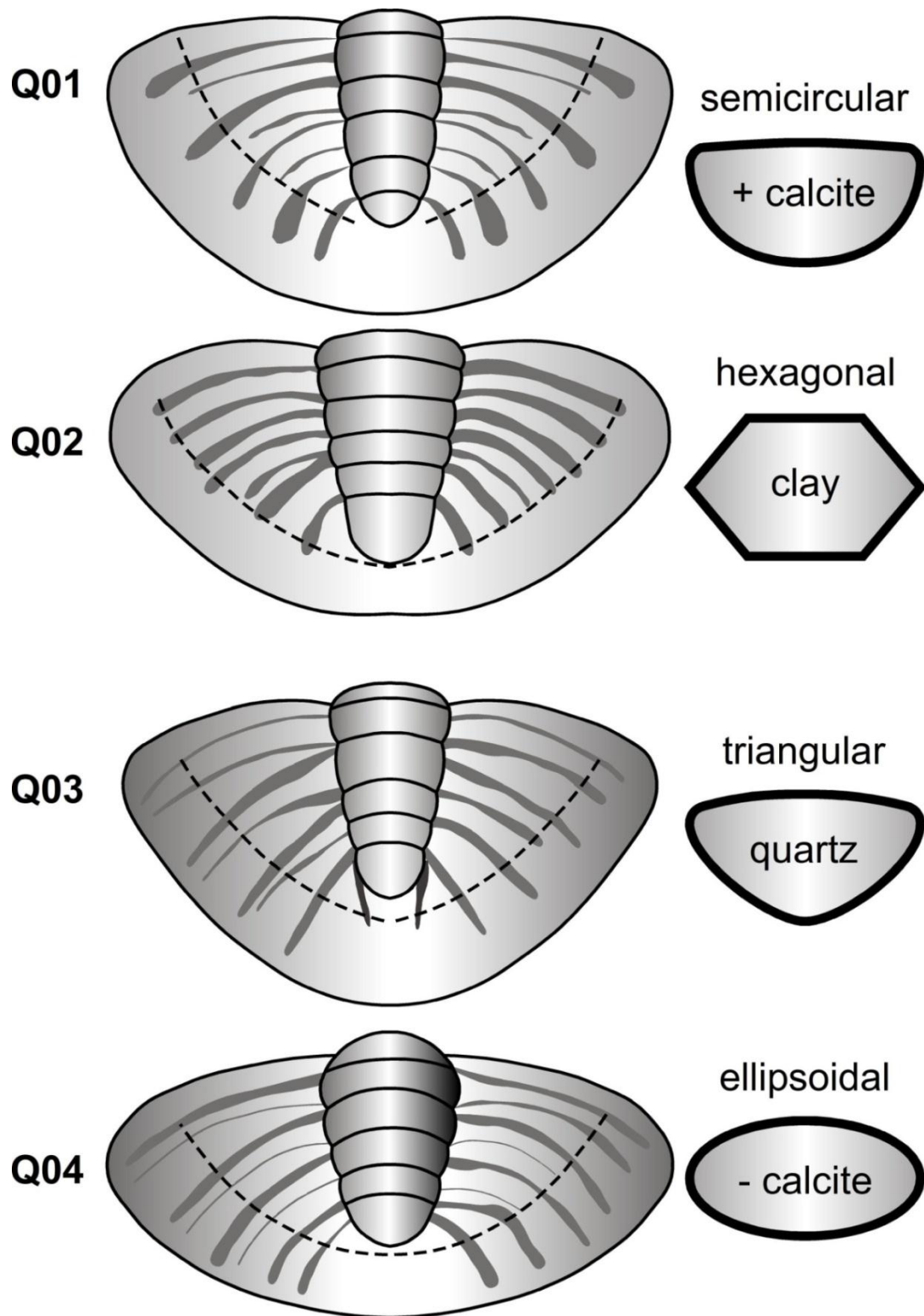


Figura 5: Morfologías de las 4 muestras estudiadas en relación con el tipo de mineralización que poseen.

QO 1: pigidio de contorno semicircular bien convexo (globoso), con un borde marginal ancho, bien convexo y liso, con surcos pleurales e interpleurales bien profundos que llegan a extenderse dentro del borde marginal. Este ejemplar fue clasificado como *Mendospidella quebradensis* por Rusconi (1952).

QO 2: pigidio de contorno sub- hexagonal, poco convexo, con un borde marginal ancho y levemente convexo, con surcos pleurales e interpleurales someros que no llegan a extenderse dentro del borde marginal. Este ejemplar fue clasificado como *Clvaspidella digesta* por Leanza (1947).

QO 3: pigidio de contorno sub-triangular, poco convexo, con un borde marginal ancho y levemente convexo, con surcos pleurales e interpleurales difusos que apenas se extienden dentro del borde marginal. Con una cresta post-axial poco marcada que une la pieza terminal con el borde marginal. Este ejemplar fue clasificado como *Chilonorria lasherensis* por Rusconi (1952).

QO 4: pigidio de contorno sub-elíptico, poco convexo, con un borde marginal ancho y bien convexo, con surcos pleurales e interpleurales profundos que se extienden totalmente dentro del borde marginal. Este ejemplar fue clasificado como *Mendospidella asperoesnsis* por Rusconi (1952).

RESULTADOS MORFOLÓGICOS OBTENIDOS

El tipo de mineralización de los ejemplares de pigidios de trilobites *Athabaskia anax* aquí analizados modifica los caparazones del organismo en ciertos rasgos morfológicos a saber (ver Figs. 3 y 5):

- 1- Borra, atenúa, o resalta el largo y profundidad de los surcos pleurales.
- 2- Borra (ausencia), atenúa o resalta (presencia) el surco marginal.
- 3- Aumenta o disminuye la convexidad del caparazón o de bordes o del axis
- 4- Modifica la forma del contorno externo variando entre semicircular, hexagonal, triangular y elipsoidal.

Además, el tipo de mineralización también puede favorecer o resistir a la deformación por aplastamiento. Se observan diferentes grados de aplastamiento en los cuatro ejemplare analizados (ver Fig. 5):

QO1 es el menos aplastado (mas convexo) que tiene una mineralización mayor de calcio. Su composición elemental se asemeja más a la de la calcita.

QO4 tiene un aplastamiento intermedio (medianamente convexo) que tiene menos cantidad de calcio. Su composición elemental se asemeja más a la de la dolomita (va perdiendo Ca).

QO3 tiene un aplastamiento más marcado (algo convexo) ya que es un molde de composición silíceo (está bien cerca del Si).

QO2 tiene mayor aplastamiento (poco convexo) que tiene una mineralización de arcillas (está lejos del sílice y cerca de las arcillas).

IMPLICANCIAS BIOGEOGRÁFICAS

La plataforma carbonática cámbrica de la Precordillera de Argentina ha sido considerada tanto como un Terrane proveniente de Laurentia (Benedetto, 1993; Thomas y Astini, 1996), como un Terrane autóctono a Gondwana (Bordonaro, 1990), o parautóctono a Gondwana (Aceñolaza y Toselli, 2000; Finney, 2007). Estos tres modelos tan diferentes están basados principalmente en la afinidad biogeográfica de los trilobites, como también en características geológicas, estratigráficas, geotectónicas y paleomagnéticas. Entre los argumentos paleontológicos se destacaba el hecho de que todos los géneros de trilobites de la Precordillera eran laurénticos, aunque todas las especies eran endémicas de la precordillera (Bordonaro, 1990). Esas especies precordilleranas daban fundamentos a los dos modelos autóctono y parautóctono, donde se interpretaba que existía una dispersión por larvas a través de corrientes oceánicas que las transportaban desde Laurentia hasta Gondwana, generando en consecuencia una especiación alopátrida de los géneros laurénticos ancestrales al llegar a la Precordillera. En el modelo alóctono, se interpretaba que la total afinidad lauréntica de los géneros indicaba una conexión muy estrecha y cercana con Laurentia, aunque no se explicaba por qué en Precordillera no había especies laurénticas. Esta contradicción en la biodiversidad fósil de los trilobites de la Precordillera evidenció que la real asignación de las “especies precordilleranas” debía ser un tema crucial para definir esta controversia.

Actualmente, y luego de algunas revisiones sistemáticas de aquellas especies “supuestamente precordilleranas”, se está reconociendo que la mayoría de las especies de trilobites cámbricos de la Precordillera son laurénticas (Bordonaro et al, 2013, Bordonaro, 2014). Con este nuevo panorama biogeográfico adquiere mayor fundamento el modelo de un Terrane de Precordillera (como parte integrante del Terrane Cuyania *sensu* Ramos, 1995) unido física y ambientalmente a Laurentia para explicar cómo las especies endémicas laurénticas pudieron difundirse (*sensu* Contreras M

edina et al., 2001) libremente en un mismo ambiente sin tener que atravesar barreras oceánicas (Bordonaro, 2016). (Ver Fig. 6).

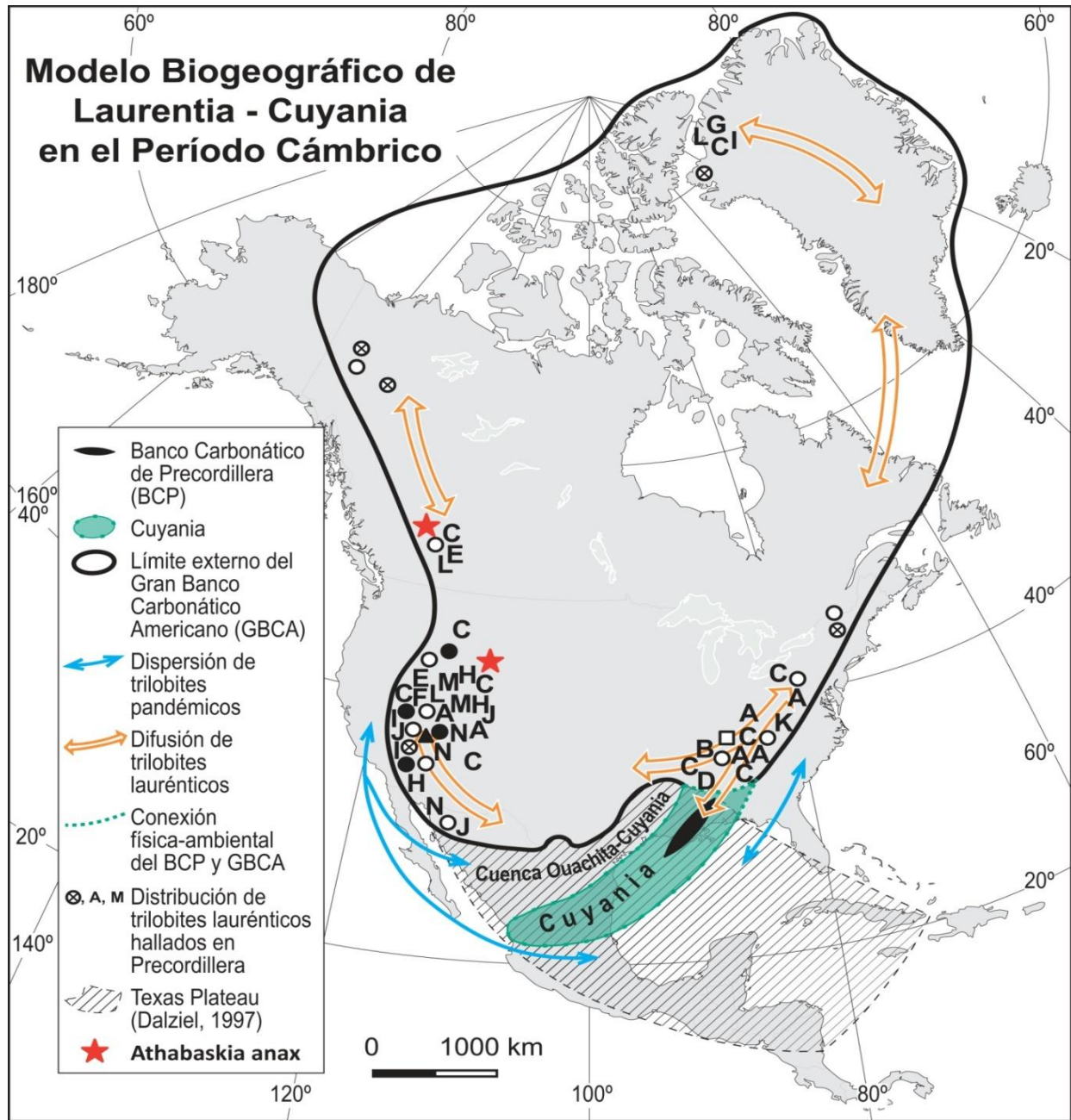


Figura 6. Modelo biogeográfico del continente Laurentia durante el Período Cámbrico con la ubicación del Terrane Cuyania (que incluye al Banco Carbonático de Precordillera) unido física y ambientalmente en el sector sudeste. Se destaca la distribución de todos los trilobites hallados en la Precordillera (incluida *Athabaskia anax*) que están difundidos dentro del Gran Banco Carbonático Americano (Tomado de Bordonaro, 2016).

CONCLUSIÓN

En esta publicación se aporta un criterio químico relacionado al tipo de mineralización de caparazones de trilobites. El mismo da fundamentos al concepto de que durante los diferentes procesos de fosilización y diagénesis que sufre un fósil se generan ciertos cambios morfológicos considerables. Dichos cambios son propios de los procesos de fosilización post - mortem y no representan morfologías diferentes de la población original. En consecuencia, considerar que las diferencias morfológicas mencionadas tienen valor diagnóstico (modalidad paleontológica separadora) conlleva a la creación de especies inexistentes. Estas especies irreales pasan a integrar una base de datos de biodiversidad fósil de una región que es luego utilizada en favor o en contra de modelos de distribución biogeográfica que justifican la proveniencia de Terranes. En la actualidad se conoce que la biodiversidad fósil de trilobites cámbricos del Banco Carbonático de la Precordillera, que está incluido en el Terrane Cuyania, posee especies de trilobites netamente laurénticos como *Athabaskia anax* entre otras. Estos tipos de especies bentónicas y endémicas de un paleocontinente isla, como lo era Laurentia, son imposible explicar por dispersión biogeográfica ya que son especies que nunca pudieron salir de Laurentia (ver Fig. 6). Por lo tanto nunca habrían podido atravesar barreras oceánicas y llegar a colonizar la Precordillera (o Cuyania) si ésta hubiera estado alejada de Laurentia o en otro paleocontinente como Gondwana.

Una explicación moderna y acorde con las nuevas evidencias es que estas especies laurénticas llegaron por difusión biogeográfica hasta el Terrane Precordillera que estaba unido física y ambientalmente a Laurentia (ver Fig. 6). Con este nuevo modelo biogeográfico del Período Cámbrico, es posible entender como las especies de trilobites bentónicas y endémicas de Laurentia podían difundirse libremente desde los lugares de alta densidad como era el Gran Banco Carbonático Americano hacia los lugares de baja densidad como era el Banco Carbonático de Precordillera, sin tener que atravesar barreras físicas o ecológicas. De esta manera, este modelo también explica el bajo porcentaje de especies laurénticas que tiene Precordillera con respecto a su centro de origen que es Laurentia.

REFERENCIAS

- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A.J. Argentine Precordillera: allochthonous or autochthonous gondwanic?. *Zentralblatt fur Geologie und Palaontologie Teil 1*, 743-756 (2000).
- Benedetto, J.L. La hipótesis de la aloctonía de la Precordillera: un test estratigráfico y biogeográfico. *12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Actas 3, 375-384, Mendoza (1993).
- Bordonaro, O.L. Biogeografía de trilobites cámbricos en la Precordillera argentina. *5° Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, Actas 1, 25-30, Tucumán (1990).

- Bordonaro, O.L. Nuevos datos sobre *Athabaskia anax* (Walcott, 1916) (Trilobita, Corynexochida) del Cámbrico Medio de la Precordillera de Mendoza, Argentina. *Boletín Geológico y Minero* 125 (4), 561-571 (2014).
- Bordonaro, O. L. Trilobites laurénticos de la Formación La Laja (Cámbrico), Precordillera de San Juan, Argentina: un aporte biogeográfico al modelo alóctono de Precordillera. *Revista Asociación Geológica Argentina* 73 (4), 457-467 (2016).
- Bordonaro, O.L., Pratt, B.R. y Robledo, V. Systematic, morphometric and palaeobiogeographic study of *Blainia gregaria* Walcott, 1916 (Trilobita, Ptychopariida), Middle Cambrian of the Precordillera of western Argentina. *Geological Journal* 48, 126-141 (2013).
- Contreras Medina, R., Luna Vega, I. y Morrone, J.J. Conceptos biogeográficos. *Revista Elementos, Ciencia y Cultura* 41, 33-40 (2001).
- Finney, S.C. The parautochthonous Gondwanan origin of the Cuyania (greater Precordillera) terrane of Argentina: A re-evaluation of evidence used to support an allochthonous Laurentian origin. *Geologica Acta* 5 (2), 127-158 (2007).
- Klug, C., Schulz, H. and De Baets, K. Red Devonian trilobites with green eyes from Morocco and the silicification of the trilobite exoskeleton: *Acta Palaeontologica Polonica*, v. 54, 117-123 (2009).
- Leanza, A.F. El Cámbrico Medio de Mendoza. *Revista Museo La Plata*, nueva serie, vol. 3, 223-235 (1947).
- Porter, S.M. Calcite and aragonite seas and the de novo acquisition of carbonate skeletons: *Geobiology*, v. 8, 256-277 (2010).
- Ramos, V. A. Sudamérica: un mosaico de continentes y océanos. *Ciencia Hoy* 6 (32), 24-29 (1995).
- Rusconi, C. Fósiles cámbricos del cerro Áspero, Mendoza. *Revista del Museo de Historia Natural de Mendoza*, 6, 63-122 (1952).
- Thomas, W.A. y Astini, R.A. The Argentine Precordillera: A traveler from the Ouachita embayment of North American Laurentia. *Science* 273, 752-757 (1996).
- Walcott, C.D. Cambrian geology and paleontology. 3 (5), Cambrian trilobites. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 64, 303-456 (1916).
- Wilmot, N.V. and Fallick, A.E., Original mineralogy of trilobite exoskeletons. *Palaeontology*, v. 32, 297-304 (1989),
- Zhuravlev, A.Y. and Wood, R.A. Eve of biomineralization: Controls on skeletal mineralogy. *Geology*, v. 36, 923-926 (2008).

HALLAZGO DE INVERTEBRADOS FÓSILES (BRAQUIÓPODOS) EN VALLECITOS, PARQUE PROVINCIAL CORDÓN DEL PLATA, MENDOZA, ARGENTINA

Bordonaro O. ^a Cruces E. ^b Lech R. ^c Mariotti D. ^b y Moyano L. ^b

^aCCT - CONICET-Mendoza; Profesor TeCoNa-IEF, Mendoza. ARGENTINA

^bGuardaparque del Parque Provincial Cordón del Plata, DRNR-Gobierno de Mendoza.
ARGENTINA

^cInstituto Provincial del Agua, Gobierno del Chubut; CCT - CONICET -Cenpat- IPCSH.
ARGENTINA

e-mail: obordona@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

*Como parte de tareas de reconocimiento geológico y capacitación de guardaparques del Parque Provincial Cordón del Plata en Cordillera Frontal (Área Natural Protegida de la Provincia de Mendoza, ley 8.308/11) se ubicó un importante yacimiento paleontológico a unos pocos kilómetros al norte de la localidad de Vallecitos, sobre el flanco occidental del Cerro Arenales. Los fósiles se hallaron en limolitas negras y areniscas finas grises que pertenecen a la Formación El Plata y se les asigna una edad carbonífera superior. Pertenecen al Filo Brachiópoda, Subfilo Linguliforme (Inarticulata), Clase Lingulata, Orden Lingulida, Familia Discinidae. Un grupo de ellos es asignable a *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech, en tanto que un segundo grupo se trataría de una nueva especie aún no formalizada y asignable al mismo género anterior. Actualmente, *Oehlertella annae* es una especie monotípica del Neopaleozoico de Argentina, con una distribución estratigráfica en rocas de origen marino del Moscoviense-Cisuraliense (Carbonífero superior– Pérmico inferior) de las provincias de Mendoza y Chubut. Con este hallazgo se aporta un nuevo elemento patrimonial de conservación a la Reserva Cordón del Plata y una evidencia fundamental para reconstruir la historia geológica de esta región que datan de finales de la Era Paleozoica cuando la zona estaba inundada por un océano paleo-pacífico y no existía aún la Cordillera de Los Andes.*

Palabras Claves: Braquiópodos, Carbonífero, Vallecitos, Cordón del Plata, Mendoza

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Como parte de tareas de reconocimiento geológico y capacitación de guardaparques del Parque Provincial Cordón del Plata en Cordillera Frontal (Área Natural Protegida de la Provincia de Mendoza, ley 8.308/11) se ubicó un importante yacimiento paleontológico a unos pocos kilómetros al norte de la localidad de Vallecitos, sobre el flanco occidental del Cerro Arenales (ver Fig.1).

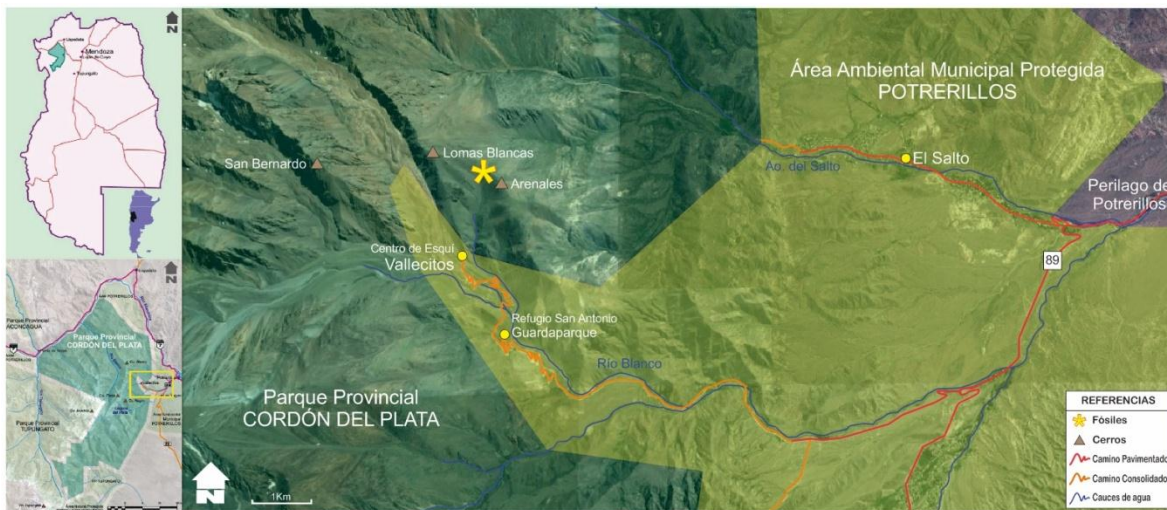


Figura 1: Ubicación de los fósiles hallados en el Parque Provincial Cordón del Plata.

Existen antecedentes bibliográficos de la presencia de fósiles marinos en la zona. Caminos (1965) fue el primero en hacer mención de la presencia de restos fosilizados de braquiópodos y bivalvos en la Formación El Plata, aflorante cerca del Portezuelo Hondo al Norte del Cordón del Plata. Las asignaciones sistemáticas de aquellos fósiles fueron hechas por Regina Levy quien los clasificó como: *Orbiculoidea* sp. *Chonetes* sp. *Posidonia* cf. *P. becheri* Bronn (1828) y *Posidonia* cf. *P. laterugata* de Koninck (1885), determinando que la edad de los fósiles se ubicaba dentro del Carbonífero, finales de la Era Paleozoica. Amos (1979) también hace mención a los mismos materiales fósiles hallados en la localidad de Vallecitos aunque les asigna una edad Pérmica inferior. Otros autores como Folguera *et al.* (2004) y Heredia *et al.* (2012) trabajaron la misma zona sin hacer mención del hallazgo de fósiles algunos.

GEOLOGÍA

La unidad estratigráfica donde se hallaron los fósiles es conocida como Formación El Plata (Caminos, 1965). Aflora sobre la vertiente oriental y las cumbres del Cordón del Plata y continúa hacia el Sur en el Cordón de Santa Clara. Se apoya en discordancia angular sobre el Complejo metamórfico Precámbrico-Paleozoico y está cubierta discordantemente por las vulcanitas del Grupo Choiyoi de edad pérmica-triásica (ver Fig. 2).

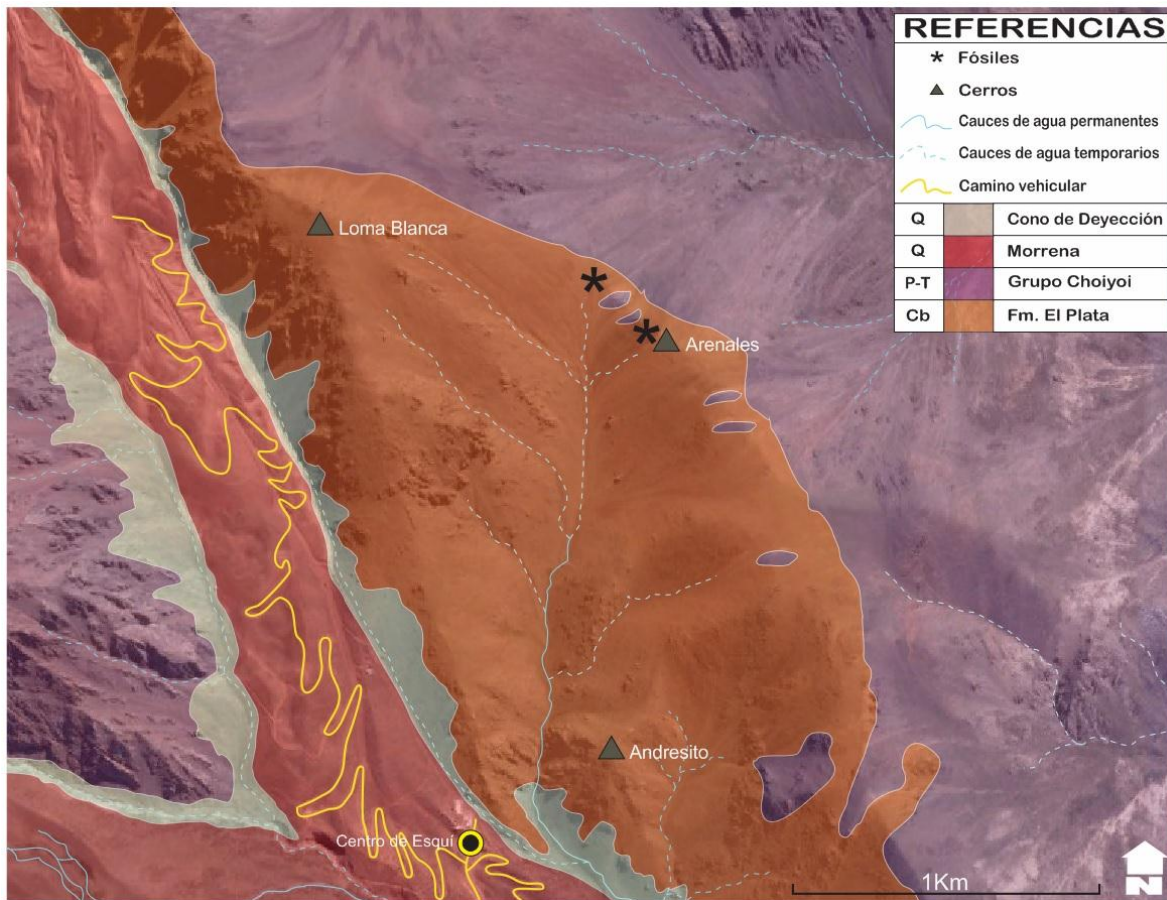


Figura 2: Mapa geológico de la zona de hallazgo de fósiles entre el Centro de Esquí Vallecitos y el Cerro Arenales.

En la zona de estudio la Formación El Plata presenta una estructura homoclinal con inclinaciones de alto ángulo hacia el Oeste y rumbo general Noroeste-Noreste. El espesor total de esta unidad es de 7.000 m (Folguera *et al.* 2004) y se desarrolló en un medio sedimentario de escasa energía en una cuenca marina profunda y de rápido hundimiento (Caminos, 1965) a un ambiente submarino profundo caracterizado por facies turbidíticas y vulcanismo submarino (Freije *et al.* 1999).

La Formación El Plata está subdividida en 3 subunidades: (1) Miembro Inferior (200 m): conglomerado basal polimíctico de colores claros, areniscas cuarzosas y feldespáticas de colores claros intercaladas con pelitas moradas y negras. (2) Miembro Medio (1.550 m): grauvacas y subgrauvacas cuarzosas macizas negro grisáceo con lutitas y limolitas negras que hacia el techo se hacen predominantes. Los fósiles se hallan en las limolitas y areniscas oscuras de este miembro; y (3) Miembro superior (4.000 m): areniscas cuarzosas grises oscuras muy compactas intercaladas con lutitas de color negro azulado.

Es común encontrar en la zona de estudio diversas rocas ígneas asociadas a la Formación El Plata. Sobre el faldeo del Cerro Arenal se reconocen cuerpos lenticulares pequeños de gabros y diabasas uralitizados alojados concordantemente (Caminos, 1965). Cerca de Vallecitos se aloja pseudoconcordantemente una basiandesita de color negro verdoso de casi 1 m de espesor con alteración clorítica y óxidos de hierro (Folguera *et al.*, 2004). Freije *et al.* (1999) hallaron en Rincón de los Vallecitos filones capa de hasta 5 m de espesor y cuerpos concordantes basálticos con estructuras en almohadillas (*pillow lavas*) que los interpreta como vulcanismo submarino asociado a la cuenca sedimentaria. También es común observar rocas metamórficas de contacto (*hornfels*) en las cercanías de los contactos con las rocas graníticas del Grupo Choiyoi.

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

La sistemática paleontológica utilizada en este grupo de invertebrados se basa en aquella propuesta por Holmer y Popov (2000).

Clase Lingulata Gorjansky y Popov, 1985

Orden Lingulida Waagen, 1885

Superfamilia Discinoidea Gray, 1840

Familia Discinidae Gray, 1840

Diagnosis (Holmer y Popov, 2000). Valva dorsal con crecimiento holoperisférico, generalmente cónica a subcónica; superficie de la conchilla poslarval en muchas formas fósiles con microhoyuelos; hendidura peduncular de variable desarrollado, posteriormente abierta o cerrada por una estrecha banda de periostraco o listrium; el tubo peduncular puede

estar presente, manto con sistema de canales bifurcados en las especies recientes, pero pobremente conocidos en formas más antiguas; lofóforo del tipo espirólofo o esquizólofo en especies recientes.

Genero *Oehlertella* Hall y Clarke, 1890

Especie tipo. *Discina (Orbiculoidea?) pleurites* Meek, 1875, p. 278; Carbonífero Inferior, Ohio, EUA.

Distribución del género. ¿Silúrico? de Estonia, Devónico-Carbonífero de Libia, Carbonífero de EUA (Holmer y Popov, 2000), y Carbonífero Superior - Pérmico Inferior de Argentina (Lech, 2011).

Diagnosis (Holmer y Popov, 2000). Género poco conocido. Conchilla dorsibiconvexa; valva ventral similar a *Discinisca*, pero con la hendidura peduncular con lados paralelos y el interior de la valva ventral carece de septo medio; ápice valva dorsal submarginal.

Oehlertella annae (Feruglio) Lech

Lámina 1, Fotos 1 a 9

1933-*Estheria draperi* Jones; Piátnitzky, p. 153.

1933-*Orbiculoidea* sp.; Fossa-Mancini, p. 372, figuras 1-3.

1933-*Orbiculoidea annae* Feruglio; p. 22; lámina 1, figuras 10-12.

1979-*Orbiculoidea annae* Feruglio; Amos, p. 71, una figura.

1985-*Oehlertella annae* (Feruglio); Sabbatini y Aguirre, p. 24.

1987-*Orbiculoidea annae* Feruglio; Archangelsky y Lech, p. 188

1990-*Oehlertella annae* (Feruglio); Lech, p. 225, lámina 1, figura 11.

2014-*Oehlertella annae* (Feruglio) Lech, p. 142, Figura 4.

Serie tipo original (Feruglio, 1933). Son cuatro las valvas fósiles sobre los que se basó Feruglio para describir la nueva especie que denominó “*Orbiculoidea annae* n. f.”

[=*Oehlertella annae* (Feruglio) Lech]. Tres de ellas, fueron reproducidas por Lech (2014, Figura 2), como lo fue el ejemplar fósil correspondiente a la figura 12 de la tabla I de Feruglio por Amos (1979: 71) quien la nomina “*Orbiculoidea annae* Feruglio”.

Lectotipo y Paralectotipos. Lech (2014) propone nominar como Lectotipo de *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech al ejemplar ilustrado por Feruglio (1933; Tabla I, Figura 12), y como Paralectotipos a los restantes ejemplares ilustrados por el mismo autor (Tabla I, Figuras 10 y 11), más los ejemplares PIL 13305, PIL 14100 y PIL 14101 descritos por el primer autor.

Localidad tipo. Valle del río Genoa, paraje Aguada Loca, al sur de Bentancourt, Chubut, Argentina.

Distribución geográfica y estratigráfica. Cordón del Plata, Formación El Plata (Caminos, 1965); Cordón Agua del Jagüel, Formación Agua del Jagüel (Harrington, 1971, Limarino *et al.*, 2013), y Quebrada de Santa Elena, Formación Tramojo (Polanski, 1970, Rodríguez, 1966 y Archangelsky y Lech, 1987), provincia de Mendoza. Valle del río Genoa, Formación Río Genoa, provincia del Chubut (Feruglio, 1933).

Diagnosis ampliada (Lech, 2014). Conchilla convexa-plana, subcircular a ligeramente elongada en sentido antero-posterior. Valva ventral con la hendidura peduncular en forma de U, amplia y con paredes laterales casi verticales. La hendidura peduncular corta el margen posterior formando una pequeña muesca. Interior de la valva ventral con un relieve oval rodeando parcialmente al foramen, con una cresta baja y redondeada. Valva dorsal convexa con el ápice submarginal.

Materiales fósiles. Números de Campo A009, B004, B005, B006, B007, B011, B012, B013, B014, y B028. En donde A hace referencia a la localidad fosilífera ubicada al norte, en el Portezuelo Hondo y B a la localidad fosilífera que se ubica al sur, en el flanco del Cerro Arenales (Ver fig. 2). Los materiales se encuentran depositados provisoriamente en el

CCT-CONICET-Mendoza hasta su estudio final para ser resguardados en el repositorio de Invertebrados Fósiles del IANIGLA, CCT-Mendoza.

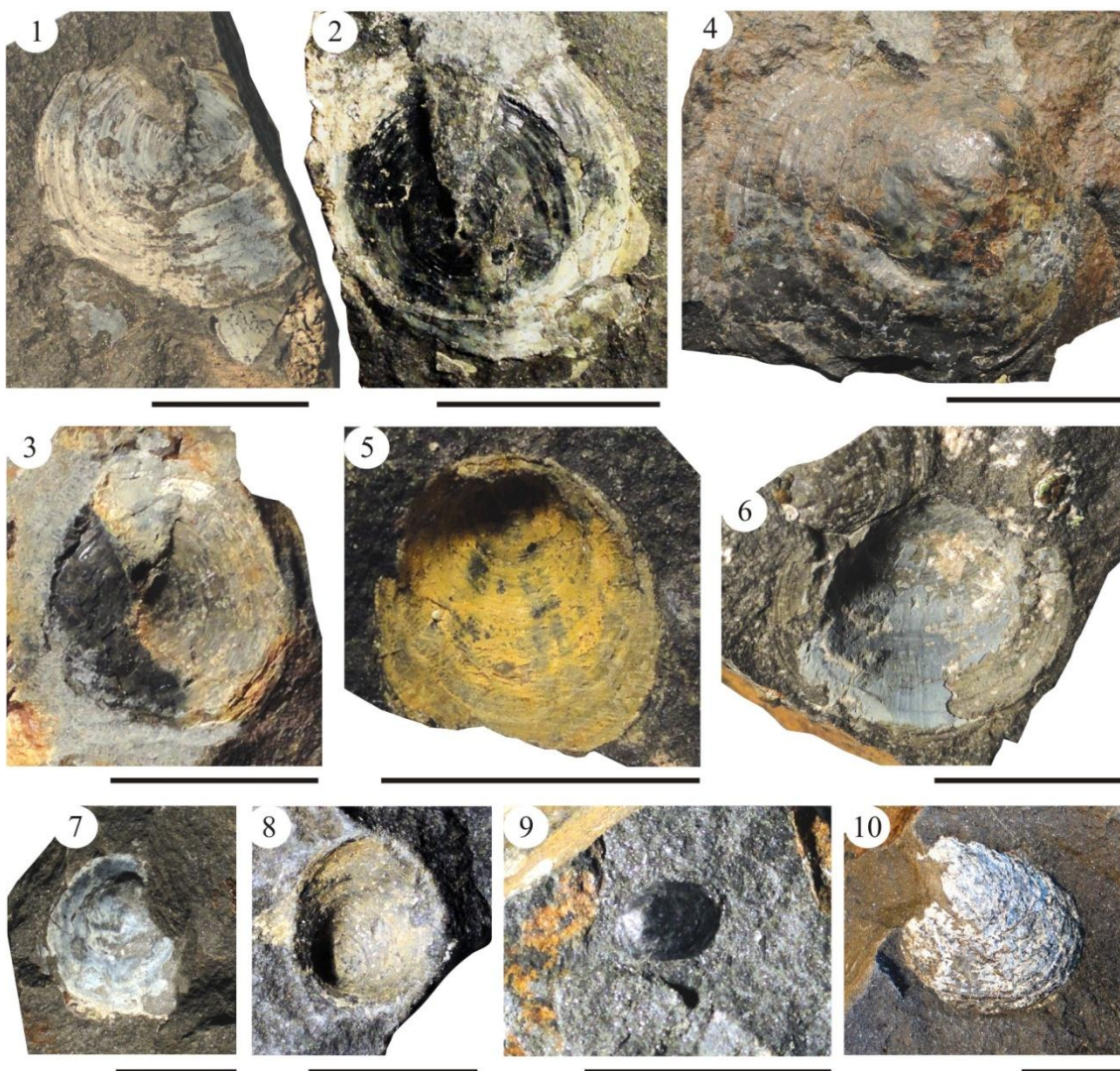
Descripción. Conchilla convexa-plana, subcircular a ligeramente elongada en sentido antero-posterior. La superficie exterior de ambas valvas cubierta por finas líneas de crecimiento y rugosidades concéntricas (6 a 8 rugosidades por cada 5 mm), bien marcadas, bajas y redondeadas.

Valva dorsal convexa. Interior de la valva dorsal desconocido.

La hendidura peduncular pobremente preservada; la hendidura amplia se extiende desde el centro de la conchilla hasta el margen posterior. Interior de la valva ventral escasamente preservado.

Observaciones. *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech es una especie monotípica del Neopaleozoico de Argentina y fácilmente confundible con *Orbiculoidea saltensis* (Reed) Lech con quien puede compartir eventualmente los mismos horizontes estratigráficos. A pesar que *Orbiculoidea saltensis* (Reed) Lech es comúnmente mencionada en rocas del Neopaleozoico de Argentina, su presencia fue confirmada por Lech (2011) únicamente en rocas del Carbonífero Superior de la Precordillera de San Juan y Mendoza, a diferencia de *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech que lo fue tanto en rocas del Carbonífero de la Precordillera como del Pérmico Inferior de Chubut.

Orbiculoidea saltensis (Reed) Lech posee la hendidura peduncular larga y estrecha sin llegar a interrumpir al margen posterior, tiene un contorno valvar ligeramente subtrapezoidal y un perfil de la valva dorsal alto y subcónico. En cambio, en *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech posee la hendidura peduncular amplia, profunda e interrumpe al margen posterior formando una muesca, el contorno valvar es ligeramente elíptico y el perfil de la valva dorsal es convexo con el ápice submarginal.



Lamina 1

Oehlertella annae (Feruglio) Lech: Foto 1. Exterior de la valva ventral parcialmente descortificada (B004), Foto 2. Interior de la valva ventral parcialmente descortificada. (B005), Foto 3. Interior de la valva ventral parcialmente descortificada (B013), Foto 4. Molde interior en negativo y fragmentos de conchilla de la valva dorsal (B012), Fotos 5. Interior de la valva dorsal parcialmente descortificada (B014), Foto 6. Molde en negativo del exterior de la valva dorsal y fragmentos de conchilla parcialmente descortificados (B006), Foto 7. Molde en negativo del interior de la valva dorsal y fragmentos de conchilla parcialmente descortificados (B007), Foto 8. Molde en negativo del exterior de la valva dorsal (B028),Foto 9: Valva dorsal parcialmente descortificada (A009. Prductido ? indeterminado: Foto 10. valva dorsal parcialmente descortificada.

Escala Gráfica: 1 cm.

Edad. Es escasa la bibliografía en la que se hace mención a *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech, como así también en la que se documenta los materiales fósiles de referencia. En la provincia del Chubut esta especie fue documentada primeramente por Feruglio (1933) para

la Formación Río Genoa únicamente en el afloramiento del paraje Aguada Loca, ubicado inmediatamente al Norte de la ruta provincial N° 23 y a 16 km al Este de su intersección con la ruta provincial N° 20. La Formación Río Genoa caracteriza a un grupo de sedimentitas depositadas en un ambiente deltaico-fluvial progradante sobre una plataforma marina (Cortiñas y Arbe, 1982; Andreis y Cúneo, 1989) durante el Pérmico Inferior de la Cuenca Tepuel-Genoa. A pesar de encontrarse numerosos restos fosilizados de invertebrados en los distintos afloramientos atribuidos a esta formación, en la localidad tipo de *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech se hallaron únicamente unos pocos ejemplares fósiles los que siempre fueron atribuidos a esta única especie. Sin embargo, son numerosas las menciones de distintos grupos de invertebrados fósiles marinos para los restantes afloramientos de la Formación Río Genoa (ver Archangelsky, 1987 y 1990).

En la provincia de Mendoza, *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech se documentó para la Formación Agua del Jagüel (Harrington, 1971; Limarino *et al.*, 2013), junto a una asociación fosilífera que se encuentra estratigráficamente en los términos superiores de la Formación Agua del Jagüel, a unos 200 metros por sobre las lavas almohadilladas fechada en $307,2 \pm 5,2$ millones de años (Lech, 2002), con una edad geológica Moscovience – Kasimovience, Carbonífero Medio – Superior.

CONCLUSIONES

Con estos hallazgos paleontológicos para la Formación El Plata en la Cordillera Frontal de Mendoza se aporta un nuevo elemento patrimonial de conservación al Parque Provincial Cordón del Plata y se confirma la presencia de *Oehlertella annae* (Feruglio) Lech, más una nueva especie aún no formalizada asignada al mismo género. Estos fósiles constituyen una evidencia fundamental para reconstruir la historia geológica que datan de finales de la Era Paleozoica cuando esta región estaba inundada por un océano paleo-pacífico y la Cordillera de los Andes aún no existía.

REFERENCIAS

- Amos A.J. Guía Paleontológica Argentina, Parte 1: Paleozoico- Faunas Carbónicas y Pérmicas. *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica*, 155 págs. (1979).
- Archangelsky, S. (Ed.), *El Sistema Carbonífero en la República Argentina*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, 383 pp., 13 láminas. (1987).

- Archangelsky, S. (Ed.), *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba. pp. 417, 5 láminas. (1996).
- Andreis R.R. y Cúneo R. Late Paleozoic high-constructive deltaic sequences from northwestern Patagonia, Argentina Republic. *Journal of South American Earth Sciences*, 2 (1), 19-34. (1989).
- Archangelsky A. y Lech R.R. Presencia de *Canocrinella* aff. *farleyensis* (Eth. y Dunn) en las capas plegadas de la "serie Tramojo", Pérmico inferior de la Precordillera de Mendoza. *Asociación Geológica Argentina, Serie A, Monografía y Reuniones*, 2, 187-191. (1987).
- Bronn H. *Posidonia becheri*, eine neue fossile Muschel der Uebergangs - Periode. *Zbl. Miner.* 1, 262-269 (1828).
- Caminos. R. L. Geología de la vertiente oriental del Cordón del Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 20 (3), 351-392 (1965).
- Cortiñas J. y Arbe H.A. Facies y paleoambientes sedimentarios del Grupo Río Genoa, Pérmico Inferior de la región de Nueva Lubecka, provincia de Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 37 (3), 300-312 (1982).
- Feruglio E. Fossili liassici della valle del río Genoa (Patagonia). *Giornale di Geologia, Annali del Museo Geologico di Bologna*, 9, 1-54 (1933).
- Folguera A.; Etcheverría M.; Pazos P.; Giambiagi L.; Cortés J.; Fauqué L.; Rodríguez, M.F. y Irigoyen, V. Hoja Geológica 3369-15. Potrerillos. *Servicio Geológico Minero Argentino*, Boletín n° 246, 142 págs. (2004).
- Fossa-Mancini E. Hallazgo de braquiópodos del género *Orbiculoidea* en el Rético de la Patagonia. *Boletín de Informaciones Petroleras*, X (106), 371-382. Buenos Aires (1933).
- Freije R., Gregori D. y Ponce J. Hallazgo de facies turbidíticas y lavas almohadilla (pillow lavas) en la Formación El Plata (Carbónico Superior?), Cordillera Frontal, Provincia de Mendoza. *14º Congreso Geológico Argentino*. Actas 1, 61 (1999).
- Gorjansky V.Iu. y Popov L.E. Morfologiya, systematicheskoe polozhenie i proiskhozhdenie bezzamkovykh brachiopods karbonatnoi rakovinoi. *Paleontologicheskii Zhurnal*, 3, 3-14, 5 fig., 1 pl. (1985).
- Gray J.E. *Synopsis of the contents of the British Museum*. (42º edition). London, 370 pp. (1840).
- Hall J. y Clarke J.M. *Extract from Volume VIII, Palaeontology of New York*, p. 2 (120)-20 (160), pl. 4E-4F (Albany) (1890).
- Harrington H.J. *Descripción Geológica de la Hoja Ramblón 22c, provincias de Mendoza y San Juan*. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 114, 87 pp. (1954, publicado en 1971).
- Heredia N.; Farias P.; García Sansegundo J. y Giambiagi L. The basement of the Andean Frontal Cordillera in the Cordón del Plata (Mendoza, Argentina): Geodynamic evolution. *Andean Geology* 39 (2), 242-257 (2012).
- Holmer L.E. y Popov L.E. Lingulida. En Williams, A. *et al. Treatise on Invertebrate Paleontology Part H, Brachiopoda (Revised)*. Volume 2: Linguliformea, Craniiformea, and Rhynchonelliformea (part), xxx + 919 p., 616 fig., 17 tables (2000).

- Havliček V. Diagnoses on new brachiopod genera and species, Part. 2. En: *Explanatory Booklet, Geological Map of Libya, 1:250000*. (NG 33-2). Eds: Sheet Sabhá, K. Seidl y P. Röhlich. *Industrial Research Center*, Tripoli, 63-67. (1984).
- Havliček, V. y Mergl, M. Two new discinid genera (Brachiopoda) from the Silurian and Devonian of the Prague Basin, Czechoslovakia. *Věstník Českého geologického ústavu* 63, 169–172 (1988).
- Koninck L.G. de. Faune du Calcaire Carbonifère de la Belgique. Cinquième partie, Lamellibrances. Musée Royal Histoire Nat. Belgique, Ann., v. 11, 283 p., 41 pl. (1885).
- Lech R.R. Distribución de la Fauna de Braquiópodos en la Formación Agua del Jagüel (Carbonífero superior - Pérmico inferior), Provincia de Mendoza, Argentina. *11º Congreso Geológico Argentino* 2, 223-226 (1990).
- Lech, R.R. Consideraciones sobre la edad de la Formación Agua del Jagüel (Carbonífero Superior), Provincia de Mendoza, Argentina. *15º Congreso Geológico Argentina*, 3, 142-146 (2002).
- Lech R.R. A review of *Orbiculoidea saltensis*, Reed, Brachiopoda, Discinidae, of the Upper Carboniferous of Argentina. *Serie Correlación Geológica*, 27 (1), 7-16. Tucumán (2011).
- Lech R.R. Revisión de *Oehlertella annae* (Feruglio), discinido del Neopaleozoico de Argentina. *Serie Correlación Geológica*, 30 (2). On-Line ISSN 1666-9479 (2014).
- Limarino C.O., Isbell J.L., Ciccioli P.L. y Taboada A.C. La secuencia Neopaleozoica de la Quebrada de Agua del Jagüel (Precordillera de Mendoza): Edad y redefinición estratigráfica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 70 (2), 216-228 (2013).
- Meek F.B. *Description of Invertebrate Fossils from the Carboniferous System. Paleontology*, 269-347. En: *Report of the Geological Survey of Ohio, vol. 2: Geology and Paleontology*. 701 páginas, 59 láminas (1875).
- Piátnitzky A. Rético y Liásico de los valles de los ríos Genoa y Tecka y sedimentos continentales de la sierra de San Bernardo. *Boletín de Informaciones Petroleras* 10, 151–182 (1933).
- Polanski J. *Carbónico y Pérmico de la Argentina*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. 216 páginas (1970).
- Rodríguez E.J. Contribución al conocimiento del Carbónico del extreme sur occidental de la Precordillera. *Acta Geológica Lilloana*, 7, 303-331 (1966).
- Sabattini N. y Aguirre M. Contribución al conocimiento de los braquiópodos inarticulados del Paleozoico superior de Argentina. *Annual Meeting of the Working Group Project No. 211-IGCP*, 23–24 (1985).
- Waagen W.H. Salt Range fossils, Palaeontological. *Indica*, ser.13, Part 4(2) Brachiopoda, fasc.5, 729-770 (1885).

COLECCIÓN DE INVERTEBRADOS FÓSILES DE LA FUNDACIÓN MIGUEL LILLO: PATRIMONIO E INVESTIGACIÓN

Díaz Saravia, P.G.^a, Benítez, M.H.^a y Ahumada, A.L.^{b,c}

^aColección Invertebrados Fósiles, Instituto de Paleontología-Fundación Miguel Lillo, Argentina.

^bInstituto de Geología de Cuaternario y Paleoclimas, Fundación Miguel Lillo, ARGENTINA.

^cCONICET, ARGENTINA.

e-mail: pgdiazsaravia@lillo.org.ar

RESUMEN

El patrimonio paleontológico tiene características únicas que lo convierten en un caso especial en el contexto del patrimonio geológico en términos de posesión, conservación, uso y protección legal. Puede definirse como elementos geológicos no renovables extraídos de su contexto y con un valor (científico, didáctico y/o estético) que los convierte en un activo patrimonial colectivo que debe preservarse para el beneficio de toda la sociedad. En este marco las colecciones paleontológicas preservan, protegen, tutelan y mantienen disponibles los fósiles y la información, no solo del ejemplar, sino también del contexto y entorno al cual pertenecen o donde fueron hallados. La Fundación Miguel Lillo alberga en su patrimonio varias colecciones de Historia Natural, entre éstas, la Colección Invertebrados Fósiles (FML-IPI) resguarda como testimonio de la vida en el pasado y su entorno, una importante cantidad de material fósil. La mayor parte del material proviene de depósitos del Paleozoico Superior de Argentina, lo que resalta el carácter especializado de esta colección, tanto taxonómico como de procedencia estratigráfica. En la actualidad esta Colección cuenta con aproximadamente 13.000 piezas, 10.500 de las cuales se encuentran debidamente clasificadas y 55 son Material Tipo. Existe actualmente en depósito una importante cantidad de material que asegura la continuidad de los proyectos de investigación que se desarrollan en el instituto y la generación de nuevas líneas de trabajo. Las actividades curatoriales que se llevan a cabo están enfocadas en la conservación preventiva e interventiva, que permite evaluar índices de calidad del estado curatorial y adecuar la Colección según las normas y disposiciones enmarcadas por la Ley Nacional 25.743/03 de Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico y Ley Provincial 7.500/06.

Palabras claves: Patrimonio paleontológico, preservación, investigación.

INTRODUCCIÓN.

La función e importancia de las colecciones científicas radica en los objetos de naturaleza única que contienen, los que constituyen la materia prima para generar, validar y/o perfeccionar el conocimiento científico. Las colecciones paleontológicas preservan, conservan y mantienen disponible los fósiles y la información, no solo del ejemplar, sino también del contexto y entorno al cual pertenecen.

Entender la función y la importancia de cualquier colección científica necesariamente implica entender primero una propiedad de los ejemplares: su naturaleza única, y la relación que tienen con la generación y avance del conocimiento científico. Sin la existencia de las colecciones, no existiría la oportunidad de validar la información, las hipótesis o interpretaciones derivadas del estudio de los ejemplares.

La Paleontología no sería una ciencia sin la existencia de colecciones paleontológicas. Cada fósil es una fuente de información única e irremplazable con los cuales se hacen interpretaciones geológicas, sistemáticas, paleobiológicas, paleobiogeográficas, evolutivas y paleoclimáticas. Sin su existencia física o su falta de disponibilidad, todo lo que se escriba o diga de ellos simplemente carecería de sustento, por ejemplo la diagnosis de una nueva especie de braquiópodo (ver Fig.1)

Saltospirifer guevarii Cistena & Archbold, 2007

Diagnosis: *Neospiriferinae* débilmente transverso con extremidades cardinales redondeadas y línea charnelar más corta que el ancho máximo de la conchilla; finas costillas equidimensionales; pliegues de los flancos laterales casi ausentes, costillas débilmente fasciculadas, bifurcadas en fascículos de dos costillas sobre la parte anterior de la conchillas. Senos bien definidos, superficiales, terminando anteriormente en una lengua sulcal. Fastigium bajo y redondeado. Ventral interior con placas dentales fuertes y callo deltidial moderadamente desarrollado.



Figura 1. *Saltospirifer guevarii* Cistena & Archbold, 2007. Holotipo FML-IPI 3321

La misión de las colecciones paleontológicas es “proporcionar la documentación física de la investigación paleontológica mediante la disponibilidad, a través de la curación, de muestras representativas y la información asociada de cada taxón en la historia de la vida” (Allmon, 2000; Cristin y Perrilliat, 2011).

El carácter científico de una colección está determinado principalmente por la naturaleza de los ejemplares que alberga, la información que contiene y el servicio que ofrece a la comunidad científica; sin embargo, también es válido afirmar que está determinado por la curación. Quizás resulta difícil visualizarlo así, porque tradicionalmente la curación es una actividad poco reconocida que consume mucho tiempo y carece de resultados espectaculares; pero es tan importante como la investigación científica.

Si bien las tareas de investigación de geólogos y paleontólogos genera o incrementa colecciones, también sucede que el objeto principal de investigación son las colecciones, tanto su manejo y estado, como la información y ejemplares que ellas contienen disponible para el desarrollo de nuevos trabajos

Es así, que los procesos de colección, muestreo y preparación, como el mantenimiento y curaduría deben ser analizados de acuerdo al objetivo principal de custodiar, conservar y mantener disponibles los ejemplares y la información acerca de ellos a largo plazo, asegurándose que las técnicas y los materiales sean correctamente documentados y se apliquen prácticas de mantenimiento adecuadas que deben cumplir los estándares profesionales más altos.

COLECCION INVERTEBRADOS FÓSILES.

La Colección de Invertebrados Fósiles de la Fundación Miguel Lillo (FML-IPI) tiene su origen en el año 1990, ante la necesidad de disponer de un repositorio para el resguardo del creciente volumen de material paleontológico aportado por distintos proyectos de investigación de la Sección Paleoinvertebrados del Instituto de Paleontología de la Fundación Miguel Lillo

Actualmente, las tareas de curación son realizadas por un equipo de personal asignado

específicamente a la Colección Invertebrados Fósiles, los que se encuentran abocados a adecuar la Colección a los estándares curatoriales que permitan lograr el objetivo de custodiar, conservar y mantener disponibles los ejemplares y la información acerca de ellos a largo plazo y, desde el punto de vista legal, a las normas y disposiciones enmarcadas por la Ley Nacional 25.743/03 de Protección del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico y la Ley Provincial 7.500/06, que crea el Sistema de Protección del Patrimonio Cultural de la Provincia de Tucumán.

En la actualidad ésta Colección cuenta con aproximadamente 13.000 piezas, consistentes en restos de conchillas o caparazones externos o como moldes de los mismos incluidos en la roca sedimentaria, 10.100 de esos ejemplares se encuentran debidamente clasificados sistemáticamente a nivel de especie o género, entre los cuales 55 especímenes son Material Tipo (ver tabla 2), existiendo una cantidad importante de material en depósito, que aún no fue formalmente ingresada a la colección a la espera de ser identificado y clasificado, lo que implicará la continuidad de los proyectos de investigación que se desarrollen en la sección Paleoinvertebrados del Instituto de Paleontología (ver Fig.2)



Figura 2. deposito colección FML-IPI

La característica sobresaliente de esta Colección, es que la mayor parte del material depositado en ella, consiste en invertebrados marinos y no marinos provenientes de depósitos sedimentarios del Paleozoico Superior de diversas cuencas de esa edad de Argentina (ver figuras 3 y 4), también, pero en menor proporción reguarda ejemplares y moldes o plástotipos provenientes del Paleozoico Superior de Chile, Brasil, Paraguay, Libia, Marruecos y Australia, así como material procedente de depósitos de otras edades geológicas del país. (Benítez Díaz Saravia, 2017)

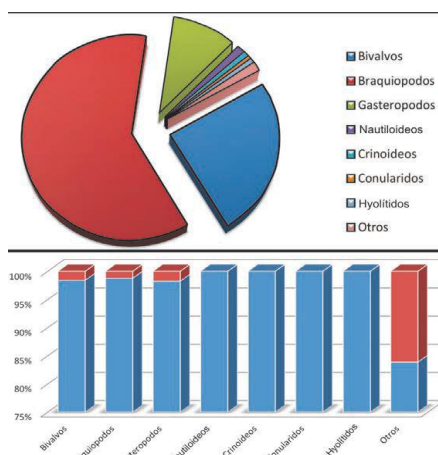


Figura 3. Proporciones de los distintos grupos o taxones de invertebrados fósiles, que muestra la proveniencia dominante de material del Paleozoico Superior. (Benítez y Díaz Saravia, 2017)

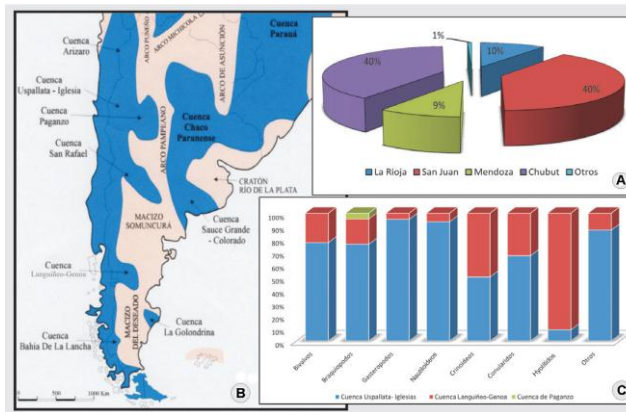


Figura 4. A, Gráfica de la proveniencia geográfica del material perteneciente al Paleozoico Superior; B, Mapa de ubicación de cuencas sedimentarias neopaleozoicas sudamericanas; C, Gráfica de la distribución porcentual del material por grupos o taxones en las distintas cuencas sedimentarias neopaleozoicas. (Benítez y Díaz Saravia, 2017)

CONSERVACION Y DOCUMENTACIÓN

Entendemos por *curación* a un conjunto de numerosas actividades y procedimientos que buscan mantener la utilidad y accesibilidad de los ejemplares e información al corto, mediano y largo plazo; por otra parte, con la curación se mantiene una organización eficiente de la información y del material resguardado. La actividad curatorial trasciende las fronteras de otras actividades como las administrativas, gerenciales, académicas, museográficas e incluso de investigación, podemos por lo tanto afirmar que sin una eficiente curación las colecciones no existirían.

La evaluación de las tareas curatoriales permite obtener un índice de calidad de una colección. En tal sentido Hughes *et al.* (2000) elaboraron un esquema, conocido como *continuo curatorial* (ver Tabla1), que clasifica en cinco grados la actividad curatorial para las colecciones paleontológicas. El *continuo curatorial* podría ser utilizado como, un estándar para establecer procedimientos de curación, una guía para presupuestar los recursos económicos necesarios, o como un auxiliar en la planificación y obtención de la infraestructura apropiada. Por otra parte, puede utilizarse como un mecanismo de evaluación en la eficiencia de los procedimientos curatoriales, y de esta manera obtener un índice de calidad. La falta de información representa una pérdida de oportunidades.

Tabla 1. Esquema *Continuo Curatorial* de Hughes *et al.* (2000), indicando el grado de calidad curatorial de 1 a 5 según el cual la Colección Invertebrados Fósiles se ubica en un nivel entre 4 y 5.

Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de ejemplares • Ingreso formal a la colección 	<ul style="list-style-type: none"> • Grado 1 completo • Ejemplares clasificados por localidad • Descripción de ejemplares ingresados • Difusión parcial de la información a la comunidad científica 	<ul style="list-style-type: none"> • Grado 2 completo • Ejemplares clasificados por principales grupos taxonómicos o características geológicas • Datos de localidad registrados y capturados en base de datos electrónica • Datos de localidad asociados a ejemplares por medio de marcas preliminares o número de registro institucional 	<ul style="list-style-type: none"> • Grado 3 completo • Taxones identificados o problemas resueltos (ej. Biofacies) • Ejemplares clasificados por grupo taxonómico o asociaciones • Ejemplares bien preparados • Ejemplares en contenedores 	<ul style="list-style-type: none"> • Grado 4 completo • Lotes de taxones o localidad catalogados • Ejemplares marcados con número de catalogo • Ejemplares etiquetados • Lotes acomodados de acuerdo a un marco taxonómico o geológico • Datos del lote (incluye historia de adquisición y localidad) capturados en una base de datos electrónica.

Las actividades curatoriales fundamentales que se realizan en la colección incluyen la conservación, documentación y la investigación, las que pueden ser complementadas con la adopción de medidas adicionales, según convenga.

La conservación del material es el pilar fundamental en lo que concierne al manejo de las colecciones, ya que de lo contrario se corre el riesgo de perder valiosa e irremplazable información de una porción de la historia de la vida sobre la tierra, además de incumplir su finalidad de mantener y cimentar el conocimiento científico; para esto es necesario realizar las tareas y procedimientos especialmente indicados para salvaguardar la utilidad, accesibilidad e información a largo plazo, así como observar el correspondiente protocolo para una organización eficiente y manejo adecuado del material, estas tareas, consisten esencialmente en dos tipos de procedimientos: la *conservación preventiva* y la *conservación interventiva* (Lozano y Silvia Menéndez 2013).

La *conservación preventiva* se define como el conjunto de operaciones cuya finalidad es acondicionar y mantener en el tiempo, el estado útil de los ejemplares, en este caso no se actúa sobre la estructura física de los mismos, pero se controlan las condiciones del ambiente donde se alojan, como la humedad, temperatura e iluminación y las condiciones biogénicas, utilizando elementos adecuados para tal fin.



Figura 5. tareas preventivas dentro de la colección: armarios y cajas para resguardo del material.

La *conservación interventiva* comprende todas aquellas acciones y procedimientos tendientes a la preservación del material, en lo que se refiere a la adecuación del mismo, como consolidación, limpieza, separación y restauración, es decir, la intervención física sobre el material paleontológico con el objeto de mejorar su lectura y comprensión.



Figura 6. limpieza, acondicionamiento y reparación de material como tareas interventivas

Paralelamente se debe efectuar la correspondiente documentación, esta tarea tiene como finalidad ordenar y hacer accesible la información relacionada al material a ingresar. Esta abarca diferentes procedimientos como ordenar, clasificar, seleccionar, recuperar y registrar el material, adjuntando toda la información que sea posible reunir, y que permita su rápida identificación y la generación de una base de datos (ver Fig. 7)


 FUNDACIÓN MIGUEL LILLO Instituto de Paleontología Colección Invertebrados Fósiles	
FML-IPi N°: 1837	Cantidad de muestras: (19) diecinueve
Nombre Científico: <i>Costatumulus amosi</i>	
Determinación: Taboada, A.C	
Localidad: Sierra de Uspallata, 7 km. al E. de Uspallata. Mendoza - Argentina.	
Posición Estratigráfica: Formación Agua del Jagüel, Al O. de la confluencia de las Quebradas de Uapallata y Santa Elena Margen derecha. Pérmico Inferior.	
Coleccionista: González, Taboada; Carrizo. Fecha: 1989	
Entrada: 19 de septiembre de 1994	Ubicación: A.3 - C.27
Observaciones:	

Figura 7. Tarjeta identificatoria de material de colección

CONCLUSIONES

Las colecciones de elementos vinculados a las Ciencias de la Tierra, que se conservan en las instituciones o museos públicos, se entienden como el conjunto de objetos que dan cuerpo al patrimonio geológico mueble. Díaz Martínez *et al.* (2012) consideran que el patrimonio geológico mueble es “el conjunto de elementos geológicos no renovables, extraídos de su contexto y con un cierto valor (científico, didáctico, estético, histórico, etc.), que los convierte en un bien patrimonial colectivo”.

Tabla 2. Material Tipo resguardado en la colección.

TIPOS COLECCIÓN INVERTEBRADOS FÓSILES (FML-IP1)
CLASE BIVALVIA
<p>Familia/Family INDETERMINADA. Género/Genus <i>AMOSIUS</i> González y Waterhouse, 2004. Especie Tipo/ Type Species <i>Amosius harringtoni</i> (González, 1972) González & Waterhouse, 2004. Ref.: <i>A new Carboniferous bivalve from Gondwana. Paläontologische Zeitschrift, 78(2):355-360. Stuttgart.</i></p> <p>Familia/Family MALLETIIDAE Adams & Adams, 1858. Género/Genus <i>MALIMANIA</i> González, 1994. Especie Tipo/ Type Specie <i>Malimania triangularis</i> Gonzalez, 1994. Ref.: <i>Early Carboniferous Bivalve from Western Argentina. Alcheringa, 18: 174- 175.</i></p> <p>Familia/Family ATOMODESMIDAE Waterhouse, 1976? Género/Genus <i>MALIMANINA</i> Waterhouse, 2001. Especie Tipo/ Type Species <i>Posidoniella malimanensis</i> González, 1994. Ref.: <i>Late Paleozoic Brachiopoda and Mollusca from Wairaki downs, New Zealand. Earthwise, 3: 196 pp.</i></p> <p>Familia/Family SANGUINOLITIDAE Miller, 1877. Género/Genus <i>SUEROA</i> González, 2006. Especie Tipo/ Type Species <i>Sueroa andreisi</i> González, 2006. Ref.: <i>Lower Permian bivalves from central Patagonia, Argentina. Paläontologische Zeitschrift, 80 (2): 130-155, 13 fig., 10 tabs., 1 app., Stuttgart.</i></p> <p>Familia/Family ACANTHOPECTINIDAE Newell & Boyd, 1995. Género/Genus <i>ACANTHOPECTEN</i> Girty, 1903. Especie/Specie <i>Acantopecten jagüelensis</i> González, 1997. Ref.: <i>Late Carboniferous Bivalvia from western Argentina. Geologica et Palaentologica, 31:193-214. Marburg.</i></p> <p>Familia/Family MYALINIDAE Frech, 1891 emend. Newell, 1942. Género/Genus <i>ANTHRACONAIA</i> Trueman & Weir, 1946. Especie/Specie <i>Anthraconaia furquei</i> Díaz Saravia, 2009. Ref.: <i>Bivalvos límnicos de la Formación La Puerta (Carbonífero Superior), Cordillera Frontal, San Juan, República Argentina. Acta Geológica Lilloana, 21(2).</i></p> <p>Familia/Family MYALINIDAE Frech, 1891 emend. Newell, 1942. Género/Genus <i>ANTHRACONAIA</i> Trueman & Weir, 1946. Especie/Specie <i>Anthraconaia caballei</i> Díaz Saravia, 2009. Ref.: <i>Bivalvos límnicos de la Formación La Puerta (Carbonífero Superior), Cordillera Frontal, San Juan, República Argentina. Acta Geológica Lilloana, 21(2).</i></p> <p>Familia/Family MYALINIDAE Frech, 1891 emend. Newell, 1942. Género/Genus <i>ANTHRACONAIA</i> Trueman & Weir, 1946. Especie/Specie <i>Anthraconaia gonzalezi</i> Díaz Saravia, 2009. Ref.: <i>Bivalvos límnicos de la Formación La Puerta (Carbonífero Superior), Cordillera Frontal, San Juan, República Argentina. Acta Geologica Lilloana, 21(2).</i></p> <p>Familia/Family MYALINIDAE Frech, 1891 emend. Newell, 1942. Género/Genus <i>ANTHRACONAIA</i> Trueman & Weir, 1946. Especie/Specie <i>Anthraconaia polanskii</i> Díaz Saravia & González, 2010. Ref.: <i>Upper Pennsylvanian non-marine bivalves of western Argentina. Geologica et Palaeontologica. 43:93-102 Marburg.</i></p> <p>Familia/Family MYALINIDAE Frech, 1891 emend. Newell, 1942. Género/Genus <i>ANTHRACONAIA</i> Trueman & Weir, 1946. Especie/Specie <i>Anthraconaia subquadrata</i> Díaz Saravia & González, 2010. Ref.: <i>Upper Pennsylvanian non-marine bivalves of western Argentina. Geologica et Palaeontologica. 43:93-102. Marburg.</i></p> <p>Familia/Family DELTOPECTINIDAE Dickins, 1957. Género/Genus <i>BURNETTILINA</i> Waterhouse 2008. Especie/Specie <i>Bunettilina taboadai</i> (González, 2002) Waterhouse 2008.</p>

Ref.: *A new Late Carboniferous deltopectinid (Bivalvia) from western Argentina. Geologica et Palaeontologica*, 36: 87-97.

Familia/Family CRASSATELLIDAE Férussac, 1822. **Género/Genus** CYPRICARDINIA Hay, 1859.

Especie/Specie
Cypricardinia? precordillerana González, 1997.

Ref.: *Late Carboniferous Bivalvia from western Argentina. Geologica et Palaeontologica*, 31:193-214. Marburg.

Familia/Family ETHERIPECTINIDAE Waterhouse, 1982. **Género/Genus**
ETHERIPECTEN Waterhouse, 1963. **Especie/Specie** *Etheripecten saraviae* González, 2006.

Ref.: *Lower Permian bivalves from central Patagonia Argentina. Paläontologische Zeitschrift*, 80(2): 130-155.

Familia/Family ETHERIPECTINIDAE Waterhouse, 1982. **Género/Genus** HETEROPECTEN Kegel & Costa, 1951. **Especie/**
Specie *Heteropecten anteloi* González, 1997.

Ref.: *Late Carboniferous Bivalvia from western Argentina. Geologica et Palaeontologica*, 31. 193-214

Familia/Family AVICULOPECTINIDAE Meek & Hayden, 1864. **Género/Genus** HETEROPECTEN Kegel & Costa, 1951. **Especie/**
Specie *Heteropecten cortignasi* González, 2006.

Ref.: *Lower Permian bivalves from central Patagonia Argentina. Paläontologische Zeitschrift*, 80(2): 130-155.

Familia/Family PTERINEIDAE Millar, 1877. **Género/Genus** LEPTODESMA Hall, 1883.

Especie/Specie *Leptodesma*
(Leiopteria) veladerensis González, 1992.

Ref.: *La fauna del cerro Veladero, Carbónico de la Cuenca del Río blanco, La Rioja. Acta Geológica Lilloana XVII:2.*

Familia/Family PTERINEIDAE Miller, 1877. **Género/Genus** LEPTODESMA Hall, 1883.

Especie/Specie *Leptodesma*
(Leiopteria) aredesi González, 2002.

Ref.: *Bivalves from Carboniferous glacial deposits of western Argentina. Paläontologische Zeitschrift*, 76 (1): 127-148.

Familia/Family SANGUINOLITIDAE Miller, 1877. **Género/Genus** MYOFOSA Waterhouse, 1969.

Especie/Specie *Myofossa*
calingastensis González, 2002.

Ref.: *Bivalves from Carboniferous glacial deposits of western Argentina. Paläontologische Zeitschrift*, 76 (1): 127-148.

Familia/Family STREBLOCHONDIIDAE Newell, 1938. **Género/Genus** MONTORBICULA Waterhouse 2008. **Especie/Specie**
Montorbicula montgomerii (González, 2006) Waterhouse 2008.

Ref.: *Lower Permian bivalves from central Patagonia Argentina. Paläontologische Zeitschrift*, 80(2): 130-155.

Familia/Family CRASSATELLIDAE de Férussac, 1822. **Género/Genus** ORIOCRASSATELLA Etheridge, jr., 1907. **Especie/**
Specie *Oriocrassatella andina* González, 2002.

Ref.: *Bivalves from Carboniferous glacial deposits of western Argentina. Paläontologische Zeitschrift*, 76 (1): 127-148.

Familia/Family LIMIDAE Rafinesque, 1815. **Género/Genus** PALAEOLIMA Hind, 1903.

Especie/Specie *Palaeolima alata*
González, 1997.

Ref.: *Late Carboniferous Bivalvia from western Argentina. Geologica et Palaeontologica*, 3: 193-214.

Familia/Family MALLETIIDAE Adams & Adams 1858. **Género/Genus** PALAEONEILO Hall & Whitfield, 1869. **Especie/Specie**
Palaeoneilo subquadratum Gonzalez, 1994.

Ref.: *Early Carboniferous Bivalvia from western Argentina. Alcheringa*, 18: 173.

Familia/Family PHOLADOMYIDAE King, 1844. **Género/Genus** PRAEUNDULOMYA Dickins, 1957.

Especie/Specie
Praeundulomya moreli González, 2006.

Ref.: *Lower Permian bivalves from central Patagonia Argentina. Paläontologische Zeitschrift*, 80(2):

130-155.

Familia/Family PARALLELODONTIDAE Dall, 1898. **Género/Genus** PARALLELODON Meek & Worthen, 1866. **Especie/Specie**

Parallelodon? quichaurensis González, 2006.

Ref.: Lower Permian bivalves from central Patagonia Argentina. *Paläontologische Zeitschrift*, 80 (2): 130-155.

Familia/Family MYTILIDAE Rafinesque, 1815 (fide Newell, 1965). **Género/Genus** PROMYTILUS Newell, 1942. **Especie/**

Specie *Promytilus grandis* González, 2002.

Ref.: Bivalves from Carboniferous glacial deposits of western Argentina. *Paläontologische Zeitschrift* 76 (1): 127-148
Stuttgart.

Familia/Family PTERINOPECTINIDAE Newell, 1938. **Género/Genus** PTERINOPECTINELLA Newell, 1938. **Especie/Specie**

Pterinopectinella ramaccionii González, 1997.

Ref.: Late Carboniferous Bivalvia from western Argentina. *Geologica et Palaentologica*: 31:193-214.

Familia/Family GRAMMYSIIDAE Miller, 1877. **Género/Genus** SANGUINOLITES McCoy, 1844.

Especie/Specie *Sanguinolites*

punillanus González 1994.

Ref.: Carboniferous Bivalvia from western Argentina. *Alcheringa*, 18: 182

Familia/Family MYOPHORIIDAE Bronn, 1847. **Género/Genus** SCHIZODUS de Verneuil y Murchison, 1844. **Especie/Specie**

Schizodus arrondoi González, 1992.

Ref.: La fauna del cerro Veladero, Carbónico de la Cuenca del Río blanco, La Rioja. *Acta Geológica Lilloana* XVII:2.

Familia/Family PHOLADOMYIDAE Gray, 1847. **Género/Genus** WILKINGIA Wilson, 1959.

Especie/Specie *Wilkingia riojana*

González, 1992.

Ref.: La fauna del cerro Veladero, Carbónico de la Cuenca del Río blanco, La Rioja. *Acta Geológica Lilloana*, XVII:2.

CLASE BRAQUIOPODA

Familia/Family LINGULIDAE Menke, 1828. **Género/Genus** ARGENTIELLA Archbold, Cisterna & Sterren, 2005. **Especie/**

Specie *Argentiella stappenbecki* Archbold, Cisterna & Sterren, 2005.

Ref.: Lingulida (Brachiopoda) from early Permian of Argentina. *Proceedings of the Royal Society of Victoria*, 117(2): 307-317.

Familia/Family CAMAROTOECHIIDAE Schuchert, 1929. **Género/Genus** AZURDUYA Cisterna & Isacson, 2003. **Especie/**

Specie *Camarotoechia chavelensis* Amos, 1958, p.839, pl.107, figs. 1-8.

Ref.: A new Carboniferous brachiopod genus from South America. *Alcheringa*, 27: 63-73.

Familia/Family ANOPLIIDAE Duméril, 1806. **Género/Genus** GONZALEZIUS Taboada, 2004.

Especie/Specie *Gonzalezius*

naranjoensis Taboada, 2004.

Ref.: Braquiópodos y bioestratigrafía del Carbonífero del Cordón del Naranjo (subcuenca Calingasta-Uspallata), Argentina.

Ameghiniana, 41(3):405-422.

Familia/Family LINOPRODUCTIDAE Stehli, 1954. **Género/Genus** PIATNIZKYA Taboada, 1993.

Especie/Specie *Piatnitzkya*

barrelloi Taboada, 1993.

Ref.: Un nuevo Linoproductidae (Brachiopoda) del Pérmico temprano de Patagonia. *Comptes Rendus XII ICC-P*, 1: 589-598.

Familia/Family TRIGONOTRETIDAE Schuchert, 1893. **Género/Genus** SALTOSPIRIFER Cisterna & Archbold, 2007. **Especie/**

Specie *Saltospirifer guevarii* Cisterna & Archbold, 2007.

Ref.: Spiriferoidea (Brachiopoda) from the Early Permian Del Salto Formation of Argentina. *Alcheringa*, 31: 3-16.

Familia/Family CAMAROTOECHIIDAE Schuchert, 1929. **Género/Genus** AZURDUYA Cisterna & Isaacson, 2003. **Especie/Specie** *Azurduya cingolanii* Cisterna & Isaacson, 2003.
Ref.: *A new Carboniferous brachiopod genus from South America. Alcheringa, 27: 63-73.*

Familia/Family LINOPRODUCTIDAE Stehli, 1954. **Género/Genus** COOLKILELLA Archbold, 1993. **Especie/Specie** *Coolkilella keideli* Taboada, 1998.
Ref.: *Dos nuevas especies de Linoproductidae (Brachiopoda) y algunas consideraciones sobre el Neopaleozoico sedimentario de las cercanías de Uspallata, Argentina. Acta Geológica Lilloana 18(1): 69-80.*

Familia/Family LINOPRODUCTIDAE Stehli, 1954. **Género/Genus** COSTATUMULUS Waterhouse, 1986. **Especie/Specie** *Costatumulus amosi* Taboada, 1998.
Ref.: *Dos nuevas especies de Linoproductidae (Brachiopoda) y algunas consideraciones sobre el Neopaleozoico sedimentario de las cercanías de Uspallata, Argentina. Acta Geológica Lilloana, 18(1): 69-80.*

Familia/Family PLICATIFERIDAE Muir Wood & Cooper, 1960. **Género/Genus** MAEMIA Lazarev, 1997. **Especie/Specie** *Maemia tenuiscostata* Taboada, 1997.
Ref.: *Bioestratigrafía del Carbonífero marino del valle de Calingasta-Uspallata, provincias de San Juan y Mendoza. Ameghiniana, 34(2): 231-233.*

Familia/Family ANOPLIIDAE Muir-Wood, 1962. **Género/Genus** YAGONIA Roberts (in Roberts et al. 1976). **Especie/Specie** *Yagonia furquei* Taboada & Shi, 2009.
Ref.: *Yagonia Roberts (Brachiopoda: Chonetidina) from the Malimán Formation, Lower Carboniferous of western Argentina: palaeobiogeographical implications. Alcheringa, 33: 223.*

Familia/Family OVERTONIIDAE Muir-Wood & Cooper, 1960. **Género/Genus** ABSENTICOSTA Lazarev, 1991. **Especie/Specie** *Absenticosta bruntoneileenae* Taboada & Shi, 2011.
Ref.: *Taxonomic review and evolutionary trends of Levipustulini and Absenticostini (Brachiopoda) from Argentina : palaeobiogeographic and palaeoclimatic implications Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists, 41: 87-114.*

Familia/Family OVERTONIIDAE Muir-Wood & Cooper, 1960. **Género/Genus** ABSENTICOSTA Lazarev, 1991. **Especie/Specie** *Lanipustula kletsi* Taboada & Shi, 2011.
Ref.: *Taxonomic review and evolutionary trends of Levipustulini and Absenticostini (Brachiopoda) from Argentina : palaeobiogeographic and palaeoclimatic implications . Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists, 41: 87-114.*

Familia/Family OVERTONIIDAE Muir-Wood & Cooper, 1960. **Género/Genus** VERCHOJANIA Abramov, 1970. **Especie/Specie** *Verchojania inacayali* Taboada, 2008.
Ref.: *First record of the Late Paleozoic brachiopod Verchojania in Patagonia, Argentina. Proceedings of the Royal Society of Victoria, 120 (1): 305-319.*

Familia/Family LINOPRODUCTIDAE Stehli, 1954. **Género/Genus** CIMMERIELLA Archbold and Hogeboom, 2000. **Especie/Specie** *Cimmeriella willi* Taboada y Pagani, 2010.
Ref.: *The coupled occurrence of Cimmeriella-Jakutoproductus (Brachiopoda: Productidina) in Patagonia: implications for Early Permian high to middle paleolatitudinal correlations and paleoclimatic reconstruction. Geologica Acta, 8 (4): 513-534.*

Familia/Family STREPTORHYNCHIDAE Stehli, 1954 **Género/Genus** NEOCHONETES Muir-Wood, 1962. **Especie/Specie**

<p><i>Neochonetes pegonensis</i> Cisterna & Simanaukas, 2000. Ref.: <i>Brachiopods from the Rio del Peñon Formation, Rio Balnco Basin, Upper Palaeozoic of Argentina. Revista Española de Paleontología, 15 (2): 129-151.</i></p>
<p>CLASE GASTEROPODA</p>
<p>Familia/Family EOTOMARIIDAE Wenz, 1938. Género/Genus <i>PTYCHOMPHALINA</i> Fischer, 1885. Especie/Specie <i>Ptychomphalina sabattinii</i> Taboada, 1997. Ref.: <i>Bioestratigrafía del Carbonífero marino del valle de Calingasta-Uspallata, provincias de San Juan y Mendoza. Ameghiniana, 34(2): 231-233.</i></p>
<p>Familia/Family EOTOMARIIDAE Wenz, 1938. Género/Genus <i>PTYCHOMPHALINA</i> Fischer, 1885. Especie/Specie <i>Ptychomphalina turgensis</i> Taboada, 1997. Ref.: <i>Bioestratigrafía del Carbonífero marino del valle de Calingasta-Uspallata, provincias de San Juan y Mendoza. Ameghiniana, 34(2): 231-233.</i></p>
<p>CLASE HYOLITHA</p>
<p>Familia/Family HYOLOTHIDAE Nicholson, 1872. HYO Género/Genus <i>LITHES</i> Eich ward, 1840. Especie/Specie <i>Hyolites</i> <i>patagoniensis</i> Pagani, Sabattini & Taboada, 2002. Ref.: <i>Nuevos registros de Hyolitha (Mollusca?) del Paleozoico Superior de Chubut, Argentina. Ameghiniana, 39 (1): 111-116.</i></p>

REFERENCIAS

- Allmon, W.D.. Collections in paleontology. En: Lane, R.H., Steininger, F.F., Kaesler, R.L., Ziegler, W., Lipps, J. (Eds.), *Fossils and the future Paleontology in the 21st century*. Frankfurt am Main, Alemania, Senckenberg-Buch, 74, pp. 203-214 2000
- Benítez, M.H. y Díaz Saravia, P. Custodia del Patrimonio paleontológico: Colección Invertebrados Fósiles de la Fundación Miguel Lillo (FML-IPI). *Revista Historia Natural*, Vol. 7(1):5-19. Fundación Azara. (2017)
- Cristin, A. Perrillat, M.C. Las colecciones científicas y la protección del patrimonio. *Boletín Soc. Geo. Mexicana* 63(3):421-427. (2011)
- Hughes, N.C., Collier, F.J., Kluessendorf, J., Lipps, J., Taylor, W.L. y White, R.D. Fossil invertebrate and microfossil collections: Kinds, uses and users. En: White, R.D., Allmon, W.D. (Eds.), *Guidelines of the management and curation of invertebrate fossil collections*: Boulder, Colorado, E.U.A. The Paleontological Society Special Publications, 10: 25-35. 2000
- Lozano, R.P. y Menéndez, S. Rocas, minerales y fósiles: las colecciones geológicas de museos públicos. En: González Bueno, A. y Baratas Díaz, A. (eds.) *Museos y Colecciones de Historia Nacional: Investigación, educación y difusión*, pp. 41-52.2013

LOS GLACIARES DE ESCOMBROS COMO GEOPATRIMONIO EN EL PARQUE NACIONAL CAMPO DE LOS ALISOS, TUCUMÁN, ARGENTINA.

Ibañez Palacios G. P.^a, Ahumada A. L.^{ab} y Toledo M. A.^{ac}

^aInstituto de Geología de Cuaternario y Paleoclimas, Fundación Miguel Lillo, ARGENTINA

^bCONICET, ARGENTINA

^cSubsecretaría de Asuntos Agrarios y Alimentos, Tucumán, ARGENTINA

e-mail: gpibanezpalacios@lillo.org.ar

RESUMEN

El Parque Nacional Campo de los Alisos, ubicado en la ladera oriental de la Sierra de Aconquija, se caracteriza por el alto valor patrimonial de sus paisajes naturales, lo cual se refleja en una rica diversidad geológica. El objetivo de este trabajo es destacar el importante patrimonio criogénico natural en este sector de la Sierra de Aconquija. De los numerosos sitios inventariados en el Parque Nacional, se han seleccionado como geositios, nueve glaciares de escombros en la cuenca del río Jaya, debido a que constituyen un claro ejemplo del geopatrimonio periglacial de la región, con un alto valor científico, educativo, cultural y turístico. Estas geoformas criosféricas en las que se sustenta gran parte del atractivo de la región, son reconocidas como componentes cruciales del sistema hidrológico de montaña y como reservas estratégicas de agua para las zonas bajas adyacentes. Por lo que se hace necesaria no solo la preservación de las mismas como patrimonio geológico debido a su extrema fragilidad, sino también su ordenación y gestión mediante el desarrollo de un turismo sustentable. Además, para facilitar la protección de esta región de especial interés geológico, se debe preparar previamente a la comunidad local para habilitarlos como actores y gestores de los servicios de guías de su territorio y conservadores del geopatrimonio.

Palabras Clave: Geopatrimonio, Geositios, Glaciares de Escombros.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el patrimonio geológico comienza, por fin, a percibirse como un recurso idóneo que, desde una nueva perspectiva, puede contribuir a la sostenibilidad social y económica en comunidades desfavorecidas. No se erige ahora únicamente en un recurso natural del máximo interés ambiental o científico, sino en un activo que puede ser determinante para el progreso socioeconómico de las zonas rurales, reconociéndose su valor como sustento imprescindible tanto de la biodiversidad que acoge, como de los valores culturales, sociales y económicos que proporciona.

Si bien Argentina no cuenta actualmente con leyes que se refieran a la conservación del patrimonio geológico en un sentido estricto, existen bases que podrían ser semilla para una legislación específica (Martínez, 2008; Ibañez Palacios et al, 2012). En nuestro país aún queda mucho camino por recorrer hasta alcanzar el nivel de concienciación social que este patrimonio requiere para su protección.

En la provincia de Tucumán el marco legal de protección y conservación del patrimonio geológico lo proporciona la Ley 7.500/2005 de Patrimonio Cultural, que de forma indirecta hace referencia al patrimonio geológico puesto que en su artículo 2º establece que “*se considera patrimonio cultural todos aquellos bienes materiales o intangibles de valor histórico, arquitectónico, artístico, arqueológico, paleontológico, antropológico, documental, paisajístico y científico tecnológico, que constituyen la expresión o el testimonio de la creación humana, la evolución de la naturaleza y que sean significativos y representativos de la cultura tucumana*”.

Los glaciares de escombros son los mayores exponentes del la criósfera, que es la principal reserva de agua dulce del planeta, razón por la cual es importante hacer conocer estos espacios de interés geológico (geositios) fuera del ámbito científico, para generar en la población los conocimientos apropiados para la explotación racional de un patrimonio natural y cultural que bajo las actuales condiciones climáticas presenta una extrema fragilidad (Ahumada et al, 2006).

El Parque Nacional Campo de los Alisos (PN Campo de los Alisos), creado en 1995, se localiza en el departamento de Chicligasta, en la provincia de Tucumán. Está ubicado entre los ríos Jaya y Pavas, sobre la ladera oriental de los Nevados del Aconquija. El Parque se extiende entre los 847 y los 5.200 msnm y ocupa actualmente una superficie de 17.600 hectáreas.

Si bien por su ubicación y clima la zona de estudio no es un lugar de fácil acceso y permanencia, es de destacar el importante patrimonio arqueológico que atesora, las ruinas de *la Ciudadita o Pueblo Viejo*, que se estiman como los vestigios más meridionales del desarrollo del Imperio Inca.

Debido al excepcional patrimonio natural y cultural del PN Campo de los Alisos, sería interesante considerar el emplazamiento de un potencial geoparque en la región para impulsar el desarrollo económico de la población local.

El objetivo de esta presentación consiste en inventariar como geositios mesoformas criogénicas, que son extremadamente vulnerables a los efectos del calentamiento global y que pueden ser valiosas para el desarrollo de un proyecto geoturístico en la región, a la vez que contribuimos con la toma de conciencia de la población sobre el valor de la geología y el patrimonio geológico y la necesidad de su preservación y protección bajo un marco legal.

MARCO TEÓRICO

Patrimonio geológico y geositios

El estudio del patrimonio geológico figura entre las áreas de investigación más recientemente incorporadas al ámbito de la geología. Esto surge como resultado de otra manera de ver la realidad geológica, en la que los elementos geológicos ya no sólo se valoran por su potencial como recurso que se presenta en condiciones óptimas para ser explotado (explotación que suele llevar necesariamente asociada su destrucción), sino también como un bien patrimonial con interés científico y cultural, cuya conservación y puesta en valor es prioritaria (Durán Valsero y Carcavilla Urquí 2009).

El artículo 3.38 de la Ley española del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (Ley 42/2007) define al patrimonio geológico como: *“el conjunto de recursos naturales en general no renovables de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente y d) el origen y evolución de la vida”*.

De esta definición podemos extraer:

- “El patrimonio geológico es un recurso natural por lo general no renovable, por lo tanto finito y agotable”. Aquí es donde se refleja la extraordinaria vulnerabilidad del patrimonio geológico, pues cuando uno de sus elementos desaparece, también lo hace toda la información sobre el hecho o el ambiente geológico que representaba.
La destrucción del patrimonio geológico implica una pérdida del patrimonio común de la humanidad, puesto que en los elementos geológicos ha quedado registrada la memoria de nuestro planeta.
- “El patrimonio geológico no tiene porque tener valor paisajístico que lo haga visualmente atractivo”. Es suficiente con que tenga valor científico, puesto que la interpretación geológica de una región no se realiza normalmente a partir de singularidades o rarezas, sino a partir de sucesiones de rocas y estructuras comunes. A pesar que es más fácil encontrar apoyo para defender lo bello que lo meramente intelectual.
- Aunque un lugar no aporte información científica relevante, ni aflore en condiciones que lo hagan un buen modelo didáctico, también se lo debe valorar.
- Al ser los elementos geológicos testigos de la evolución de la Tierra, de los climas y paisajes del pasado, este carácter histórico le confiere al patrimonio geológico, un valor no sólo como bien científico y natural sino también como bien cultural.

El patrimonio geológico está formado por un conjunto de lugares y elementos geológicos de especial relevancia llamados Lugares de Interés Geológico (LIG), Puntos de Interés Geológico o geositios.

Para conocer en forma exhaustiva el patrimonio geológico de una región es necesario realizar un inventario de los elementos que lo componen, es decir la identificación de los Lugares de Interés Geológico. Puesto que es obvio que para gestionar un recurso es imprescindible identificarlo y conocerlo. Este inventario debe proporcionar información referida a la localización y distribución territorial de los puntos seleccionados, su grado de interés, vulnerabilidad y estado de conservación, de manera tal que el análisis posterior de esta información permita definir propuestas concretas de conservación y gestión del patrimonio geológico.

“Un Lugar de Interés Geológico (LIG) o geositio se destaca por su carácter único y/o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos de una región, incluyendo los procesos que los han modelado, los

climas del pasado y su evolución paleobiológica” (García-Cortés y Carcavilla Urqui 2009).

Es decir que podemos considerar Lugares de Interés Geológico, a todos aquellos elementos geológicos destacables del entorno circundante por su valor científico, histórico-cultural, paisajístico, educativo, turístico y socioeconómico. Un lugar de interés geológico tiene características y dimensiones variables, puede ser desde un elemento puntual como un bloque errático, hasta por ejemplo un circo glaciar que alberga varios elementos de interés y con entidad paisajística. Los LIG son unos de los vehículos más adecuados para divulgar e interpretar el medio geológico.

Glaciares de Escombros

Los glaciares de escombros son mesoformas criogénicas con forma lobulada o de lengua, con los flancos y el frente muy inclinados, que se desplazan lentamente ladera abajo (Berger et al, 2004) . Son la expresión geomorfológica de la reptación de permafrost de montaña con alto contenido de hielo (Barsch, 1996; Haerberli, 2000). Generalmente se menciona que los glaciares de escombros están activos o inactivos para expresar su movimiento y criodinámica.

Los glaciares de escombros activos son procesos perennes de hielo subsuperficial en cuerpos de material no consolidado de las zonas frías de la Tierra. Para su formación, desarrollo y mejor conservación, las temperaturas medias anuales del aire óptimas son de -1° C. Los glaciares de escombros activos consisten de una mezcla de un 40 a 60% de material clástico y 60 a 40% de hielo (principalmente hielo intersticial y de segregación; Haerberli, 1985; Barsch, 1996; Arenson et al, 2002). Esta mezcla está cubierta de un manto de clastos, generalmente muy gruesos (bloques), que constituyen la capa activa de descongelamiento estacional (Barsch, 1996). Esta capa activa sirve como capa aisladora e impide el descongelamiento del permafrost subyacente.

Los glaciares de escombros inactivos si bien todavía conservan su contenido de hielo, han dejado de moverse. Esto se puede deber a causas climáticas, geomorfológicas e hidrológicas (Brenning, 2003).

En los glaciares de escombros activos se observa un escarpe frontal muy marcado con pendientes superiores a 35° . Una pendiente tan elevada en material no consolidado, sólo puede ser preservada mediante la presencia de permafrost (Brenning, 2003). En varios de estos glaciares de escombros se han observado sectores de inactividad, pues están siendo colonizados por vegetación.

En tanto se ha observado que las formas inactivas presentan una transición convexa suave entre su superficie y la vertiente frontal, estando su relieve superficial bastante bien conservado.

Estas geoformas por su contenido de hielo, se constituyen en componentes esenciales en los sistemas hidrológicos de montaña y proveen de agua a las pequeñas poblaciones que habitan en la región.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este trabajo se llevó a cabo en tres etapas:

En la primera etapa se realizó una recopilación bibliográfica y una interpretación visual de la zona a partir de fotografías aéreas a escala 1:50.000 y de imágenes satelitales de alta resolución disponibles a partir de Google Earth™. En esta etapa se seleccionaron los geositos a relevar en la etapa de campo. Para esta selección se escogieron geoformas con un excepcional atractivo paisajístico, las cuales, debido a su extrema fragilidad se deben valorar como un patrimonio irremplazable.

Durante la etapa de campo se procedió al relevamiento, chequeo y caracterización de los geositos seleccionados.

En la etapa de gabinete a partir de la información obtenida en las etapas anteriores, se generó una ficha con información de base para cada geosito inventariado ver Fig. 1, que posteriormente se podrá emplear para una evaluación cuantitativa de los geositos.


FICHA DE GEOSITIO			
IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN			
FECHA: 06/12/2013	Nº Geositio: 2	Altura: 4.711 msnm	
COORDENADAS:	27° 09' 00.85" S	66° 02' 37.17" W	
DENOMINACIÓN: Glaciar de escombros			
DEPARTAMENTO: Chicligasta			
UBICACION: Cuenca alta del río Las Pavas - Parque Nacional Campo de Los Alisos			
VIAS DE ACCESO: Desde San Miguel de Tucumán por la Ruta Nacional 38, recorriendo 80 km hacia el sur hasta la localidad de Concepción desde aquí se recorren 14 km hacia el oeste por la Ruta Provincial 365 hasta Alpachiri. Luego se continúa por la Ruta Provincial 330. Finalmente se vadea el Río Jaya y se transita por sendas de herradura hasta llegar al área de estudio. También es posible el acceso desde la provincia de Catamarca.			
DESCRIPCIÓN			
CONTENIDO: Glaciar de escombros de origen criogénico, activo constituido por un grupo de protilus superpuestos. Presentan frentes con pendientes promedio de 38° y un espesor que promedia los 20 metros. La altura mínima en la base del frente es de 4.645 msnm.			
ESTADO DE CONSERVACIÓN: Muy Bueno			
CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA: El clima de la región es seco de alta montaña. Por las bajas temperaturas, el suelo está frecuentemente congelado hasta considerables profundidades.			
OBSERVACIONES: En superficie se observan ondulaciones y lomos característicos producidos por el desplazamiento del glaciar de escombros.			
TIPO DE INTERÉS			
POR SU CONTENIDO			
Estratigráfico		Mineralógico	
Paleontológico		Geomorfológico	X
Tectónico		Geofísico	
Hidrogeológico	X	Geoquímico	
Petroológico		Sedimentológico	
Geotécnico		Geohistórico	
Minero		Museos	
POR SU UTILIZACIÓN			
Turístico	X	Científico	X
		Didáctico	X
		Económico	
POR SU INFLUENCIA			
Local	X	Provincial	X
		Nacional	
		Internacional	

Figura 1. Ejemplo de ficha de un geositio (modificado de Leynaud, 2002)

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la ladera oriental de la Sierra de Aconquija, entre los 27°08'20.76" – 27°11'27.24"S y los 66°04'34.68" – 66°01'15.24"O ver Fig. 2. Corresponde al ambiente morfoestructural de las Sierras Pampeanas Noroccidentales (Caminos, 1979), con una altura media de 5.000 msnm. Los picos más importantes son: Cerro La Bolsa o Tipillas 5.200 msnm y Cerro Las Cuevas 5.000 msnm.

En la Sierra de Aconquija, las precipitaciones oscilan entre los 700 y 2.000 mm/año, alcanzando valores excepcionales de 2.500 mm/año (Rohmeder, 1943), distribuidas estacionalmente en un régimen cuasi-monzónico con verano lluvioso e invierno seco y con el 78% de las mismas durante el período noviembre-marzo. Las precipitaciones níveas y de granizo se registran en las máximas alturas durante el verano (Ahumada et al, 2005).

Debido a que los registros térmicos en la región están directamente relacionados con la altitud, las temperaturas medias anuales varían de 14°C a 12°C hasta los 2.500 msnm, desde donde descienden rápidamente hasta los 0°C o menos.

La Sierra de Aconquija se caracteriza por un paisaje excepcional con un alto valor patrimonial, que por encima de los 3500 msnm ha sido fuertemente modelado por la acción de los glaciares durante el Pleistoceno. En la actualidad, los procesos gravitacionales (avalanchas y deslizamientos) y periglaciales (criofragmentación y crioflucción de las laderas) son los encargados de modelar el paisaje a esta altitud.

RESULTADOS

Se seleccionaron 9 glaciares de escombros activos e inactivos como geositos en la cuenca alta del río Jaya ver Fig. 2 y Fig. 3, estas geoformas no se eligieron sólo por su interés geológico y belleza paisajística, sino también por su potencial educativo e importancia socioeconómica para la población.

En el área de estudio los glaciares de escombros yacen en un valle glaciar y tienen un espesor promedio de 20 m. En su superficie se observan ondulaciones y lomos característicos producidos por el flujo. Petrográficamente están constituidos por bloques de metamorfitas de tamaños diversos (Ibañez Palacios, 2007).

Se trata de geoformas que son extremadamente vulnerables a los efectos del calentamiento global, y que constituyen un rico, valioso e irremplazable patrimonio geológico. Los 9 geositos seleccionados presentan un alto potencial para ser usados en actividades científicas, didácticas y turísticas. Debido a que se encuentran localizados en un lugar de difícil acceso y permanencia, es posible el uso didáctico y turístico de estos geositos sin afectar de manera significativa su conservación. Teniendo en cuenta la fragilidad de estos ambientes ante el efecto del calentamiento global, será necesaria una evaluación periódica de los parámetros relativos a la vulnerabilidad por amenazas antrópicas, a fin de adoptar las medidas de protección adecuadas para los geositos y la región en general.

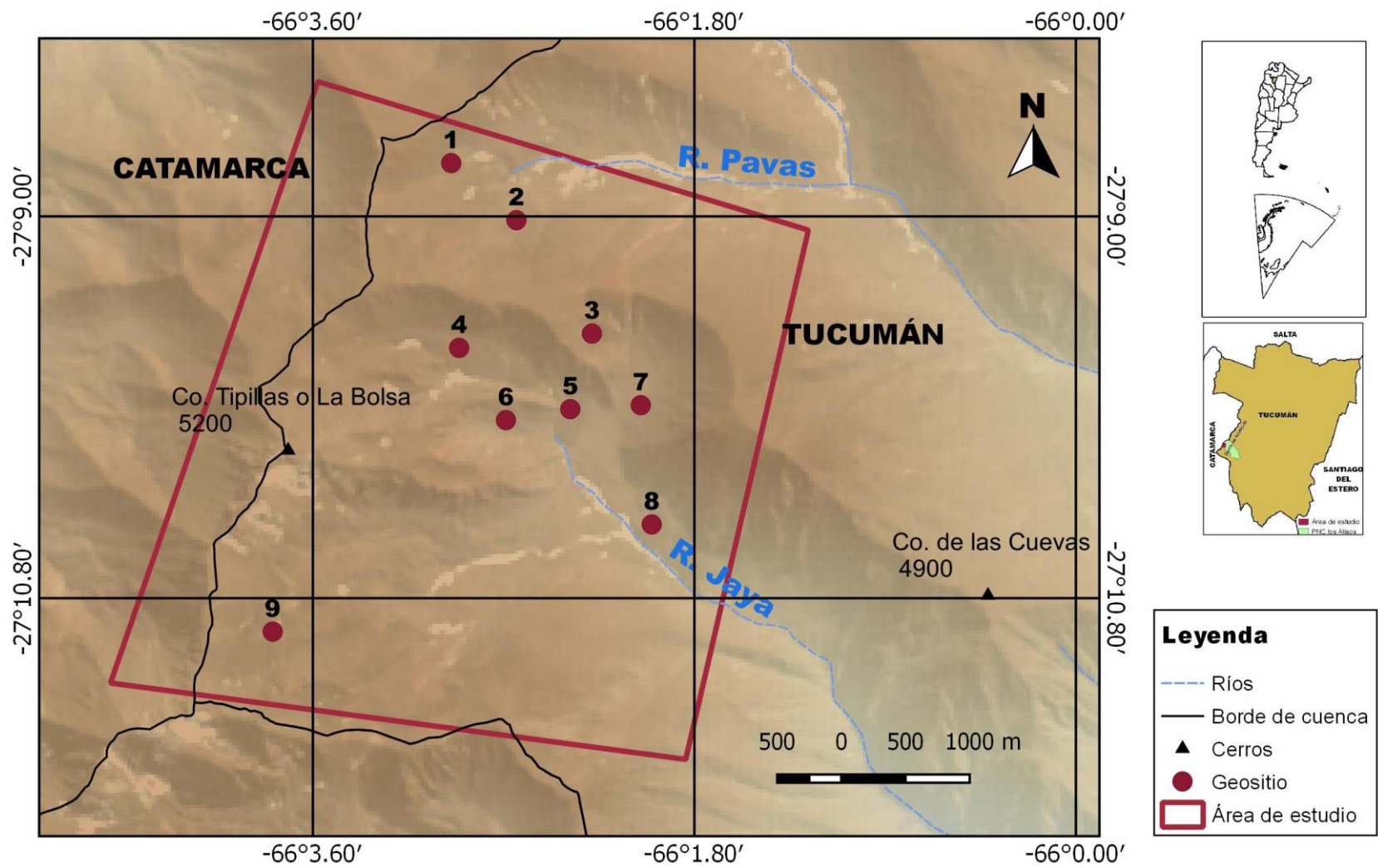


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio y los geositios

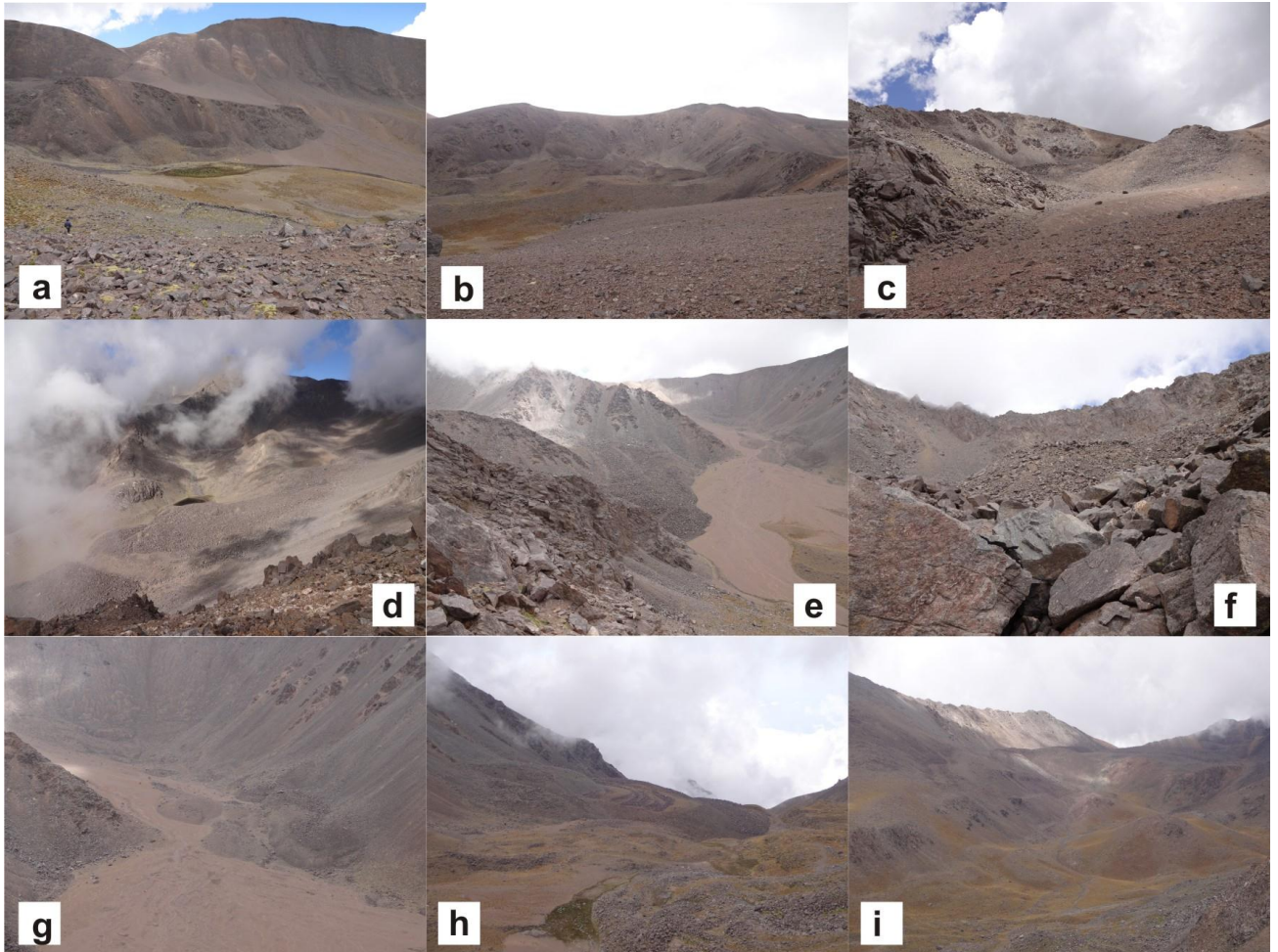


Figura 3. Geositios. **a.** Glaciar de escombros inactivo, constituido por dos cuerpos superpuestos y desarrollo de una turbera al pie. **b.** Glaciar de escombros activo constituido por un grupo de protalús superpuestos. **c.** Glaciar de escombros inactivo en el frente se observan algunos desplomes de la capa activa. **d.** Glaciar de escombros constituido por una parte activa y otra inactiva, se observa el desarrollo de una laguna al borde de la geoforma, cuya alimentación sea posiblemente a expensas del glaciar de escombros. **e.** Glaciar de escombros activo, en su superficie se observan arrugas y líneas transversales ocasionadas por el flujo. **f.** Glaciar de escombros con un sector activo y otro inactivo, vista del frente del sector activo. **g.** Glaciar de escombros inactivo, la vegetación en su frente y los desplomes de la capa activa evidencian su deterioro. **h.** Glaciar de escombros con un sector superior activo constituido por varios cuerpos superpuestos, y un sector inferior inactivo muy vegetado. **i.** Glaciar de escombros activo, formado por varios cuerpos sobrepuestos.

DISCUSIÓN

En las últimas décadas la evolución y el desarrollo tecnológico que experimentó la sociedad permitió el avance en el conocimiento de las áreas de alta montaña y el aprovechamiento de las mismas. Éstas se han convertido en un recurso natural de primera magnitud.

La explotación turística de las regiones de altura en los países en desarrollo se está incentivando progresivamente, para generar fuentes de trabajo para los pobladores

locales; y erradicar progresivamente la pobreza de estas pequeñas comunidades alejadas.

Las dificultades que impuso hasta el momento la Sierra de Aconquija al desarrollo de las actividades humanas, derivado de factores intrínsecos a la misma, como la altitud y sus implicaciones morfoclimáticas, y una topografía de fuertes pendientes y desniveles, entre otros, han condicionado una menor intensidad de los usos y aprovechamientos humanos, por lo que se ha convertido en un espacio natural de gran calidad ambiental y paisajística. De forma que además de un recurso, constituye sobre todo un patrimonio natural y cultural que estamos obligados a preservar; no inmovilizándolo, pero sí evitando los impactos que supongan una pérdida de su naturalidad.

Actualmente al tradicional uso pastoril de la Sierra de Aconquija se ha incorporado la explotación de los recursos mineros y fundamentalmente la zona del Parque Nacional Campo de los Alisos se está transformando en un foco de atracción turística cada vez más masivo, por lo que es necesario el establecimiento de algunas medidas de protección que proporcionen el marco adecuado para la conservación del patrimonio geológico, patrimonio que en algunos aspectos es similar al patrimonio histórico o arqueológico, pero difiere principalmente en el carácter único de los objetos a proteger.

CONCLUSIONES

Las geoformas criosféricas en las que se sustenta gran parte del atractivo paisajístico de la región, cumplen funciones estratégicas para la provisión de agua a las comunidades humanas y los ecosistemas, además de constituirse en reserva hídrica para años de escasez y periodos de sequía. Por lo que se hace necesaria no solo la preservación de las mismas como patrimonio geológico debido a su extrema fragilidad, sino también su ordenación y gestión mediante el desarrollo de un turismo sustentable. Además, para facilitar la protección de esta región de especial interés geológico, se debe preparar previamente a la comunidad local para habilitarlos como actores, gestores y conservadores del geopatrimonio.

Si bien la región no ha sufrido el impacto de grandes concentraciones de población o la implantación de sistemas productivos intensivos, la fragilidad de su ambiente ha sido suficiente como para producir procesos de degradación importantes, por lo que será prioritaria una adecuada gestión de toda actividad que se emprenda para valorizar su patrimonio geológico.

REFERENCIAS

- Ahumada, A.L., Ibañez Palacios, G.P. y Páez, S.V. Los glaciares de escombros en el NW argentino, acuíferos de altura en riesgo ante los cambios globales. *20° Congreso Nacional del Agua y 3° Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur*, Versión digital ISSN/ISBN 987-22143-0-1, Mendoza (2005).
- Ahumada, A. L., Páez, S. V. e Ibañez Palacios, G. P. Rock glaciers in the Andean criolithozone at the 27°S. *Symposium on Climate Change: Organizing the Science for the American Cordillera (CONCORD)*, Mendoza, 51-52 (2006).

- Arenson, L., Hoelzle, M. y Springman, S. Borehole deformation measurements and internal structure of some rock glaciers in Switzerland. *Permafrost and Periglacial Processes* 13, 117 – 135 (2002).
- Barsch, D. *Rockglaciers*, Springer, Berlin, 1996.
- Berger, J., Krainer, K. y Mostler, W. Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps Austria). *Quaternary Research* 62(3), 233-242 (2004).
- Brenning, A. La importancia de los glaciares de escombros en los sistemas geomorfológico e hidrológico de la Cordillera de Santiago: fundamentos y primeros resultados. *Revista de Geografía Norte Grande* 30, 7-22 (2003).
- Caminos, R. Las Sierras Pampeanas Noroccidentales de Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. *II Simposio de Geología Regional Argentina*, Actas 1, 225-291, Córdoba (1979).
- Durán Valsero, J. J. y Carcavilla Urquí, L. Patrimonio geológico y geodiversidad. En: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (eds.). *La profesión de Geólogo*. Madrid, España, (2009).
- García Cortés, A. y Carcavilla Urquí, L. *Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG)*. Instituto Geológico y Minero de España, 2009.
- Haerberli, W. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, ETH, Zürich, 77 (1985).
- Haerberli, W. Modern research perspectives relating to permafrost creep and rock glaciers: a discussion. *Permafrost and Periglacial Processes* 11, 290-293 (2000).
- Ibañez Palacios, G. P. Zonación altitudinal de los procesos criogénicos en la cuenca alta del Río Conventillo, Tucumán, Argentina. *Acta geológica Lilloana* 20 (1), 73-82 (2007).
- Ibañez Palacios, G. P., Ahumada, A. L. y Páez, S. V. Patrimonio geológico en una región de la Sierra del Aconquija, provincias de Tucumán y Catamarca, Argentina. *Revista Pasos* 10, 75-87 (2012).
- Martínez, O. R. Patrimonio geológico. Identificación, valoración y gestión de sitios de interés geológico. *Geograficando* 4, 233-250 (2008).
- Rohmeder, W. Observaciones meteorológicas en la región encumbrada de las Sierras de Famatina y del Aconquija (República Argentina). *Anales de la Sociedad Científica Argentina* 136, 97-124 (1943).

PARASITISMO GASTROINTESTINAL EN GUANACOS SILVESTRES DE LOS ANDES CENTRALES

Moreno P. G.^a, Sosa J.^b, Fernandez R.^c y Vélez L.^a

^aGrupo de Investigaciones de la Biodiversidad, IADIZA, CCT CONICET Mendoza, ARGENTINA

^bFac. Veterinaria, Universidad Juan A. Maza, Mendoza, ARGENTINA

^cFac. Cs. Agrarias, Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Cuyo,
ARGENTINA

e-mail: pmoreno@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

Los animales silvestres albergan comunidades parasitarias compuestas por varias especies cuyas dinámicas de prevalencia e intensidad son afectadas por distintos factores, entre los que se destacan las variables ambientales. En este trabajo se muestran resultados preliminares de un proyecto que estudia los factores determinantes de parasitismo en la población de guanacos de la Reserva Provincial Laguna del Diamante, Mendoza, Argentina. Se analizaron muestras de materia fecal de 31 guanacos, colectadas en verano de 2018, y se procesaron con las técnicas de Wisconsin modificada y Sedimentación Rápida de Lumbreras. Los huevos de parásitos encontrados en materia fecal pertenecen a los géneros de helmintos Nematodirus, Trichuris, Capillaria y Fasciola; a su vez se encontraron ooquistes de coccidios del género Eimeria. En cuanto a la riqueza parasitaria, el 12,9% (n=4) de las muestras no tuvieron evidencia de presencia parasitaria. En el 87,1% restante (27 guanacos), se encontró al menos una de las especies parasitarias. Las muestras de 6 individuos (19,4%) tuvieron una sola especie; 8 (25,8%) tuvieron formas evolutivas de dos especies parásitas, 10 muestras (32,3%) con presencia de 3 especies de parásitos, y la mayor riqueza parasitaria, que fue de 4 especies de parásitos, se encontró en heces de 4 guanacos (9,7%). Las prevalencias (%) e intensidades medias (IM, huevos u ooquistes por gramo de materia fecal) para los distintos géneros de parásitos fueron las siguientes: Nematodirus sp. 41,94% (IM=7,46 hpg), Eimeria spp. (agrupa ooquistes de E. lamae, E. alpaca y E. punoensis) 64,52% (IM=126,10 opg), E. macusaniensis fue de 16,13% (IM= 1,60 opg), Trichuris sp. de 29,03% (IM= 3,44 hpg), Capillaria sp. de 38,71% (IM=1,17 hpg) y Fasciola hepatica 16,10% (IM=4,9). La continuidad e incremento de los muestreos podría evidenciar un aumento en la riqueza de especies parásitas y contribuirá a determinar los factores que afectan las dinámicas de prevalencia e intensidad de parasitismo.

Palabras Clave: Guanacos, *Lama guanicoe*, Ecoepidemiología, Parásitos, Conservación.

INTRODUCCIÓN

La introducción de especies exóticas y la fragmentación del hábitat favorecen el contagio de parásitos generalistas (Daszak et al, 2001). A su vez, los patógenos pueden representar una amenaza considerable para la biodiversidad (Pedersen A. B. and Greives T. J., 2008), ya que pueden regular las dinámicas poblacionales de sus hospederos (Tompkins D.M. and Begon M., 1999).

La literatura relacionada a parásitos de camélidos sudamericanos es extensa, sin embargo existen pocos estudios longitudinales de las dinámicas parasitarias en una población determinada. En el trabajo de Moreno P. G., 2014, se estudiaron las dinámicas de prevalencia e intensidad de la comunidad parasitaria del tracto gastrointestinal de guanacos silvestres de la reserva La Payunia (Mendoza) entre 2009 y 2012 y encontraron que la comunidad parasitaria gastrointestinal de esa población estaba compuesta por al menos 11 especies, y que los parásitos pertenecieron a 5 especies de nematodos, 1 especie de cestode y 5 especies de protozoos del género *Eimeria* (*E. lamae*, *E. alpaca*, *E. punoensis*, *E. macusaniensis* y *E. ivitaensis*).

Por otro lado, algunas mortandades de camélidos sudamericanos estudiadas han sido atribuidas a estrés invernal (Cajal J. L. and Ojeda R. A., 1994; Rindel D. and Belardi J. B., 2006). Hasta el momento un único estudio ha evaluado el impacto parasitario en las mortandades de estos animales (Beldomenico et al, 2003) y pudo establecer que la mortandad estuvo asociada a una interacción entre condiciones climáticas extremas y altas cargas de un parásito propio de ganado doméstico (*Dictyocaulus filaria*).

El conocimiento de las especies que componen la comunidad de parásitos internos de los animales silvestres y la proporción de los animales parasitados en la población y sus intensidades de parasitismo constituyen información indispensable para conocer el estado de salud de las poblaciones y su potencial vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos.

En este trabajo se describe la comunidad de parásitos internos de la población de guanacos silvestres de la reserva provincial Laguna del Diamante (Mendoza) mediante la identificación de las formas evolutivas de las distintas especies de parásitos presentes en la materia fecal.

MÉTODOS

El estudio se realizó durante el verano de 2018 en la reserva provincial Laguna del Diamante y alrededores. Esta Reserva tiene una superficie de 1700 km² y se ubica en el centrooeste de Mendoza (34°10´S 69°41´O; 2300-5300 msnm), por lo que está caracterizada por un gradiente altitudinal de Oeste a Este (Puig et al, 2011). Laguna del Diamante pertenece a la provincia fitogeográfica Altoandina (Cabrera A. L. and Willink A., 1973). El clima en la región es de tundra con precipitaciones anuales promedio de 600 mm, principalmente como nevadas, que ocurren entre abril y setiembre (Puig et al, 2014). En la Reserva habita una población de guanacos que migra estacionalmente por las severas condiciones climáticas. En relevamientos poblacionales del año 2006 la abundancia mínima para esta población de guanacos se estimó en 743 individuos, con una densidad aproximada de 2,72 guanacos/km² (Baigún R., 2008).

Se colectó heces frescas de 31 guanacos luego de observar su defecación. Para el diagnóstico parasitario se utilizó la técnica cuali-cuantitativa de Wisconsin modificada (Todd A., 1962) que brinda información de la presencia de formas evolutivas de bajo peso y de la intensidad del parasitismo. A su vez se aplicó la técnica de Sedimentación rápida de Lumbreras modificada para evaluar la presencia de huevos de trematodes (Lumbreras H., 1962).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron huevos de helmintos pertenecientes a los géneros de nematodos *Nematodirus*, *Trichuris* y *Capillaria*, al género de trematode *Fasciola*; y ooquistes de coccidios del género *Eimeria*.

En 12,9% (n=4) de las muestras no hubo evidencia de presencia parasitaria. El 87,1% restante (27 guanacos), tuvo al menos una de las especies parásitas. Las muestras de 6 individuos (19,4%) tuvieron una sola especie; 8 (25,8%) tuvieron formas evolutivas de dos especies parásitas, 10 muestras (32,3%) tuvieron 3 especies de parásitos, y la mayor riqueza parasitaria, que fue de 4 especies, se encontró en heces de 4 guanacos (9,7%), ver figura 1. Las mayores frecuencias de riqueza parasitaria en Laguna del Diamante se dieron en animales parasitados por 2 y 3 especies, en contraste con la población de La Payunia donde lo más frecuente fue que sean parasitados por 1 especie (Moreno et al, 2015); sin embargo, ambas poblaciones tuvieron a 4 especies como la riqueza parasitaria máxima. Considerando que estos resultados son preliminares y forman parte de un estudio longitudinal, el incremento del esfuerzo de muestreo en distintas estaciones podría reflejar un aumento en la riqueza parasitaria (Guégan J. F. and Kennedy C. R, 1996; Ezenwa et al, 2006).

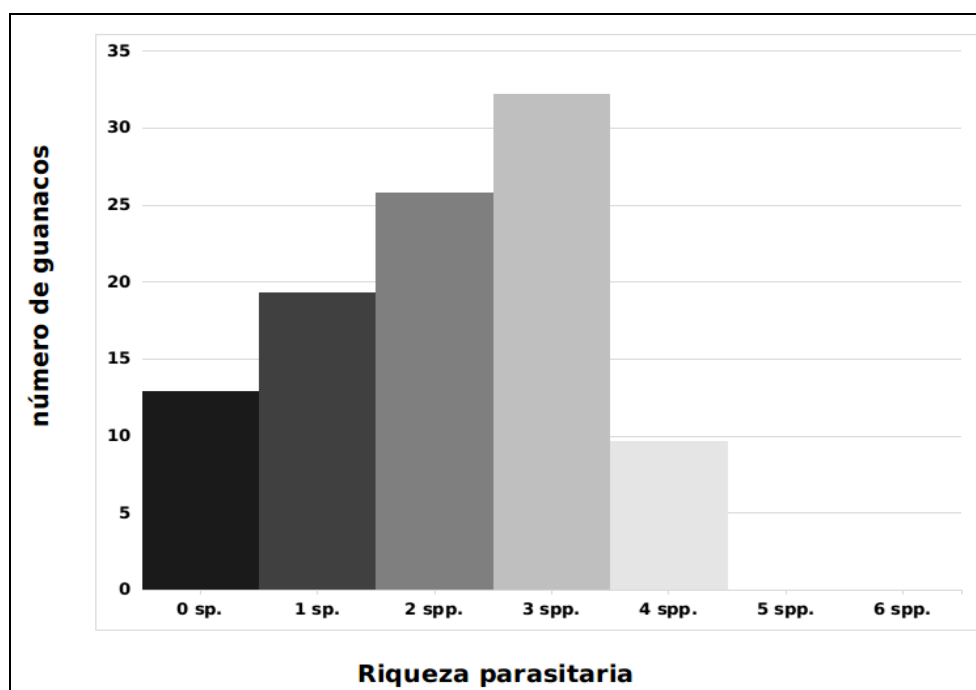


Figura 1. Riqueza parasitaria estival en la población de guanacos de la Rva. Laguna del Diamante (Mendoza).

En la tabla 1 se muestran los porcentajes de prevalencia y la intensidad media de cada taxón de parasitario. Las especies con mayores prevalencias fueron *Nematodirus* sp. y *Eimeria* spp. con porcentajes de 41,94% y 64,52% respectivamente.

Tabla 1.- Prevalencia e intensidad media parasitaria para verano en la población de guanacos de la Rva. Laguna del Diamante (Mendoza).

Taxón parasitario	Prevalencia	Intensidad Media (hpg/opg)
<i>Nematodirus sp.</i>	41,94 %	7,46
<i>Trichuris sp.</i>	29,03 %	3,44
<i>Capillaria sp.</i>	38,71 %	1,17
<i>Fasciola hepatica</i>	16,10 %	4,9
<i>Eimeria spp.*</i>	64,52 %	126,10
<i>Eimeria macusaniensis</i>	16,13 %	1,60

*ooquistes de *Eimeria lamae*, *E. alpaca* y *E. punoensis*.

Las especies que predominan durante verano en Laguna del Diamante son las mismas que predominan durante todo el año en los guanacos de la población de La Payunia (Moreno P. G., 2014). Sin embargo, la prevalencia e intensidad media de todas las especies presentes en Laguna del Diamante superan ampliamente a las de los veranos de La Payunia.

Varias son las especies de *Nematodirus* que pueden parasitar a los guanacos, para lograr la identificación a nivel de especie es necesario realizar cultivos larvarios y evaluar los caracteres diagnósticos de las larvas (Navone G.T. and Merino M.L., 1989; Karesh et al, 1998; Beldomenico et al, 2003; Moreno et al, 2015; Petrigh R. S. and Fugassa M. H., 2014). La combinación de resultados de distintas técnicas coproparasitológicas permitirá incrementar el nivel taxonómico de identificación de los parásitos.

CONCLUSIONES

En la época estival los guanacos de la Reserva Laguna del Diamante son parasitados por al menos 4 especies de helmintos y 4 especies de protozoos, a saber: *Nematodirus sp.*, *Trichuris sp.*, *Capillaria sp.*, *Fasciola hepatica*; y *Eimeria alpaca*, *E. lamae*, *E. punoensis* y *E. macusaniensis*.

Lo más frecuente es que los guanacos hospeden 2 o 3 especies de parásitos internos.

Las especies predominantes pertenecen a *Nematodirus* y *Eimeria*.

Las prevalencias e intensidades medias en verano para todas las especies de parásitos internos de guanacos de Laguna del Diamante superan ampliamente a las de La Payunia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo y colaboración del cuerpo de Guardaparques de la Reserva Provincial Laguna del Diamante. Este trabajo fue financiado por el proyecto PICT 2015-3721 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

REFERENCIAS

- Baigún, R. Manejo de fauna silvestre en la Argentina: Primer censo nacional de camélidos silvestres al norte del Río Colorado. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2008).
 Beldomenico, P. M., Uhart, M., Bono, MF, Marull, C., Baldi, R. and Peralta, JL. Internal parasites of free-ranging guanacos from Patagonia. *Veterinary Parasitology* 118, 71-77 (2003).

- Cabrera, A. L., and Willink, A. Biogeografía de América latina, 1973.
- Cajal, J. L., and Ojeda, R. A. Camélidos Silvestres y Mortalidad por tormentas de nieve en la cordillera frontal de la Provincia de San Juan, Argentina. *Mastozoología Neotropical* 1(1), 81-88 (1994).
- Daszak, P., Cunningham, A. A. and Hyatt, A. D. Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. *Acta tropica* 78(2), 103-116 (2001).
- Ezenwa, V. O., Price, S. A., Altizer, S., Vitone, N. D. and Cook, K. C. Host traits and parasite species richness in even and odd-toed hoofed mammals, Artiodactyla and Perissodactyla. *Oikos* 115(3), 526-536 (2006).
- Guégan, J. F., and Kennedy, C. R. Parasite richness/sampling effort/host range: the fancy three-piece jigsaw puzzle. *Parasitology Today* 12(9), 367-369 (1996).
- Karesh, W. B., Uhart, M. M., Dierenfeld, E. S., Braselton, W. E., Torres, A., House, C. and Cook, R. A. Health evaluation of free-ranging guanaco (*Lama guanicoe*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 134-141 (1998).
- Lumbreras, H. Acerca de un procedimiento de sedimentacion rapida para investigar huevos de *Fasciola hepatica* en las heces, su evaluacion y uso en el campo. *Rev. méd. Perú* 31, 167-174(1962).
- Moreno, P.G. Factores asociados a parasitismo gastrointestinal en guanacos silvestres (*Lama guanicoe*). Santa Fe, Argentina. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, 2014.
- Moreno, P. G., Schroeder, N. M., Taraborelli, P., Gregorio, P., Carmanchahi, P. D. and Beldomenico, P. M. La comunidad de parásitos gastrointestinales de guanacos silvestres (*Lama guanicoe*) de la reserva provincial La Payunia, Mendoza, Argentina. *Mastozoología neotropical* 22(1), 63-71 (2015).
- Navone, G.T., and Merino, M.L. Contribución al conocimiento de la fauna endoparasitaria de *Lama guanicoe* Müller, 1776, de Península Mitre, Tierra del Fuego, Argentina. *Bol.chil.parasitol* 44: 46-51 (1989).
- Pedersen, A. B., and Greives, T. J. The interaction of parasites and resources cause crashes in a wild mouse population. *Journal of Animal Ecology* 77(2), 370-377 (2008).
- Petrich, R. S., and Fugassa, M. H. Molecular identification of *Nematodirus spathiger* (Nematoda: Molineidae) in *Lama guanicoe* from Patagonia, Argentina. *Helminthologia* 51(2), 79-82 (2014).
- Puig, S., Rosi, M.I., Videla, F. and Mendez, E. Summer and winter diet of the guanaco and food availability for a High Andean migratory population (Mendoza, Argentina). *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde* 76(6), 727-734 (2011).
- Puig, S., Rosi, M. I., Videla, F. and Mendez, E. Food selection by the guanaco (*Lama guanicoe*) along an altitudinal gradient in the Southern Andean Precordillera (Argentina). *Acta theriologica* 59(4), 541-551 (2014).
- Rindel, D., and Belardi, J. B. Mortandad catastrófica de guanacos por estrés invernal y sus implicaciones arqueológicas: el sitio Alero Los Guanacos 1, lago Cardiel (Provincia de Santa Cruz, Argentina). *Magallania (Punta Arenas)* 34(1), 139-155 (2006).
- Todd, A. Survey of gastrointestinal parasitism in Wisconsin dairy cattle. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 141(6), 706-709 (1962).
- Tompkins, D.M., and Begon, M. Parasites can regulate wildlife populations. *Parasitol. Today* 15, 311-313 (1999).

AVANCE EN EL ESTUDIO DE AREAS DE AMENAZAS HIDRICAS EN LA PARTE MEDIA DE LA SUBCUENCA DEL RIO LOS ANGELES. DPTO CAPAYAN. CATAMARCA. R.A.

Sánchez, M.M.^a, Vilches, F.E.^a, Tálamo, E.^a, Acha ,E.M.^a, Córdoba , G.^a Palomeque, I^a,
Ibáñez, M.E.^a .

^aDepartamento de Geología, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: mmargaritasanchez@yahoo.com.ar

RESUMEN

El área de estudio se ubica a 38km de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. El principal objetivo de este trabajo consistió en identificar los elementos bajo riesgo, causados por inundaciones en la parte media de la Subcuenca del Rio Los Ángeles, mediante el uso y procesamiento del software ARGIS PRO con licencia educativa como herramienta para el desarrollo de mapas temáticos digitales de los procesos geológicos. La metodología empleada consistió en preparar una base de datos para la aplicación del software y el levantamiento de las principales características del medio físico y natural para la elaboración de mapas temáticos digitales con variables de relieve (altitud, pendientes), usos del suelo y de inundación como producto del entorno físico. Los resultados mostraron que los mapas digitales de pendientes e inundación, ayudan a la identificación de variables de relieve y a la correlación de los procesos geológicos que ocurren en el área de estudio, que fueron principalmente, la erosión en suelos e inundación. Este estudio es importante en la investigación aplicada como herramienta a emplear y de conocimiento directo de transferencia a las instituciones públicas, constituyendo un recurso que puede servir de base para futuras investigaciones

Palabras Clave: Software. Mapas temáticos. Pendientes. Inundaciones.

INTRODUCCION

Estudiar una cuenca como un sistema ,es de suma importancia por cuanto cualquier acción que afecte a un sector de la misma repercute indefectiblemente aguas abajo ; una alteración en la utilización del territorio en el área de cabecera, tarde o temprano se hará sentir en la parte baja o salida de la misma. Son precisamente estas alteraciones en el uso del suelo y las pendientes, las responsables en gran parte de que sean más rigurosos los efectos de los deslizamientos y crecidas en muchas áreas.

El estudio de la subcuenca del río Los Ángeles en su parte media, permitirá mejorar la evaluación de los riesgos de inundación gracias a que es posible identificar insitu los factores que ocasionan o interviene en la producción de eventos a salida de las microcuencas de la parte media de la subcuenca.

El objetivo general de este trabajo consiste en identificar los elementos bajo riesgo, causados por inundaciones en la parte media de la Subcuenca del Río Los Ángeles, mediante el uso y procesamiento del *software* ARGIS PRO con licencia educativa como herramienta para el desarrollo de mapas temáticos digitales de los procesos geológicos; caracterizando físicamente la subcuenca media para describir el comportamiento hidrológico, el uso y degradación de los recursos renovables de la subcuenca, las zonas de riesgo hídrico que eventualmente puedan ocasionar inundaciones, generando mapas de pendientes e hipsométricos.

Esta Investigación está orientada a determinar el grado de afectación que generan las pendientes en áreas específicas e inestables de la subcuenca.

Los resultados son de aplicación directa a la zona de estudio y pueden ser apropiados para realizar estudios en cuencas vecinas como así también solucionar los problemas asociados a las zonas de riesgo.

Ubicación y Descripción de la Zona de Estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Departamento Capayán, a unos 20 km del mismo y a 38 km de San Fernando del Valle de Catamarca. La principal vía de acceso es la Ruta Nacional N° 38 y Provincial N° 5, camino de cuesta.

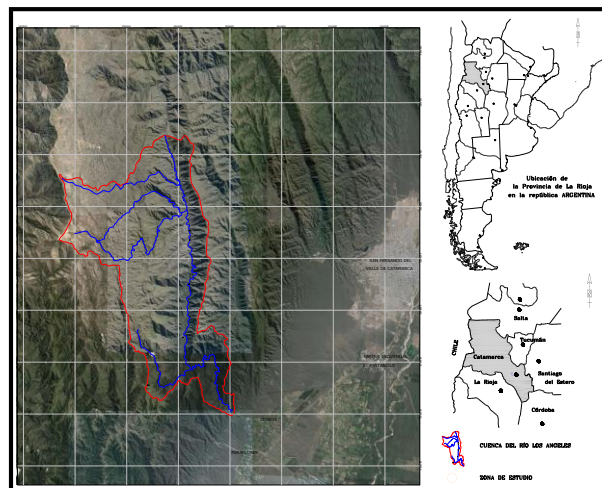


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio

La subcuenca del Río los Ángeles de aproximadamente 143 km², con una población de 383 habitantes (CENSO, 2010) se encuentra ubicada dentro de la cuenca del Río del Valle de aproximadamente 5490 Km², en el faldeo oriental de El Manchao-Ambato. Refleja fisiográficamente la antigua peneplanicie terciaria. Hacia el sur presenta quebradas profundas, controladas por fallas de rumbo norte-sur. El valle longitudinal de Los Ángeles corta la ladera y está originado también por una fractura de rumbo N-S. La red de drenaje rectangular está regulada por fracturas “ver Fig. 1”.

La subcuenca está atravesada de N a S por el colector principal que es el río Los Ángeles, de aguas permanentes, tiene su cabecera en el extremo NE de la subcuenca, nace con el nombre de arroyo de La Loma y cambia aguas abajo por el de río Los Ángeles, dando nombre a la subcuenca. Los afluentes de mayor importancia por constituir un aporte

permanente de caudal, tienen sus nacientes en las altas cumbres del Ambato, este cordón actúa como barrera natural para la captación de humedad por lo que las precipitaciones son más frecuentes. En la región media del valle tectónico, encontramos laderas recorridas por valles profundos y angostos, ocupados por cursos no permanentes, que se activan en la época estival, tanto en la ladera E como en la O del valle. En el extremo austral del valle, a la latitud del Barrio Los Pinos, en río Los Ángeles recibe el aporte del arroyo Los Pinos, y en respuesta a un cambio estructural modifica su rumbo hacia el E- NE por un corto trayecto hasta tomar nuevamente el rumbo inicial es decir E-O.

El clima de La región ES cálido, semiárido, según la clasificación general “áridos de sierras y bolsones”, pero se comporta como un micro clima mas húmedo por efecto de La morfología. Se transforma en un clima local que responde a las características subtropicales, común precipitaciones de 350-400 mm anuales, las lluvias son orográficas, torrenciales, concentrándose entre los meses de diciembre a febrero, con una temperatura máxima en verano de 36 °C y La mínima 5°C La que se registra entre mediados de Julio y principios de Agosto, la temperatura media es 18°C. En cuanto al régimen eólico, hay preponderancia de los vientos del cuadrante N-NE durante todo el año, le siguen en orden los del cuadrante S, con leves picos de frecuencias en los meses de septiembre y octubre. Propenso a incendios forestales debido a la fuerte insolación y vientos secos.

Estratigráficamente se encuentran rocas del basamento cristalino y depósitos cuaternarios. La litología del basamento cristalino se encuentra representada por gneis bandeados, migmatitas y esquistos inyectados de La FM El Portezuelo (Precámbrico- Paleozoico inferior). Este complejo metamórfico- migmatítico aflora en el flanco Nororiental de las sierras de Ambato y conforma La faja migmatítica que se extiende a lo largo de La quebrada de Los Ángeles coincidiendo con El área de máxima inyección (NULLO 1981). Los cuerpos ígneos intrusivos aflorantes en el área de estudio se encuentran emplazados en las rocas esquistosas y gnéicas, se trata de granitos y pegmatitas descriptos por Blasco et al (1994) como Plutonitas Postectónicas (Carbonífero).

METODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

La metodología que se aplicó consistió en:

- Búsqueda y análisis de información histórica y actual. Recopilación de antecedentes sobre la parte media de la subcuenca del Rio Los Ángeles.
- Sistematización, análisis y compilación de la información útil.
- Relevamiento, sistematización y análisis de la bibliografía específica.
- Uso de las imágenes del Google Earth para determinar la ubicación geográfica, y delimitación de la subcuenca.
- Uso y procesamiento del *software* ARGIS PRO con licencia educativa como herramienta para el desarrollo de mapas temáticos digitales y el SPRING (Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada), desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales, (INPE), de Brasil. Preparando una base de datos para la aplicación del software y el levantamiento de las principales características del medio físico y natural para la elaboración de mapas temáticos digitales con variables de relieve (altitud, pendientes) y de inundación como producto del entorno físico.

Para el mapa Hipsométrico se definieron ocho clases de altitud, con intervalos de 500m, es decir: 500-1000m; 1000-1500m; 1500-2000m; 2000-2500m; 3500-3000m; 3000-3500m; 3500-4000m y 4000-4500m. Luego se elaboro el mapa de pendientes definiendo las clases

en %, según EMBRAPA (1999) que consistió en diversos intervalos en clases de pendientes y tipos de relieve. Los valores asignados fueron de 0-3%; 3-8%; 8-20%; 20-45%, 45-75% y >75%.

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Los resultados mostraron que los mapas digitales de pendientes, hipsométrico, usos del suelo e imágenes fotográficas ayudan a la identificación de variables de relieve y a la correlación de los procesos geológicos que ocurren en el área de estudio, que fueron principalmente, la erosión e inundación observable por los procesos resultantes de la erosión hídrica y la actividad antrópica. Los puntos de mayor riesgo en la parte media de la subcuenca son tres:

- 1- Salida de la microcuenca ubicada en el borde oriental Sierras de Ambato, frente a la Escuela Secundaria. Fotos N° 1 y 2
- 2- Salida de la microcuenca ubicada en el borde oriental de las Sierras de Ambato, frente a Hostería Municipal. Foto N° 3 ,4 y 5
- 3- Microcuenca ubicada en el borde oriental de las Sierras de Ambato frente plaza Santo Domingo. Foto N° 6



Foto N°1 salida microcuenca frente Escuela Secundaria. Foto N°2 Escuela Secundaria

La imagen N° 1 muestra la salida de la microcuenca, se encuentra tapada por vegetación, basura y es extremadamente pequeña para el volumen de agua a evacuar en épocas de lluvia.

Por la elevada pendiente, al colmatarse inunda la Hostería y la escuela Secundaria que se encuentran aguas abajo (Foto N°2), tomada desde otro ángulo, la escuela está en la parte inferior de la pendiente, aguas abajo, favoreciendo la posibilidad de inundarse ante la caída de pocos mm de lluvia.



Fotos N°3 y N°4: Salida microcuenca frente a Hostería Municipal que desemboca en un sifón de pequeño tamaño



Foto N° 5 :Hosteria Municipal

Foto N°6: Salida microcuenca arroyo Santo Domingo

Para el estudio de las variables de relieve se considera que está directamente relacionado con los procesos geodinámicas que ocurren en la subcuenca, rocas y suelos.

De manera general el área presenta una configuración de relieve compleja. El mapa Hipsométrico define ocho clases de altitud que varían de 500 a 4500m con el área correspondiente, es decir 500 a 1000m (3,81Km²); 1000-1500m (18,86Km²); 1500-2000m (32,33Km²); 2000-2500m (36,49 Km²); 2500-3000m (33,04Km²); de 3000-3500m (15,66Km²); 3500-4000m (12,90 Km²) y 4000-4500m (8,91Km²). Las dos clases de altitud

de mayor y menor corresponde a la clase de 2000-2500m con un área de 22,52% y mayor área la clase de 500-1000m con un área de 2,35% del área total “Ver Figura 2”

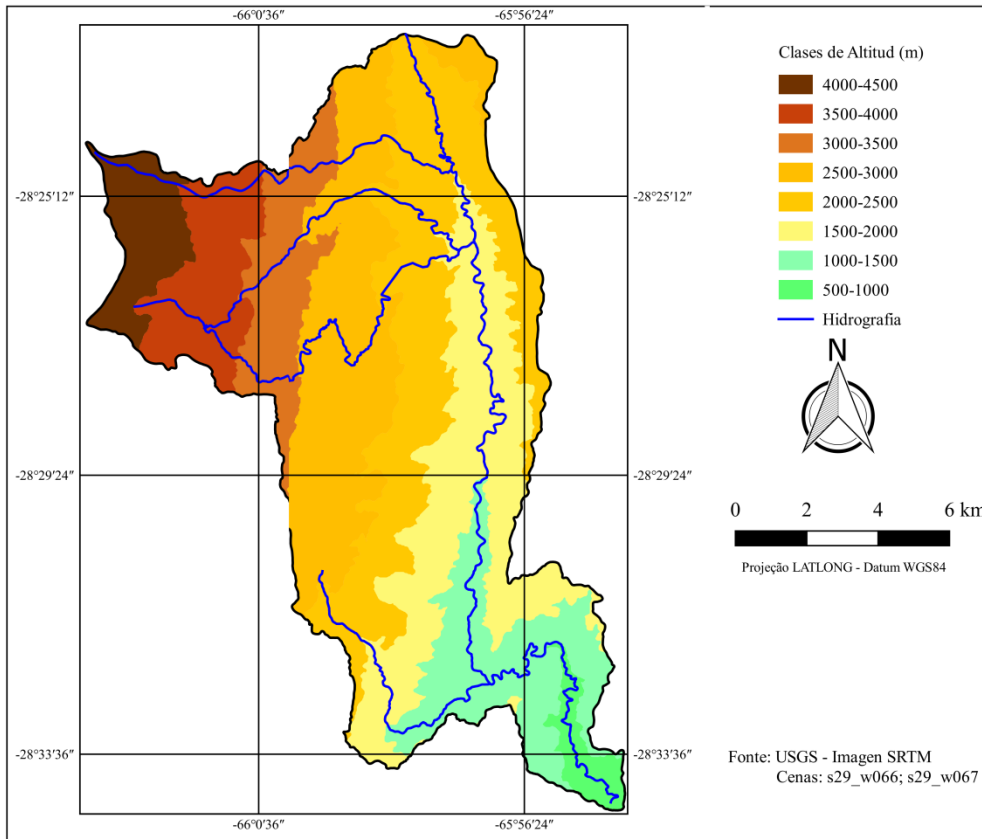


Fig. Nº 2: Mapa Hipsométrico. Laboratorio Geoprociamiento GEMA/ UEM

El mapa de pendientes indica la inclinación de las diferentes formas del relieve de la subcuenca de manera integral y se determinó en porcentaje, relacionándose las diferentes clases de pendientes con las formas del relieve y su distribución en áreas. Las dos clases de pendientes de mayor ocurrencia fueron de 20-45%, representando un relieve fuerte, ondulado que abarca 66,25km² y la clase 45-75% con un relieve de tipo montañoso que abarca 55,57Km². Las clases de relieve tipo ondulado es de 8-20% con 20,88Km² y del tipo peñascoso mayor al 75% con 14,51Km².

La clase de menor pendiente de 0 -3% representa la menor área de la cuenca hidrográfica (0-65 km²), correspondiendo a un relieve suave y plano donde se encuentra el río Los Ángeles y las márgenes “Ver Fig. N°3”.

La Fig. N°4 representa el uso del suelo en diferentes intervalos de tiempo,(50 años), que se obtuvo mediante la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales de Google Earth que permitieron determinar áreas pobladas, áreas de cultivos, erosión hídrica y áreas de quema de pastizales. “Ver fig. N°4”.

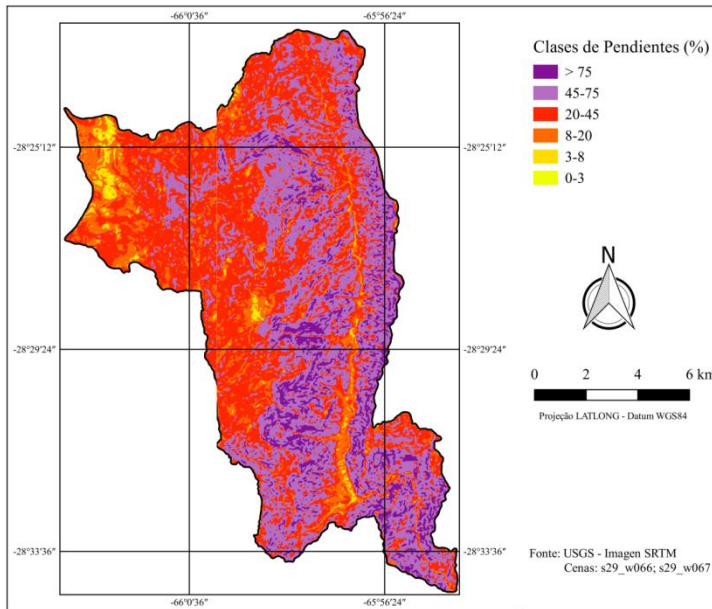


Fig. 3: Mapa de pendientes Fuente: Laboratorio Geoprocesamiento GEMA/ UEM

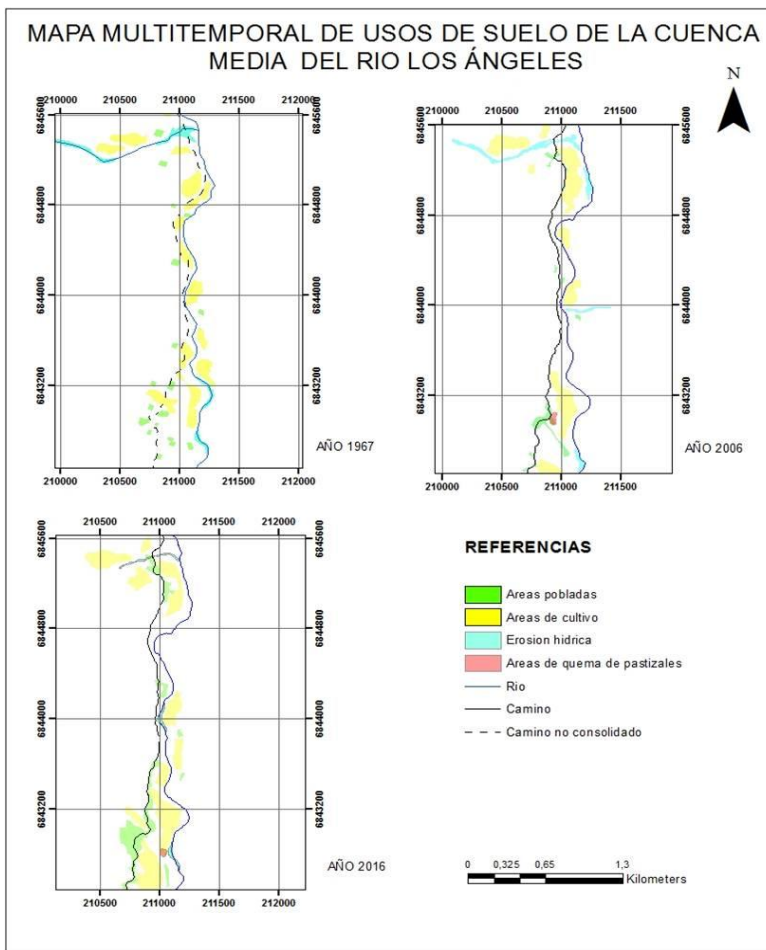


Fig. N°4 Mapa usos del suelo en la subcuenca.

CONCLUSIONES

Los estudios de observaciones directas en campo, los mapas temáticos digitales hipsométricos, de pendientes y de usos del suelo, revelaron la coexistencia de procesos geodinámicos en el área de estudio, deslizamientos de rocas y suelos expuestos, erosión en suelos e inundación, que se desarrollan por la combinación del medio físico con las características climáticas, principalmente las aguas de precipitaciones torrenciales, los tipos de rocas y suelos, acelerados por la actividad humana.

Este estudio es importante en la investigación aplicada como herramienta a emplear y de conocimiento directo de transferencia a las instituciones públicas, constituyendo un recurso que puede servir de base para futuras investigaciones.

REFERENCIAS

Blasco, G; caminos, R.; Lapido, O.; Lizuain, A.; Martinez, H.; Nullo, F.; Panza, J y Sacomani, L. Hoja Geológica 2966-II San Fernando del Valle de Catamarca, Provincias de Catamarca, Santiago del Estero y Tucumán, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Boletín 212, Buenos Aires, 1994.

EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: EMBRAPA. Produção da Informação. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999.

Morlans, M.C., Guichón, B. Reconocimiento ecológico de la provincia de Catamarca I: Valle de Catamarca. Vegetación y Fisiografía. Rev. de Ciencia y Técnica UNCA., Vol. I N° 1, pág.15 - 50. (ISSN 0328-431X). 1995.

Morlans, M.C.; Guichón, B.A.; DE LA ORDEN, E.A; DIAZ, N.A. Relevamiento de Vegetación de la Cuenca de los Ángeles. Rev. de Ciencia y Técnica. UNCA. VOL.III – N°3. 16 pp. 1996.

Nullo, F. Descripción Geológica de la hoja 15f, Huillapima (Provincia de Catamarca). Boletín del Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires, 178 pp. 1981.

USO DE IMÁGENES SAR DE SENTINEL-1 PARA EL ESTUDIO DE LOS BAÑADOS Y ESTEROS DEL RÍO SALADO, PROVINCIA DE SANTIAGO DEL ESTERO

Toledo M. A.^{a,b}, Ibañez Palacios G. P.^a y Ahumada A. L.^{a,c}

^aInstituto de Geología de Cuaternario y Paleoclimas, Fundación Miguel Lillo, ARGENTINA

^bSubsecretaría de Asuntos Agrarios y Alimentos, Tucumán, ARGENTINA

^cCONICET, ARGENTINA

e-mail: geotolma@hotmail.com

RESUMEN

El río Salado nace en las provincias de Salta-Catamarca, en las altas sierras occidentales del borde de la Puna y atraviesa las provincias de Santiago del Estero y Santa Fe. Este cauce ha cambiado su curso en su historia geológica, buscando mayor pendiente y dejando evidencias de paleocauces lo largo de su recorrido. Debido a que el relieve en la provincia de Santiago del Estero se caracteriza por una vasta planicie, la llanura chaco pampeana, el río Salado no presenta un cauce definido en ciertos sectores, por lo que sus aguas se desplazan conformando esteros y bañados, tales como: Pellegrini, Copo y Añatuya. A través del procesamiento y análisis de las Imágenes SAR (Synthetic Aperture Radar) de Sentinel 1, se comprueba, con un ejemplo de caso, su capacidad para identificar, caracterizar y cuantificar los bañados y esteros, como así también la extensión de las áreas afectadas por el escurrimiento superficial, dada la capacidad de las ondas de radar para penetrar los suelos y diferenciar su contenido de humedad. Estas imágenes de radar obtenidas a través de sistemas que permiten la adquisición de datos biofísicos y geofísicos de la superficie terrestre, independientemente de las condiciones climáticas son de acceso libre. Para lograr los objetivos propuestos se utilizó el software SNAP con el cual se aplicó una clasificación para identificar agua y tierra. Con la imagen obtenida se realizó una clasificación no supervisada con el software SOPI y posteriormente se vectorizó la imagen con el software Qgis, para realizar el cálculo de áreas. Los resultados obtenidos muestran que las imágenes de Sentinel 1 son un excelente recurso para discriminar cuerpos de agua y contenido de humedad en los suelos.

Palabras Clave: Río Salado, Bañados y Esteros, Imágenes SAR

INTRODUCCIÓN

El Río Salado o Cachi Mayu, nace a 6.500 msnm en las sierras de Cachi y Acay, provincia de Salta, con el nombre de Pasaje o Juramento. Este río ha cambiado varias veces de curso en su historia geológica, buscando mayor pendiente y dejando paleocauces que contienen agua en el subálveo.

El río Salado ingresa a la provincia de Santiago del Estero por el noroeste atravesando la misma en sentido sureste. Su cauce es el límite físico entre varios departamentos de esta provincia. El relieve por donde circula, llano a muy llano con numerosas áreas deprimidas donde se concentra el escurrimiento superficial, es característico de la llanura chaqueña. En muchos sectores de su recorrido el río Salado se ensancha y en otros no tiene un cauce definido, por lo que sus aguas se desplazan por brazos secundarios y/o se concentran en bañados y esteros, tales como los de Pellegrini, Copo y Añatuya. Sobre su cauce se encuentran también obras de represamiento y riego como el Embalse Los Figueroa, el Dique Derivador y canales como el de Jume Esquina y Cuchi Pozo. Aguas abajo de estas lagunas y bañados, el Río Salado se encausa nuevamente e ingresa a la provincia de Santa Fe hasta desembocar en el río Paraná.

Hacia el oeste de la provincia de Santiago del Estero se encuentra un sistema de bañados y esteros que tienen tendencia a desaguar en el río Salado. Este sistema hidrológico, que funciona como un regulador natural de crecidas, recibe los aportes hídricos del río Horcones que nace en la provincia de Salta, y del río Urueña que nace en las sierras de La Candelaria, su cauce es el límite entre las provincias de Tucumán y Salta. Estos ríos manifiestan crecidas violentas y de poca duración de Diciembre a Marzo y solo en eventos extremos tienen el caudal suficiente como para conectarse con el Río Salado, por lo que generalmente desaguan en los bañados y esteros. En el ambiente de la llanura chaqueña presentan carácter deposicional, con tendencia a abandono de cauces e inundación. Los bañados y esteros se alimentan también de lluvias locales concentradas en el verano y de las aguas aportadas por algunos arroyos y canales de la provincia de Tucumán.

Con el propósito de confeccionar una cartografía de base que represente la distribución espacial y el área ocupada por el sistema de humedales, en especial de los sectores con bañados y esteros y de los suelos con contenido hídrico, afectados frecuentemente por el escurrimiento superficial, en este trabajo se aplica la técnica de teledetección con imágenes SAR de Sentinel-1. Para ello se ha definido un área de estudio de 715.321 ha ubicada en el sector centro oeste de la provincia, que abarca parte de los departamentos Alberdi, La Banda, Giménez y Figueroa ver Fig.1.

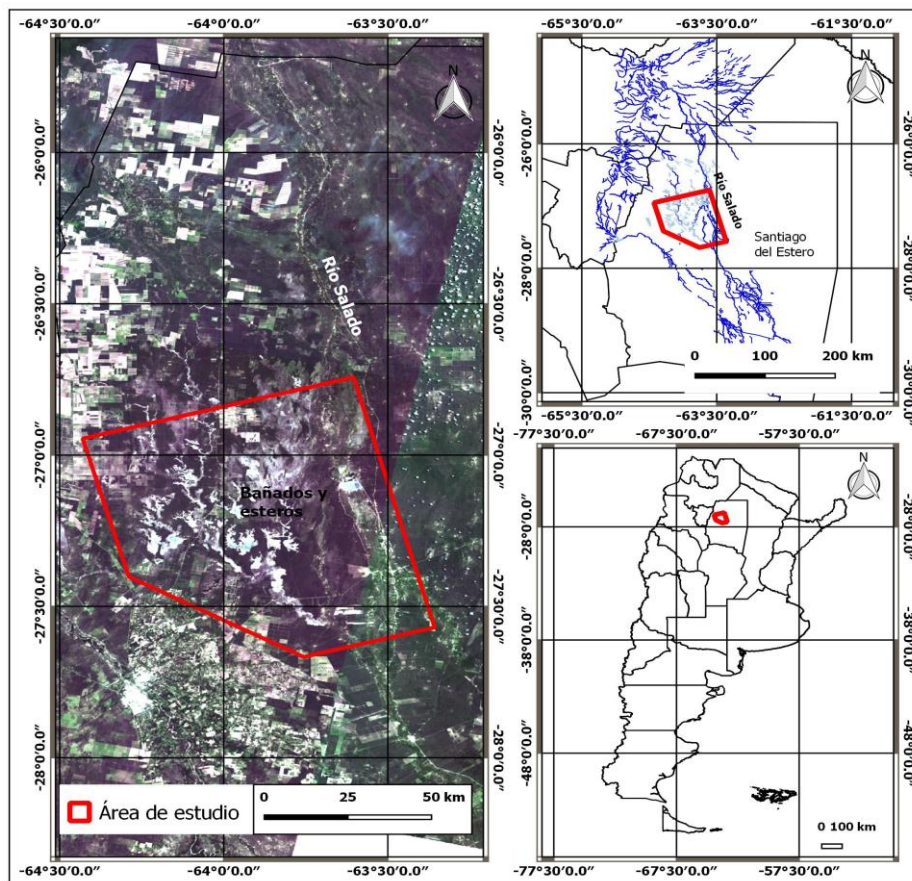


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

La presencia de agua en superficie con alta cobertura vegetal genera dificultades para su identificación mediante imágenes satelitales ópticas, debido a la imposibilidad de conocer el estado de la inundación debajo de la vegetación (San Martín et al, 2015). En este trabajo se aprovecha la capacidad de las Imágenes Sentinel-1 en polarización Vertical-Horizontal (VH) para detectar zonas inundadas debajo de la vegetación y suelos con contenido de humedad.

Los satélites Sentinel conforman un conjunto notable de observación de la tierra. Fueron desarrollados por la Agencia Espacial Europea ESA, dentro del programa Copernicus, anteriormente denominado Global Monitoring for Environment and Security (GMES) para proporcionar información precisa, actualizada y de acceso libre para la gestión del medio ambiente y la seguridad. Los datos y la información de Copernicus están disponibles de forma gratuita y abierta, en apoyo de la Agenda Digital para Europa.

Actualmente se encuentran activas tres misiones: Sentinel-1 proporciona imágenes radar, Sentinel-2 proporciona imágenes ópticas de alta resolución y Sentinel-3 transporta varios instrumentos para estudios de la Tierra y de los océanos.

Las imágenes radar de Sentinel-1 tienen aplicación en la detección de zonas inundadas, contenido de humedad de los suelos, delimitación de incendios y monitoreo de flujos de lavas monitoreo del hielo marino y las zonas polares, vigilancia medioambiental, mapeo en situaciones de crisis humanitarias, derrames de petróleo, agricultura, entre otros. Sentinel-1 contiene un instrumento SAR en Banda C (5.4 GHz). Tiene una órbita polar heliosincrónica a 693 km, una revisita de 12 días (un satélite) y una vida útil de 7 años. El Sentinel-1A fue lanzado el 3 de abril de 2014 y el Sentinel-1B fue lanzado el 25 de abril de 2016.

METODOLOGIA

Con el software SNAP (Sentinel Application Platform) se procesó la imagen Sentinel S1B_IW_GRDH_1SDV_20171024T225554_20171024T225619_007977_00E18A_445E, órbita ascendente con el propósito de evaluar la capacidad de la misma en polarización Vertical-Vertical (VV) y Vertical-Horizontal (VH) para detectar zonas inundadas y diferencias en el contenido de humedad de los suelos, lo cual está directamente relacionado al escurrimiento superficial, determinándose que la polarización VH es la que presenta mayor capacidad para detectar superficies inundadas.

Para ello se procedió a seleccionar un sector de la imagen con el comando “Subset” para generar una sub-imagen donde se encuentran los bañados y esteros. Posteriormente se realizó la calibración radiométrica de la sub-imagen, para que el valor cada pixel esté relacionado directamente con la retro dispersión de la escena. Este proceso es esencial para hacer un análisis cuantitativo de la imagen, principal objetivo de este trabajo. Se aplicó el proceso de “multilooking” para reducir el ruido speckle (que dificulta la interpretación de las imágenes radar, porque empeora la información del terreno). Posteriormente se realizó el proceso de corrección geométrica con el algoritmo “Ranger-Doppler Terrain Correction” para orto rectificar la imagen y posicionarla en su orientación correcta. Este algoritmo utiliza un modelo de elevación digital para realizar la corrección.

El paso siguiente fue transformar los σ^0 o valores de retrodispersión de la imagen a decibeles, tanto en polarización VV como VH con “Linear to/from dB”. En el caso de la polarización VH se ha considerado el valor de -18,85 db como valor máximo, este valor surge de la información de los pixeles de la imagen, los valores menores a este valor representan los sectores con agua en superficie. En general el valor mencionado se incrementa en aproximadamente 6 db cuando se analiza la polarización VV. Se comparo también estos sectores con otros cuerpos de agua de mayor tamaño, tales como el Embalse Río Hondo y la Laguna de Mar Chiquita ubicadas al Suroeste y Sur del área de estudio, obteniendo valores similares.

Con el software SOPI (Software de Procesamiento de Imágenes) de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales) se realizó la clasificación no supervisada de las imágenes procesadas en SNAP, con el propósito de dar valores digitales a los pixeles y con el software Qgis 2.18 se procedió a vectorizar dichas imágenes, transformándolas en polígonos para realizar el cálculo de áreas.

Las capas vectoriales resultantes del proceso fueron comparadas con una imagen Sentinel 2 de fecha 20 de octubre de 2017, dividida en cuatro escenas 20JLQ_0_B8A_B11_B04_M,

20JLR_0_B8A_B11_B04_M, 20JMQ_0_B8A_B11_B04_M y 20JMR_0_B8A_B11_B04_M en composición Land Water (bandas B8A, B11, B04) obtenidas de EOS Platform-Land Viewer e imágenes del aplicativo Google Earth del área de estudio.

Posteriormente se realizó el proceso de depuración de las capas, para evitar incorporar errores de cálculos de las superficies, dado que muchos cultivos presentaban valores de retrodispersión similares. Para ello se procedió a eliminar todos aquellos polígonos regulares que representan cultivos, callejones etc. Este procedimiento fue realizado en forma automática y manual con la herramienta de edición que posee el software QGIS. También se procedió a eliminar los polígonos menores a 5 ha, para producir capas vectoriales más limpias.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores en decibeles con los que se realizó la clasificación de las bandas Sigma0_VH_db son: para el agua superficial (lagunas y bañados): $< -18,85$ db y para suelos con contenido de humedad (escurrimiento superficial) entre: $-18,85$ db y $-11,77$ db.

Los valores de Sigma0_VV_db en general muestran un valor promedio de más (+) 6 db sobre los valores de Sigma0_VH_db. La fig. 2 muestra la clasificación obtenida en el proceso realizado con SNAP sobre las bandas en polarización VV y VH.

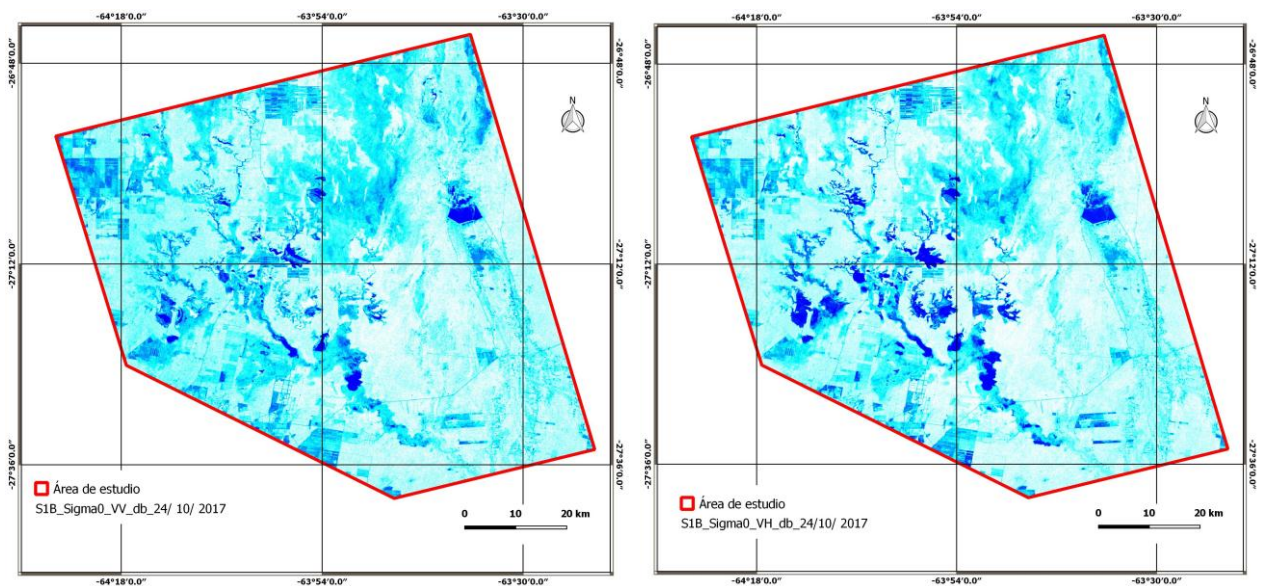


Figura 2. Imagen Sentinel-1, fecha 24/10/ 2017. Sigma0_VV_db (izquierda) y Sigma0_VH_db (derecha). Puede observarse que los bañados y esteros (color azul) ocupan mayor superficie en la imagen derecha a causa de la mayor penetración de la onda C en polarización VH.

En las Fig. 3 y 4 están representados los mapas de bañados, esteros y las áreas de escurrimiento superficial obtenidos como resultado de la metodología aplicada.

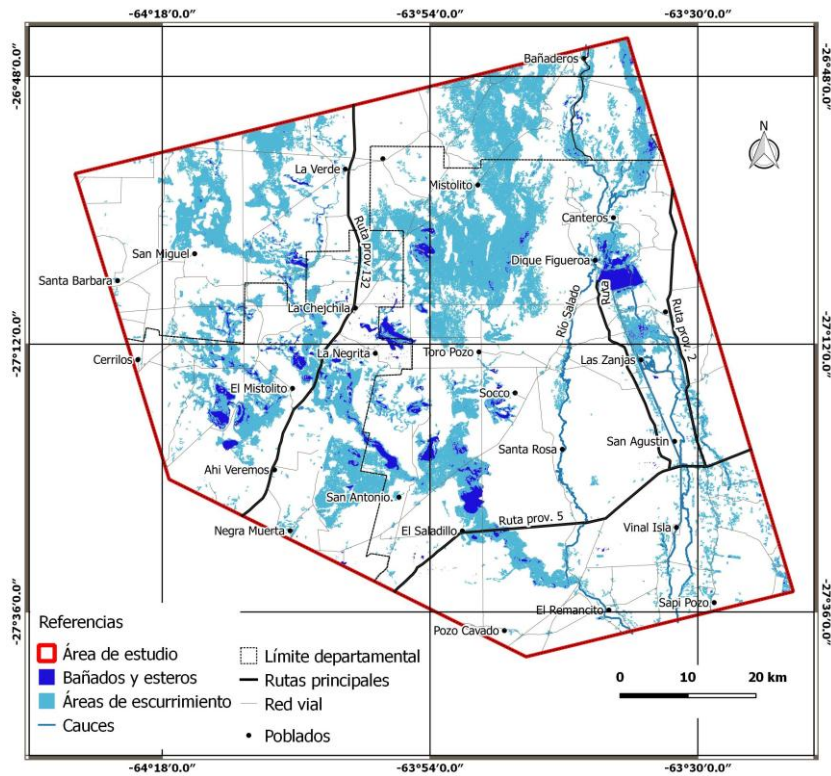


Figura 3. Mapa de la zona de estudio obtenido a partir de la banda en polarización Vertical-Vertical (VV).

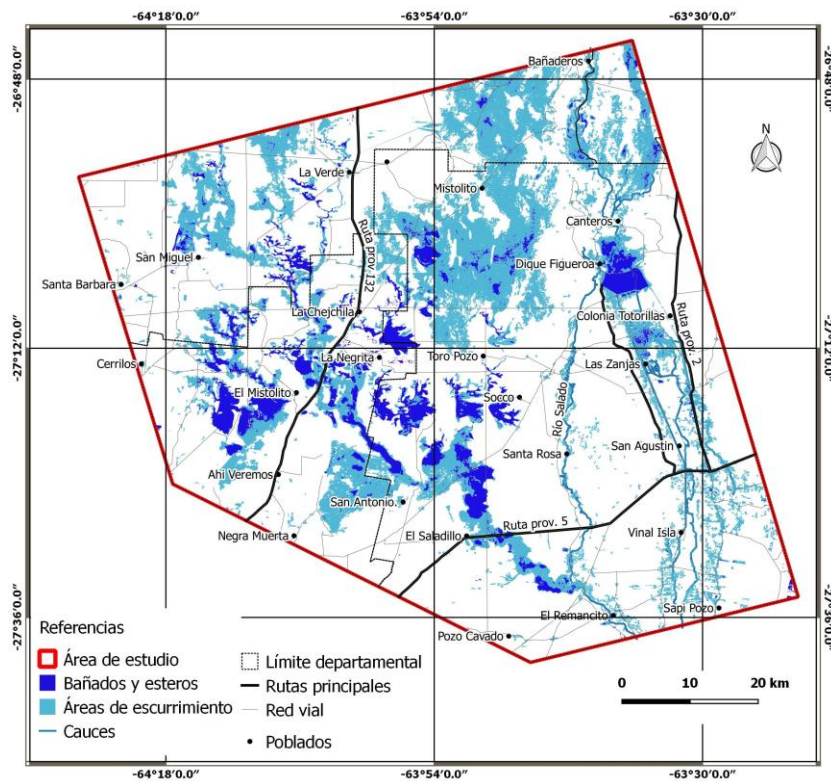


Figura 4. Mapa de la zona de estudio obtenido a partir de la banda en polarización Vertical-Horizontal (VH).

Existe una gran diferencia en la extensión superficial de los bañados y esteros al comparar ambas polarizaciones, sin embargo la distribución espacial de estos cuerpos de agua es coincidente, demostrando que la polarización VH amplía su alcance de determinación por su mayor

penetración, permitiendo conocer la extensión de los suelos inundados debajo de la vegetación. La figura 5 muestra la distribución espacial de ambas polarizaciones.

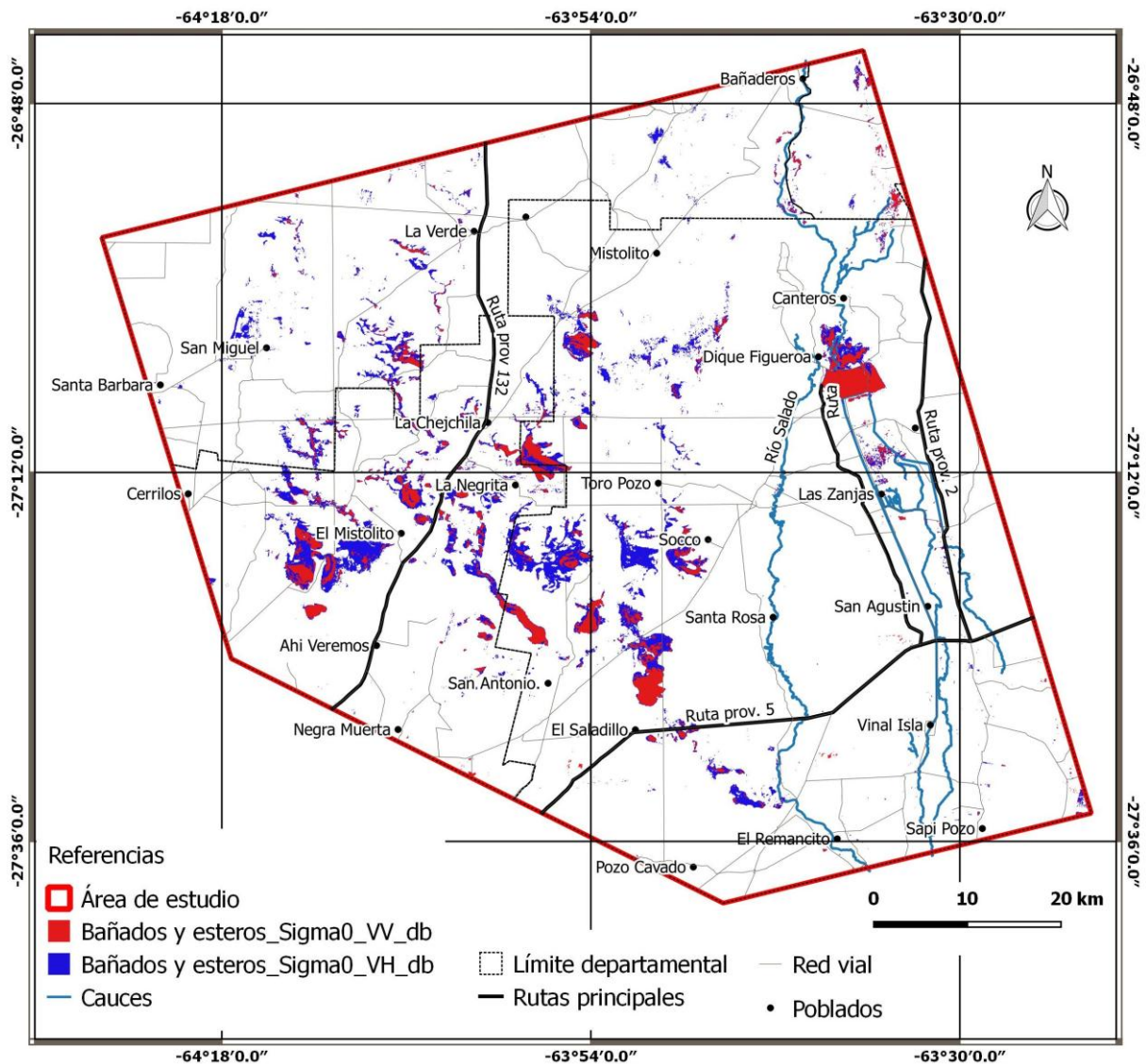


Figura 5. Distribución espacial de los cuerpos de agua en polarización VV y VH.

Los resultados obtenidos en el cálculo de las superficies con agua son representados en la Tabla I

Tabla I. Valores obtenidos en el cálculo de áreas.

Sentinel-1 fecha 24 / 10 / 2017						
Rasgo superficial	Sigma0_VV	%	Sigma0_VH	%	Diferencia	%
Bañados y esteros	14.614,50 ha	2,04	38.946,60 ha	5,44	24.332,10 ha	3,40
Escurrimiento sup.	158.238,00 ha	22,12	152.959,00 ha	21,40	5.279,00 ha	-0,73
Sumatoria	172.852,50 ha	24,16	191.905,60 ha	26,80	19.053,10 ha	2,66
Area de estudio	715.321,00 ha					

Al comparar las coberturas vectoriales obtenidas de Sigma0_VV_db y Sigma0_VH_db de Sentinel 1, fecha 24 / 10 / 2017 con la imagen óptica Sentinel 2 de fecha 20 / 10 / 2017 ver Fig. 6, se observa una mayor correlación de las superficies de bañados y esteros de Sentinel 2 con los polígonos obtenidos en banda Sigma0_VV-db. Por el contrario los polígonos de Banda Sigma0_VH-db muestran menor correlación y mayor superficie, dado que estarían indicando agua cubierta por la vegetación.

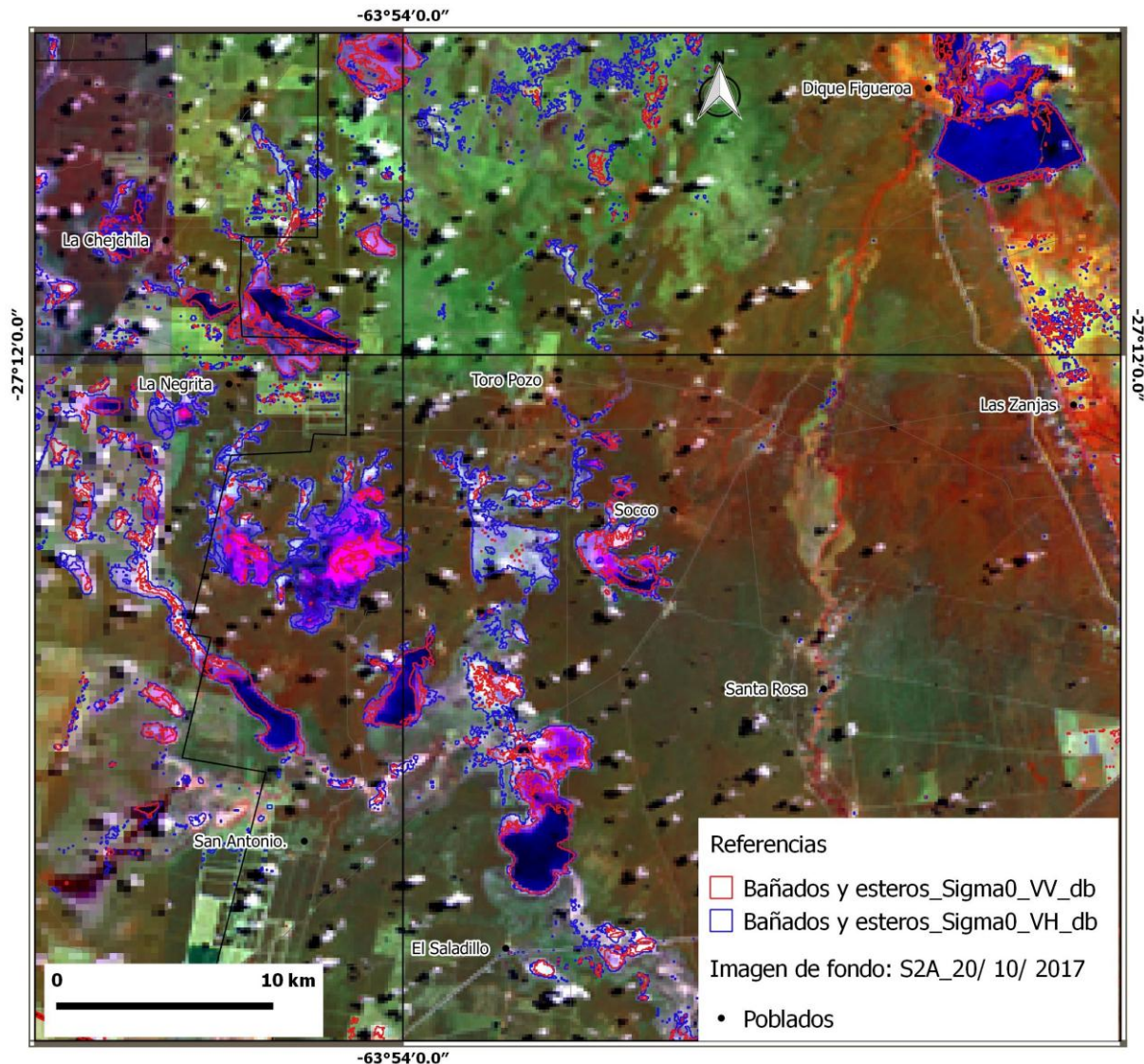


Figura 6. Sector del área de estudio con la distribución espacial de los polígonos obtenidos por el procesamiento de las bandas VV (en color rojo) y VH (en color azul), sobre una imagen Sentinel-2 de fecha 20/ 10/ 2017.

La metodología aplicada en la determinación de áreas inundadas mediante el análisis de una imagen satelital Sentinel-1B con los software SNAP, SOPI y Qgis produjo buenos resultados y solo representa la hidrología del área en una fecha determinada . En virtud de estos resultados, es posible abordar un análisis de uso de la tierra que tome en consideración otros componentes del medio que aporten una visión más completa de lo que existe en la zona de estudio.

En el estudio de inundaciones es indispensable hacer un estudio previo de la dinámica del agua en la zona (Donezar Hoyos, 2017). En ese sentido el análisis multitemporal de los bañados, esteros y áreas de escurrimiento superficial permitirá predecir la tendencia de las

transformaciones de la zona y de esta manera plantear un ordenamiento que sea capaz de compatibilizar la dinámica del uso de la tierra con la dinámica hidrológica.

CONCLUSIONES

La metodología aplicada ha permitido mapear la distribución espacial de las lagunas y bañados y áreas de escurrimiento superficial del área de estudio, ubicada en el sector centro oeste de la provincia de Santiago del Estero y realizar el cálculo de superficies. En polarización VV las lagunas y bañados ocupan el 2,04 % del área de estudio y las áreas de escurrimiento superficial el 22,12 %. Mientras que en polarización VH las lagunas y bañados ocupan el 5,44% y las áreas de escurrimiento superficial el 21,38 %. El análisis fue realizado sobre una imagen del 24 de octubre de 2017, por lo que solo representa las características hidrológicas del área de estudio en esa fecha en particular.

Se destaca la utilidad de las imágenes Sentinel1B, banda C, en la identificación e inventariado de agua en superficie y suelos con contenido de humedad, debido a su capacidad de detectar agua debajo de la vegetación a diferencia de las imágenes satelitales ópticas. Esta metodología permite el análisis de áreas extensas como la abarcada en este trabajo.

REFERENCIAS

- Alaska Satellite Facility. <https://www.asf.alaska.edu/>
- Donezar Hoyos, U., Larrañaga Urien, A., Tamés Noriega, A., Sánchez Gil, C., Albizua Huarte, L., Ciriza Labiano, R., del Barrio Arellano, F. Aplicación de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 en la detección y delineación de información de crisis de desastres naturales en el marco de los servicios Copernicus EMS. Revista de teledetección, 50, 49-57. (2017). <https://doi.org/104995/raet.2017.8896>.
- Earth Observing System-Land Viewer. <https://eos.com/>
- European Space Agency. <https://www.esa.int/ESA>
- Posada, E., Ramirez Daza, Héctor Mauricio y Castro Díaz, Iván Ricardo. Aplicaciones de la polarimetría de radar en observación de la Tierra. Experiencias en el Uso y Aplicación de Tecnologías Satelitales para Observación de la Tierra. Comisión Colombiana del Espacio. ISBN 978-958-8067-25-4, Bogota (2010). <https://www.researchgate.net/publication/276919824>.
- QGIS User Guide. Publicación 2.18. QGIS Project (2018). <https://docs.qgis.org/2.18/pdf/es/QGIS-2.18-UserGuide-es.pdf>.
- San Martín L., Morandeira, N., Grimson, R. y Kandus, P. Uso_de_imagenes_ALOS/PALSAR-1 para la clasificación e inventario de humedales en la Llanura Costera de Ajo (Buenos Aires Argentina). Teledetección: Humedales y Espacios Protejidos.XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección, pp. 583-586. Sevilla (2015). <https://www.researchgate.net/publication/283961250>
- SoPI v2.5 Software de Procesamiento de Imágenes. Manual de Usuario. CONAE. (2009-2014) <https://es.scribd.com/document/264692921/SoPI-v2-5-Manual-de-Usuario>
- Step science toolbox exploitation platform. SNAP tutorials. ESA (2018). <http://step.esa.int/main/doc/tutorials/snap-tutorials/>

SOLUCIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN AMBIENTALMENTE SUSTENTABLES

Xargay H.^{a,b}, Ripani M.^b, Caggiano A.^{b,c}, Folino P.^b, Martinelli E.^d

^aDepartamento ICES, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), ARGENTINA

^bLMNI, INTECIN, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA

^cInstitut für Werkstoffe im Bauwesen, Technische Universität Darmstadt, ALEMANIA

^dUniversità di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile, Fisciano, ITALIA

e-mail: hermanxargay@cnea.gov.ar

RESUMEN

El hormigón es el material de construcción más utilizado en el mundo y, por lo tanto, la reducción del impacto ambiental inducido por sus procesos de fabricación es un desafío relevante e imprescindible para la industria de la construcción en la actualidad. La producción de hormigón se caracteriza por una importante demanda de energía y materias primas, generando cantidades significativas de gases de efecto invernadero (GEI). En particular, la industria del cemento es responsable de aproximadamente el 5% de las emisiones mundiales de CO₂, mientras que el ciclo completo de la fabricación de hormigón lleva a duplicar esta cifra. Por otro lado, la demolición de los edificios existentes es responsable de enormes cantidades de residuos que generalmente requieren costosos y ambientalmente sensibles procedimientos de disposición final. Por lo tanto, el reemplazo parcial de los agregados naturales por agregados reciclados es una solución racional y sencilla para producir hormigón más sustentable y respetuoso con el medio ambiente. Más aún, el reemplazo de parte del cemento Portland por aglutinantes alternativos, obtenidos mediante el uso de subproductos industriales, es una opción atractiva para reducir las emisiones de GEI. En el presente trabajo, se resumen las actividades realizadas en el marco de los proyectos internacionales de investigación “EnCoRe” y “SUPERCONCRETE”, llevados a cabo por un consorcio de universidades y entidades europeas y americanas, enfocados en el estudio de hormigones sustentables. Se investigaron las características físicas y mecánicas de diversos compuestos cementicios con incorporación de constituyentes naturales y reciclados. Más específicamente, se consideraron los siguientes materiales: hormigón con agregados reciclados, hormigón con reemplazo parcial de cemento Portland por cenizas volantes y compuestos cementicios reforzados con fibras recicladas o naturales.

Palabras Clave: Hormigón, Residuos, Reciclado, Sustentabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se basa en las actividades y resultados alcanzados en el contexto de los proyectos de investigación denominados “Environmentally-friendly solutions for Concrete with Recycled and natural components” (EnCoRe, FP7-PEOPLE-IRSES-2011 n. 295283) y “Sustainability-driven international/intersectoral Partnership for Education and Research in modelling next generation CONCRETE” (SUPERCONCRETE, H2020-MSCA-RISE-2014 n. 645704) financiados por la Comisión Europea en el marco

del programa Acciones Marie Skłodowska-Curie. El proyecto EnCoRe, cuyas actividades se desarrollaron durante los años 2012-2014, reunió a tres universidades europeas (Universidad de Salerno, Politécnico de Milano y Universidad de Minho) y tres universidades sudamericanas (Universidad de Buenos Aires, Universidad Nacional de Tucumán y Universidad de Río de Janeiro). Como indica su título, EnCoRe estuvo destinado a investigar el comportamiento físico y mecánico de los compuestos cementicios elaborados con componentes reciclados y naturales. De hecho, este es un tema de gran relevancia en la actualidad, tanto en tecnología de construcción como en ingeniería estructural, como resultado del creciente interés por hacer que la industria de la construcción sea más "verde". Por su parte, el proyecto SUPERCONCRETE fue la complementación del proyecto EnCoRe, en el cual se hizo énfasis en la modelación teórica y numérica para un espectro todavía más amplio de materiales cementicios pero siempre con la finalidad de mejorar la sustentabilidad de la industria de la construcción. En el proyecto SUPERCONCRETE los participantes fueron siete instituciones europeas (Universidad de Salerno, Universidad de Minho, Universidad de Delft, Universidad de Darmstadt, Tecnalía, MFPA Leipzig y WRS Rosén) y tres universidades americanas (Universidad de Buenos Aires, Universidad Federal de Río de Janeiro y Universidad de Michigan).

En síntesis, los principales objetivos de los proyectos fueron:

- ✓ Investigar el comportamiento físico y mecánico del: hormigón con agregados reciclados, hormigón con reemplazo parcial de cemento por cenizas volantes y hormigón reforzado con fibras recicladas o de origen natural.
- ✓ Formulación de modelos predictivos a múltiples escalas que aborden los fenómenos en edad temprana, condiciones de vida en servicio y respuesta a acciones extremas de diferentes tipos de hormigones para su aplicación racional en el diseño de estructuras.
- ✓ Transferencia a la comunidad de los conocimientos desarrollados (publicaciones científicas y de divulgación, publicación de libros, cursos de difusión y capacitación profesional, programas audiovisuales, etcétera).

Las actividades realizadas en el marco de los proyectos incluyeron:

- ✓ Campañas experimentales llevadas a cabo en 8 universidades americanas y europeas y desarrollo de modelos teóricos y su implementación en procedimientos numéricos para predecir el comportamiento material en 11 instituciones.
- ✓ Diversas propuestas para actualizar y mejorar los códigos de diseño existentes.
- ✓ Al menos 200 meses de intercambio realizados por más de 40 investigadores pertenecientes a las organizaciones participantes.
- ✓ Como producción científica se lograron más de 30 publicaciones en journals internacionales indexados y un libro de texto (Barros, Ferrara, Martinelli, *Eds.*, 2017).

En este artículo, se presentan y describen brevemente algunos conceptos y actividades experimentales realizadas en el contexto de los proyectos mencionados abarcando los siguientes materiales: hormigón con agregados reciclados, hormigón con agregados reciclados y reemplazo parcial de cemento Portland por cenizas volantes y hormigón reforzado con fibras recicladas o de origen natural. Por limitaciones de extensión, se omiten las formulaciones teóricas de comportamiento y sus implementaciones en modelos numéricos, que podrán consultarse en la bibliografía citada.

2. EL DESAFÍO DE SER MÁS SUSTENTABLES

Según su definición original y más citada, el “desarrollo sostenible” debería “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (WCED, 1987). Por lo tanto, la industria de la construcción está enfrentando el gran desafío de hacer que sus procesos sean más sostenibles. De hecho, el sector de la construcción de edificios y la producción de cemento y hormigón son responsables de una parte significativa de las emisiones globales y la demanda de materias primas. En particular, el 40% de las emisiones globales de GEI antropogénicas y el 40% de las materias primas se atribuyen al sector de la construcción, mientras que la producción anual global de hormigón se aproxima a 25 gigatoneladas, es decir, 3,8 toneladas por persona por año (Gursel et al., 2014). Además, la generación de residuos de demolición de hormigón requiere cada vez más capacidad de rellenos de disposición final y esto, especialmente en algunos países, implica un impacto significativo en el medio ambiente. Debido a las enormes cifras mencionadas, cualquier acción capaz de reducir tanto las emisiones de GEI como la demanda de materias primas puede producir un efecto global significativo en el medio ambiente. En este sentido, reciclar hormigón o reusar residuos de otros orígenes en el hormigón para transformarlos en “materias primas secundarias sostenibles” es una solución para responder a los requisitos anteriores y lograr una mayor sostenibilidad en esta industria. En los últimos años se han investigado y desarrollado diversas soluciones para la producción de Hormigones de Bajo Carbono (LCC, Low Carbon Concrete), siendo aquellos hormigones elaborados mediante la selección de constituyentes y procedimientos orientados a reducir la huella de carbono y la demanda de materias primas naturales.

3. HORMIGÓN CON AGREGADOS RECICLADOS (RAC)

Uno de los materiales objeto de este trabajo, es el Hormigón con Agregados Reciclados (RAC, Recycled Aggregate Concrete), en el que los agregados gruesos naturales son parcial o totalmente sustituidos por agregados reciclados obtenidos a partir de la selección, trituración y procesamiento del hormigón de desecho. Sus principales ventajas son dos: por un lado, su uso ayuda a preservar las fuentes de agregados naturales y consecuentemente a reducir el impacto ambiental asociado con su explotación, y por otro lado, permite reducir la cantidad de hormigón de desecho. Este último proviene de distintas fuentes, entre las que puede mencionarse: demoliciones, sobrantes de la construcción de obras, y catástrofes, como por ejemplo, las provocadas por sismos de gran magnitud.



Figura 1: Demolición de losa y trituración del hormigón para transformarlo en agregados reciclados.

Las propiedades de los agregados juegan un papel fundamental en el comportamiento de RAC en estado fresco y endurecido, tanto en términos reológicos, de respuesta mecánica como en su durabilidad a largo plazo. Los agregados reciclados obtenidos a partir de la trituración de hormigón (RCA, Recycled Concrete Aggregates) presentan una mayor porosidad que los agregados naturales debido a que una capa del mortero original permanece adherida al agregado reciclado luego del proceso de trituración. Esta capa de mortero modifica las propiedades de la zona de transición de la interface con una fuerte incidencia sobre el mecanismo de falla de RAC (Ripani et al., 2017). Si bien son muchos los factores que inciden sobre las propiedades de RAC, resulta fundamental el porcentaje de reemplazo (R) de agregados naturales. En la actualidad, algunas guías para el diseño internacionales consideran la utilización de agregados reciclados (ACI 555-R01, 2001; RILEM TC 121-DRG, 1994). En general, se recomienda limitar a bajos valores el porcentaje de reemplazo de agregados naturales por agregados reciclados (alrededor del 30%) y en estas condiciones, se acepta el uso de ese hormigón para fines estructurales. La utilización de RAC con bajos porcentajes de reemplazo ya es una realidad en muchos países, incluyendo a Argentina, a pesar de que los códigos de diseño estructural no han sido actualizados debidamente para tener en cuenta la incidencia de estos nuevos componentes en el comportamiento global de la mezcla.

A continuación, se presentan algunos resultados obtenidos en el programa experimental desarrollado para caracterizar mecánicamente a los RAC. El mismo incluyó ensayos a compresión uniaxial y triaxial con tres niveles de confinamiento, entre otros. Inicialmente, se diseñó y elaboró un hormigón de referencia con una resistencia a la compresión de 35 MPa. Para ello, se utilizaron agregados gruesos graníticos triturados y con tamaño máximo nominal de 19 mm, y como agregados finos, una combinación de arena de río y arena de trituración. Una vez realizados los ensayos mecánicos previstos sobre las probetas elaboradas con este hormigón, se procedió a su trituración, y los agregados gruesos obtenidos de este proceso (RCA) fueron posteriormente reutilizados para la producción de RAC con similar dosificación. Se descartaron todos los agregados reciclados más finos que el tamiz de 4,75 mm de abertura. Se consideraron tres porcentajes distintos de reemplazo R de agregados gruesos naturales por reciclados. Se denominó NAC al hormigón sin agregados reciclados, y R30%, R60% y R100% a los RACs con un valor R de 30%, 60% y 100%, respectivamente (ver Folino and Xargay, 2014).

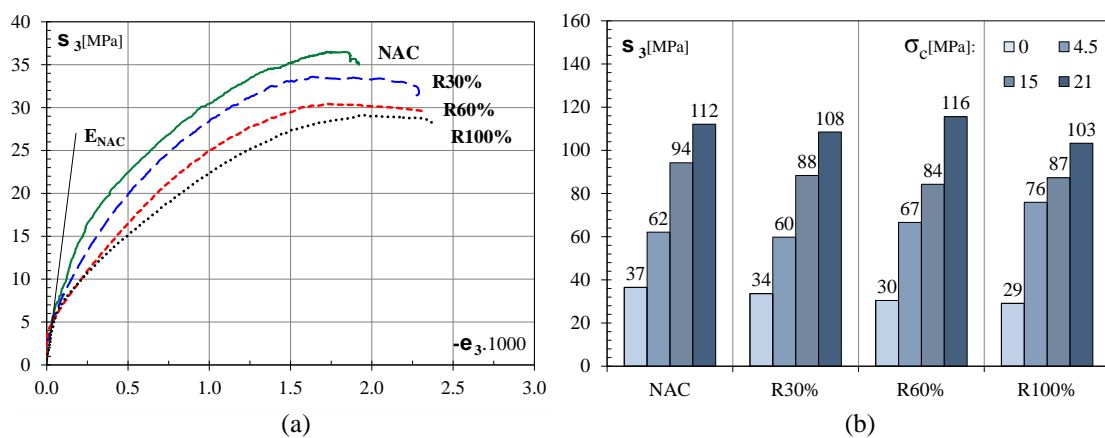


Figura 2: Ensayos en RAC (a) Compresión uniaxial: curvas completas de tensión vs deformaciones axiales. (b) Compresión triaxial: efecto de la presión de confinamiento (σ_c) en la resistencia máxima (σ_3).

Tabla I: Resultados de ensayos físicos en estado fresco de las mezclas estudiadas.

	NAC	R30%	R60%	R100%
Asentamiento [mm]	180	170	80	55
Densidad [kg/m ³]	2420	2385	2382	2346

En la Fig. 2a se puede observar que tanto la resistencia a compresión uniaxial (σ_3) como el módulo de Young (E) disminuyeron al aumentar el reemplazo R de agregados. De la Fig. 2b, donde se resumen los resultados de las pruebas triaxiales, se puede apreciar que el confinamiento mejoró considerablemente la resistencia a la compresión y que con el incremento de R el hormigón fue ligeramente más sensible al confinamiento. En conclusión, el uso de hormigón triturado como reemplazo de los agregados de origen natural modificó las propiedades fundamentales de la mezcla de referencia. Se destaca la degradación de su resistencia y rigidez debido a la mayor porosidad y capacidad de absorción de agua de los agregados reciclados.

Reemplazo de cemento Portland por materiales cementantes suplementarios: resultados experimentales para RAC con cenizas volantes

La mayoría de estos materiales cementantes suplementarios son subproductos de procesos industriales. Su empleo es deseable no sólo bajo el punto de vista de la conservación del medio ambiente y de la energía, sino también por los beneficios que pueden ofrecer al hormigón. Se los puede utilizar como adición o como sustitución parcial del cemento Portland. Algunos ejemplos de materiales cementantes suplementarios son: cenizas volantes, escoria granulada de alto horno, humo de sílice y las puzolanas naturales. La ceniza volante (FA, Fly Ash) es un subproducto de la combustión del carbón pulverizado en plantas generadoras de electricidad. La misma se recolecta de los gases de escape a través de precipitadores electrostáticos o de filtros de manga. Las cenizas volantes son básicamente partículas esféricas vítreas de sílice con alúmina, hierro y calcio, que se presentan como un polvo fino con aspecto parecido al cemento Portland.

La actividad experimental descrita en esta sección tuvo por objetivo profundizar el conocimiento sobre el comportamiento mecánico y la durabilidad de los hormigones hechos con RCA y FA y su posible aplicación con fines estructurales. Para ello, a partir de una composición de hormigón de referencia se diseñaron doce mezclas, reemplazando parte de los constituyentes ordinarios (es decir, cemento, arena y agregados gruesos) por FA y RCA. Para evaluar las características mecánicas se registró la evolución temporal de la resistencia a la compresión, así como la resistencia a la tracción indirecta, mientras que la durabilidad se examinó mediante la determinación de la permeabilidad al agua, la profundidad de carbonatación y el ingreso de iones de cloruro (ver Lima et al., 2013).

La Fig. 3 y la Tabla II brindan información fundamental de los agregados empleados en la campaña. Además, la primera columna de la Tabla III informa un código que denota la mezcla y proporciona información clave sobre el tipo de agregados y el contenido de cenizas volantes.

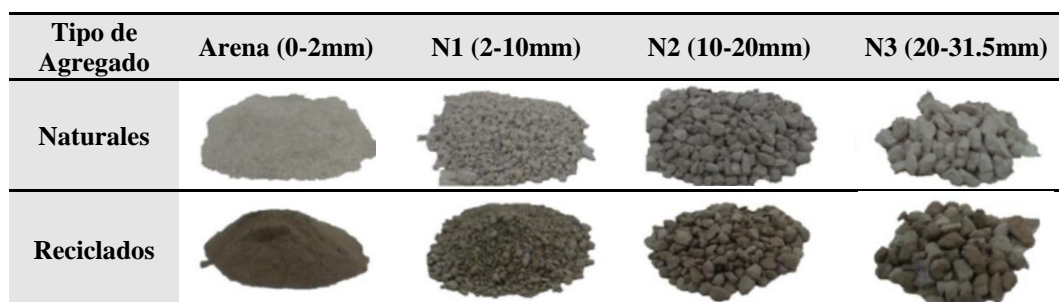


Figura 3: Agregados naturales y reciclados clasificados según sus fracciones granulométricas.

Tabla II: Densidad y capacidad de absorción de agua a 24 hs de los agregados.

Tipo	Densidad [kg/m ³]	Absorción de agua [%]			
		Arena (0-2mm)	N1 (2-10mm)	N2 (10-20mm)	N3 (20-31.5mm)
Natural	2690	1.20	0.70	0.50	0.30
Reciclado	2369	12.20	6.00	3.00	1.80

Tabla III: Composición de las mezclas evaluadas y sus densidades resultantes.

Mezcla	Densidad [kg/m ³]	NA [%]	NA [kg/m ³]	RCA [%]	RCA [kg/m ³]	Agua [kg/m ³]	Fly Ash [kg/m ³]	CEM I 42.5R [kg/m ³]
N	2414	100	1970	0	0	164.0	--	280
LN	2384	100	1890	0	0	164.0	80	250
LR30	2325	70	1323	30	500	171.9	80	250
LR60	2273	40	750	60	1005	188.2	80	250
LR100	2255	0	0	100	1665	259.6	80	250
MN	2336	100	1705	0	0	161.3	220	250
MR30	2283	70	1195	30	450	167.8	220	250
MR60	2239	40	685	60	905	179.0	220	250
MR100	2219	0	0	100	1500	248.8	220	250
HN	2321	100	1705	0	0	161.3	255	200
HR30	2268	70	1195	30	450	167.8	255	200
HR60	2209	40	675	60	900	178.7	255	200
HR100	2204	0	0	100	1500	248.8	255	200

En particular, el tipo de agregado natural se define por la letra “N”; mientras que con “R” se indica la presencia de un porcentaje dado de agregados reciclados (30, 60 o 100%). Adicionalmente, cuando se utilizó cenizas volantes una primera letra indica su contenido (“L” para contenido bajo de 80 kg/m³, “M” para medio de 220 kg/m³ y “H” para alto de 255 kg/m³). La mezcla de referencia fue la "N" diseñada con sólo agregados naturales según EN 206-1 (2006) para una clase de exposición XC2 en la clase de resistencia C25/30. Para esta mezcla de referencia se utilizó la cantidad mínima de cemento igual a 280 kg/m³, sugerida por la norma europea. También de la Tabla III, se puede observar que la densidad de los RAC fue siempre menor que la del hormigón hecho con agregados naturales; debido a que los RCA poseen mayor porosidad que los naturales (ídem Tabla I).

En la Fig. 4 se observa que la sustitución del agregado natural por los reciclados disminuyó la resistencia a la compresión para cada edad de curado. No obstante, la sustitución parcial del cemento Portland por FA generó un incremento de la resistencia para edades mayores a 60 días.

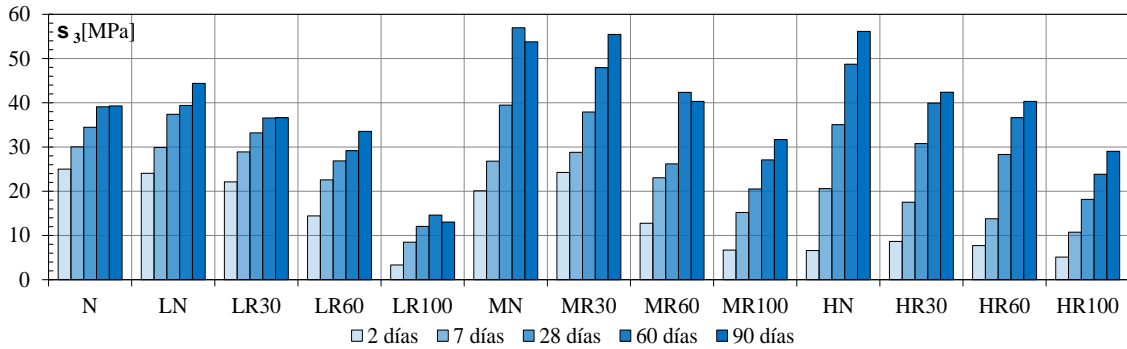


Figura 4: Evolución temporal de la resistencia a compresión uniaxial.

Los resultados destacaron que el comportamiento mecánico y de durabilidad más deficiente del hormigón producido con agregados reciclados - inducido por la alta porosidad de los RCA -, se puede correlacionar con la mayor proporción de relación agua/aglomerante que se deriva de los procedimientos estándar adoptados para la dosificación de hormigón estructural. Además, el aumento porcentual de los agregados reciclados ha sido perjudicial en términos de trabajabilidad del hormigón en estado fresco, aun incorporando mayores cantidades de aditivos fluidificantes.

También se han investigado muestras de hormigón con contenidos de cemento menores y cenizas volantes mayores que los límites establecidos por las actuales normas europeas. Si bien estos hormigones han mostrado propiedades mecánicas y físicas más bajas, todavía es posible aceptar una ampliación de dichos límites y debería implementarse en las futuras versiones de los estándares mundiales, como un impulso adicional hacia la producción de hormigones estructurales más sostenibles. En síntesis, los resultados obtenidos revelan que el uso combinado RCA y FA puede lograr un efecto sinérgico en términos de las propiedades físicas y mecánicas más relevantes del hormigón, mitigando las consecuencias adversas del uso de estos agregados. Las mezclas producidas con incluso una gran cantidad de RCA y FA muestran resultados aceptables para su aplicación estructural.

4. MATERIALES CEMENTICIOS REFORZADOS CON FIBRAS RECICLADAS DE ACERO O FIBRAS NATURALES

Es ampliamente conocido que el hormigón se caracteriza por poseer una considerable resistencia a la compresión; pero como desventaja tiene una baja resistencia a la tracción y ductilidad. Por lo tanto, incrementar la tenacidad del hormigón conduciría a mejorar su comportamiento mecánico global. De hecho, agregar una pequeña fracción (generalmente del orden de 0,5% al 1,0% en volumen) de fibras cortas es una forma efectiva de mejorar la tenacidad del compuesto y obtener un material al que generalmente se hace referencia como Compuestos Cementicios Reforzados con Fibras (FRCCs, Fibre Reinforced Cementitious Composites) o, en particular, Hormigón Reforzado con Fibras (FRC, Fibre Reinforced Concrete). En las últimas tres décadas hubo un gran crecimiento en el uso de fibras cortas en el hormigón. El FRC y los FRCCs representan hoy en día una tecnología bastante madura en el ámbito de la industria del hormigón, con aplicaciones que van desde pisos y losas en elevación, hasta dovelas de túneles prefabricadas y otros tipos de elementos estructurales prefabricados. Se han utilizado fibras de diversos materiales como acero, de vidrio, celulosa natural, carbono, polipropileno, etc. (ACI-544.1-96, 1996).

Incorporación en el hormigón de fibras recicladas de acero de neumáticos usados

En los últimos años, la eliminación de los neumáticos usados se ha convertido en un gran problema en la gestión de residuos y la creciente cantidad de estos residuos constituye una grave amenaza para el medio ambiente y la salud humana. Además, la “Directiva del Consejo 1999/31/CE” de la Comisión Europea sobre rellenos sanitarios de residuos estableció que ya no pudieran ser dispuestos en ellos los neumáticos enteros usados, desde 2003, ni triturados desde 2006. Por lo tanto, existe una fuerte motivación para reciclar estos desechos ya que pueden convertirse fácilmente en una fuente de materias primas secundarias (Fig. 5). De hecho, los procesos de reciclado de los neumáticos consisten principalmente en separar el refuerzo interno de acero de la cubierta de caucho. Por un lado, los desechos de caucho encuentran un campo de aplicación interesante como un reemplazo parcial de los agregados de piedra natural para obtener el llamado “hormigón con agregados de caucho”. Por otro lado, las fibras recicladas se pueden usar en sustitución de las fibras industriales para producir FRC.



Figura 5: Obtención de fibras de acero recicladas a partir de neumáticos en desuso.

Seguidamente, se describen brevemente las actividades realizadas para investigar el comportamiento mecánico de FRC elaborado con fibras de acero industriales y recicladas recuperadas de neumáticos de desecho. Para ese fin, se prepararon especímenes de diferentes mezclas, caracterizadas por contener un mismo volumen de fibras pero en diferentes proporciones de fibras industriales y recicladas, y fueron evaluados tanto a compresión como a flexión. Más específicamente, se partió de una mezcla de FRC de referencia con 0,5% en volumen de fibras de acero industrial (ISF, Industrial Steel Fibres), es decir 40 kg/m^3 , y se prepararon tres mezclas más reemplazando el 25%, 50% y 100% de dichas fibras con una cantidad igual de fibras recicladas (RSF, Recycled Steel Fibres). De este modo, el comportamiento mecánico del hormigón reforzado solo con ISF se observó en comparación con el hormigón reforzado con un híbrido de fibras de acero industriales y recicladas y con el hormigón reforzado solo con RSF, con el objetivo de determinar la factibilidad de su uso como material estructural (ver Martinelli et al., 2015 y Caggiano et al., 2017).

Las fibras de acero recicladas empleadas en este estudio (Fig. 6a) fueron suministradas por una empresa dedicada en recolectar y reciclar neumáticos usados. Se realizó una caracterización geométrica detallada en un grupo de aproximadamente 2000 RSF muestreadas al azar. De acuerdo con dichas mediciones, el diámetro promedio de las fibras oscilaba entre 0,11 y 1,64 mm, caracterizado por un valor medio de 0,27 mm. El valor medio de la proyección de la longitud de las fibras fue de 12 mm y el 47% de las longitudes de fibra medidas se encontró entre 9 y 15 mm. Por otra parte, en este estudio se consideraron las ampliamente utilizadas fibras industriales Wirand FS7 con ganchos en los extremos (Fig. 6b), que en lo siguiente serán genéricamente referidas como ISF.

Sus principales propiedades geométricas y mecánicas se especifican a continuación: longitud de la fibra 33 mm, diámetro de la fibra 0,55 mm, relación de esbeltez 60 y resistencia a la tracción 1200 MPa.



Figura 6: (a) Fibras recicladas y (b) fibras industriales usadas en la campaña experimental.

Los resultados de los ensayos a compresión que se resumen en la Tabla IV informan los valores medios obtenidos de muestras cúbicas del hormigón simple y de las mezclas de FRC. No se observaron diferencias significativas entre los especímenes sin refuerzo y los de FRC, esto significa que dicha resistencia se encuentra principalmente controlada por las propiedades de la matriz cementicia.

Tabla IV: Resultados de los ensayos a compresión uniaxial en cubos (f'_c) y densidades.

Mezcla	Densidad [kg/m ³]		f'_c a 28 días [MPa]	
	NAC	SFRC	NAC	SFRC
REFERENCIA	2371		42.59	
RSFRC 0-05	2376	2413	40.57	39.01
RSFRC 25-05	2428	2435	36.42	36.52
RSFRC 50-05	2459	2450	36.89	36.74
RSFRC 100-05	2446	2491	36.69	37.37

Se realizaron ensayos a tracción por flexión en cuatro puntos con el objetivo de caracterizar el comportamiento post-fisuración de las muestras de FRC. La Fig. 7 muestra las curvas experimentales de la carga vertical (P) frente a los desplazamientos de apertura de la punta de fisura (CTOD_m, mean Crack Tip Opening Displacement) registrados en estas pruebas.

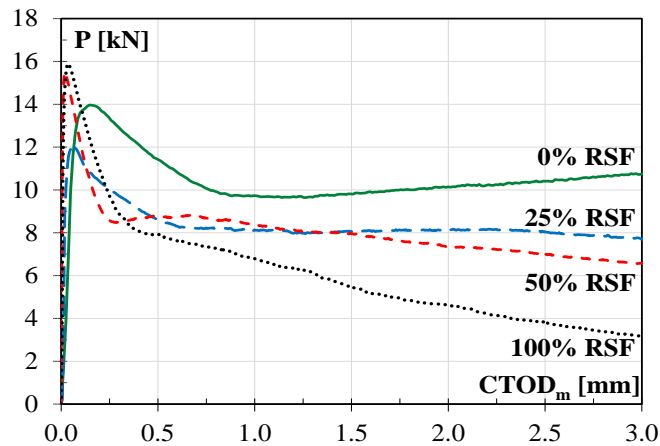


Figura 7: Resultados de ensayos a flexión en cuatro puntos: curvas de carga vertical P vs. CTOD_m.

El efecto de reemplazar una cantidad creciente de ISF con una cantidad igual de RSF se puede comprender mediante el análisis estas curvas. La respuesta post-fisuración de los especímenes FRC reforzados sólo con ISF se caracterizó por una tenacidad y ductilidad muy significativa. En cambio, las muestras con una mayor cantidad de RSFs en sustitución de ISFs mostraron generalmente una etapa de ablandamiento más pronunciada luego del pico de carga. El resultado pone en evidencia una eficiencia menor de las fibras recicladas con respecto a las industriales, que están diseñadas específicamente para mostrar una buena interacción con la matriz. En particular, las fibras recicladas no son rectas, no tienen ganchos de anclaje y tienen relaciones de esbeltez más bajas.

Finalmente, los resultados presentados confirmaron la prometedora aplicación del hormigón reforzado con fibras de acero recicladas de neumáticos usados dado que las propiedades resultantes superaron los valores mínimos reglamentarios exigidos para su uso como material estructural.

Compuestos cementicios reforzados con fibras de origen natural

El uso de fibras naturales como refuerzo discontinuo y aleatoriamente disperso en materiales de construcción cementicios puede representar una alternativa interesante al uso de otros tipos de fibras de origen industrial, ya sean nuevas o recicladas, tales como metálicas o poliméricas. Las fibras naturales son livianas, biodegradables y renovables, tienen buenas propiedades mecánicas y son relativamente abundantes. Además, tienen emisiones de CO₂ casi neutras, ya que el cultivo de las plantas de las que se obtienen depende principalmente de la energía solar y solo pequeñas cantidades de energía adicionales son necesarias para sus procesos de producción y extracción. De todas formas, se debe destacar que las propiedades de las fibras naturales se ven muy afectadas por las condiciones ambientales en las que se cultivan las plantas de origen, los procesos de producción, y los procesos adicionales necesarios para obtener las fibras listas para ser usadas. Además, debido a su composición orgánica, la compatibilidad de las fibras naturales con el ambiente alcalino de la matriz cementicia debe ser siempre evaluada cuidadosamente, en especial, en el largo plazo.

Una amplia variedad de fibras naturales se han utilizado para reforzar matrices cementicias, algunas de ellas son: yute, cáñamo, lino, ramio, kenaf, piassava, sisal, piña, curauá, banana, abacá, palmas (*Elaeis guineensis* y *Elaeis oleifera*), coco, algodón y bambú, entre otras. La pulpa ha sido el tipo más común, seguido por las fibras cortadas. Esto se debe a que las pulpas de celulosa son materias primas baratas utilizadas generalmente por la industria del papel. También la pulpa de pino y la pulpa de eucalipto se han utilizado con éxito en varios estudios. Sólo unos pocos trabajos han aplicado el refuerzo continuo en forma de hebras. En cuanto a las aplicaciones, las fibras vegetales se han utilizado tanto para la fabricación piloto de elementos de construcción para techos, placas para paredes, encofrados y sistemas de drenaje, así como también para vigas y columnas. No obstante, la tecnología de extracción y procesamiento de dichas fibras aún debe mejorarse significativamente, de modo de constituir un sistema de refuerzo de materiales cementicios más competitivo. Por brevedad, se remite al lector interesado en profundizar en la temática a consultar, entre otros, los trabajos de Tolêdo-Filho et al., 2003 y Pacheco-Torgal and Salali, 2011.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo, se han resumido las actividades científicas realizadas como parte de los proyectos EnCoRe y SUPERCONCRETE, que trataron el concepto, la caracterización de materiales y las aplicaciones ingenieriles y estructurales de los hormigones sostenibles que surgen de la incorporación de diferentes tipos de componentes reciclados de orígenes industriales y naturales. Estos han abarcado desde el uso clásico de materias primas secundarias como sustitutos del cemento, por ejemplo, cenizas volantes, así como también consolidar tecnologías emergentes, como el uso de agregados de hormigón reciclado de residuos de construcción y demolición, fibras de acero de la industria del reciclado de neumáticos y fibras naturales, subproductos de la industria alimentaria y agrícola. Se han identificado novedosas líneas de investigación en los efectos sinérgicos provocados por el uso simultáneo de más de un componente reciclado.

Por último y como corolario de las actividades desarrolladas, se ha establecido y difundido una base conceptual científica para el uso de estos materiales “verdes” y tecnologías asociadas en el sector de la construcción. Esta ha sido una exitosa experiencia internacional, basada en el intercambio académico, donde la investigación aplicada en ingeniería hizo su aporte específico para impulsar un desarrollo económico y social sostenible. Se deberán continuar los esfuerzos tendientes a incrementar la sustentabilidad de la industria de la construcción, con énfasis en extender las regulaciones existentes para incorporar estos nuevos materiales. De hecho, este marco regula inevitablemente la posibilidad de difundir el uso de estos materiales y tecnologías en los sectores de la construcción y la ingeniería civil.

AGRADECIMIENTOS

Las investigaciones presentadas en este trabajo se desarrollaron en el marco de los proyectos EnCoRe (FP7-PEOPLE-2011-IRSES, No.295283, 2012-2014) y SUPERCONCRETE (H2020-MSCA-RISE-2014, No.645704, 2015-2019) financiados por la Comisión Europea.

REFERENCIAS

- ACI 555-R01. Removal and reuse of hardened concrete. Report by ACI Committee 555, American Concrete Institute (2001).
- ACI-544.1-96. State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. Reported by ACI Committee 544, American Concrete Institute (1996).
- Barros, J.A.O., Ferrara, L., Martinelli, E. (*Editors*). Recent Advances on Green Concrete for Structural Purposes. The Contribution of the EU-FP7 Project EnCoRe. Ed. Springer, Milano, 2017.
- Caggiano, A., Folino, P., Lima, C., Martinelli, E. and Pepe, M. On the mechanical response of Hybrid Fiber Reinforced Concrete with Recycled and Industrial Steel Fibers. *Construction and Building Materials* 147, 286-295 (2017).
- EU-Directive 1999/31/EC of the council of 26 April 1999 on the landfill of waste, Off. J. Eur. Union L182, 1–19 (1999).
- Folino and P., Xargay, H. Recycled aggregate concrete – Mechanical behavior under uniaxial and triaxial compression. *Construction and Building Materials* 56, 21-31 (2014).

- Gursel, A.P., Masanet, E., Horvath, A., Stadel, A. Life-cycle inventory analysis of concrete production: a critical review. *Cement and Concrete Composites* 51, 38-48 (2014).
- Martinelli, E., Caggiano, A. and Xargay, H. An experimental study on the post-cracking behaviour of Hybrid Industrial/Recycled Steel Fibre-Reinforced Concrete. *Construction and Building Materials* 94, 290-298 (2015).
- Lima, C., Caggiano, A., Faella, C., Martinelli, E., Pepe and M., Realfonzo, R. Physical properties and mechanical behaviour of concrete made with recycled aggregates and fly ash. *Construction and Building Materials* 47, 547-559 (2013).
- Pacheco-Torgal, F. and Jalali, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. *Construction and Building Materials* 25(2), 575-581 (2011).
- RILEM TC 121-DRG. Specification for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures*, RILEM Publications SARL 27(173), 557-559 (1994).
- Ripani M., Etse, G. and Vrech, S. Recycled aggregate concrete: Localized failure assessment in thermodynamically consistent non-local plasticity framework. *Computers and Structures* 178, 47-57 (2017).
- Tolêdo-Filho, R.D., Ghavami, K., England, G.L. and Scrivener, K. Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. *Cem Concr Compos* 25, 185-196 (2003).
- WCED Our common future. World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford, 1987.
- Xargay, H., Folino, P., Sambataro, L. and Etse, G. Temperature effects on failure behavior of self-compacting high strength plain and fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials* 165, 723-734 (2018).

RIESGO DE INUNDACIÓN: LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y CIUDADANA COMO HERRAMIENTA DE EDUCACIÓN Y PREVENCIÓN. LUJAN, PROVINCIA DE SAN LUIS

Sosa G del R.^a, Aranda J.^a, Longar B.^a, Cerizola A.^a, Castellanos G.^a, Dardanelli L.^a, Valcarcel J.^a y Vicentini A.^a

^a Departamento de Geología. FCFMyN. Universidad Nacional de San Luis. ARGENTINA

e-mail: sosagr@unsl.edu.ar

RESUMEN

La localidad de Luján está ubicada 125km al norte de la ciudad de San Luis. Tiene un área de 23km² y cuenta con 2016 habitantes. Emplazada sobre la margen izquierda del río Luján, cuyo caudal permite el embalse de sus aguas. El clima se caracteriza como semiárido, con precipitaciones medias anuales de 500mm y lluvias concentradas en verano. El 1 de marzo de 2015, una tormenta excepcional, de 200mm en pocas horas, ocasionó el desborde del río, dejando como consecuencia la inundación de más del 50% de la localidad, con importantes daños en viviendas y caminos. Desde el Departamento de Geología de la UNSL se desarrolló un proyecto SPU, cuyo objetivo fue obtener un mapa de vulnerabilidad y riesgo de inundación para la localidad y concientizar a la población sobre la importancia de conocer el paisaje, los riesgos geológicos con los que conviven, sus causas y medidas de prevención. Se planteó una metodología que complementa la labor geológica con el abordaje social de la problemática, para lograr un análisis integral del riesgo a inundación de la región. Utilizando imágenes satelitales, cartografía de base y control de campo, se elaboró el mapa geomorfológico y de riesgo, mostrando las zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones. Se coordinaron actividades en los establecimientos educativos que consistieron en talleres donde los alumnos expresaron la experiencia vivida en mapas y composiciones literarias. Con la información obtenida se elaboró un mapa del alcance de la inundación en la urbanización. Finalmente, en un SIG se obtuvieron mapas comparativos entre las zonas con alta susceptibilidad a inundaciones y aquellas afectadas por la inundación. Los resultados muestran una alta correspondencia entre la información procesada en gabinete y campo con aquella obtenida del trabajo con alumnos y docentes. Se concluye que el complemento del trabajo científico-técnico con la experiencia social-vivencial, es necesaria ante estos eventos, tanto para el abordaje de la problemática como para elaborar tareas de prevención.

Palabras clave: riesgo natural, inundación, mapas, percepción social.

INTRODUCCIÓN

Luján es un municipio pequeño de la provincia de San Luis, ubicado 125 km al norte de la ciudad capital y se accede a ella a través de la ruta provincial N° 146 “ver Fig. 1”. El paisaje que rodea a los 23 km² de superficie se compone de un área de planicie pedemontana, donde se inserta el área urbana y en el oeste un área netamente serrana, con valles e interfluvios modelados por cauces de ríos y arroyos.

El río Luján atraviesa el municipio y se constituye en el límite noreste del área urbanizada, descendiendo desde el sur, del abrupto y corto frente montañoso sitio donde sus aguas son retenidas en un pequeño embalse que actúa como regulador.

En base al último censo nacional la localidad registraba 2016 habitantes (INDEC, 2010) concentrados principalmente en el ejido urbano.

El clima de la región se caracteriza como semiárido de estepa, con precipitaciones medias anuales de 500 mm y concentración de lluvias en verano.

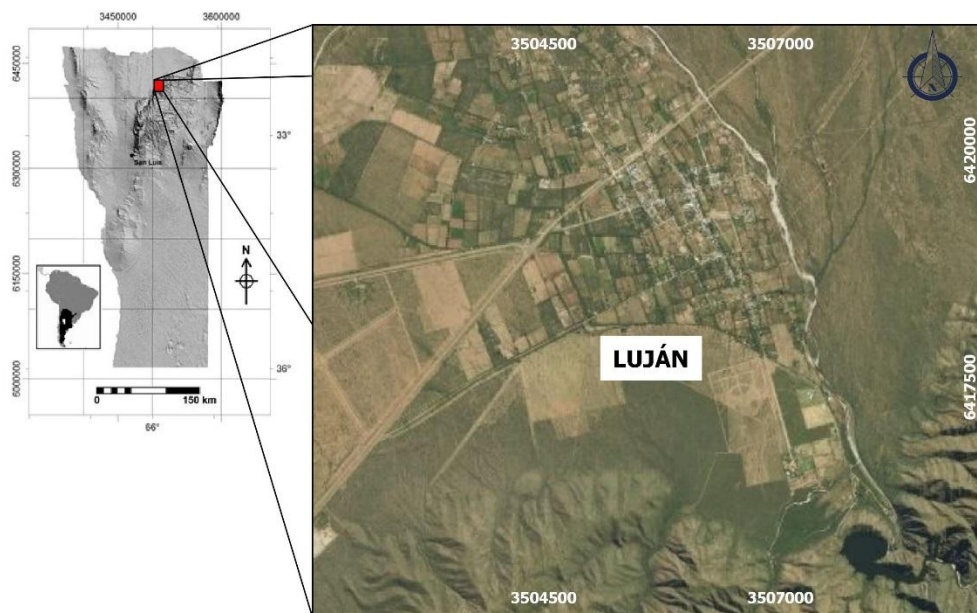


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

La sierra de San Luis integra el sistema de las Sierras Pampeanas Orientales (Camino 1972), se caracteriza por presentar un basamento cristalino ígneo-metamórfico; dominado por metamorfitas de grado medio y rocas ígneas principalmente ácidas e intrusivas vinculadas a episodios magmáticos ocurridos durante el Paleozoico inferior, las rocas básicas se presentan en fajas en menor proporción. Las rocas sedimentarias de edad variada (neopaleozoica a cuaternaria), rellenan cuencas intermontanas y también se hallan adosadas alrededor de las áreas serranas.

Estos materiales fueron afectados a lo largo de su historia por deformaciones tanto dúctiles como frágiles (Kilmurray y Dalla Salda 1977, Costa *et al.* 1998; 1999). Geomorfológicamente la sierra de San Luis muestra rasgos morfoestructurales típicos de Sierras Pampeanas con bloques elevados y basculados al este mediante fallas inversas, presentando un frente de levantamiento occidental bien expuesto, controlado por falla, y con suave pendiente hacia el E-SE.

La planicie de agradación pedemontana está constituida por abanicos aluviales y otras geoformas coalescentes que dan lugar a bajadas, cuyo desarrollo y aspecto es variable a lo largo del frente serrano. Este material, hacia el este, pasa gradualmente a materiales loésicos.

Los eventos climáticos extremos han irrumpido en distintos centros urbanos que no cuentan con registro de su ocurrencia y en consecuencia no están preparados para resistirlos. Es el caso que ocurriera en la localidad de Luján. El 1 de marzo de 2015, una lluvia de 200 mm en pocas horas afectó la zona, y el río Luján incrementó fuertemente su caudal; lo que desencadenó en horas de la noche, una creciente que inundó el 50% de la localidad afectando viviendas, caminos, puentes y generando caos y pánico entre los

habitantes del lugar. Se activaron procesos erosivos que originaron cárcavas y acumulaciones de sedimentos en áreas urbanas y rurales.

A partir de este evento, integrantes del Departamento de Geología de la Universidad Nacional de San Luis, elaboraron un proyecto a la Secretaría de Políticas Universitarias con el objeto de conocer el estado de situación de la localidad, generar información básica sobre riesgo de inundación y concientizar a la población sobre estos eventos a través de los alumnos como agentes multiplicadores de información de conocimiento, ya que los autores los consideran como nexo entre sus padres, sus abuelos y los garantes de acciones futuras. Es principalmente el trabajo social lo que aquí se presenta.



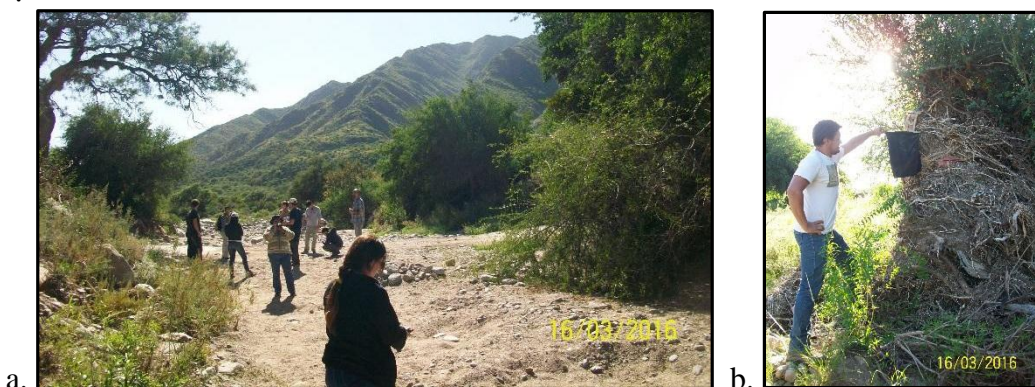
a. **Figura 2.** a. Piletas de agua potable cubiertas de sedimentos. b. casa afectada por creciente del río Lujan

METODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

En base a los objetivos planteados se dividió la tarea en dos líneas simultáneas. Una centrada en la información técnica necesaria para conocer la vulnerabilidad y el riesgo de inundación de la localidad y por otro lado la denominada ciudadana que buscaba concientizar a la población sobre la importancia de conocer el paisaje que los rodea, el riesgo geológico con el que conviven, sus causas y medidas de prevención.

Se realizó en gabinete la búsqueda de información existente sobre la localidad de Luján vinculada a la geología, geomorfología, información técnica e histórica.

Se analizaron imágenes satelitales, fotos aéreas a escala 1:20000 y con el programa Google Earth se realizó una comparación del sector estudiado antes del evento (2013) y posterior (2016). A partir de esto se elaboró un mapa base geomorfológico para realizar los controles de campo de sitios de interés, los cuales fueron localizados mediante GPS Etrex Garmin. Posteriormente, en gabinete, se utilizó el sistema de información geográfico QGIS para elaborar un mapa con puntos o zonas vulnerables a inundación y posteriormente el mapa definitivo de riesgo de inundación para la localidad. “ver Fig. 3 a y b”.



a. **Figura 3.** a. Foto de control de campo. b. indicios de áreas inundadas, marcas de nivel de agua.

En la línea ciudadana, la cual se presenta más detallada en este trabajo, se realizó inicialmente un análisis de la información pública disponible (diarios, testimonios grabados, entrevistas en radios, videos).

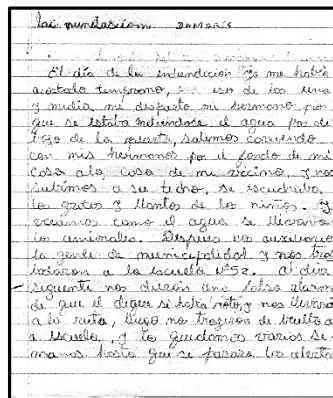
Debido a que los establecimientos escolares durante el evento de la inundación fueron centros de evacuación, se seleccionaron dos centros educativos para conocer sus experiencias y colaborar con ellos. A nivel primario la escuela N°52 “Submarino Ara San Luis” y a nivel secundario el Colegio N° 30 “Fragata Presidente Sarmiento”.

Para 1°, 2° y 3° grado (59 alumnos) del nivel primario se elaboró en conjunto con los maestros dos actividades que permitieran incorporar conceptos de vulnerabilidad, riesgo natural, inundación y prevención. Una consistió en una sopa de letras acompañada por uso de diccionario y la otra en una redacción realizada por los alumnos con sus familias referidas a su vivencia de la noche del evento y días siguientes “ver Fig. 4 a”.

Para 4°, 5° y 6° grado (62 alumnos) se trabajó también con composición y se elaboró un mapa de la región donde los alumnos marcaron la ubicación y nombre de los principales edificios de la localidad, la ubicación de su vivienda, y con cruces de color rojo los límites que recordaban hasta donde había llegado el agua el día de la inundación “ver Fig. 4 b y c”.



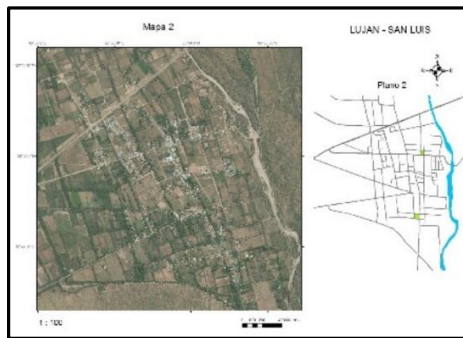
a.



b.



c.



d.

Figura 4. a. Foto alumno de 3° grado. b. composición. c. alumno de 6° grado. d. Mapa utilizado.

En el nivel secundario se diseñó una charla “Riesgos Naturales” para todos los alumnos del colegio y un taller “Aplicación de Google Earth para el análisis de la dinámica del río Luján”, utilizando el programa Google Earth trabajado con alumnos de 5° y 6° año (50 alumnos) “ver Fig. 5”.

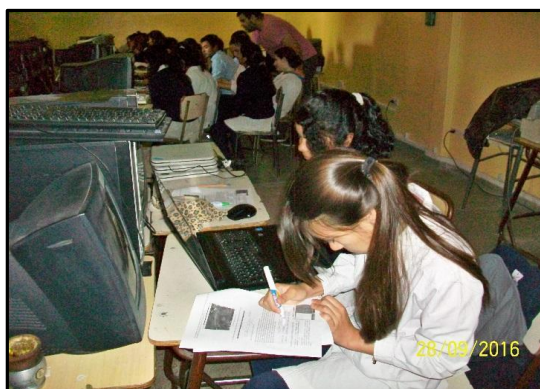


Figura 5. Foto taller alumnos de secundaria

RESULTADOS

A partir del análisis de los mapas trabajados por los alumnos, se considera que la inundación ocurrida había afectado al casco urbano por dos sectores bien identificados, uno, el esperado, provenía del desborde del río Luján, que potenciado por el arroyo las Higuieritas irrumpió, arrasando un grupo de viviendas y cortando caminos “ver Fig. 6”. El otro sector se ubica más al este, alejado del río Luján, aquí el agua provino desde el sur, de una antigua bajada de la sierra que los pobladores denominan Piedras Blancas y que desde hacía varios años no presentaba fuerte actividad “ver Fig.7 a y b”. Esta información posteriormente fue corroborada por la información obtenida en la línea técnica “ver Fig. 6”



Figura 6. El río Luján, el 2 de marzo de 2016, se observa que el río aún ocupa gran parte de su llanura de inundación. En el sector izquierdo se ven dos pilares de luz de casas arrasadas durante el evento.

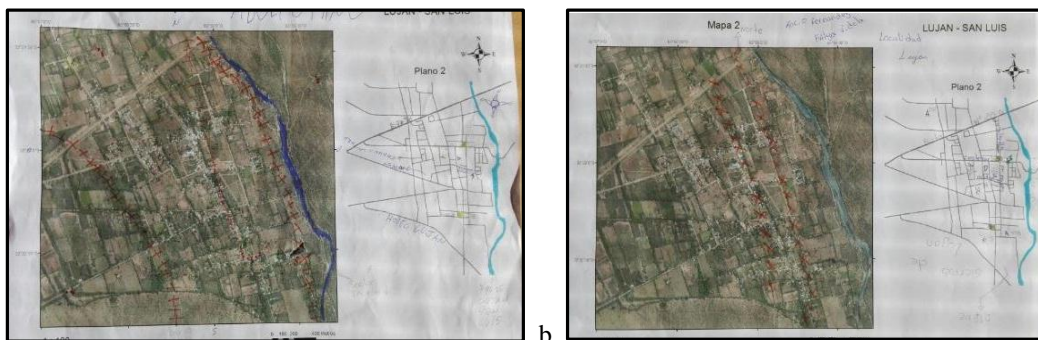


Figura 7. a y b. Dos ejemplos de mapas trabajado por alumnos. Las cruces rojas indican los sitios hasta donde llegó la inundación.

Una vez concluidas las actividades con los alumnos, se realizó el análisis de la información registrada y los resultados de la misma se representaron en posters que junto con su explicación se entregaron en un encuentro final a la comunidad educativa.

De un primer análisis de los relatos de los alumnos en sus composiciones se deduce que los habitantes no estaban preparados para responder a eventos vinculados con inundaciones, a pesar de que algunos relataron que sus abuelos recuerdan eventos similares vivenciados hace más de 50 años.

En función de la información marcada en los mapas se observó que algunas viviendas se ubicaban muy próximas o sobre la llanura de inundación del río Luján, estas fueron las más afectadas, varias de las cuales no pudieron ser nuevamente utilizadas. La totalidad de los alumnos que trabajaron con mapas indican que la inundación llegó hasta 900 metros al oeste del río Luján. Un 80 % marcan que llegó hasta 2.3 km al oeste del río. Ningún grupo consideró los alcances de la inundación al este del río.

La información técnica registrada en mapas y la información ciudadana “ver Fig. 8 a y b” fueron superpuestas, en capas, en un mapa final que evidenció una fuerte relación entre datos técnicos y ciudadanos.

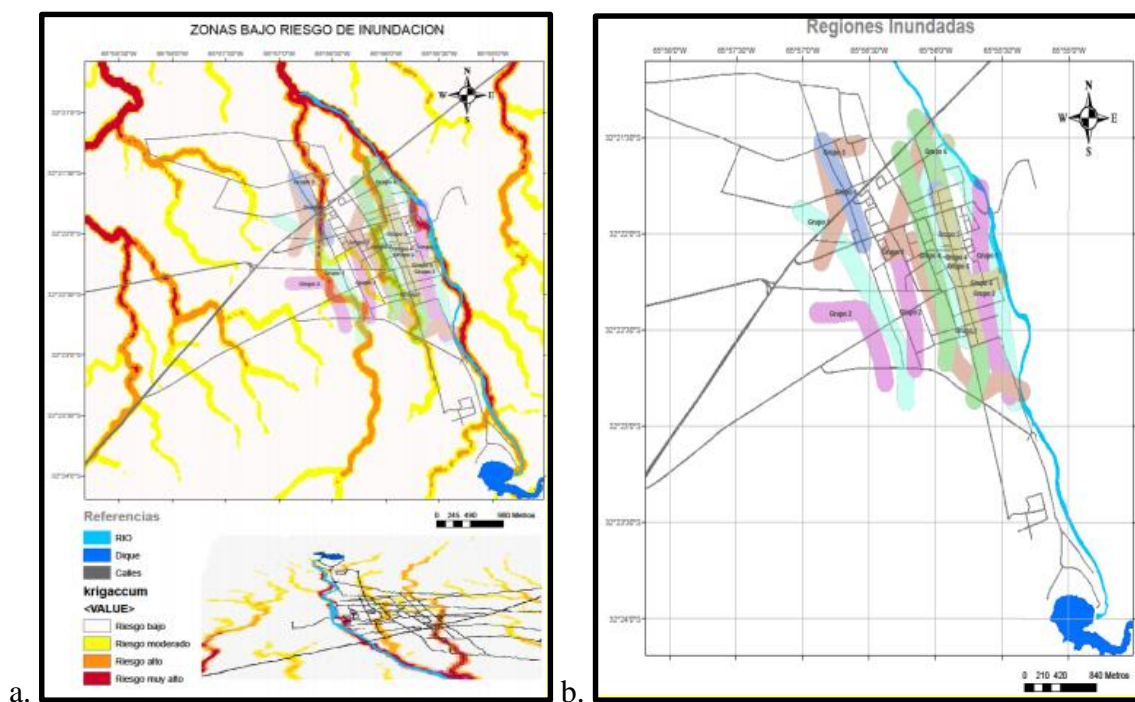


Figura 8. a. Mapa técnico de zonas de riesgo de inundación. b. Mapa regiones inundadas por el desborde río Luján y la bajada de Piedras Blancas en base a información ciudadana (marzo 2015)

CONCLUSIONES

Los sectores de asentamientos urbanos más afectados por el desborde del río Luján, fueron los ubicados en las márgenes del dominio fluvial. Esto ocurrió por no haber considerado en el momento de la construcción, el riesgo de inundación que tenía ese sector, que ya presentaba indicios de antiguos eventos fluviales.

En base al análisis de los documentos orales y escritos expresados, por docentes y alumnos, se infiere que había una falta de conocimientos vinculados al paisaje, a los procesos y riesgos naturales existentes en su entorno.

Los autores del trabajo remarcan la importancia de vincular el conocimiento científico y técnico de las universidades con las comunidades, en búsqueda de complementar información, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y de alcanzar un mejor manejo del medio ambiente.

Se concluye que el complemento del trabajo científico-técnico con la experiencia social-vivencial, es necesaria ante estos eventos, tanto para el abordaje de la problemática como para elaborar tareas de prevención.

REFERENCIAS

- Caminos, R., 1972. *Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan*. En: Leanza, A.F. (Ed.): Geología Regional Argentina, pp. 41-79. Acad. Nac. De Ciencias, Córdoba.
- Costa, C., Gardini, C., Ortiz Suárez, A., Chiesa, J., Ojeda, G., Rivarola, D., Strasser, E., Morla, P., Ulacco, J., Tognelli, G., Carugno Durán, A., Vinciguerra, H. y Sales, D., 1998. *Hoja Geológica 3366-II Santa Rosa. Provincias de San Luis y Córdoba*. Programa Nacional de Hojas Geológicas. SEGEMAR. p:95, 1 mapa, 1 cuadro stratigráfico (Inédito).
- Costa, C., Gardini, C., Ortiz Suárez, A., Chiesa, J., Ojeda, G., Rivarola, D., Strasser, E., Morla, P., Ulacco, J., Tognelli, G., Carugno Durán, A., Vinciguerra, H. y Sales, D., 1999. *Hoja Geológica 366-I. San Francisco. Provincias de San Luis, Mendoza y San Juan*. Programa Nacional de Hojas Geológicas. SEGEMAR. p:113, 1 mapa.
- Gonzalez, M y Berjeman J. Editores. 2004. Peligrosidad Geológica en Argentina. Metodología de Análisis y Mapeo. Casos de Estudio. Publicación especial N° 4. ASAGAI. ISBN 097-21766-0-4. P:512.
- https://www.youtube.com/watch?v=7Pu_a5O5Yfo *Luján San Luis – Crecida del río Luján- El día después.*
- <https://www.youtube.com/watch?v=o6-aotWvKqM> *Luján San Luis. Inundación El día después. Radio Dimensión AM 940.*
- <https://www.eldiariodelarepublica.com/provincia/Un-fuerte-temporal-azoto-al-norte-provincial-20150301-0003.html> *Un fuerte temporal azotó al norte provincial.*
- <http://www.eldiariodelarepublica.com/provincia/Especial-a-un-mes-de-las-inundaciones-Marisol-y-Nora-las-maestras-que-sobrevivieron-de-milagro-20150401-0024.html>
- INDEC. 2010. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina*. <https://www.google.com.ar/>
- Kilmurray J. y Dalla Salda, L., 1977. *Caracteres petrológicos y estructurales de la región central y sur de la sierra de San Luis*. Rev. Centenario Museo La Plata. III:167-178.



ISBN 978-987-1323-63-0



9 789871 323630