

**ACTAS DE TRABAJOS COMPLETOS  
DEL**

**E-ICES 14**



# **DECIMOCUARTO ENCUENTRO DEL CENTRO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**2 al 4 de septiembre de 2019**

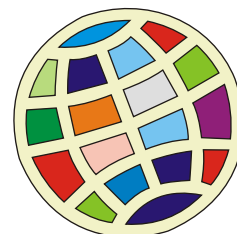
**UTN Centro Tecnológico de Desarrollo Regional “Los Reyunos”  
San Rafael, Mendoza, Argentina**





# ACTAS DE TRABAJOS COMPLETOS DEL

# E-ICES 14



## DECIMOCUARTO ENCUENTRO DEL CENTRO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

**2 al 4 de septiembre de 2019**

**UTN Centro Tecnológico de Desarrollo Regional "Los Reyunos"  
San Rafael, Mendoza, Argentina**



INTERNATIONAL CENTER FOR EARTH SCIENCES



Comisión Nacional  
de Energía Atómica



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**UTN FRSR**  
Facultad Regional San Rafael  
Universidad Tecnológica Nacional



**UTN CTDR**  
Centro Tecnológico de Desarrollo  
Regional "Los Reyunos"

Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA

Actas de Trabajos Completos del E-ICES 14 : Decimocuarto Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra / compilado por Martín Pedro Gómez ; Dino Filipussi ; 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, 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-1323-64-7

1. Ciencias Naturales. I. Gomez, Martín Pedro, comp. II. Filipussi, Dino, comp. III. Lenzano, Luis, ed. IV. Gómez, Martín Pedro, prolog.

CDD 550

ISBN 978-987-1323-64-7



## PRÓLOGO

En esta oportunidad, durante el año 2019, entre los días 2 y 4 de septiembre, se realizó el Decimocuarto Encuentro del Centro Internacional para Estudios de la Tierra (E-ICES 14) en el ámbito del Complejo “Los Reyunos” de la Universidad Tecnológica Nacional, sito en cercanías de la ciudad mendocina de San Rafael. Desde hace años, junto a las autoridades de la Facultad Regional San Rafael, veníamos planeando esta posibilidad que finalmente se pudo concretar con gran éxito. Este logro, estuvo intensificado por un lado por el fantástico lugar geográfico en el que se sitúa este Complejo Turístico, sumado a las excelentes instalaciones, y al impecable trabajo del Comité Organizador, así como al apoyo de todo el resto de colaboradores, incluyendo también a la concurrencia que demostró una excelente predisposición para todas las consignas de la reunión.

El hecho de que el Encuentro fuera realizado en un lugar aislado le imprimió particulares características. Más allá del carácter científico de las sesiones, en el amplio espectro de las Ciencias de la Tierra, se logró un inigualable clima de camaradería. En ese marco, se realizaron actividades recreativas como una observación del cielo a través del telescopio instalado en el Complejo “Los Reyunos”, así como una visita guiada al vecino “Complejo Minero Fabril San Rafael” de la CNEA.

Las sesiones se realizaron en tres salas, y se contó con la asistencia de 104 científicos. En total se presentaron 83 trabajos, entre los cuales se incluyeron 4 Plenarias, 44 Ponencias Orales, 5 de estas correspondientes al Concurso de Jóvenes Investigadores, y también 35 Pósteres.

La primera conferencia plenaria estuvo a cargo de la Dra. Laura Frulla quien en representación de CONAE hizo una completa descripción del proyecto SAOCOM con el objetivo de divulgar, ante potenciales usuarios, las prestaciones de los instrumentos instalados en estos satélites desarrollados en nuestro país. Luego, fue el turno de la Dra. Vanesa Silvani quien presentó una línea de trabajo de biorremediación que se realiza en colaboración entre la FCEyN UBA – CONICET y el ICES-CNEA. En tercer lugar los Dres. Adolfo Gil y Gustavo Neme, y el Secretario de Ciencia y Tecnología de la FRSR de la UTN, Mag. Ing. Felipe Genovese se refirieron a temas de trabajo de la Unidad Ejecutora CONICET que lograron instalar en San Rafael, denominado Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente (IDEVEA- CONICET & UTN FRSR). La cuarta conferencia fue realizada por el Geógrafo Pablo Sigismondi quien hizo una presentación denominada “Hilando Culturas y Ecosistemas, Nuestro Planeta, Nuestra Casa, Riquezas y Desafíos”.

En esta reunión se realizó una nueva edición del Concurso de Jóvenes Investigadores del ICES con cinco trabajos participantes, de excelente nivel, los cuales están expuestos en las presentes Actas. Los Jurados del Concurso fueron la Dra. Vanesa Silvani (UBA CONICET), el Dr. César García Ubaque (Univ. San José de Caldas, Colombia) y el Dr. Gustavo Neme (CONICET-UTN FRSR). Las ganadoras fueron Verónica Vennari, Primer Premio por “Avances en el Refinamiento del Jurásico Tardío Andino Mediante el Estudio de sus Amonites” y Camila Acuña Leiva, Segundo Premio por “Caracterización Geomorfológica y Evaluación del Riesgo Geoambiental de la Subcuenca Arroyo el Potrero -Cuenca del Tala- Catamarca”. Los premios del Concurso fueron auspiciados por la Fundación Williams.

Desde el Proyecto ICES agradecemos especialmente a todos los participantes, y a quienes apoyan y auspician la realización de estos Encuentros (E-ICES). A la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional por la organización y las instalaciones; a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) especialmente a las autoridades del CMFSR por la visita guiada; a la Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO); a 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-RPN-2019-00122 y a la Fundación Williams por el apoyo permanente año tras año para los premios del concurso.

Dr. Martín Pedro Gómez  
Director Científico del ICES



# Índice

## **CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO GEOAMBIENTAL DE LA SUBCUENCA ARROYO EL POTRERO –CUENCA DEL TALA – CATAMARCA**

*Acuña Leiva C.I., Niz A. y Ortiz E.* 1

## **PERMAFROST DE MONTAÑA, RIESGOS Y EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA EN EL NOA**

*Ahumada A.L., Ibáñez Palacios G.P. y Toledo M.A.* 13

## **DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA SEMILLA DE CONDALIA MICROPHYLLA**

*Álvarez G.G.* 18

## **ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA HÍDRICA DEL RIO QUIMIVIL**

*Arroyo A.G., Niz A. y Lamas C.* 23

## **ANÁLISIS DE LOS SERVICIOS COMO FACTORES QUE INFLUYEN EN EL AVALÚO – Sector Norte y Sur de la ciudad de San Fernando de Valle de Catamarca**

*Ballhrost C.D., Vázquez N.M., Savio M.E. y Montivero M.* 31

## **TEMPESTITAS: PARÁMETROS TAFONÓMICOS INDICADORES DE SU GÉNESIS**

*Benítez M.H., Díaz Saravia P.G.* 40

## **ANÁLISIS MULTICRITERIO DE AMENAZAS ALUVIONALES AL OESTE DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA**

*Burgos V.H., Gärtner N., Salcedo A.P., Martínez L.J. y Rapali, N.* 49

## **LOS ÍNDICES TOPO-HIDROLÓGICOS Y SU CONTRIBUCIÓN AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN MENDOZA**

*Burgos V.H. y Salcedo A.P.* 61

## **CAPACIDAD FITORREMEIADORA DE *SENNA APHYLLA* EN EL COMPLEJO MINERO FABRIL DE SAN RAFAEL**

*Castaño A.R., Invernizzi R., Plá R., Olmedo M. y Jasan. R* 71

## **MÉTODO WUDAPT PARA LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA. ANÁLISIS DE ZONAS IDENTIFICADAS Y SU COMPORTAMIENTO TÉRMICO**

*Colli M.F., Correa E.N. y Martinez C.F.* 88

## **ESTUDIO DE LAS ÁREAS DE VEGETACIÓN EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE NEUQUÉN CON TELEDETECCIÓN**

*Finessi F.G. y Cogliati M.G.* 100

<b>FACTIBILIDAD TÉCNICA Y DE SALUD PÚBLICA DE LA RECOLECCIÓN DE AGUAS NIEBLAS: ESTUDIO DE CASO</b>	
<i>García-Ubaque C.A., Vaca-Bohórquez M. L. y García-Ubaque J.C.</i>	110
<b>SANITARIO SECO: UNA ALTERNATIVA PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO EN ZONAS RURALES</b>	
<i>García-Ubaque C.A., Vaca-Bohórquez M.L. y García-Ubaque J.C.</i>	117
<b>CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RIO ANDALGALÁ, ANDALGALA, PROVINCIA DE CATAMARCA</b>	
<i>Garelli M. y Niz A.</i>	126
<b>CAMBIOS EN LA DINÁMICA (1969-2019) DE LA LENGUA DEL GLACIAR MANSO, PARQUE NACIONAL NAHUEL HUAPI</b>	
<i>Ghilardi J.C. y Ruiz L.</i>	134
<b>VARIABILIDAD DE ISÓTOPOS ESTABLES (<sup>13</sup>C, <sup>15</sup>N) DEL COLÁGENO DE LOS HUESOS DE GUANACOS Y SU ASOCIACIÓN CON FACTORES CLIMÁTICOS Y ESPACIALES</b>	
<i>Gil A., Seitz V.P., Soria N.D., Neme G., Abbona C., Dauverné A., Quiroga G., Peralta E. y Otaola C.</i>	147
<b>ADSORCIÓN DE PLOMO EN BENTONITA Y CARBÓN ACTIVADO</b>	
<i>Hidalgo N.A., Senese A., Cañizari L. y Gutiérrez L.</i>	158
<b>ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DEL NORTE CHICO DE BELÉN</b>	
<i>Humana L.V., Niz A. y Lamas C.</i>	170
<b>RECURSOS GEOTURÍSTICOS EN EL VOLCÁN TUZGLE, PUNA ARGENTINA</b>	
<i>Ibáñez Palacios G.P., Ahumada A.L. y Toledo M.A.</i>	179
<b>¿EL CARACOL MANZANA ES UN ORGANISMO CENTINELA?</b>	
<i>Juarez N.A., Arribére M.A. y Vega I.A.</i>	188
<b>GEOMORFOLOGÍA Y RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SALADO, CORDILLERA PRINCIPAL, MENDOZA</b>	
<i>Kwaterka V.M. y Winocur D.A.A.</i>	192
<b>PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y TERRITORIAL EN LA LAGUNA DE LOS CISNES PERITO MORENO, SANTA CRUZ</b>	
<i>Muriete J.O., Contreras N., Avila J.S. y Barbieri Nazaria R</i>	204



**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICO-HIDROLOGICA DE LA CUENCA EL POTRERILLO Y SU IMPACTO EN EL BARRIO VALLE CHICO, CATAMARCA- ARGENTINA**

*Ortiz Grau M. V. y Niz A.* 216

**FASES DE CONSTRUCCION Y CINEMATICA DE PLIEGUES POR DESPEGUE A PARTIR DE UN MODELO ANALOGO**

*Plotek B.L., Guzmán C.G. y Cristallini E.O.* 227

**CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE UN MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA. CIUDAD DE PLOTTIER. NEUQUÉN- ARGENTINA**

*Porco V.A. y Cogliati M.G.* 236

**AMENAZA, EXPOSICIÓN Y PELIGRO, DIMENSIONES DEL RIESGO, MEDIANTE EL USO DE GIS. BARRIO RINCÓN DE EMILIO (NEUQUÉN-ARGENTINA)**

*Porco V.A.* 248

**DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL ARROYO EL TIGRE**

*Rumiz M., Jayme G., Silva A., Tagliani M., Davite G., Cane A., Nader, G., Sánchez Proaño P., Folguera L., Gautier E., Ronconi L., Gutiérrez C., Bronca M., Olate M., Llorens I., Dieguez S. y Cicerone D.* 260

**EVALUACIÓN DE UN TRAMO DE LA RUTA PROVINCIAL Nº 5 AFECTADA POR PROCESOS PERIGLACIALES EN EL NW ARGENTINO**

*Saccone Paolo F., Ahumada Ana L.* 269

**LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES APLICADA A INCENDIOS FORESTALES EN ÁREA DE RECREACIÓN Y TURISMO**

*Salvador C.E.* 275

**CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS MURCIÉLAGOS (CHIROPTERA) DE LA PROVINCIA DE MENDOZA, ARGENTINA**

*Scarso E. y Bender J. B.* 285

**ESCALAMIENTO INGENIERIL A NIVELES DE MADURACIÓN TECNOLÓGICO (TRL) 3 A 6 EN EL LABORATORIO BIOAMBIENTAL**

*Scotti A., Cerioni J., Reviglio H., Visciglia M., Cerioni S., Biondi R., Saavedra V., Silvani V., Godeas A., Turano J., Quiroga C., Genovese F., Gómez M.* 297

**GEOMICROBIOLOGÍA PARA PROSPECCIÓN POR URANIO EN PROFUNDIDAD EN LA CUENCA NEUQUINA**

*Scotti A., Rojas G., Servant M., Catálfamo P., Gómez M.* 303

<b>VARIACIONES TEMPORALES DE LA SUPERFICIE DE LLAGUNA DE LLANCANELO (MENDOZA, ARGENTINA): ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROGRÁFICOS Y ANTRÓPICOS</b> <i>Seitz V.P. y Soria N.D.</i>	311
<b>EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ANÁLISIS DE DATOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHASCHUIL</b> <i>Serra M. y Ortiz E.</i>	319
<b>RED AMBIENTAL DEL IADIZA. DIEZ AÑOS DE LABOR</b> <i>Soria N.D., Seitz V.P. y Abraham E.M.</i>	326
<b>ANÁLISIS DE UN PROCEDIMIENTO DE CORRELACIÓN PARA DETERMINAR LA CALIBRACIÓN HIDROLÓGICA DE UN RADAR METEOROLÓGICO</b> <i>Suárez M.E., Poffo D., Comes R. y Ingaramo R.</i>	334
<b>DETERMINACION DEL CAUDAL PASANTE Y PARAMETROS HIDRÁULICOS EN UNA SECCION DEL SUBVALVEO DEL RIO POMAN. DPTO POMAN. PROV. DE CATAMARCA</b> <i>Tálamo E., Brusa S., Martínez G. y Vilches F.</i>	346
<b>AVANCES EN EL REFINAMIENTO DEL JURÁSICO TARDÍO ANDINO MEDIANTE EL ESTUDIO DE SUS AMONITES</b> <i>Vennari V.V. y Aguirre Urreta B.</i>	359
<b>PRINCIPALES ASPECTOS GEOLÓGICOS PRE CUATERNARIOS Y CUATERNARIOS DEL ÁREA METROPOLITANA Y SUS ALREDEDORES EN LA PROVINCIA DE MENDOZA</b> <i>Via S.M.; Giolo E, Calderon F., Cueto A. y Frau C.</i>	371
<b>ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA ATMOSFÉRICA DURANTE LA CAMPAÑA DE RELAMPAGO</b> <i>Villagrán Asiares C.I., Nicora M.G., Bali J.L.</i>	383
<b>DISEÑO DE DRONES PARA MONITOREO DE ZONAS VOLCÁNICAS</b> <i>Vorobioff J, Boggio N., Gutierrez M., Vallespir D., Gomez P.M.V. y Rinaldi C.</i>	395
<b>ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES DE QUIRONÓMIDOS (DIPTERA: CHIRONOMIDAE) EN LAGOS DE PATAGONIA NORTE (ARGENTINA): UN ANÁLISIS ENTRE LAS ASOCIACIONES DE TAXA Y LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES</b> <i>Williams N. y Rizzo A.</i>	407
<b>RESPUESTAS DE LAS COMUNIDADES DE QUIRONÓMIDOS (DIPTERA: CHIRONOMIDAE) FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN DOS AMBIENTES CONTRASTANTES DE PATAGONIA NORTE (ARGENTINA)</b> <i>Williams N., Rizzo A., Daga R. y Ribeiro Guevara S.</i>	419

# **CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO GEOAMBIENTAL DE LA SUBCUENCA ARROYO EL POTRERO –CUENCA DEL TALA – CATAMARCA**

Acuña Leiva C. I.<sup>a</sup>, Niz A. <sup>a</sup>, Ortiz H. <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG), FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: [camilai\\_94@hotmail.com](mailto:camilai_94@hotmail.com)

## **RESUMEN**

La cuenca del arroyo El Potrero ubicada en la Sierra de Ambato, se ubica a occidente del valle de Catamarca, capital de la provincia homónima y constituye un afluente importante del río El Tala, que drena sobre el conoglacis donde se asienta la ciudad. Corresponde a un área potencialmente vulnerable a los riesgos geo-ambientales ocasionados por crecidas espontáneas y temporales de las subcuencas mayores. Debido a las características topográficas de la cuenca alta, son muy comunes los procesos de remoción en masa, potenciados en algunos sectores de la parte baja, por la interacción con la actividad antrópica. La zona presenta en el área de cuenca alta una sensible predisposición a los deslizamientos de laderas, lo cual proporciona sedimentos al cauce principal, que en algunas secciones de estrechamiento tiene probabilidades de endicamientos temporales. Para la confección del presente informe, se programaron tres etapas principales que se siguieron en orden de acuerdo a las tareas específicas para cada una de ellas. Las etapas incluyeron tareas tanto de gabinete como de campo, que son complementarias. En base a los resultados obtenidos se pudo establecer que la cuenca del arroyo El Potrero es una zona de alta vulnerabilidad ante los procesos de tipo remoción en masa e hídrico, los cuales quedan evidenciados a lo largo de esta, donde se observan , deslizamientos con movimiento de material de diversos tamaños, en general el material de los derrumbes no ha sido transportado por la corriente, no obstante, dado que forma un amplio valle con algunos emprendimientos agropecuarios, en la actualidad es un fenómeno cuyo riesgo puede mitigarse.

*Palabras Clave:* riesgo geológico, vulnerabilidad, remoción en masa, La Estancita

## **INTRODUCCION**

La cuenca del arroyo El Potrero ubicada en la Sierra de Ambato, corresponde a la Provincia Geológica denominada Sierras Pampeanas Noroccidentales. Se encuentra emplazada a occidente del valle de Catamarca, capital de la provincia homónima y constituye un afluente importante del río El Tala, que drena sobre el conoglacis donde se asienta la ciudad.

Corresponde a un área potencialmente vulnerable a los riesgos geo-ambientales ocasionados por crecidas espontáneas y temporales de las subcuencas mayores. Debido a las características topográficas de la cuenca alta, son muy comunes los procesos de remoción en masa, potenciados en algunos sectores de la parte baja, por la interacción con la actividad antrópica.

La geomorfología de la zona está dominada por procesos causados por la actividad fluvial, como también de deslizamientos de laderas.

En algunos sectores de la cuenca se pueden observar microdeslizamientos representados por terracillas y pied de vaches, que posteriormente pueden potenciarse por la combinación de un periodo seco, escasa vegetación, en algunos sectores los incendios forestales, y la meteorización

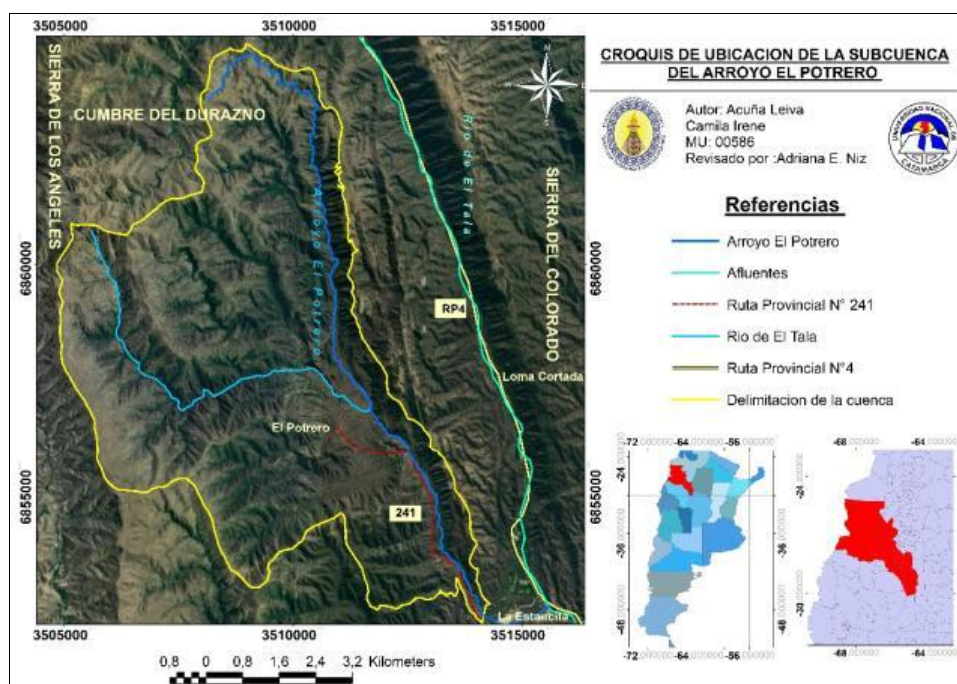
de las rocas aflorantes, lo cual potenciaría los procesos gravitacionales que depositarán los taludes en los afluentes del arroyo.

### Ubicación del área de estudio

La cuenca del Arroyo el Potrero se encuentra ubicada en la ladera oriental de la Sierra de Ambato, al O de San Fernando del Valle de Catamarca siendo parte de la gran cuenca del Rio del Valle. El área de estudio está involucrada a su vez dentro de la subcuenca del rio de El Tala donde funciona como principal afluente. (Fig.1)

Tiene sus nacientes en el sector centro de la Cumbre del Durazno, que se encuentra entre la cumbre de Los Ángeles al O y sierra del Colorado al E. Recorre la cuenca en sentido N-S con una pendiente topográfica media-alta, que aumenta en el mismo sentido de la escorrentía.

Dista aproximadamente 5 kilómetros partiendo desde el centro de la capital de la provincia.



**Figura.1-** Croquis de ubicación de la subcuenca del arroyo El Potrero

### METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el informe final se programaron tres etapas que se siguieron en orden de acuerdo a las tareas específicas para cada una de ellas. Las etapas incluyeron tareas tanto de gabinete como de campo, que son complementarias para la recolección de la información y la correlación con los resultados obtenidos previamente.

En la primera etapa se desarrollaron tareas de gabinete de distinta complejidad que consistieron en actividades de recopilación de antecedentes, casos problemáticos de la zona de investigación, con respecto a las amenazas geoambientales de carácter hídrico y de procesos de remoción en masa del área de interés. Las actividades de la segunda etapa consistieron en el control de campo donde se realizaron reiteradas visitas al área de estudio, llevándose a cabo el control y corrección de la cartografía base y las unidades identificadas en la primera etapa de búsqueda. En la tercera y última etapa se efectuó el procesamiento e interpretación de la información obtenida en las actividades previas para la confección de la cartografía final donde se determinaron las áreas o sectores que son vulnerables ante los procesos hídricos y de remoción en masa como amenazas

geoambientales principales, que podrían implicar un riesgo para la población circundante a la cuenca del arroyo El Potrero.

## **MATERIALES EMPLEADOS**

En las tareas de gabinete se utilizó la Hoja Geológica de San Fernando del Valle de Catamarca 14 f que corresponde a la más antigua y la Hoja Geológica nueva de San Fernando del Valle de Catamarca 2966-II, la bibliografía recopilada de antecedentes y problemáticas relacionadas al tema de interés, diferentes softwares tipo GIS como lo son Global Mapper, Arcgis 10.3, software de libre acceso como es Google Earth. Estos softwares fueron utilizados y ejecutados en forma conjunta para los procesamientos sobre las imágenes satelitales y la generación de la cartografía base y final del área de estudio.

En las actividades de campo se utilizaron las hojas geológicas mencionadas anteriormente, imágenes satelitales LandSat 7 cedida por CONAE, tabla de GSI (Geological StretchIndex), GPS (eTrex vista H), Brújula Brunton, máquinas fotográficas, GPS Garmin, cinta métrica, entre otros.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

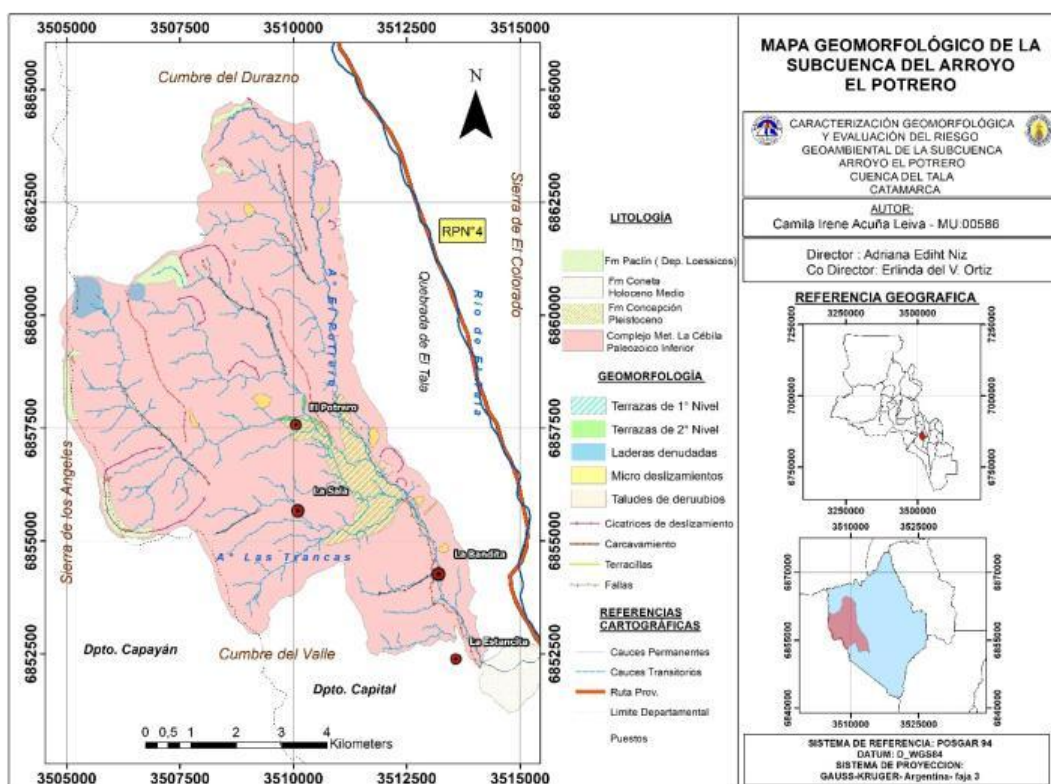
### **Geomorfología Local**

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Sierra denominada Cumbre del Durazno, donde tiene las nacientes de su cauce principal, emplazada entre las Sierras de Ambato y Sierra del Colorado. Constituye una depresión tectónica, que, en su cuenca alta, producto de la erosión, ha generado un valle aplanado en el cual se deposita material, tanto de origen fluvial como eólico transportado desde las áreas cumbres y sector media de la cuenca.

Las áreas cumbres se encuentran cubiertas por depósitos loesoides (Fm Paclín), que contribuyen a la génesis de cárcavamientos y deslizamientos de menor magnitud. Se encuentran fuertemente fracturadas y muestran dos juegos principales de fracturas NNO-SSE y E-O, que comandan el drenaje. Las laderas orientales en general, presentan cabeceras de cuencas semicirculares, evidenciando cicatrices de deslizamientos. (Fig.2)

La geomorfología de la zona está dominada por procesos causados por la actividad fluvial, como también de deslizamientos de laderas ya sean de tipo seco (en los cuales ha intervenido específicamente la acción de la gravedad sobre materiales sensibles a ser transportados) y húmedo (cuando el desplazamiento de materiales esta auxiliado por la acción fluvial y pluvial).

Aguas abajo, el cauce muestra estrechamiento a canal único, por lo que debe considerarse como un factor importante la posibilidad de acumulación de materiales en las zonas bajas de la cuenca, que, en un evento de incremento en el régimen de las precipitaciones, pueden derivar en endicamientos temporales.



**Fig.2-** Mapa geomorfológico de la subcuenca del arroyo El Potrero

## Geoformas de origen fluvial

**Terrazas fluviales:** Las terrazas corresponden a una superficie erosional, excavada sobre depósitos aluviales. Una terraza corresponde a una antigua llanura de inundación, es una forma del relieve.

En la margen oriental del arroyo el potrero se pueden observar terrazas fluviales que alcanzan una altura de aproximadamente dos metros. (Fig.3) El tamaño del material que transporta el río, evidencia un régimen de alta energía y poder de erosión alto, ya que se encuentran sectores en los que depositó clastos de hasta 2.00 m y en algunos casos arranca la vegetación de las márgenes.

La altura de las terrazas no es continua, a medida que se avanza aguas arriba se incrementa su potencia, también se encuentran terrazas de menor potencia (0.50 m.), en las inmediaciones del puesto La Bandita, que corresponde con las terrazas fluviales donde se encuentran asentadas las viviendas.





**Fig.3** – *Terraza fluvial de 1° nivel en la margen oriental del arroyo El Potrero*

### Geoformas de origen gravitacional

En las laderas de los interfluvios ocurren procesos derivados exclusivamente de la gravedad (movimientos en seco) y procesos gravitacionales auxiliados por la acción de las aguas pluviales que embeben las rocas (movimientos en húmedo).

Dependiendo de su morfografía y su litológica, que condiciona su estructura, las laderas reaccionan de diversa forma ante la gravedad. Estas se encuentran afectadas por dos componentes: el componente vertical, asociado a energía cinética y acciones de erosión, y el componente horizontal asociado a energía potencial y acciones de transporte y sedimentación.

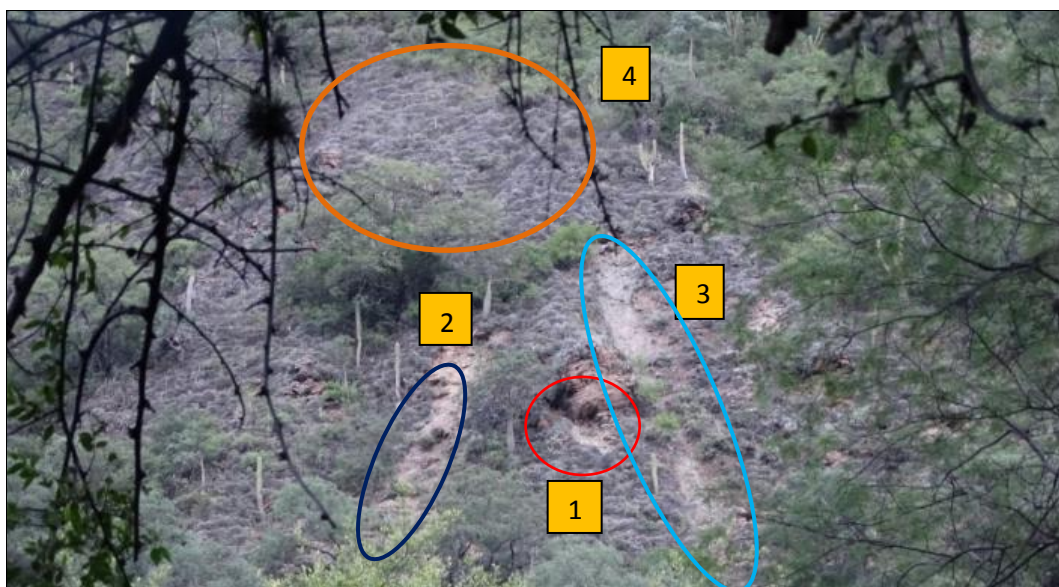
En el área de estudio las áreas cumbreales se encuentran cubiertas por depósitos loesoides, que contribuyen a la formación de carcavamientos y deslizamientos (Fig.4) de menor magnitud. Se encuentran fuertemente fracturadas y presentan dos juegos principales de fracturas con rumbo NNO-SSE y E-O, las que comandan el drenaje. Las laderas orientales en general, presentan cabeceras de cuencas semicirculares, evidenciando cicatrices de deslizamientos.



**Fig.4-** *Deslizamiento de laderas ubicado en la cuenca alta del arroyo El potrero. (28°21'47.73"S, 65°55'1.12"O)*

La manifestación de los movimientos lentos se da de dos formas principales: las terracillas y los pie de vaches, las terracillas se producen por un desplazamiento escalonado del material suelto de la superficie de la ladera, siguiendo líneas de debilidad estructural del suelo, generando un aspecto exterior de terrazas sucesivas; en las pie de vaches, el desplazamiento se produce según matas de vegetación, por lo que el aspecto que se observa superficialmente es un diseño de panal de abeja.

Ambas, terracillas (Fig.5) y pie de vaches se encuentran en los sectores de las laderas orientales, y en algunos sectores, el material fino y la acción de las aguas de escorrentía no es el único factor que actúa en la inestabilidad de los suelos, sino que también interviene el factor antrópico, debido a que son áreas que están destinadas al pastoreo de ganado, el mismo genera perturbación en la estabilidad de los suelos y se debe considerar como un factor importante de la inestabilidad de laderas.



**Fig.5-** Microdeslizamientos presentes en el sector de la cuenca baja del arroyo El Potrero. 1-roca desnuda debido al desprendimiento, 2: material de deslizamiento, 3 deslizamiento por transporte del material de los microdeslizamientos, 4 pied de vaches o pié de vaca

### Indicadores de áreas afectadas por procesos de deslizamientos de laderas

En base a la recolección de datos en campo, se identificaron en la zona de estudio indicadores que demuestran que las laderas son propensas a fenómenos de remoción en masa. Para el área se observaron árboles mostrando la curvatura de los troncos debida a la reptación del suelo por la inclinación de la ladera. (Fig.6)

En otros sectores se identificaron zonas en donde la vegetación fue arrancada totalmente junto con el volumen de material circundante (Fig.7), se puede inferir que estos procesos fueron el resultado de caídas gravitacionales en seco, con dominio de la acción de la gravedad ya que los depósitos no se deslizaron en forma de flujos, si no en respuesta a la inestabilidad del terreno provocando caídas repentinas





**Fig.6-** Evidencia de procesos de reptación, se observan arboles inclinados como indicador de estos fenómenos



**Fig.7-** Deslizamiento de ladera identificado indicando la dirección que siguió el material arrastrado

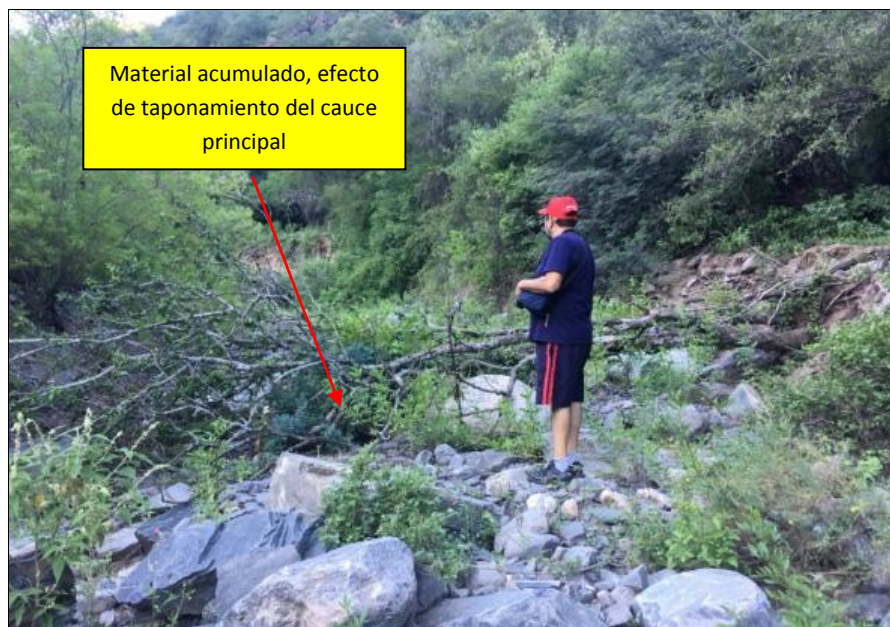
### **Riesgo de origen hídrico en la subcuenca del arroyo el potrero**

Para la identificación de los riesgos de origen hídrico de la subcuenca del arroyo El Potrero se realizó un relevamiento detallado de los sectores que presentan indicios de la acción de las aguas de escorrentía, y principalmente, de la acción de la dinámica del cauce principal.

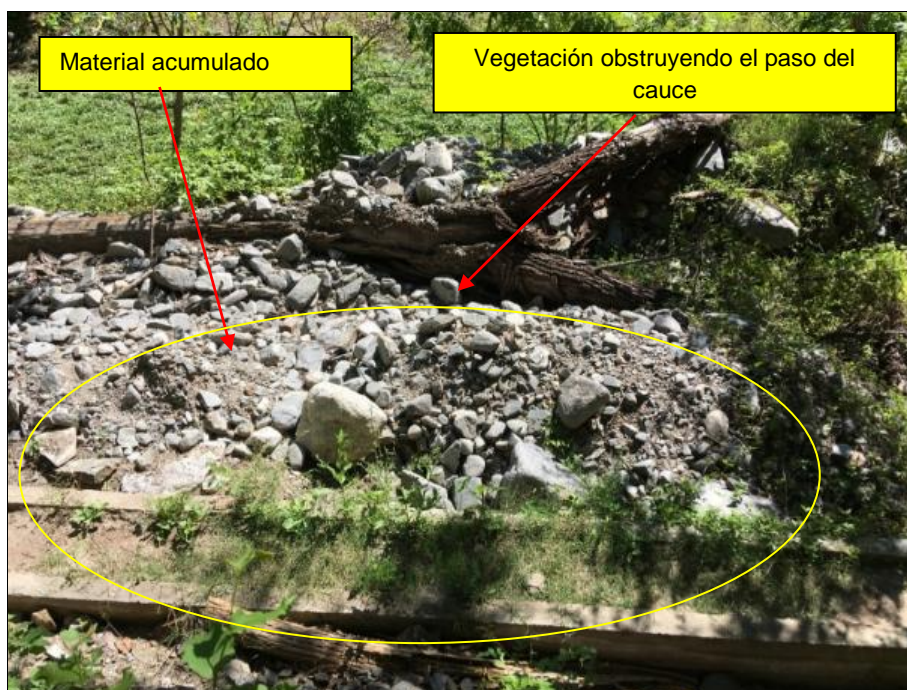
Como se detalló en párrafos anteriores, el cauce principal que corresponde al arroyo El Potrero, es recargado por afluentes que llegan desde las cumbres más altas, y luego se estrecha en un único canal que se encajona en una pequeña quebrada. Este cambio en la distribución de los cauces, genera que



los sedimentos que se transportan desde la cuenca media y alta queden atrapados en el sector en donde el canal se estrecha (Fig.8) y (Fig.9). De esta manera se produce un fenómeno de taponamiento del cauce, lo que incrementa la posibilidad de que, en épocas de crecidas extraordinarias, aumente la capacidad de transporte del río incrementando el riesgo en las secciones de la cuenca baja, donde se encuentran ubicadas las viviendas. Así mismo, el material tanto de origen vegetal como los bloques que se depositan en el cauce, (Fig. 60), se transforman en un obstáculo que interrumpen la circulación normal del río, con caudales propios de la época de precipitaciones, lo cual puede provocar desbordamientos laterales del cauce.



**Fig.8-** *Material transportado por el cauce principal, depositado en el lecho menor del cauce*



**Fig.9-** *Material depositado en el lecho del cauce, generando taponamiento del canal colector*



Otro indicador del poder de erosión del cauce principal, se ve reflejado en las terrazas fluviales, que presentan una fuerte erosión lateral dejando al descubierto las raíces de la vegetación que se encuentra por encima de estas (Fig.10), generando mayor inestabilidad.



**Fig.10-** *Terraza fluvial afectada por la erosión lateral del cauce principal, fijada por vegetación*

Otro indicador que se debe tener en cuenta, cuando hablamos de la dinámica fluvial del cauce principal, hace referencia al tamaño del material transportado por el mismo (la competencia), si bien en el momento de la realización de este estudio, el cauce no tiene caudales altos, el tamaño del material que se encuentra en la vera del arroyo nos indica la capacidad de transporte de este.

El tamaño y la cantidad de los bloques acumulados en el lecho del cauce (Fig.11), denotan una gran capacidad de transporte cuando tiene caudales propios de las épocas de precipitaciones o en ocasión de crecientes espontaneas de las subcuencas mayores, lo que le aporta un caudal extra incrementando la velocidad y la capacidad de este para transportas.



**Fig.11** *Tamaño del material acarreado por el cauce principal*

La cuenca está sujeta a amenazas geoambientales de tipo hídrico, presentándose en la cuenca baja las zonas de mayor vulnerabilidad a estos procesos, ya que, por un estrechamiento del cauce, la dinámica fluvial cambia de manera considerable.

### **Riesgos de origen de deslizamientos de laderas en la subcuenca del arroyo el potrero**

Los riesgos asociados a procesos de deslizamiento de laderas (remoción en masa), se encuentran representados en la mayoría de las laderas de la subcuenca del arroyo El Potrero. Las laderas se encuentran fuertemente fracturadas y están sujetas a procesos de meteorización, generados por las aguas de escorrentía y los procesos de congelamiento- descongelamiento, que se desarrollan en las cabeceras de las laderas, de la cuenca alta.

Se identificaron deslizamientos de laderas en la cuenca baja del arroyo, generando un riesgo para los puestos que se encuentran laderas abajo. Estos deslizamientos de las laderas orientales son de tipo gravitacional, es decir, que se produjo la caída de los bloques en seco. (Fig.12)



**Fig.12-** Deslizamiento de ladera, por efectos de la gravedad, en la cuenca baja del arroyo El Potrero

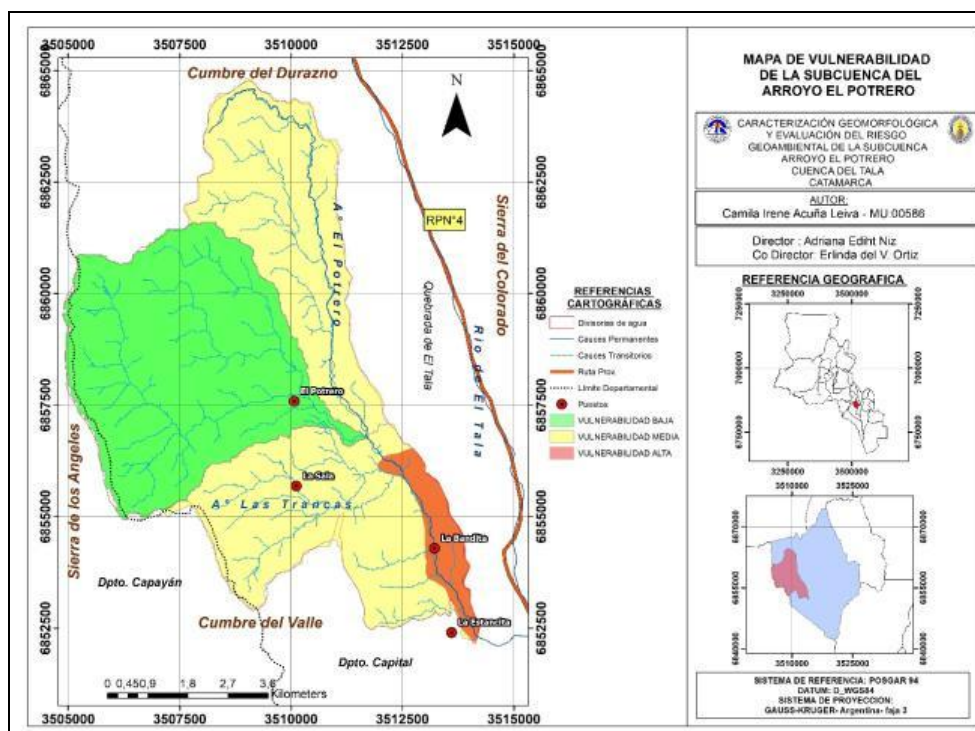
En respuesta a que las laderas, de la cuenca alta del área de estudio se encuentran cubiertas por depósitos de sedimentos finos de tipo loess, los procesos de remoción en masa se potencian, debido a que el loess al ser hidratado, produce un lodo que permite que los materiales se deslicen con más facilidad. Esto provoca la reptación de grandes volúmenes de materiales que se deslizan laderas abajo, provocando avalanchas de materiales mezclados con barro.

### **Áreas vulnerables frente a las amenazas geoambientales locales**

Para el área de estudio se han identificado dos tipos de riesgos predominantes, uno de origen hídrico propio de la dinámica fluvial de la cuenca y otro debido a los procesos gravitacionales de deslizamientos de laderas y de tipo remoción en masa.



El estudio de los riesgos asociados que tiene una cuenca, proporciona una base para poder realizar un análisis posterior acerca de cuáles son las áreas potenciales que pueden verse afectadas, teniendo en cuenta que implican la generación no tan solo daños materiales y lo que es más grave, la vida de los habitantes que residen en la zona.



**Fig.71-** Mapa de vulnerabilidad ante amenazas geoambientales

## CONCLUSIONES

El cauce principal que corresponde al arroyo El Potrero es recargado por afluentes que drenan desde las cumbres más altas, y luego se estrecha en un único canal que se encajona en una pequeña quebrada. Este cambio en la distribución de los cauces, provoca que los sedimentos que se transportan desde la cuenca media y alta queden atrapados en el sector en donde el canal se estrecha, produciendo, en ocasiones, el proceso de taponamiento mencionado.

En épocas de caudal extraordinario, el cauce tiene la capacidad y competencia suficientes para transportar gran cantidad de materiales que van a ser descargados en el punto de salida de la desembocadura, donde actualmente se encuentra localizado el barrio residencial La Estancia, lo cual indica que es una zona extremadamente vulnerable a amenazas de riesgo hídrico.

Las áreas más susceptibles a los procesos de este tipo se encuentran en el sector de la cuenca baja, en la quebrada que recorre el arroyo, presentando una sucesión de pequeños deslizamientos en las laderas orientales, donde el material producto de estos se encuentra acumulado en las márgenes del cauce colector. Debido a que es un área transitada por los habitantes de la zona, es de alta vulnerabilidad ante los riesgos de este tipo, donde las viviendas y los caminos que conectan los puestos se pueden ver afectados por este tipo de movimientos, destacando el módulo habitacional La Estancia

## REFERENCIAS

- Alcantara Ayala, I. (2000). Landslide: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de geografía, UNAM.
- Anguita, F., Moreno, F. (1994). “Procesos Geológicos Externos y Geología Ambiental”. Madrid: Editorial Rueda.
- Atlas Catamarca (2018). Departamento Pomán. ETISIG Catamarca.
- Barbieri, N., Herrera Castellanos, C. (2018). “Análisis geológico- geomorfológico e identificación de los procesos de remoción en masa de la cuenca del Río El Tala- Catamarca Argentina”. Seminario de trabajo final. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – UNCA
- Bastias, J.A. y Ulliarde, E. (1991) Tectoformas de Transcurrencias, Falla Tigre Sector Central, San Juan, Argentina. Congreso Geológico Chileno pp: 505 -509.
- Herrera et al (1993): Metodología para la orientación y manejo integral de cuencas hidrográficas. pp. 31
- Horton, R. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical.
- approach to quantitative morphology.” Bulletin of the Geologfical Society of America, pp.: 275-370.
- Issi Carrizo (1996) Clima de Catamarca. Pág. 43
- Instituto Nacional del Agua (INA) - Centro Regional Andino (CRA) y Secretaría del Agua y del Ambiente Provincia de Catamarca (SAyA) (2010). Relevamiento de la Disponibilidad de Recursos Hídricos Superficiales de Cuenca Salar de Pipanaco, Cuenca Abaucán-Colorado-Salado y Cuencas Faldeo Oriental del Ancasti: Mendoza.
- Instituto Nacional del Agua (INA)-Gobierno de Catamarca (2012). Delimitación De Áreas De Riesgo Hídrico En El Rodeo Departamento Ambato- Catamarca. Mendoza: Publicación Interna.
- Ribera Masgrau, L. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas.
- Ruiz, J. (2001) Hidrología, evolución y visión sistemática, la morfometría de cuenca como aplicación. Unellez. Barines – Venezuela.
- Togo, J. y Kriscautzky, N. (1996) Asentamientos Humanos Prehispánicos y Uso del Espacio en el Valle de Catamarca. Actas del I Congreso de Investigación Social Región y Sociedad en Latinoamérica Su Problemática en el Noroeste Argentino. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Tucumán, pp. 479-482.
- Vaccarino Pasquali, E., Manduca, F., Bizzoto F., Vich, A. (2010). Morfometría de cuencas ubicadas en el piedemonte mendocino de la Precordillera. Instituto de Estudios del Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional de Cuyo, IANIGLA- CONICET, Mendoza, Argentina.
- Villanueva, C. (2015). Aplicación de sistemas de información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a Riesgos Naturales. Instituto Nacional de Defensa Civil. Proyecto: Sistema de información geográfica- GEODECI. Lima, Perú

## LINKS CONSULTADOS

<http://ecoambientes.tripod.com/id7.html>

<https://glosarios.servidor-alicante.com/geografia-fisica/superficie-de-erosion-o-de-aplanamiento>

[http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geografia/geomorfologia/html/3\\_3\\_2.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/3_3_2.html)

# PERMAFROST DE MONTAÑA, RIESGOS Y EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA EN EL NOA.

Ahumada A. L.<sup>ab</sup>, Ibañez Palacios G. P.<sup>a</sup>, y Toledo M. A.<sup>ac</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Geología de Cuaternario y Paleoclimas, Fundación Miguel Lillo, ARGENTINA

<sup>b</sup>CONICET, ARGENTINA

<sup>c</sup>Subsecretaría de Asuntos Agrarios y Alimentos, Tucumán, ARGENTINA

e-mail: [alahumada@lillo.org.ar](mailto:alahumada@lillo.org.ar)

## RESUMEN

*Las regiones con permafrost de montaña en el NOA han sido objeto de catastro recientemente por diversos autores. Desempeñan un rol importante en la planificación de la economía de la región y su protección ecológica, para su uso turístico, transporte, contienen reservas de recursos naturales, albergan y proveen de recursos hídricos a pequeños poblados de altura y constituyen las cabeceras de cuencas con diversos proyectos de infraestructura de embalses y/o diques ya instalados para la generación de energía hidroeléctrica, regulación y provisión de recursos hídricos necesarias el sostenimiento y desarrollo de las economías regionales.*

*Las condiciones climáticas, producidas por el calentamiento global, constituyen una preocupación importante. El descongelamiento del permafrost provocado plantea importantes desafíos para estas regiones, incluyendo los peligros potenciales (riesgos por deslizamientos, inestabilidad de laderas) y las pérdidas o deterioro a la infraestructura existente. El mapeo de la presencia de permafrost y su grado de degradación (por cambios significativos en las condiciones ambientales apropiadas para su estabilidad) es un paso importante para entender los cambios del paisaje actual e iniciar medidas para adaptarse a estos cambios.*

*Esta presentación intenta con los resultados de la investigación realizada, aportar a un proyecto de desarrollo de infraestructura regional, Potrero del Clavillo, de importancia trascendente regionalmente.*

*Palabras Clave: permafrost de montaña, degradación, infraestructura, NOA.*

## INTRODUCCIÓN

El avance del calentamiento global crea un sinnúmero de incertidumbres en los proyectos de embalses hídricos para usos múltiples en muchos lugares del mundo.

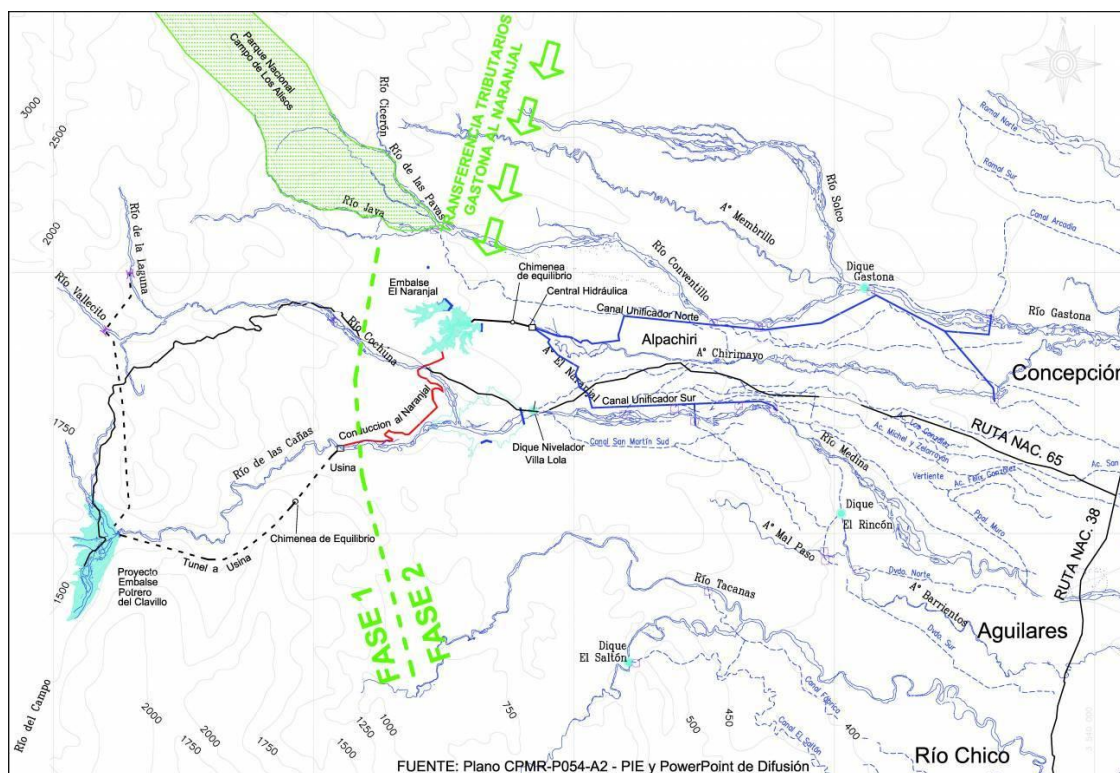
Los proyectos contenidos en ambientes andinos de alta montaña no escapan a esta observación planteada, sobre todo cuando las cabeceras de cuenca se encuentran en ambientes glaciares y periglaciares.

Durante la década del 60 se propuso un ambicioso Proyecto denominado Potrero del Clavillo, pero no se logró su ejecución. Sucesivos gobiernos posteriormente trataron de reflotarlo para desarrollar la infraestructura, y obtener energía y control de inundaciones. Nuevamente la idea ha sido planteada recientemente.

Sin embargo, observamos con asombro, que no se mencionan modificaciones o incorporaciones del conocimiento de cabeceras adquirido en la región en los últimos años, que juegan un importante rol en la evaluación de gestión de estas costosas obras y

El objetivo de este trabajo es plantear la necesidad de reconocimiento de diversos factores de inestabilidad y/o peligrosidad en cabeceras periglaciales, para que se aborden como desafíos para prolongar la vida útil de estas grandes obras, en base a conocimientos ya adquiridos y a preguntas naturalmente surgidas sobre los posibles impactos del calentamiento global en estos proyectos propuestos, ya que se relacionan con complejidades ambientales únicas que requieren ser consideradas en las regiones de montaña con ambientes glaciares y periglaciales andinos.

El Proyecto Potrero del Clavillo se ubica en el límite de las provincias de Tucumán y Catamarca, en el faldeo Oriental S de Aconquija, en la cuenca hidrográfica Río Salí, en el Río Las Cañas, ver Fig.1, en su Fase 1.



El lugar de emplazamiento sería el punto donde el río de Las Cañas, muy poco antes constituido por varios afluentes en la provincia de Catamarca, ingresa a la provincia de Tucumán. Se trataría de aprovechar el fuerte desnivel altitudinal que allí se genera por efecto de cambio de pendiente regional. Su capacidad de embalse sería de 109 hm<sup>3</sup>. Las normativas internacionales actuales requieren informes de impacto ambiental que seguramente modificarán el proyecto original que cuenta con propuestas de una segunda fase que incluye a otras cuencas de altura de la ladera oriental de Aconquija.

## ACTAS DEL E-ICES 14



El grupo de trabajo ha realizado sucesivos inventarios de permafrost de montaña representado en las altas cuencas de la ladera oriental de Aconquija, mediante diferentes recursos técnicos, a medida que pasaron los años (Ahumada et al. 2005, 2013 y 2017) los que han sido publicados secuencialmente en diversas oportunidades a medida que se mejoraban los sistemas de visualización y poligonado de superficies.

El Proyecto de Potrero del clavillo es un proyecto multipropósito que contiene a muchas de las cuencas ya prospectadas y catastradas mediante los procedimientos de inventario de geoformas periglaciales establecidos por el World Inventory Glaciers y otras instituciones nacionales e internacionales, también en el marco del cumplimiento de la Ley 26639.

En este trabajo presentamos sólo los resultados específicos de la cuenca del río de Las Cañas (Fase1), que contiene las cuencas de cabeceras de S a N con glaciares de escombros activos e inactivos: río Pisavil, río Potrero y río Chacras, ver Fig. 2, que junto con los ríos que desaguan de la quebrada de Lampacillo (en este último caso no se registran glaciares de escombros) constituyen la cuenca del río Las Cañas donde se intervendrá la disposición del embalse descripto.

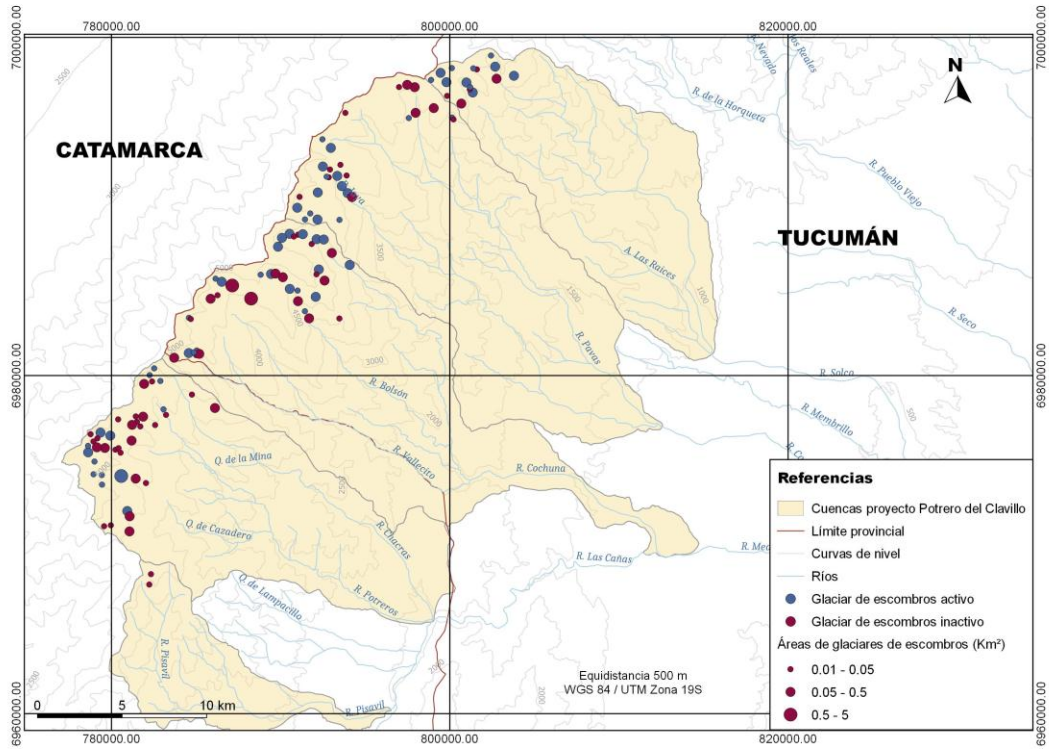


Fig.2. Cuencas que se propone integren el macro Proyecto Potrero del Clavillo. En el sector SO se encuentra la cuenca superior del río de Las Cañas donde se instalará el embalse Potrero del Clavillo.

En la Tabla 1 y 2 se describen las áreas cubiertas por estos glaciares de escombros activos e inactivos y sus límites altitudinales de ubicación.

Tabla 1

Cca. Las Cañas	Hectáreas	Nº GE	Altura máxima	Altura mínima
----------------	-----------	-------	---------------	---------------

GEA	120.17	14	5227	4373
GEI	161.05	27	5097	4094

Tabla 2

Cca. Pisavil	Hectáreas	Nº GE	Altura máxima	Altura mínima
GEI	9.54	2	4247	3887

## **CONSIDERACIONES PREVIAS A LA INSTALACIÓN DE UN EMBALSE EN CUENCAS CON AMBIENTES GLACIARES Y PERIGLACIALES.**

Existe un consenso generalizado de que el cambio climático afectará los recursos hídricos a nivel mundial y regional. Las preguntas más frecuentes sobre sus impactos en los proyectos hidroeléctricos existentes y proyectados se relacionan con las modificaciones de la esorrentía por efecto del descongelamiento de nieves eternas o el descongelamiento del permafrost (suelos que solían permanecer congelados permanentemente), la inestabilidad de las laderas e importantes aportes de sedimentos por efectos de deslizamientos por procesos acelerados de cambio. Muchas otras incertidumbres aún no resueltas como los cambios en la intensidad y estacionalidad de las precipitaciones, los cambios de temperatura en el permafrost y sus impactos en las cargas del río son una materia pendiente a resolver en los proyectos de embalses aún no desarrollados en cuencas de altura.

El calentamiento global afectará muy especialmente a las regiones de permafrost en las montañas. Las temperaturas del permafrost han aumentado en la mayor parte de las regiones del mundo desde principios de la década de 1980, con un nivel de confianza alto (IPCC 2013).

Los escenarios de variabilidad climática calculados recientemente para el NOA (SAYDS, 2015) indican:

- En el futuro cercano (2015-2039) el aumento de la temperatura media sería mayor a 1°C en gran parte de la región, en una lengua que se extiende desde el N a lo largo del O, una intensificación de las temperaturas mayor que en el resto del país, por su continentalidad.
- Eventos extremos tales como sequías prolongadas e inundaciones provocadas por precipitaciones concentradas o extremas en corto tiempo.
- Tendencia a períodos secos más prolongados en invierno.
- Ascenso de la isoterma de 0°C que influirá en el deterioro de la criósfera de altura en la región. (SAYDS, 2015).

El Banco Mundial (World Bank o Banco Mundial) y la WCOD (World Commission on Dams, Comisión Mundial de Presas) recomiendan que la planificación y el monitoreo continuo deben ser incluidos en el modelado de cambios potenciales en el flujo debido al cambio climático. El Banco Mundial (2009) ha descripto cómo las inversiones en el sector agua son vulnerables al cambio climático y han declarado que la infraestructura debe diseñarse utilizando la mejor información disponible al respecto.

## **CONCLUSIONES**

- Las condiciones climáticas en la región geográfica del embalse proyectado están cambiando afectadas por los efectos del calentamiento global.
- En los últimos años se detectaron condiciones de permafrost de montaña y se reconocieron mediante inventario las áreas de glaciares de escombros activos e



inactivos en las cabeceras de la cuenca propuesta para el embalse. El permafrost de montaña está expuesto a transformaciones y degradación por efecto del calentamiento global lo que provocará cambios sustanciales en los caudales y la permanencia del almacenamiento de reservas congeladas se modificará y se establecerán fenómenos de inestabilidad de laderas y aumento en la frecuencia de deslizamientos.

-Se deberá incorporar esta información al proyecto y establecer sistemas de medición y predicción de eventos, así como aplicar una mejor evaluación cuantitativa (estudio de procesos y modelado) de estas incertidumbres mediante modelos hidroclimáticos apropiados para evaluar la sustentabilidad del proyecto a largo plazo.

## REFERENCIAS

- Adler, F. J. Los embalses y los recursos hídricos superficiales. CET, Extensión, *Centro Ing. Roberto Herrera*, UNT V: 27:1-12 (2006).
- Ahumada, A.L., Ibáñez Palacios, G.P. y Páez, S.V. High Mountain permafrost in the argentine subtropic. 19° Colloquium on Latin American Geosciences. *Terra Nostra* 1: 9 (2005).
- Ahumada, A. L., Páez, S.V. e Ibáñez Palacios, G. *Los glaciares de escombros en la sierra de Aconquija, Argentina*. *Acta Geológica Lilloana* 25 1-2:49-68 (2013)
- Ahumada, A.L., Ibáñez 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. Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino*:851-872 (2017).
- IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.(2013).
- S.A.yD.S. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Modelos Climáticos. “Jornada Difusión de Resultados” del Proyecto Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (TNC) a la Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Buenos Aires.
- [http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3cn\\_informe.php](http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3cn_informe.php). (2015).
- World Bank. Directions in hydropower. <http://documents.worldbank.org/curated/en/2009/03/12331040/directions-hydropower>. (2009).

# DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA SEMILLA DE *CONDALIA MICROPHYLLA*

Alvarez G. G.

ICES, regional Malargüe, CNEA, Argentina

e-mail: [gustavoalvarez@cnea.gov.ar](mailto:gustavoalvarez@cnea.gov.ar)

## RESUMEN

*Condalia microphylla* (piquillín) es una especie arbustiva endémica de Argentina que se distribuye desde Jujuy a Chubut. Es un arbusto xerófilo de crecimiento lento. Los objetivos de este estudio fueron la descripción morfológica de las semillas de *C. microphylla*, mediante la observación en estereoscopio de cortes longitudinales y transversales, y la evaluación de la influencia de la testa en la germinación de esta especie. Se realizó una prueba de germinación a semillas escarificadas mecánicamente y semillas sin escarificar, en cámara de germinación con condiciones controladas de humedad y temperatura (25°C), y luminosidad variable. Los porcentajes de germinación fueron mayores en las semillas escarificadas mecánicamente. Las semillas utilizadas en el ensayo fueron extraídas de frutos colectados en ejemplares de piquillín situados en Sierra Pintada, San Rafael, provincia de Mendoza.

**Palabras Clave:** Piquillín, semilla, germinación, testa

## INTRODUCCIÓN

*Condalia microphylla* es un arbusto espinoso de 0,80 a 2 metros, de la familia Rhamnaceae, de ramas verdes a blancuzcas, terminadas en punta, con espinas laterales de ápice rojo oscuro, las cuales portan hojas y frutos. Es endémica de Argentina, distribuyéndose desde Jujuy hasta Chubut entre los 0 y 2200 m. s. n. m. En Mendoza se encuentra en toda la provincia, desde el piedemonte a la llanura (Ábalos R., 2016).

Existe escasa información sobre la morfología de las semillas de piquillín, información de gran relevancia a la hora de establecer planes de restauración de zonas áridas. Conocer los rasgos morfológicos de las semillas nos podrían ayudar a establecer la mejor manera de conservar las especies (Romero-Saritama *et al.*, 2016). De la misma manera la caracterización de las semillas nos ayuda a escoger el tratamiento adecuado para su germinación.

Conocer la morfología de la semilla es de suma importancia para establecer planes de manejo de la especie. Por ejemplo, distinguir si una semilla es recalcitrante u ortodoxa, nos indica qué tipo de almacenamiento le daremos y por cuanto tiempo. Las semillas recalcitrantes no toleran humedad inferior al 20 – 30% y no pueden ser almacenadas en frío a diferencia de las semillas ortodoxas que toleran la deshidratación a bajos contenidos de agua sin afectar su viabilidad (Chin, 1989). El tamaño de la semilla nos puede ayudar a diferenciar entre un tipo y otro, ya que semillas con tamaños iguales o mayores a 17 x 13 mm de largo y ancho han sido consideradas como recalcitrantes en diversos estudios (Romero-Saritama *et al.*, 2016).

En cuanto a los tratamientos germinativos de las especies, factores como la textura y dimensiones de la testa, en muchos casos, juegan un papel determinante. La testa puede ser dura-impermeable o blanda-permeable en función de la absorción o no de la humedad (Varela y Albornoz, 2013), interviniendo de esta manera en la velocidad de germinación al regular el ingreso de agua al interior de la semilla, además de la función de protección del embrión. Diversos estudios han demostrado que especies con semillas de testa dura podría retrasar la germinación o inducir dormición física, a diferencia de las semillas con testa blanda que su velocidad de germinación podría ser mayor (Romero-Saritama, 2016). La dormición física de las semillas es conocida como latencia, definida como el estado fisiológico en el que una semilla

predispuesta a germinar no lo hace, ni siquiera en presencia de condiciones externas favorables (FAO, 1991), esta puede estar determinada por varias causas: impermeabilidad de la cubierta seminal, sustancias inhibidoras de la germinación, dureza de la cubierta, la cual impide que el embrión se expanda, entre otras (INTA, 2011). De esta manera determinar la textura y el grosor de la testa nos ayudaría a distinguir si la semilla posee dormición física y seleccionar el tipo de tratamiento más adecuado para su germinación.

En el presente trabajo se muestran los resultados de la prueba de germinación de semillas escarificadas de piquillín y se describe la influencia de la testa en la latencia de esta especie.

## METODOLOGÍA

Se colectaron frutos de ejemplares de piquillín presentes en el predio del Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR), ubicado en Sierra Pintada, departamento de San Rafael, provincia de Mendoza (**ver Fig. 1**). El clima es templado seco, característico de zonas áridas, con temperatura media anual de 14,8°C y precipitación anual de 250 a 328 mm. La época de maduración de los frutos es de diciembre a enero (Abraham de Noir *et al.*, 2014), siendo enero de 2019 el mes donde se realizó la colecta de frutos. Una vez en laboratorio se les quitó el mesocarpio manualmente para liberar las semillas, las cuales se conservaron a 5° C hasta la realización de la prueba de germinación.



**Figura 1. a.** Ejemplar de piquillín en el CMFSR. **b.** Frutos de piquillín colectados.

Se desinfectaron las semillas con hipoclorito de sodio al 1% y se enjuagaron con agua destilada.

Para determinar la función de la testa en la germinación del piquillín se realizó una prueba de germinación. Se colocaron 100 semillas en cámara de germinación a una temperatura de 25° C, con luminosidad variable y se mantuvo la humedad constante. Se escarificaron mediante el uso de lija tamaño de grano N° 100 los extremos de 50 semillas, con precaución para no dañar el embrión, mientras que las 50 semillas restantes no recibieron ningún tratamiento. Se revisaron cada cuatro días y se consideraron germinadas cuando la radícula había emergido 2 mm (Ashworth *et al.*, 2017).

Para la descripción morfológica de la semilla se realizaron cortes longitudinales y transversales y se observaron en el estereoscopio. Las imágenes fueron capturadas con cámara digital.

Los rasgos morfológicos descriptos fueron:

- Número de semillas por fruto
- Dimensiones de semilla
- Espesor de testa

- Tipo de semilla según embrión
- Tipo de cotiledones

Para definir el tipo de semilla se utilizó la clasificación de Martin (Martin, 1946). Esta tiene al embrión como principal criterio de clasificación en cuanto a su diferencia en tamaño, forma y posición.

En cuanto al tipo de cotiledones se diferenció entre cotiledones de almacenamiento si son gruesos y carnosos y cotiledones foliares si son finos y pequeños en forma de finas hojas según Kitajima (Kitajima, 1996).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

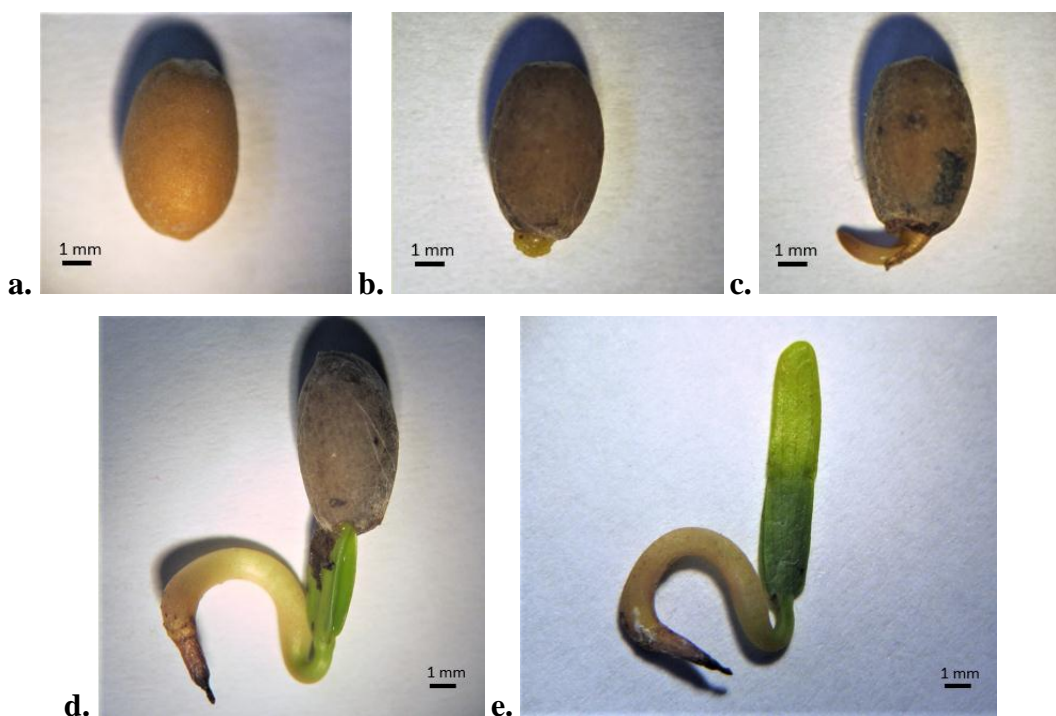
### Prueba de germinación

Al cuarto día de ensayo germinaron un total de 19 semillas escarificadas y 3 semillas sin escarificar, a los 8 días se registró la germinación de 32 semillas escarificadas y 10 sin escarificar y a los 19 días habían germinado 37 semillas escarificadas y 14 sin escarificación (**ver Fig. 2**).

Esto sugiere que la semilla de piquillín presenta latencia física determinada por la testa. La dispersión de esta especie es zoocora (Abraham de Noir *et al.*, 2014), siendo algunas aves y mamíferos quienes se alimentan de sus frutos, por lo que se piensa que las semillas experimentan una escarificación química antes de ser liberadas en las heces. Es también muy consumido por las hormigas, quienes luego de extraer la pulpa, sacan afuera del hormiguero las semillas, que dejan perfectamente limpias. La producción de semillas de testa dura en algunas especies es una estrategia de supervivencia en regiones áridas o desérticas, donde las precipitaciones son muy variables o impredecibles (Baskin y Baskin, 2014).

En la observación al estereoscopio de las semillas se notó la presencia de tapón micropilar, el cual al ser lijado, disminuyendo su grosor, habría posibilitado el ingreso de humedad y oxígeno al embrión, acelerando así su germinación.

El grosor promedio del tapón micropilar es de 1 mm, la escarificación mecánica del mismo sería un método efectivo para la germinación de piquillín.



**Figura 2.** Germinación de semilla de piquillín. **a.** Semilla no embebida. **b.** Rotura de tapón micropilar. **c.** Emergencia de la radícula. **d.** Emergencia de cotiledones. **e.** Liberación de la testa



### Caracterización morfológica

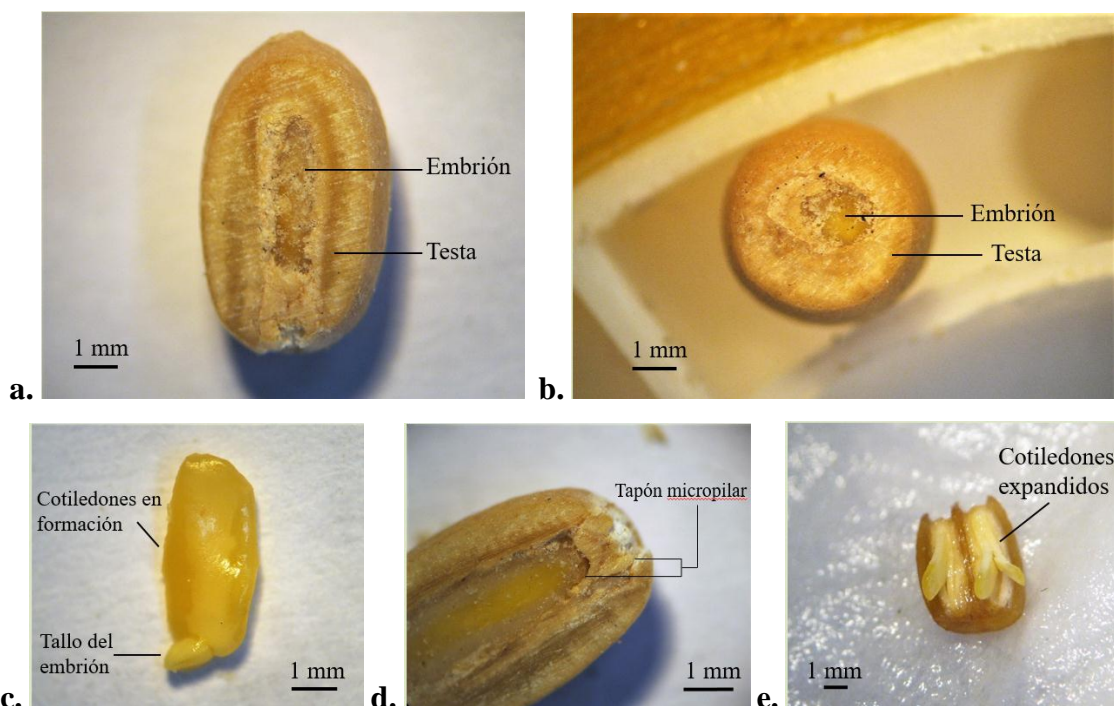
Las semillas tienen forma elipsoidal, de 5.5 - 7 mm x 3.5 - 4.5 mm. En los frutos observados se advirtieron de uno a dos lóculos.

La textura de la testa es dura, con un grosor de 0.7 a 1.5 mm. Se advierte la presencia de tapón micropilar de 1 mm de grosor promedio.

El tipo de semilla, según la clasificación de Martin (Martin. 1946), pertenece a la División Basal, Subdivisión Rudimentaria. Esta división reúne aquellas semillas con embrión pequeño, restringido a la parte baja de la semilla, de forma globular a oval-oblonga. El tallo del embrión tiene 1.2 mm de largo, mientras que los cotiledones expandidos tienen 3.3 mm de largo. El ancho del embrión es de 1.5 mm. Este está rodeado de una fina capa de endosperma (**ver Fig. 3**).

Una vez germinados, el largo de los cotiledones es tanto como el de la semilla, mientras que la raíz tiene 1 mm de grosor. La clasificación de Martin toma la diferencia en tamaño, forma y posición del embrión como criterio para diferenciar los distintos tipos de semillas.

Los cotiledones son finos en forma de hoja, por lo que son clasificados como cotiledones foliares (Kitajima, 1996).



**Figura 3.** a. Corte longitudinal de la semilla. b. Corte transversal de la semilla. c. Embrión. d. Tapón micropilar. e. Corte longitudinal de fruto bilocado.

Los resultados de las observaciones realizadas sobre las semillas son mostradas en la **Tabla I**.

**Tabla I.** Descripción de rasgos morfológicos de la semilla.

Semillas de <i>Condalia microphylla</i>	Número de semillas por fruto	Dimensiones	Espesor de testa	Tipo de semilla	Tipo de cotiledones
	Fruto uni o bilocado	Largo: 5.5 a 7 mm	Espesor testa: 0.7 a 1.5 mm	División Basal, Subdivisión	Cotiledones foliares

	(1 o 2 semillas)	Ancho: 3.5 a 4.5 mm	Espesor tapón micropilar: 1 mm	Rudimentaria. Embrión pequeño, oval-oblongo, restringido a la mitad baja de la semilla	
		Grosor: 3 a 4 mm			

## CONCLUSIÓN

El ensayo de germinación evidencia latencia física en las semillas, inducida por el espesor de la testa y del tapón micropilar. Con la escarificación mecánica del tapón micropilar se obtuvieron mayores porcentajes de germinación que en las semillas sin escarificar, lo que demuestra que la escarificación estimula la germinación de *C. microphylla*.

La descripción morfológica de las semillas contribuye a la selección de métodos de germinación que faciliten la interrupción de la latencia, constituyendo una alternativa en planes de restauración de zonas áridas.

## REFERENCIAS

- Ábalos, Raúl Mauro. Plantas del monte argentino: guía de campo / *Raúl Mauro Ábalos*. 2ª ed. – Córdoba: Ecoval Editorial (2016).
- Abraham de Noir, Fidelina y Bravo Sandra. *Frutos de leñosas nativas de Argentina*. - 1a ed. - Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales. E-Book. ISBN 978-987-1676-19-4 (2014).
- Ashworth Lorena et al. Dormición física en *Lepechinia floribunda* (Lamiaceae): Un arbusto nativo de interés medicinal. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Argentina (2017).
- Baskin C. C., Baskin J. M. Seeds, Ecology, biogeography and evolution of Dormancy and Germination (second edi.) Kentucky, USA: Elsevier (2014).
- Chin H. F. and Krishnapillay B. Seed Moisture: Recalcitrant vs. Orthodox Seeds. Contributions from the Agronomy and Horticulture Dep., Universiti Pertanian Malaysia, 43400 Serdang, Selangor, Malaysia and National Seed Storage Laboratory, USDA-ARS, Colorado State Univ., Fort Collins, CO 80523, USA (1989).
- Kitajima K., Fenner M. Ecology of seedling regeneration. En: *Fenner M. (ed.). Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, pp. 331-359, (2nd ed.). CAB Publishing, Londres (2000).
- Martin A. C. *The American Midland Naturalist* Vol. 36, N° 3 (1946).
- Romero Saritama José Miguel. Caracterización morfofisiológica de semillas de especies leñosas distribuidas en dos zonas secas presentes en el sur de Ecuador. Universidad Politécnica de Madrid (2016).
- Romero-Saritama J. M., Pérez Ruiz C. Rasgos morfológicos de semillas y su implicación en la conservación ex situ de especies leñosas en los bosques secos Tumbesinos. *Ecosistemas* 25 (2): 59-65 (2016).
- Torres, Celina; Díaz, Jaime E.; Cabal, Paola Andrea. Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Agronomía Colombiana*, vol. 26, núm. 2, pp. 177-185 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia (2008).
- Varela, R. O., Albornoz, P. L. Morpho-anatomy, imbibition, viability and germination of the seed of *Anadenanthera colubrina* var. *Cebil* (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical* 61: 1109-1118 (2013).
- Willan R. L. Guía para la manipulación de semillas forestales. Compilado para el Centro de Semillas Forestales de DANIDA. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, FAO (1991).

# ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA HÍDRICA DEL RIO QUIMIVIL

Arroyo Ana Gabriela, Dra. Niz Adriana, Lic. Lamas Cinthia

*Departamento de Geología. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca.*

*e-mail: [gabrielaarroyo584@gmail.com.ar](mailto:gabrielaarroyo584@gmail.com.ar)*

## RESUMEN

*La Localidad de Londres pertenece al Departamento Belén. Se sitúa a 315 km de la capital de la provincia de Catamarca. Las coordenadas son 27°42'55.68" S y 67° 6'55.13" W. El presente trabajo tiene la finalidad de analizar las características geomorfológicas e hidrológicas de la zona. Se realiza el análisis morfométrico de la cuenca del Río Quimivil que ayuda a conocer las condiciones generales de la misma, predecir el comportamiento ante diversos fenómenos climáticos y geológicos, reconocer y estudiar los riesgos asociados a procesos naturales que generan vulnerabilidad y amenazas en la actividad del hombre. Como, así también, la intervención humana en la potenciación o reducción de los mismos. Para este trabajo se han usado softwares libres como Google Earth, ArcGIS y Global Mapper. Se concluye que la cuenca es pequeña-intermedia con un área de 270,24 km<sup>2</sup>. Su forma es oval oblonga a rectangular oblonga por lo cual es menos susceptible a inundaciones. Presenta mayor distorsión en la forma, es decir se vuelve alargada a asimétrica. El tipo de red mayormente es dendrítica, pero al sureste de la cuenca es rectangular. El número de orden es 5 lo que significa que presenta mayor jerarquización. La cuenca está asociada a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno. Posee 5 subcuencas.*

*Palabras Claves:* Cuenca, Hidrológicas, Geomorfológicas, Morfometría, Softwares

## INTRODUCCION

El curso principal que alimenta la región de estudio es el Río Quimivil, cuyo gradiente es relativamente fuerte arrastrando rodados y bloques en cantidad. Este río nace en la falda Oriental del cerro El Fraile (4.051 msnm). Está formado por dos arroyos, uno que proviene del norte, sobre la base del cerro El Mojón (4679 msnm) y pasa por Ciénaga Grande, Los Bayos y Cieneguita, y otro que, desde el Suroeste viene por la Aguadita y Las Pailas, para encontrarse con el primero en el lugar denominado Zapata. Aquí se encajona entre barrancas de varios metros de altura, los rodados desaparecen y son reemplazados por sedimentos finos. Corre un corto trecho hacia el este y luego en franca dirección Sur – Sureste, flanqueando al cerro El Shincal. Las aguas son captadas para riego y bebida. Siguiendo su curso aguas abajo, el río Quimivil se desparrama en el Campo de Belén por medio de sus dos brazos, los ríos La Toma y del Infiernillo. Este último, a su vez, recibe a varias quebradas que bajen de Los tres Mogotes y sierra de Zapata. De ellas, las más importantes son las de La Aguada, Piscuyacu, San Antonio, La Totorá y La Chilca.

El presente trabajo tiene como finalidad analizar las características geomorfológicas e hidrológicas de la cuenca del Río Quimivil mediante el análisis morfométrico de la misma lo cual permite determinar las condiciones generales y así predecir su comportamiento ante diversos fenómenos climáticos y geológicos.

La zona posee un clima Árido de Sierras y Bolsones con temperatura media anual entre 16°-18° C. Las precipitaciones varían entre 150 a 200 mm/año. Estas son torrenciales y localizadas durante la temporada estival (Capparelli, 1997; González Bonorino, 1972; Morlans, 1995).

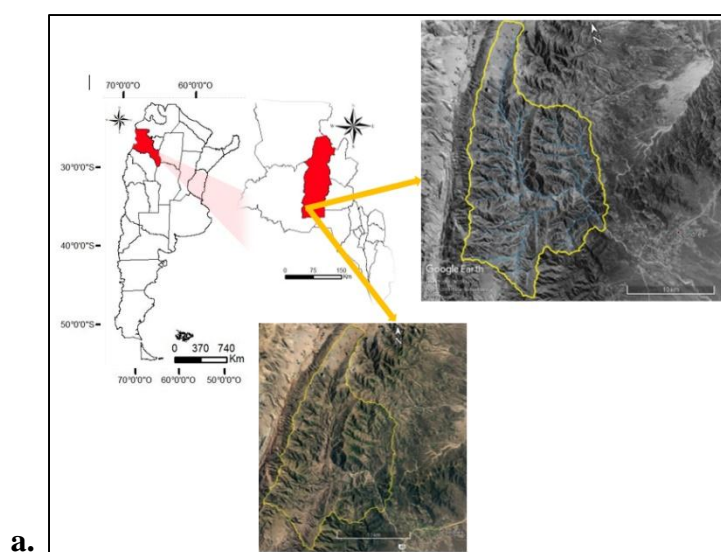
Según González Bonorino (1972: 15) el máximo de precipitaciones se presenta sobre la falda oriental de la Sierra de Zapata, Cordón de Los Colorados y Cerro Fraile. Ello se debe a que estos cordones serranos retienen la mayor parte de la escasa humedad que traen los vientos del cuadrante sudeste. De ello da testimonio la espesa vegetación de gramíneas y herbáceas que los cubren.

## UBICACIÓN

La cuenca del Río Quimivil está ubicada al suroeste del Departamento Belén, Provincia de Catamarca, se emplaza a 10 km de la Localidad de Londres.

Se localiza en las coordenadas geográficas: latitud sur entre 27° 27' y 27° 45' y longitud oeste entre 67 12' y 67 22'.

Esta cuenca comprende la ladera oriental del Cordón del Fraile y la extremidad norte de la Sierra de Zapata, así como la depresión existente entre ambas elevaciones. ver Fig.1



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la cuenca del Río Quimivil

## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES DE LA CUENCA

La cuenca se enmarca dentro de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales. La estructura de las Sierras Pampeanas ha sido caracterizada por González Bonorino (1950,) quien las consideró un sistema de montañas en bloque, limitadas por fallas inversas de alto ángulo, son cordones orientados en dirección NNO-SSW con alta pendiente hacia el Oeste y suave hacia el Este. ver Fig.2



Las principales entidades geológicas que se observan en la zona estudiada son:

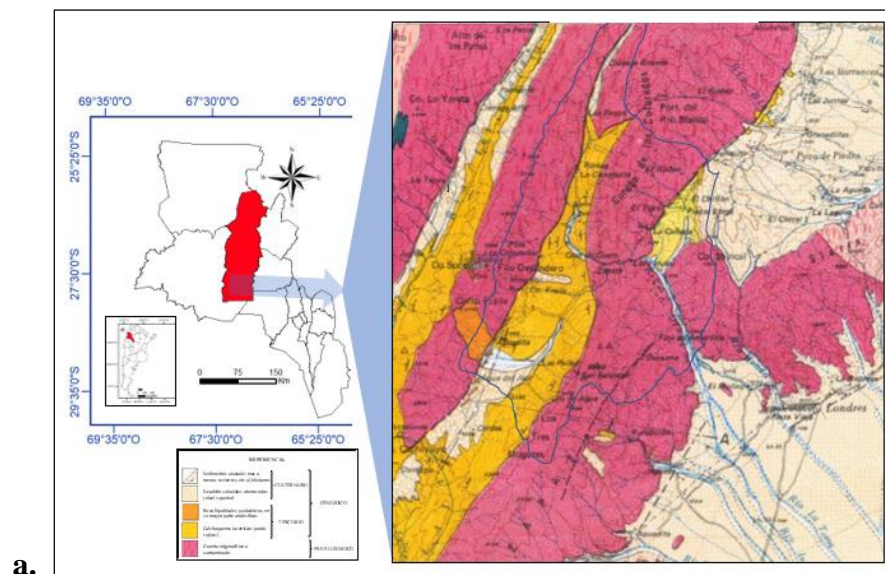
a) Basamento cristalino, que ocupa gran parte del área relevada, representado casi en su totalidad por rocas graníticas de edad Pre-Paleozoico. Estas rocas constituyen las elevaciones principales de la zona, como el cordón del Fraile y de Zapata, y parecen pertenecer a un solo gran batolito; presentando ciertas variaciones en su textura en la gran área que abarcan sus afloramientos.

b) Unidad sedimentaria de gran potencia, integrada por areniscas pardo rojizas (calchaquense), apoyada sobre el basamento, correspondiente al Terciario (mioceno). Estas rocas ocupan la gran depresión existente entre los cordones del Fraile y Zapata, apareciendo además pequeños remanentes en el faldeo oriental de la sierra citada en segundo término.

c) Rocas hipabisales y volcánicas, poco representada en la zona, constituida por andesitas y traquiandesitas, que se presenta bajo la forma de filones capas y diques. Corresponden al Terciario (Mioceno Superior). Aparecen intruidas en la base de la serie sedimentaria, como en la Quebrada de Las Champas y en Vallecito o en el basamento como del Cordón del Fraile.

d) El cuaternario está representado por los depósitos de pie de monte que rodean a la sierra de Zapata en su faldeo oriental, constituidos por la unión de los distintos conos aluviales que bajan de dicha ladera y por los sedimentos fluviales que se observan en el lecho de los ríos.

El material que se observa en el lecho de los ríos no presenta selección y va desde arena fina hasta bloques de 2m de diámetro.



**Figura 2.** Descripción geológica de la **HOJA GEOLÓGICA 13c,**  
**FIAMBALÁ** por Gonzales Bonorino.

## METODOLOGIA

La metodología empleada es fotointerpretación mediante el procesamiento de imágenes satelitales.

La delimitación de la cuenca del Río Quimivil se realizó a través del software Google Earth; se exportó el archivo como .kmz para ser empleado en el software Global Mapper 20 con el cual se generó el modelo de elevación digital (DEM). Posteriormente, se utilizó el software SIG Arc GIS 10.3 donde se procesó el DEM para la verificación de los límites de la cuenca y de las subcuencas. Se empleó este mismo software para determinar los parámetros que caracterizan a la cuenca.

## PARÁMETROS

### *Caracterización de la red hídrica*

- Tipo de Red
- Orden de las corrientes
- Longitud del cauce principal
- Longitud de la red hídrica
- Densidad del drenaje

### *Caracterización morfológica*

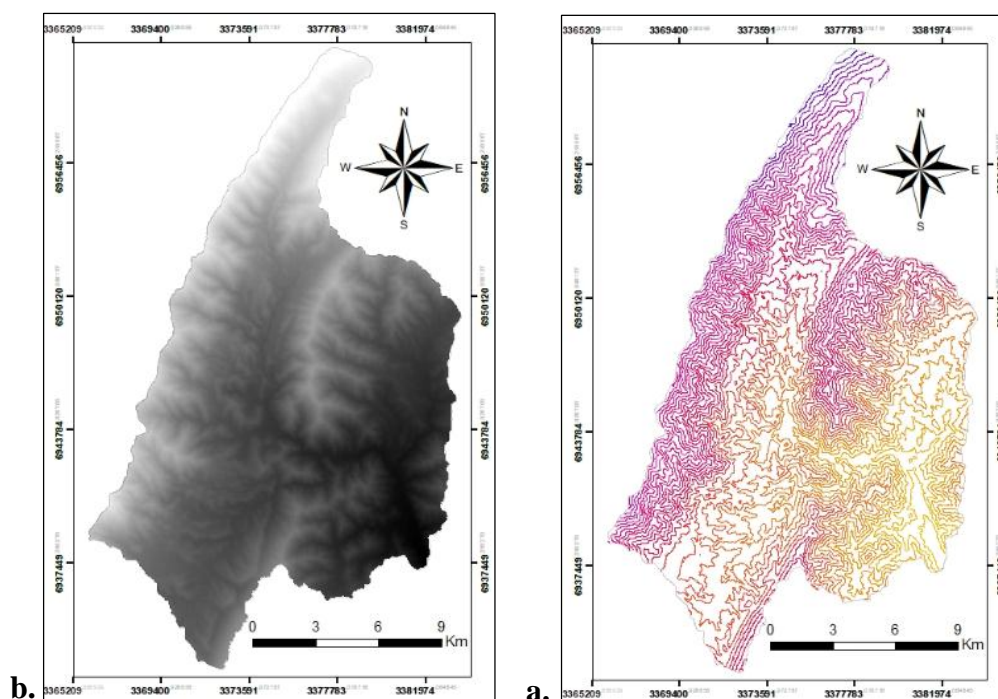
- Área
- Perímetro
- Ancho
- Ancho máximo
- Longitud de la cuenca
- Longitud máxima de la cuenca
- Coefficiente de compacidad o de Gravelius
- Factor de forma de Horton
- Índice de alargamiento
- Relación de elongación
- Factor de circularidad de Miller

### *Caracterización del relieve*

- Altitud mínima
- Altitud máxima
- Pendiente

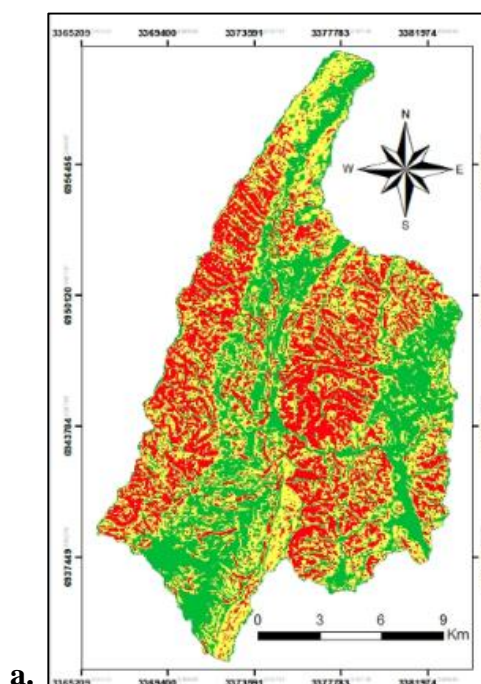
## RESULTADOS

Por medio del procesamiento digital de la información se obtuvo el DEM a escala 1:175.000 que permitió caracterizar las formas del relieve con respecto a los valores de las curvas de nivel. ver Fig.3



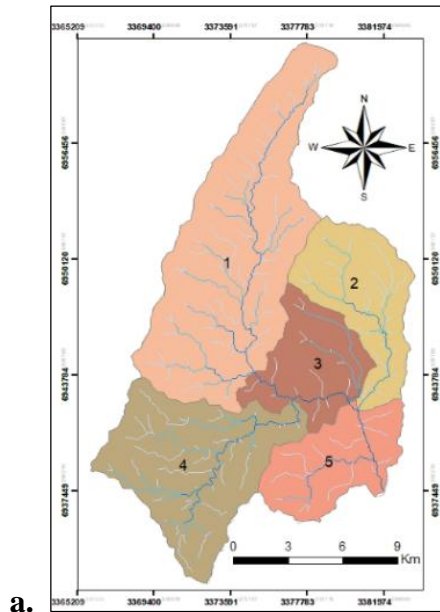
**Figura 3. a.** Cartografía del modelo digital de elevación (DEM) obtenidos mediante el software Global Mapper 20 **b.** Cartografía de las curvas de nivel generadas en software SIG Arc GIS 10.3

La cuenca del Rio Quimivil presenta una altitud máxima de 4600 msnm y una altitud mínima de 1400 msnm, con una pendiente media entre 24% - 33% lo que representa un relieve ligeramente escarpado en la cuenca. ver Fig.4



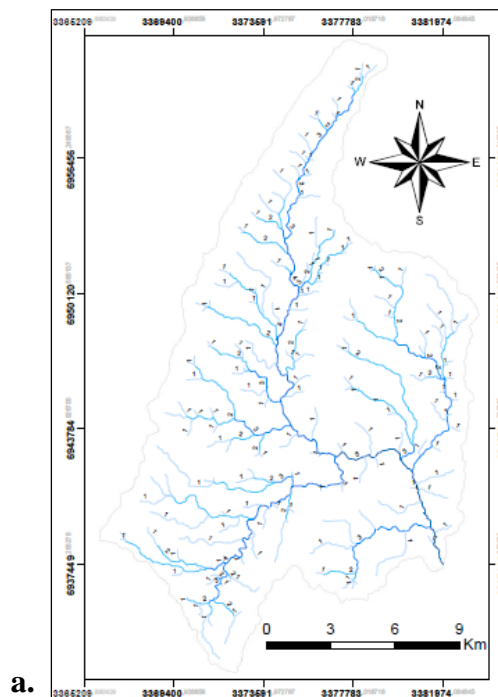
**Figura 4.** Mapa de pendiente de la cuenca del Rio Quimivil

La delimitación de las subcuencas se realizó a partir de las unidades hidrológicas menores originadas por las divisorias de agua representadas por los ríos secundarios o tributarios que confluyen en el río principal. ver Fig.5



**Figura 5.** Cartografía de las 5 subcuencas delimitadas en software SIG Arc GIS 10.3

El número de orden de los cursos de agua para la cuenca del Río Quimivil correspondió un valor de 5, presenta una densidad de drenaje moderada con valor de  $1,09 \text{ km/km}^2$ . El arreglo geométrico de la red hidrológica no es uniforme, al norte es de tipo paralela, en el centro es dendrítica, y al sur-sureste es de tipo subrectangular. ver Fig.6



**Figura 6.** Cartografía de la red de drenaje generada mediante el software SIG Arc GIS



Los valores obtenidos de los parámetros de forma, relieve y red de drenaje, a partir del análisis a nivel de cuenca están representados en la Tabla I. Esta información permite evaluar el funcionamiento hidrológico de la cuenca en general.

TABLA I. PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RIO QUIMIVIL				
Caracterización de la red hídrica		Caracterización morfológica		Caracterización del relieve
Tipo de Red	Dendritica	Área	270,24 km <sup>2</sup>	Altitud mínima 1400 m
	Subrectangular	Perímetro	89,73 km	Altitud máxima 4600 m
Orden de las corrientes	5	Ancho	11,21 km	Pendiente media 24%-33%
Longitud del cauce principal	34,90 km	Ancho máximo	15,66	
Longitud de la red hídrica	293,92 km	Longitud de la cuenca	24,10 km	
Densidad del drenaje	1,09	Longitud máxima de la cuenca	29,80 km	
		Coeficiente de compacidad o de Gravellius	1,54	
		Factor de forma de Horton	0,22	
		Índice de alargamiento	1,90	
		Relación de elongación	0,77	

I.

La cuenca del Rio Quimivil presenta un área de 270,24 km<sup>2</sup>, perímetro de 89,73 km y factor de forma de Horton de 0,22, a esta cuenca le corresponde un tamaño Intermedia-Pequeña con una forma oval oblonga a rectangular oblonga, lo que indicaría una mayor distorsión en la forma de la cuenca, es decir se vuelve alargada a asimétrica

## CONCLUSIONES

El uso de (SIG) permitió realizar el análisis morfométrico de la cuenca del Rio Quimivil. La determinación de los parámetros de forma, relieve y red de drenaje fue de gran importancia para interpretar el comportamiento hidrológico y comprender su incidencia ante fenómenos especiales, como pueden ser las precipitaciones y crecidas extremas. El área estudiada corresponde a un paisaje montañoso con pendientes ligeramente escarpadas y desniveles que le dan un carácter de riesgo por escorrentía, situación que causa que ante eventos pluviales se pueden presentar crecidas hidrológicas de moderadas a lentas y sostenidas. Lo anterior se afirma con base en la interpretación de los resultados obtenidos que indican que la red de drenaje no es homogénea en toda el área de la cuenca y posee baja susceptibilidad a generar crecidas, de tal manera que los riesgos de inundaciones asociados a esta cuenca son de mediana a baja intensidad. Sin embargo, son notorios los eventos erosivos y de arrastre de sedimentos.

Esta característica debe considerarse sólo como un indicador que no descarta que se puedan provocar crecientes extraordinarios por otras causas.

## RECOMENDACION

Se deberían realizar estudios hidrológicos e hidráulicos más profundos en cada una de las subcuencas que componen la cuenca del Rio Quimivil para así conocer mejor el comportamiento de este rio, en caso de producirse modificaciones en las condiciones naturales de algunas de las subcuencas y como esto podría repercutir en la ordenación y planeación en el territorio de la localidad de Londres.

## REFERENCIAS

GERARDO E. Bossi<sup>1</sup>, Claudia M. Muruaga. “Estratigrafía e inversión tectónica del 'rift' neógeno en el Campo del Arenal, Catamarca, NO Argentina”. *Instituto de Estratigrafía y Geología Sedimentaria Global (IESGLO), Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205 (4000) Tucumán, Argentina.*

GONZÁLEZ, Bonorino Félix. “DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA HOJA 13 C, FIAMBALA”. Provincia de Catamarca. Carta Geológica - Económica de la República Argentina. Escala 1: 200.000. *BOLETIN* N° 127, BUENOS AIRES Ministerio de Industria y Minería, Dirección Nacional de Geología y Minería, 1972.

GUTIERREZM, arcos M., Estudio de los yacimientos de estaño de provincia de Catamarca, Minas San Salvador. Universidad Nac. s. Aires, F.C.E.F.N., Buenos 9 Aires (1913).

OLIVERI, Jorge C. Tesis de Posgrado. Contribución al conocimiento de la geología y génesis del yacimiento estannífero de San Salvador, Dpto. de Belén, Provincia de Catamarca (1950).

# ANÁLISIS DE LOS SERVICIOS COMO FACTORES QUE INFLUYEN EN EL AVALÚO – Sector Norte y Sur de la ciudad de San Fernando de Valle de Catamarca

Ballhrost C. D.<sup>a</sup>, Vazquez N. M.<sup>a</sup>, Savio M. E.<sup>a</sup> y Montivero M.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Agrimensura, FTCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: [ballhrost14@gmail.com](mailto:ballhrost14@gmail.com)

## RESUMEN

*La asignación del valor fiscal tiene el fin de constituir una base de referencia para el pago de impuestos inmobiliario, son diversos los elementos que inciden en el valor de un terreno: ubicación, uso y ocupación del suelo, superficie, entorno y servicios en la zona, entre otros.*

*Con respecto a los servicios en la sociedad, los usuarios merecen que los mismos se presten en similares condiciones de calidad y eficiencia, en beneficio de todas las personas. El objetivo de la investigación, fue realizar el análisis de los servicios como factores que influyen en el cálculo del avalúo catastral y en la equidad social. Se desarrolló un Sistema de Información Territorial de aplicación territorial, para visualizar y determinar la ubicación y distribución de las redes de servicios en dos sectores de la Ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, se procedió a la identificación y recopilación de la información en distintos organismos de la provincia y se realizó el análisis de los datos considerando la calidad de los mismo, sus bases de datos, utilidad, entre otros, a través de la utilización de herramientas Open Source. Se concluye que los servicios públicos son de fundamental importancia, para la valuación parcelaria, debido a que su influencia impacta en la equidad social e impositiva.*

**Palabras Clave:** Avalúo, SIT, Servicios, Parcela

## INTRODUCCIÓN

Los bienes inmuebles, son aquellos que están unido al terreno de modo inseparable, tanto física como jurídicamente. Entre éstos, se consideran a las casas, edificios, viviendas de todo tipo, fincas, etc.

El valor fiscal de cada inmueble se entiende como el valor económico que es asignado al mismo por un organismo de orden estatal a través de diversas valoraciones e índices

La asignación de valor fiscal tiene el fin de constituir una base de referencia para el pago de impuestos por propiedades inmuebles y, también puede utilizarse para conocer la composición inmobiliaria de un territorio

Son diversos los elementos que inciden en el valor de un terreno: su ubicación, uso y ocupación del suelo, superficie, entorno y servicios en la zona, entre otros. Asimismo, que un inmueble disponga o no de ciertos servicios influirá en el precio final del inmueble.

La importancia de los servicios en la sociedad, se concentra en el interés público y debe prestarse en condiciones de igualdad, universalidad, generalidad, regularidad y continuidad; todos los usuarios merecen que los servicios se presten en similares

condiciones de calidad, eficiencia, en beneficio de todas las personas, sin alteraciones, interrupciones injustificadas ni situaciones de injusticia o inequidad.

Más aún, existen ciertos servicios públicos considerados esenciales, gozar de ellos resulta imprescindible para alcanzar o mantener un estándar mínimo de calidad de vida. El servicio de agua corriente y de instalaciones cloacales, el servicio de distribución de energía eléctrica y el de gas natural por redes son claros ejemplos. No se trata solamente de servicios útiles para la vida en comunidad, sino que representan mucho más que eso, porque, los usuarios de los servicios públicos esenciales son personas, no clientes.

## UBICACIÓN GEOGRAFICA

La presente investigación se realizó en dos sectores de la ciudad de San Fernando del valle de Catamarca (ver Fig. 1), con el fin de determinar la distribución de los servicios (red de agua, red de gas, red eléctrica y red de cloacas) enumerados precedentemente.

Ambos sectores se identificaron y seleccionaron porque están localizados en áreas contrapuestas, con características heterogéneas y distribución irregular.



**Figura 1.** a. Ubicación zonas de estudio. b. Zona norte. c. Zona sur.  
Elaboración propia.

## OBJETIVO GENERAL:

Analizar los servicios públicos como factores que influyen en el avalúo catastral en los sectores norte y sur de San Fernando del Valle de Catamarca.

## Objetivos Específicos

- Identificar los servicios públicos que influyan en el cálculo del avalúo, analizar su influencia y el impacto en la equidad social.
- Representar los servicios en un Sistema de Información Territorial



## METODOLOGIA DE TRABAJO:

### I. RECOPIACION DE LA INFORMACION.

La recolección de antecedentes, consistió en la búsqueda de información inherente a la investigación, para lo cual se recurrió a diferentes organismos para la obtención de la misma. Se menciona a la Administración General de Catastro con los registros parcelarios de la zona de estudio, Aguas de Catamarca S.A.P.E.M: Redes Cloacales y Redes de Agua, EC. S.A.P.E.M.: Red de Tendido Eléctrico y ECOGAS: Red de Gas

Las capas seleccionadas al provenir de distintas fuentes, fue necesario realizar el proceso de homogeneización.

Además, fue preciso realizar un relevamiento in situ para obtener datos adicionales.



**Figura 2.** a. Red de agua. b. Red de Cloacas. c. Parcelario.  
Elaboración propia.

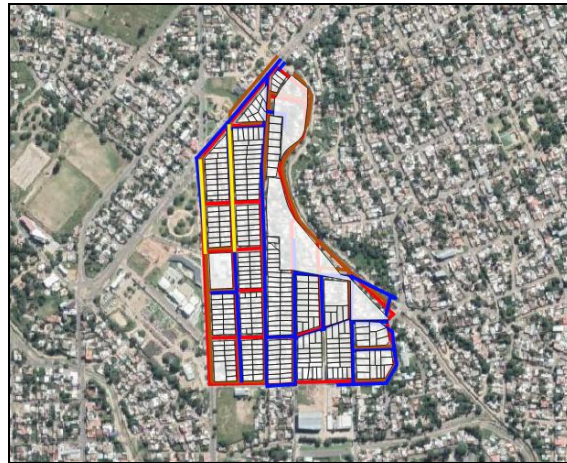
### II. INTEGRACIÓN y PROCESAMIENTO DE DATOS

En esta etapa se realizó la integración de los datos obtenidos. Se verificó la georreferenciación de cada una de las capas, se realizaron los controles topológicos y la consistencia lógica de la base de datos, para lo cual se utilizó el software Qgis, el cual es

un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto, es un proyecto de la Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) en el cual se puede incorporar la información en forma de capas vectoriales o raster.

Se realizó el procesamiento de los datos a través de las diferentes herramientas con las que cuenta el programa, como, por ejemplo: creación de nuevas capas, intersecciones, entre otras.

En una primera etapa se configuró el software y se incorporaron las capas en el siguiente orden: parcelario, red de agua, red de cloaca, red eléctrica y, red de gas (ver Fig.3).



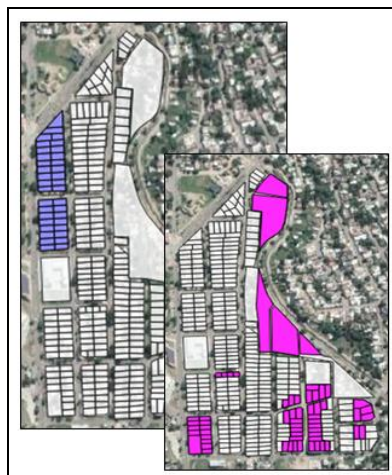
**Figura 3.** Capas. Elaboración propia.

Fue necesario realizar una serie de operaciones para efectuar el análisis de los resultados:

- 1- Crear una nueva capa e incorporarla al proyecto.

Para la creación de una capa es necesario ingresar al menú principal y seleccionar la opción CAPA – CREAR CAPA – NUEVA CAPA DE ARCHIVO SHAPE...

El resultado de la misma se observa a continuación (ver Fig.4):



**Figura 4.** Resultado. Elaboración propia.

- 2- Definición del BUFFER: También conocido como Zona de Influencia, es una de las herramientas más comunes y utilizadas en los SIG, ya que permiten obtener nueva información para determinar, por ejemplo, qué elementos geográficos se encuentran dentro de un área de influencia determinada (Puntos, Líneas, Polígonos) (ver Fig.5).

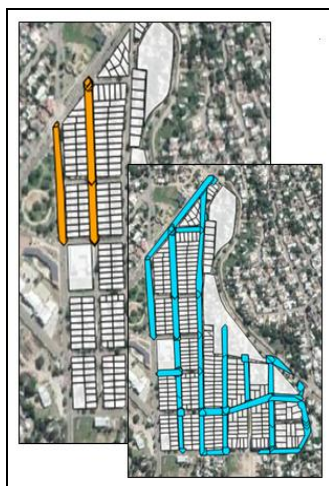
Para generar un buffer, es necesario ingresar al menú principal y seleccionar: VECTORIAL- HERRAMIENTAS DE GEOPROCESO – BUFFER DE DISTANCIA FIJA.



**Figura 5.** Resultado. Elaboración propia.

- 3- Realización de INTERSECCIÓN: A partir de la operación de intersección de dos capas, los elementos de entrada son cortados a partir de otra capa superpuesta (capa de intersección) a la primera. El resultado es una nueva capa que recoge la combinación espacial de los distintos elementos que conforman ambas capas (ver Fig.6).

Para generar un buffer, es necesario ingresar al menú principal y seleccionar: VECTORIAL- HERRAMIENTAS DE GEOPROCESO – INTERSECCION.



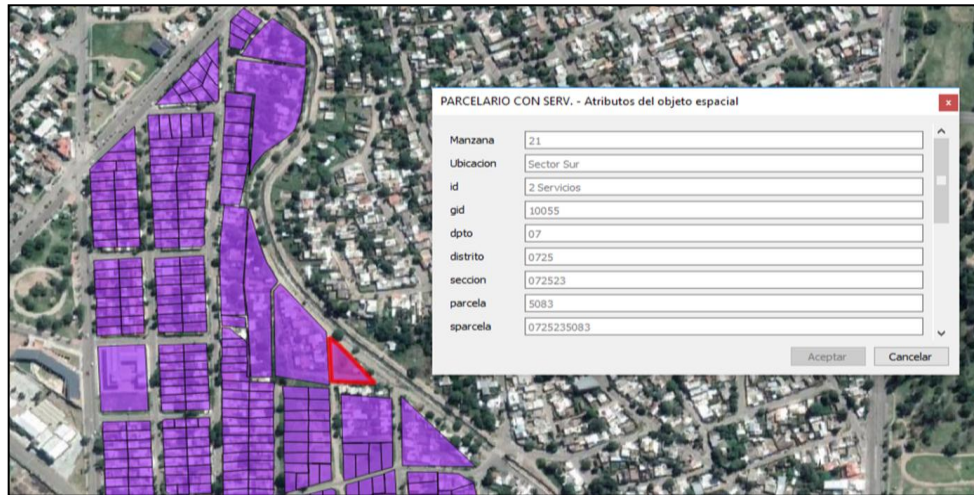
**Figura 6.** Resultado. Elaboración propia.

- 4- COMBINACIÓN DE CAPAS: Esta herramienta combina los elementos de una capa poligonal de entrada con los polígonos de una capa superpuesta a la



primera. El resultado es una capa que presenta una información procedente de la combinación de las entidades geográficas en ambas capas (ver Fig.7).

Para generar un buffer, es necesario ingresar al menú principal y seleccionar: VECTORIAL- HERRAMIENTAS DE GESTION DE DATOS – COMBINAR CAPAS VECTORIALES.



**Figura 7.** Resultado. Elaboración propia.

Otra manera de combinar varias capas (ver Fig.8) es, en el menú principal, seleccionar: PROCESOS – CAJA DE HERRAMIENTAS – HERRAMIENTAS DE SELECCIÓN VECTORIAL – EXTRAER POR LOCALIZACION.



**Figura 8.** Resultado. Elaboración propia.

- 5- Mediante la calculadora de campo fue posible crear un “nuevo campo” en la base de datos, se utilizaron operaciones matemáticas en función de la necesidad del proyecto (ver Fig.9).



Para el caso de estudio, se seleccionó el campo denominado “avalúo” y se le incorporo al mismo un determinado porcentaje, que representa el incremento por poseer ese servicio, porque según la publicación del diario de la Nación donde expresa que ...” A nivel país, el promedio de las valuaciones fiscales ronda el 20% del valor de mercado...” (Nación, s.f.).

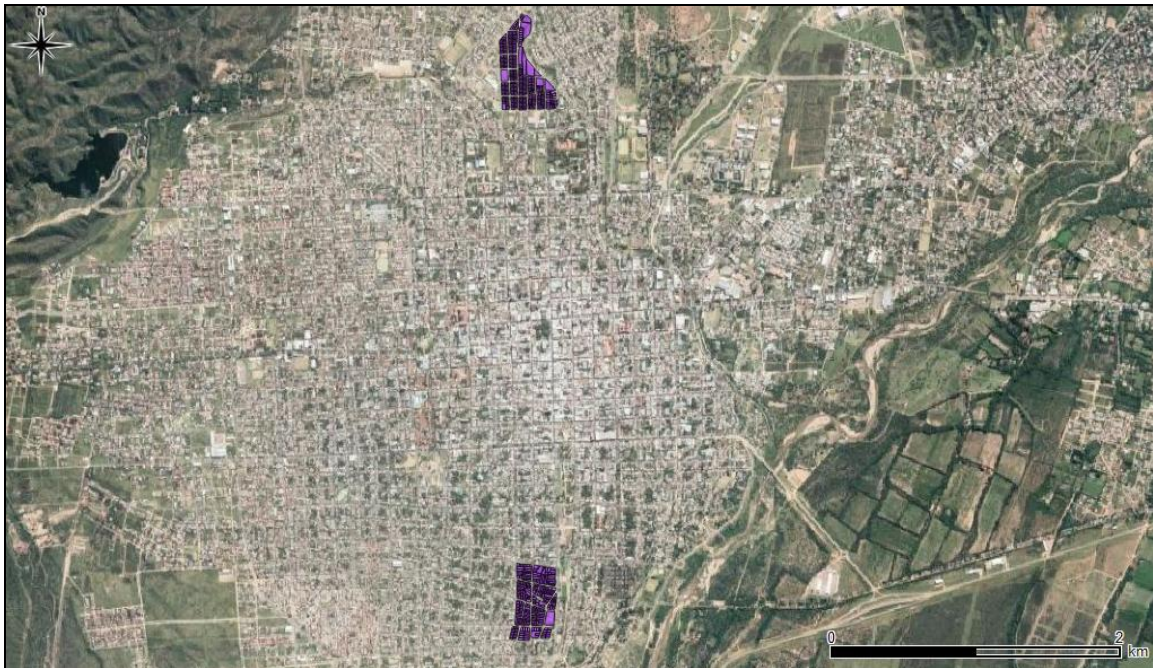
Por lo cual se estimó que, si las parcelas de la zona de estudio cuentan con los cuatro servicios públicos analizados, incrementarían el valor en un 30%, si poseen solo tres de ellos un 20 %, el 10 % si tienen solo dos y el valor se mantiene igual si cuenta con solo uno.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo tienen relevancia para la AGC, específicamente en el área de catastro económico, quien, en base a esta información y a otros criterios, pueden lograr establecer la equidad en el cálculo del avalúo fiscal,

La incorporación de las capas en el proyecto y luego de realizar las operaciones descriptas, brindaron los siguientes resultados:

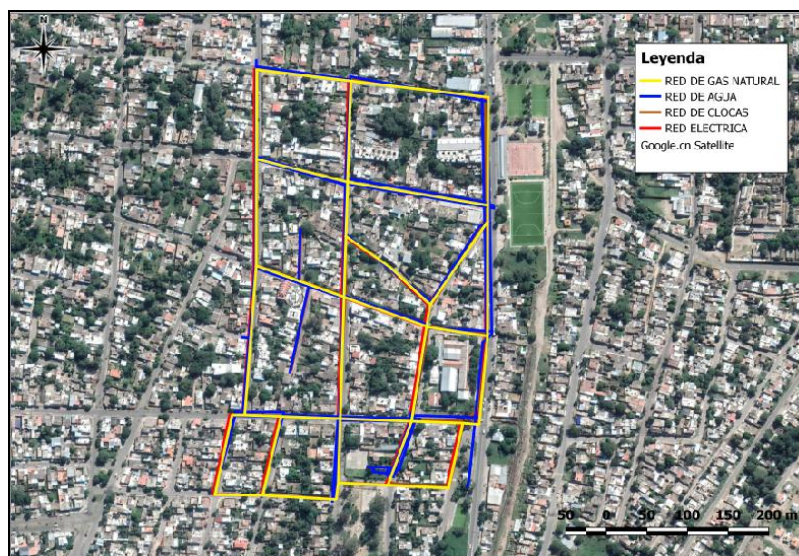
- Cartografía catastral georreferenciadas sobre una foto aérea de alta resolución (ver Fig. 9).



**Figura 9.** Cartografía catastral georreferenciada. Elaboración propia.

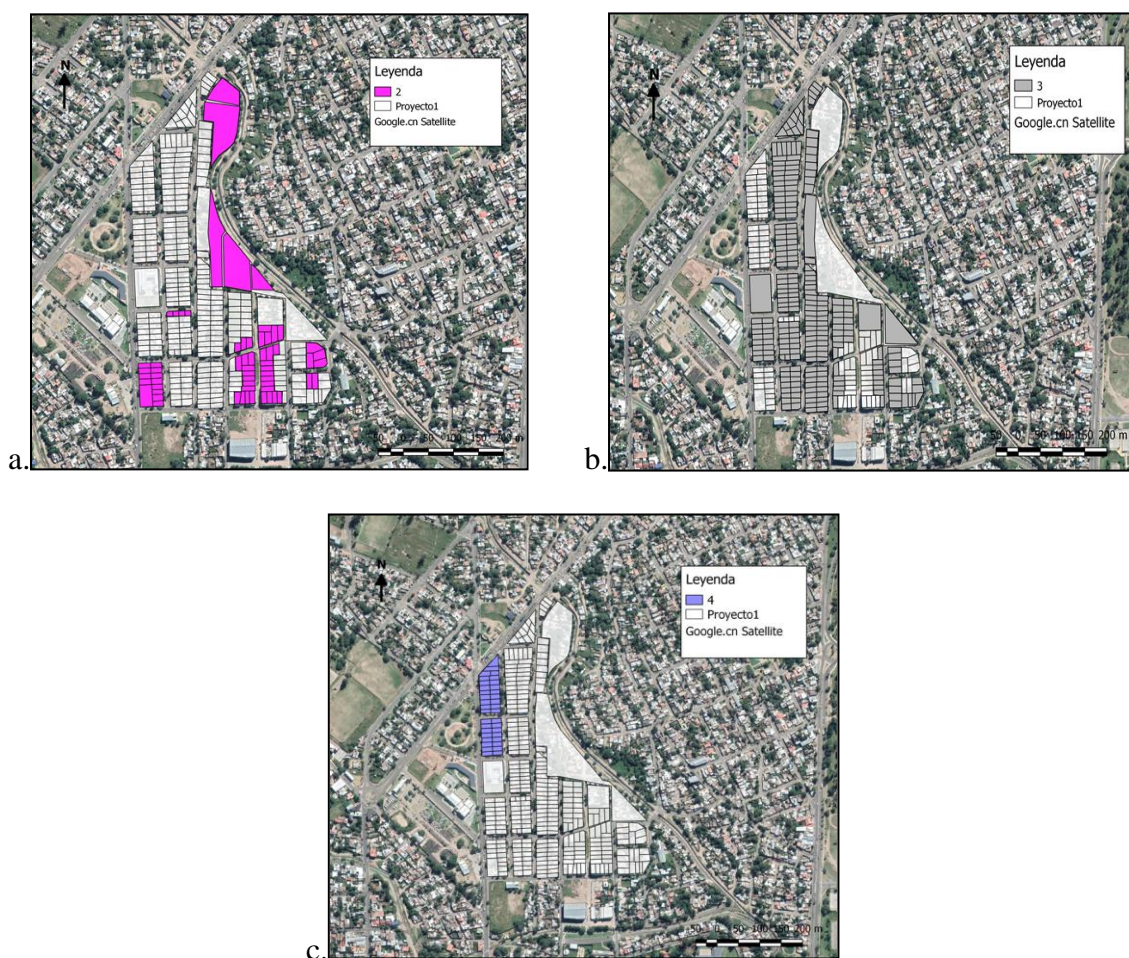
- Cartografía de la distribución de los servicios (ver Fig.10).





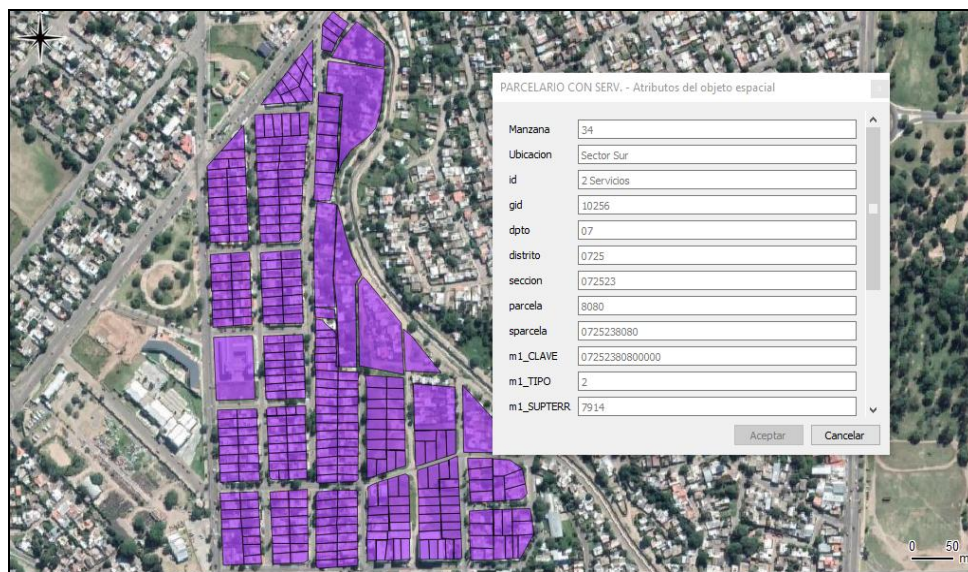
**Figura 10.** Cartografía catastral georreferenciada. Elaboración propia.

- Discriminadas por la cantidad de servicios que las mismas poseen (ver Fig. 11)



**Figura 11.** a. Parcelas que poseen dos servicios. b. Parcelas que poseen tres servicios. c. Parcelas que poseen cuatro servicios. Elaboración propia.

- Cartografía con resultados de los análisis (ver Fig.12)



**Figura 12.** Cartografía con resultados. Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

La creación de un Sistema de Información Territorial facilita la interpretación visual, manipulación de la información ingresada a la base de datos, con el fin de un uso eficiente de la información en el análisis y cálculo del avalúo, el cual es un factor importante para lograr la equidad social.

Así de la misma manera no es, otra cosa que el resultado de una búsqueda de información que se encuentra en diferentes dependencias y en base a ello se realiza el análisis en forma conjunta de los mismos, por tanto, esta debe ser actualizada constantemente.

## REFERENCIAS

- Administración General de Catastro: Registros Gráficos (Formato shape) e información catastral sobre las parcelas.
- Aguas de Catamarca S.A.P.E.M: Redes Cloacales (Formato dwg) y Redes de Agua.
- EC. S.A.P.E.M.: Red de Tendido Eléctrico.
- ECOGAS: Red de Gas.
- Apuntes de la Catedra “Sistema de Información Territorial”.



# TEMPESTITAS: PARÁMETROS TAFONÓMICOS INDICADORES DE SU GÉNESIS

Benítez, M.H.<sup>a</sup> Diaz Saravia, P.G.<sup>a</sup>,

*<sup>a</sup>Colección Invertebrados Fósiles, Instituto de Paleontología-Fundación Miguel Lillo, Argentina.  
e-mail: mbenitez@lillo.org.ar*

## RESUMEN

*Las concentraciones bioclásticas asociadas a depósitos de tormenta en secuencias ordovícicas del noroeste argentino han sido mencionadas en reiteradas oportunidades. Si bien estas concentraciones presentan un uso limitado en cuestiones paleoecológicas, pueden ser útiles para realizar inferencias sobre la dinámica de los procesos responsables que les dieron origen. En este caso se evalúan y destacan las características tafonómicas de concentraciones en facies del shoreface, para interpretar la dinámica sedimentaria involucrada en su génesis. Estas concentraciones están presentes en niveles arenosos con espesores de 10 a 40 cm. Los bioclastos se encuentran desarticulados y fragmentados, la selección es variable y su orientación es caótica, en unos casos, o concordante. La biofabrica varía de matiz soportada a bioclasto soportada. En base a estas características se consideran a estos depósitos paraautóctonos y redistribuidos principalmente por procesos hidrodinámicos. Genéticamente se clasifica a estos niveles como concentraciones de tipo sedimentológicas (Kidwell et al 1986) en donde la acumulación final de los restos está relacionada a eventos episódicos de elevada energía en ambientes proximales (Fürsich y Oschman 1993).*

*Palabras claves:* Tafonomía, tempestitas, concentraciones bioclásticas.

## INTRODUCCION

Desde fines de la década del 70 han surgido numerosos trabajos que estudian las rocas originadas por tormentas. Los depósitos generados por estos eventos episódicos muestran una organización interna definida por una secuencia vertical de texturas y de estructuras sedimentarias, que reflejan la historia de un evento singular de depositación, presentando normalmente un intervalo basal gradado y/o masivo con base erosiva y en ocasiones concentraciones bioclásticas (Hamblin y Walker 1979, Dott y Burgeois 1982, Walker *et al.* 1983, Brenchley *et al.* 1986). En los últimos años, estos conceptos, han sido ampliamente aplicados a rocas sedimentarias generadas por tormentas, ayudando a generar modelos de depositación y a comprender los mecanismos de acción de estos eventos en plataformas de distintas edades, y de naturaleza siliciclástica o carbonática (Duke *et al.* 1991, Mónaco 1992, Krassay 1994). La necesidad de obtener la mayor información posible de estos niveles ha llevado a la aplicación de nuevos enfoques para la comprensión de la dinámica pasada. Desde la óptica de la tafonomía los restos orgánicos se comportan como partículas sedimentarias que están sujetas a procesos de erosión, transporte y depositación (Kidwell y Hollan, 1991; Holtz y Simões, 2002). Es así que las concentraciones bioclásticas, conformadas por estas partículas orgánicas, son el resultado de un complejo conjunto de factores biológicos, ambientales, sedimentológicos y diagenéticos. El análisis tafonómico

de las mismas brinda evidencias útiles para la solvencia de problemas sedimentológicos y estratigráficos sobre su génesis.

La Formación Santa Rosita (Furongiano tardío-Tremadociano) representa una de las unidades clásicas del Paleozoico Inferior de la Cordillera Oriental de Argentina y sus afloramientos han sido objeto de diversos estudios estratigráficos, paleontológicos y paleoambientales (Moya, 1999, Aceñolaza *et al.* 1999, Moya 2002, Astini 2003, Mángano y Buatois 2004, Astini 2008). En secciones expuestas en la quebrada de Humahuaca se define para esta unidad un ambiente de plataformas siliciclásticas dominada por tormentas donde las concentraciones bioclásticas con restos de trilobites, braquiópodos y otros invertebrados son frecuentes (Moya 1999, Buatois y Mángano 2003). Los trabajos que abordaron su estudio desde un punto de vista tafonómico son escasos y relativamente recientes. En muchos casos estos biodepositos se presentan como coquinas silicificadas y densamente empaquetadas, las cuales pueden ser utilizadas como indicadores ambientales, y sus características bioestratigráficas reflejan procesos físicos, químicos o biológicos ligados a su origen (Kidwell *et al.*, 1986, Fürsich y Oschmann 1993, Simoes *et al.* 1996).

En este trabajo se realiza el análisis tafonómico (caracteres bioestratigráficos) de niveles bioclásticos asociados a facies de plataforma somera buscando interpretar los mecanismos o procesos sedimentarios involucrados en su génesis.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las rocas estudiadas provienen de secciones tremadocianas de la Quebrada de Humahuaca. Sedimentológicamente se caracterizan por ser sucesiones heterolíticas predominantemente arenosas con abundantes niveles bioclásticos. Las facies sedimentarias reconocidas representan distintos subambientes de una plataforma, desde *shoreface* a *offshore* superior, en donde el material arenoso fue transportado y retransportado por numerosos eventos de tormenta. Los niveles bioclásticos analizados se encuentran específicamente asociados a bancos arenosos con estratificación entrecruzada *hummocky*, y ondulitas que han sido interpretadas como tempestitas (Fig. 1).



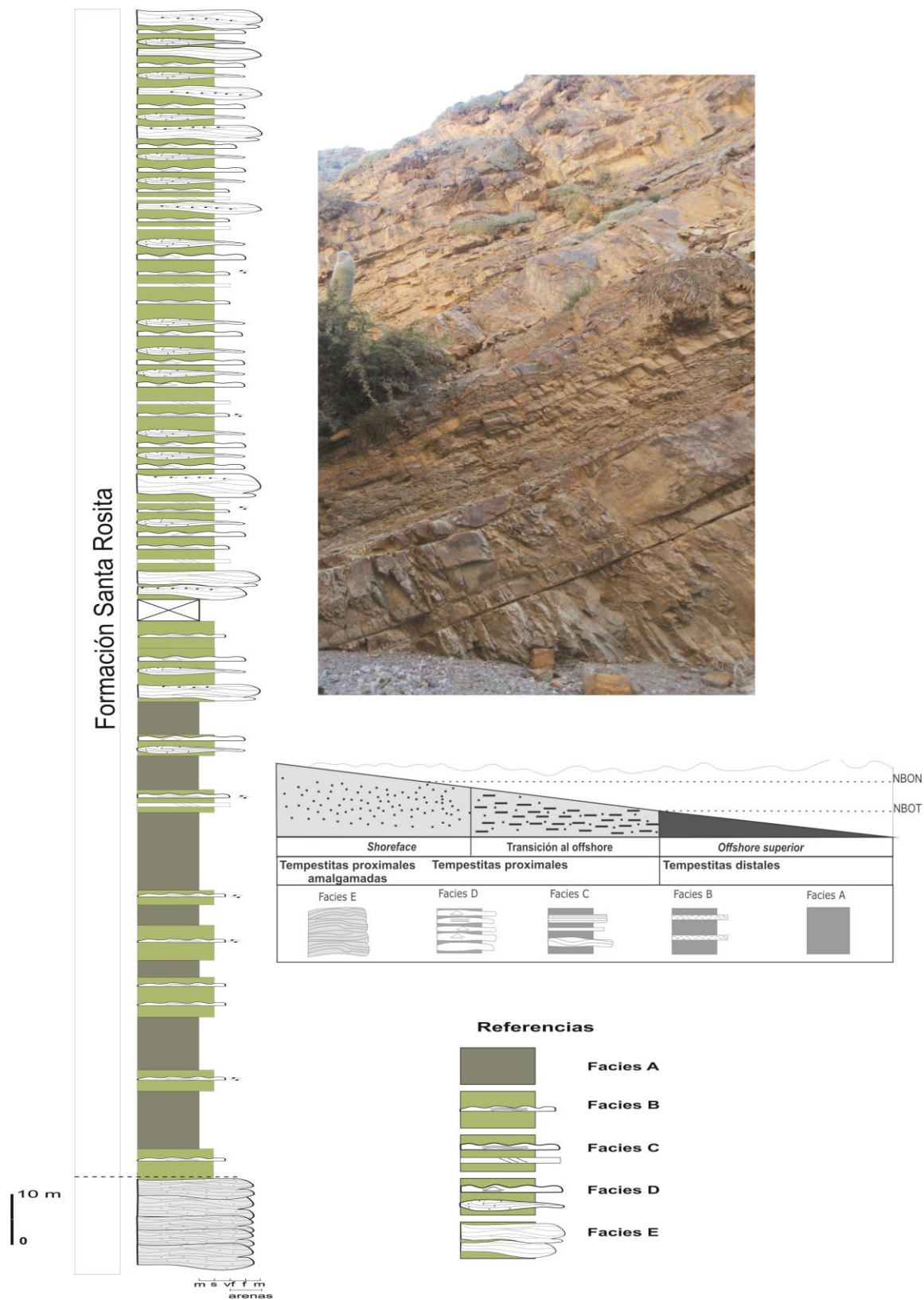


Figura 1

Los datos tomados en el campo, sobre el perfil, fueron el espesor del nivel, su continuidad lateral, su geometría y grado de empaquetamiento, posteriormente se tomaron muestras representativas del mismo. Estas fueron estudiadas y descritas en laboratorio donde se evaluaron los índices bioestratigráficos generales más relevantes como ser: orientación de los elementos, desarticulación, fragmentación, selección, biofábrica y composición taxonómica, siguiendo los lineamientos y terminología establecidas por Kidwell *et al.* (1986); Kidwell y Holland (1991); Fürsich y Oschmann (1993) y Simoes y Ghilardi (2000). (Fig. 2)

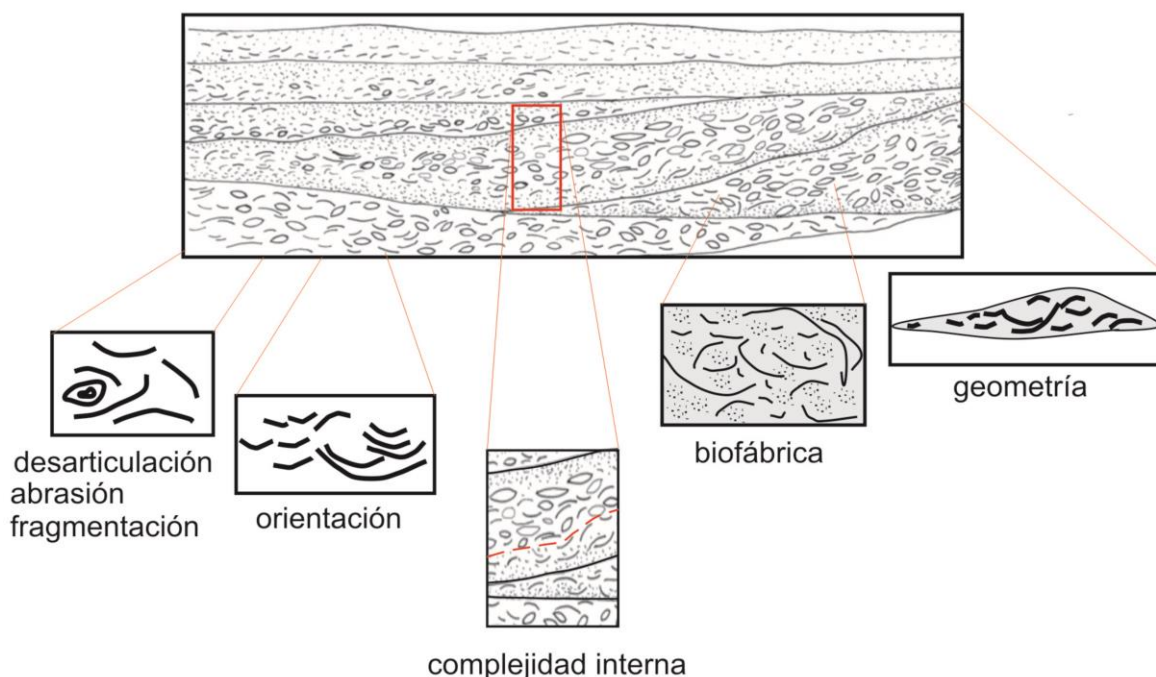


Figura 2 modificado de Fürsich y Oschmann 1993

Este análisis ha permitido identificar 2 tipos de concentraciones, siendo la primera de ellas las más comunes:

A-Niveles de forma tabular, base erosiva, con espesores que varían de 20 a 40 cm., asociados a arenas finas que presentan estratificación entrecruzada hummocky, son concentraciones bioclasto soportantes, muestran un empaquetamiento denso a suelto, donde los restos están respectivamente en contacto entre sí o separados algunos milímetros y con incremento de matriz. Estos restos se encuentran totalmente desarticulados y presentan una mala selección, dado que aproximadamente el 80 % de las partículas corresponden a más de dos tamaños y la fragmentación es media. En cuanto a la disposición de los restos, teniendo en cuenta el plano de estratificación, la misma es caótica y se observan restos anidados, apilados e incluso oblicuos, aunque la presencia de algunos elementos mayores con disposición concordante también ha sido identificada. Desde el punto de vista taxonómico estas concentraciones son consideradas politípicas, identificándose restos de braquiópodos y trilobites de manera dominante. Dado el grado de preservación, no se ha llegado a identificar en estas concentraciones las especies involucradas.

B-Niveles de forma tabular, base erosiva, con espesores que varían de 10 a 30 cm., asociados a arenas finas. Son concentraciones matriz soportante, donde los restos prácticamente no presentan contacto entre sí, se encuentran desarticulados, aunque se han observado algunos elementos articulados. El grado de fragmentación es bajo a intermedio. La selección es buena, destacándose la distribución de los restos en dos tamaños. Los mismos presentan una orientación concordante a la estratificación. Taxonómicamente se identificaron restos de braquiópodos y trilobites de manera dominante, pero al igual que las anteriores, no se ha llegado a identificar en estas concentraciones las especies involucradas. Siguiendo el esquema genético de las concentraciones bioclásticas propuesto por Kidwell *et al.* (1986), las concentraciones de las secuencias estudiadas pueden ser consideradas del tipo sedimentológica, en donde la acumulación final de los restos está íntimamente relacionada con la dinámica hidráulica del medio sedimentario.(Fig. 3)





Figura 3

## INTERPRETACION

Como ha sido mencionado anteriormente existen parámetros o atributos tafonómicos que, en su conjunto, permiten identificar 2 tipos de procesos: los que afectan el día a día de los restos y aquellos otros responsables de la deposición final de los bioclastos, estos son: la orientación de los elementos en la matriz sedimentaria, la selección, la biofabrica, la articulación y la fragmentación, (Fürsich y Oschman 1993, Simões y Kowalewski, 1998, Simões y Torello 2003)

En base a las características de las concentraciones bioclásticas presentes, se consideran a estos depósitos paraautóctonos y redistribuidos principalmente por procesos hidrodinámicos, pero sin transporte sustancial fuera de su hábitat original.

Las bases erosivas de los niveles indican el retrabajo del sustrato antes de la deposición de los restos, mientras que la biofabrica del depósito permite inferir que el proceso final de concentración y soterramiento fue producto de la acción de corrientes turbulentas durante eventos de tempestades (Fürsich y Oschman 1993).

La distribución de los bioclastos, en muchos casos caótica evidencia corrientes turbulentas en medios tempestíticos, la presencia de anidamientos, apilamientos e imbricación de los restos también refleja la interferencia de los materiales durante el transporte durante estos eventos episódicos (Fürsich y Oschman 1993, Simões *et al* 1996). Por su parte la distribución aparentemente concordante en el caso de las tipo A estaría relacionada a la compactación posterior de los niveles durante la diagénesis. En las tipos B la concordancia y concavidades hacia abajo reflejan una posición hidrodinámicamente estable la cual estaría relacionada a la acción de ondas en medios un poco más profundos que las anteriores (Klein y Simões 1997).

La elevada fragmentación de los niveles indica un importante retrabajo de los restos en aguas poco profundas por las olas antes de su soterramiento final por tempestades (Fürsich y Oschman 1993)

La mala selección estaría relacionada a que el transporte no habría sido lo suficientemente intenso como para seleccionar hidráulicamente los diferentes tamaños de valvas o fragmentos y el enterramiento final debió ocurrir en forma relativamente rápida. Confirmando así que el origen de estos niveles estaría vinculado a retrabajo y transporte mecánico, y acumulación por eventos episódicos.

Las concentraciones pueden interpretarse como depósitos de tempestitas que fueron originadas en un ambiente de plataforma somera influenciado por olas y tormentas, donde la dinámica de estos eventos episódicos sería la responsables de capturar y redepositar los bioclastos (Fürsich y Oschmann, 1993; Simões y Torello, 2003).

## CONCLUSIONES

Las características sedimentológicas de la Formación Santa Rosita reflejan que la mayor parte de la sedimentación estuvo ligada a eventos episódicos por encima del nivel de base de olas de tormenta

Los potentes paquetes arenosos con estratificación *hummocky* asociados a estos episodios poseen numerosos niveles bioclásticos de bases erosivas, que han sido documentados en variadas ocasiones.



Los numerosos niveles bioclásticos de bases erosivas presentan características como ser el grado de desarticulación, la selección, la distribución aleatoria de sus elementos y el grado de fragmentación, que confirman la acción de flujos turbulentos, posiblemente durante el pico de los eventos de tormenta

Teniendo en cuenta los índices tafonómicos analizados y la información sedimentaria de los niveles se concluye que el origen de los mismos implicó eventos de alta energía asociados a tempestades en ambientes proximales.

## BIBLIOGRAFIA

Aceñolaza, F., Buatois, L., Mángano, G., Esteban, S., Tortello, F. y Aceñolaza, G. 1999. Cámbrico y Ordovícico del noroeste argentino. En: Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*. Anales Instituto de Geología y Recursos Minerales, 29: 169-187

Astini, R. 2003. The Ordovician Proto-Andean Basin. En: Benedetto, J. (ed.) *Ordovician fossils of Argentina*. Secretaría de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Córdoba, 1-74.

Astini, R. 2008. Sedimentación, facies, discordancias y evolución paleoambiental durante el Cambro-Ordovícico. En: Coira, B. y Zappettini, E. (eds.) *Geología y recursos naturales de la provincia de Jujuy*. 17º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 50-70.

Brenchley, P.; Romano, M. y Gutiérrez Marco, J., 1986. Proximal and distal hummocky crossstratified facies on wide Ordovician shelf in Iberia. En: Knight, R. y McLean, J. (eds.), *Shelf Sands and Sandstones*. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 2: 241-255.

Buatois, L. y Mángano, G. 2003. Sedimentary facies and depositional evolution of the Upper Cambrian to Lower Ordovician Santa Rosita Formation in northwest Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 343-363.

Dott, R. y Bourgeois, J., 1982. Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequence. *Geological Society of American Bulletin*, 93: 663-680.

Duke, W.; Arnott, W. y Cheel, R., 1991. Shelf sandstones and hummocky cross-stratification: new insights on a stormy debate. *Geology* 19: 625-628.

Fursich, F. T.; Oschmann, W. Shell beds as tool in basin analysis: The Jurassic of Kachchh, western India. *Journal of the Geology Society*, London, v. 150, p. 169-185, 1993.

Hamblin, A. y Walker, R., 1979. Storm-dominated shallow marine deposits: The Fernie-Kootenay (Jurassic) transition, southern Rocky Mountains. *Canadian Journal of Earth Sciences* 16: 1673-1690.

Kidwell, S. M., Fursich F. T., y Aigner, T. 1986. Conceptual framework for the analysis of fossil concentrations. *Palaos* 1: 228-238.

KIDWELL, S. M.; HOLLAND, S. M. Field description of coarse bioclastics fabrics. *Palaios*, Tulsa, v. 6, p. 426-434, 1991. Krassay, A., 1994. Storm features of siliciclastic shelf sedimentation in the mid-Cretaceous epeiric seaway of northern Australia. *Sedimentary Geology* 89: 241-264.

Klein, C.; Simões, M. G. Tafonomia de Pelecípodes da Formação Terezina (Permiano), Tiarajú, RS, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, v. 70, p. 619-625, 1998.

Mángano, G. y Buatois, L., 2004. Integración de estratigrafía secuencial, sedimentología e icnología para un análisis cronoestratigráfico del Paleozoico Inferior del noroeste argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59: 273-280.

Monaco, P., 1992. Hummocky cross-stratified deposits and turbidites in some sequences of the Umbria-Marche area (central Italy) during the Toarcian. *Sedimentary Geology*, 77:123-142.

Moya, M. 1999. El Ordovícico de los Andes del Noroeste Argentino. En: González Bonorino, G.; Omarini, R. y Viramonte, J. (eds.), *Geología del Noroeste Argentino*. 14º Congreso Geológico Argentino, Relatorio, 1: 134-152

Moya, M. 2002. The Ordovician Basins of Northern Argentina. En: Aceñolaza, F. (ed.). *Aspects of the Ordovician Sistem in Argentina*. Serie de Correlación Geológica, 16: 281-294

Simões, M. G.; Torello, F. F.; Rocha-Campos, A. C. Gênese e classificação da coquina de Camaquã, Formação de Corumbataí (Neopermiano), na Região de Rio Claro, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, São Paulo, v. 68, n. 4, p. 545-557, 1996.

Simões, M. G.; Ghilardi, R. P. Protocolo tafonômico/ paleoautoecológico como ferramenta na análise paleossinecológica. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 27, n. 2, p. 3-13, 2000.

Simões, M. G.; Kowalewski, M. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian on the Paraná Basin, Brazil. *Fácies*, Erlangen, v. 38, p. 175-196, 1998.

Simões, M. G.; Torello, F. F. Modelo de tafofácies para os moluscos bivalves do Grupo Passa Dois (Formações Serra Alta, Teresina e Corumbataí), Permiano Superior, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 3, p. 1-10, 2003.

Walker, R.; Duke, W. y Leckie, D., 1983. Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences: Discussion and reply. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 1245-1251.

# ANÁLISIS MULTICRITERIO DE AMENAZAS ALUVIONALES AL OESTE DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA

Burgos V.H.<sup>a</sup>, Gärtner N.<sup>a</sup>, Salcedo A.P.<sup>a</sup>, Martínez L.J.<sup>a</sup>, Rapali, N.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Grupo Reducción de Riesgos Hídricos y Adaptación al Cambio Climático – Subgerencia Centro Regional Andino – Instituto Nacional del Agua, Mendoza, ARGENTINA

<sup>b</sup> Agencia Provincial de Ordenamiento Territorial, Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial, Mendoza, ARGENTINA

e-mail: [yburgos@ina.gob.ar](mailto:yburgos@ina.gob.ar)

## RESUMEN

*El avance urbano sin planificación hacia el piedemonte, junto a otros cambios de usos del suelo, generan impactos (reflejados en aumentos de caudales en crecidas aluvionales) que afectan a una importante población ubicada aguas abajo. Con el objetivo de asistir al Gobierno provincial, en la adopción de medidas de adaptación y planificación territorial, que permitan urbanizar el piedemonte de una manera sustentable y/o restringir zonas de protección ambiental y servicios ecosistémicos, se confeccionaron una serie de modelos numéricos (hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos) para analizar los impactos hídricos debido: al avance de la frontera urbana o agrícola, por variabilidad climática y por incendios. El área estudiada abarca una superficie de 1243 km<sup>2</sup> ubicada al oeste del Área Metropolitana de Mendoza (AMM). En total se procesaron más de 290 subcuencas y con modelación hidráulica bidimensional, se estimaron áreas de inundación. Se formularon 6 escenarios de comparación (Escenario Actual y Escenarios futuros: con y sin pautas de urbanización, con variaciones en la cobertura vegetal o cambios en la precipitación) y se evaluaron los potenciales impactos. Finalmente, una Evaluación Multicriterio (EMC) planteada para la situación actual, proporciona una categorización de áreas con diferentes grados de amenaza hídrica mediante procesamiento de variables geomorfológicas (como pendientes, distancia a cauces, tasas de erosión de suelos, distancias a cauces secos, longitudes de flujo, curvatura, índice topográfico de humedad y estabilidad de laderas), hidroclimatológicas (como caudales, posición del núcleo de tormenta, potencial de infiltración y tiempos de viaje) e hidráulicas (como planicies de inundación, velocidades de flujo y tasas de erosión de suelo). El estudio de las consecuencias e impactos aluvionales permitió cartografiar zonas con diferente grado de amenaza aluvional, para definir estrategias de planificación que sirvan para restringir la presión inmobiliaria y proponer pautas de urbanización sustentable con enfoque de cuenca que minimicen los impactos generados.*

**Palabras Clave:** Desastres Hídricos, Ordenamiento Territorial, Aluviones, AHP

## INTRODUCCIÓN

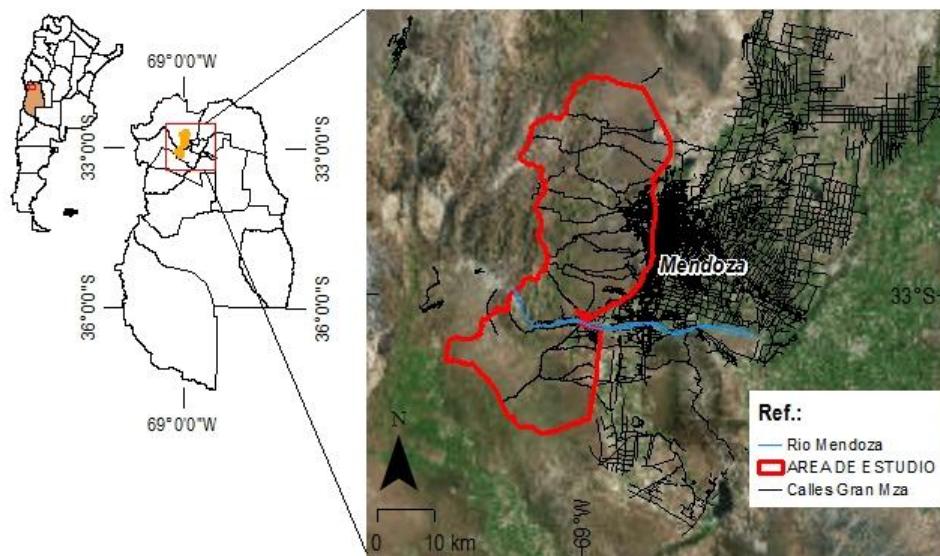
El aglomerado urbano del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), presenta una tendencia de expansión territorial hacia el piedemonte. Los procesos antrópicos y la fuerte presión inmobiliaria sobre este frágil ecosistema, provocan una serie de procesos desfavorables, incluyendo alteración de funciones hidrológicas, poniendo en serio riesgo a un gran asentamiento poblacional ubicado aguas abajo, siendo numerosos los casos registrados de daños provocados por eventos torrenciales (Fernández et al., 1999; Vich y Pedrani, 2002, Guisasola, 2010). Este avance urbano sin planificación junto a otros

cambios de usos de suelo, como deforestación de vegetación natural, consolidación de caminos, incendios intencionales o avance de la frontera agrícola (al sur del río Mendoza), generan impactos reflejados en un aumento de caudales en crecidas aluvionales, producto de las típicas tormentas convectivas intensas y de corta duración que se producen durante el período estival.

Con el fin de realizar un diagnóstico detallado de la problemática, y en sintonía con el Plan Provincial de Ordenamiento Territorial, la Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial de la provincia de Mendoza, firmó un convenio con el Instituto Nacional del Agua, para elaborar un estudio cuyo objetivo general fue detallar la amenaza hídrica en el piedemonte del AMM, reconociendo los procesos hidrológicos, fluviales y geomorfológicos, de las cuencas intervinientes, a fin de identificar posibles limitaciones y/o restricciones hidrológicas o hidráulicas, que deban ser consideradas en un proceso de Ordenamiento Territorial.

### ÁREA DE ESTUDIO:

El área de estudio se ubica en la provincia de Mendoza, Argentina, en la zona comprendida entre los 32° 30' y 33° 15' de latitud S y 68° 15' y 69° 30' de longitud O. Abarca parte de los departamentos de Las Heras, Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz y Luján de Cuyo. Comprende una altitud que va desde los 730 msnm hasta los 3.455 msnm y posee una superficie total de 1243 km<sup>2</sup> aproximadamente y se ubica al oeste del área metropolitana de Mendoza (AMM) como se indica en Fig. 1.



**Figura 1.** Área de estudio

### MATERIALES Y MÉTODOS:

Basado en estudios anteriores realizados en la provincia y en otras localidades (Burgos & Salcedo, 2016), el esquema metodológico general del trabajo se dividió en cuatro componentes principales:

- 1) Análisis Numérico mediante modelo Hidrológico, Hidráulico y Geomorfológico;
- 2) Análisis Multi-Escenario;
- 3) Evaluación Multi-Criterio de Amenazas Aluvionales (Burgos, 2018);
- 4) Propuestas Técnicas y Normativas.

Como información topográfica de base, un Modelo Digital de Elevaciones de tipo interferométrico de 10 m de resolución espacial (DLR, 2016) fue utilizado para la delimitación de subcuencas y análisis geomorfométrico.

Para la transformación lluvia-caudal se utilizó el modelo hidrológico ArHymo y se tuvo en cuenta las relaciones Intensidad-Duración y Frecuencia (Curvas IDF) elaboradas por el INA-CRA (2008), que caracterizan las tormentas de tipo convectivas que suceden en la zona de estudio.

Se consideró el decaimiento espacial y la posición del núcleo de la tormenta, mediante la confección de un algoritmo cuyo objetivo es buscar y calcular la posición más crítica de la tormenta sobre la cuenca (Gärtner & Burgos, 2018). Para la estimación de las pérdidas de la precipitación, se utilizó la metodología del número de curva distribuida en el espacio (Burgos et. al, 2018). Las lluvias tienen una duración de 1 hora y se establecieron para recurrencias de 2 a 200 años de período de retorno.

Las zonas inundables se simularon en HEC RAS 5.0.6 (USACE, 2016), en modo bidimensional para régimen variable, caracterizando el suelo con un mapa de rugosidades. Para el análisis de la amenaza de procesos de remoción en masa que puedan producir aludes de barro o flujos de detritos, se realizaron simulaciones con los siguientes modelos:

1. **Modelo Flow-R:** Es un modelo de simulación desarrollado en Matlab (Horton et. al, 2011; 2013). Se trata de un modelo determinístico y empírico de grilla regular que permite la identificación de fuentes de detritos y su difusión o propagación. Utiliza conceptos de direcciones de flujo múltiples (método  $D_{inf}$  en lugar del tradicional  $D_8$ ) por lo que es ideal para zonas con cauces anastomosados o entrelazados y divergentes, propios de conos de deyección. El resultado de la modelación es expresado en probabilidades de flujo, y en función de los criterios y coeficientes introducidos se puede limitar la dispersión en función de la energía cinética disponible.
2. **Modelo SINMAP** (*Stability Index MAPping*) que analiza zonas inestables y de potencial deslizamiento, caracterizando cada celda (pixel) en función del índice de estabilidad de laderas mediante balance entre fuerzas de corte y resistentes, representado por el modelo simple de estabilidad denominado talud infinito, y la influencia de la presión de agua en los poros, representado por el índice de humedad topográfica (Pack et. al, 1998; Tarolli y Tarboton, 2006) proporcionando finalmente una clasificación de estabilidad del terreno a partir del factor de seguridad.

Para la estimación de tasas de pérdidas de suelo o erosión, se utilizaron los siguientes modelos:

1. **Modelo Gavrilovic** (EPM - *Erosion Potential Model*): Esta metodología (Gavrilovic, 1959 citado en Brea & Spalletti, 1999; Brea & Spalletti, 2003; Globevnik et al, 2003) está basada en un modelo empírico que estima el volumen de sedimentos por erosión de una cuenca, el cual es transportado por los cauces. Considera que los procesos erosivos son el resultado de la interacción de factores como el clima, la litología, el uso del suelo y la topografía, entre otros.



## 2. Índices Topo-hidrológicos

- i) **Índice de humedad** (TWI – *Topographic Wetness Index*): (Beven y Kirby, 1979, cit. en Pack et. al, 1998) que relaciona la superficie que drena cada celda de análisis (pixel) y su pendiente longitudinal. Permite identificar potenciales zonas donde se concentra la humedad o sectores donde se acumula el agua.
- ii) **Potencia de cauce** (SPI – *Stream Power Index*): (Tarboton, 1997; Moore, et al 1988) describe la fuerza de erosión de un cauce. A medida que el área de contribución y pendiente aumentan, la contribución de escorrentía de las zonas aguas arriba y la velocidad del flujo aumentan, por tanto, SPI y el riesgo de erosión asociado, se incrementan también.

Para el **Análisis Multi-Escenario**, se formularon 6 escenarios de comparación:

- E01. Situación Existente: Es utilizado para comparar todos los escenarios en forma relativa a esta situación actual (año 2018). Se calculó la ubicación crítica del núcleo de tormenta para cada sistema de subcuencas.
- E02. Avance Antrópico con Desarrollo Urbano Tradicional: Incluye un potencial avance del frente urbano mediante construcciones tradicionales.
- E03. Urbanizaciones No Convencionales: Incluye un potencial avance del frente urbano utilizando técnicas de bajo impacto (Burgos, 2019).
- E04. Avance Agrícola: Se analiza el impacto hidrológico respecto a la situación actual.
- E05. Cambios en la cobertura natural de suelo (por incendios o desmontes): Se analiza el impacto producido por el fuego (intencional o natural) en diferentes zonas del piedemonte, luego de analizar el caso del incendio del día de la primavera del 2018.
- E06. Variabilidad Climática: Se analizan impactos con un aumento tendencial de precipitaciones a un horizonte al año 2065.

Para sintetizar el escenario actual, se emplearon técnicas de evaluación multicriterio (EMC) logrando representar en un solo mapa las amenazas aluvionales, utilizando el método AHP (Saaty, 1980) para combinar los diferentes aspectos considerados.

Para la asignación de pesos se confeccionó una encuesta (datos no mostrados) donde se evaluaron de a pares todas las variables consideradas. Con esta encuesta se incorporan las experiencias y criterios de expertos de diferentes especialidades mediante los juicios incluidos en las denominadas matrices de comparaciones pareadas. Estas matrices cuadradas  $A=(a_{ij})$  reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un atributo o propiedad en común.

Dentro del entorno SIG y por medio de la EMC, se plantea para la situación actual, una clasificación de áreas con diferentes grados de amenaza hídrica mediante geoprocesamiento de variables geológicas o geomorfológicas, hidroclimatológicas e hidráulicas. Las 14 variables consideradas y los pesos individuales se indican en Tabla I.

La aplicación de la ecuación (1) estima la EMC para cada celda.

$$EMC = v_1 \cdot p_1 + v_2 \cdot p_2 + v_3 \cdot p_3 \dots + v_{14} \cdot p_{14} \quad (1)$$

**Tabla I:** Variables utilizadas para la EMC

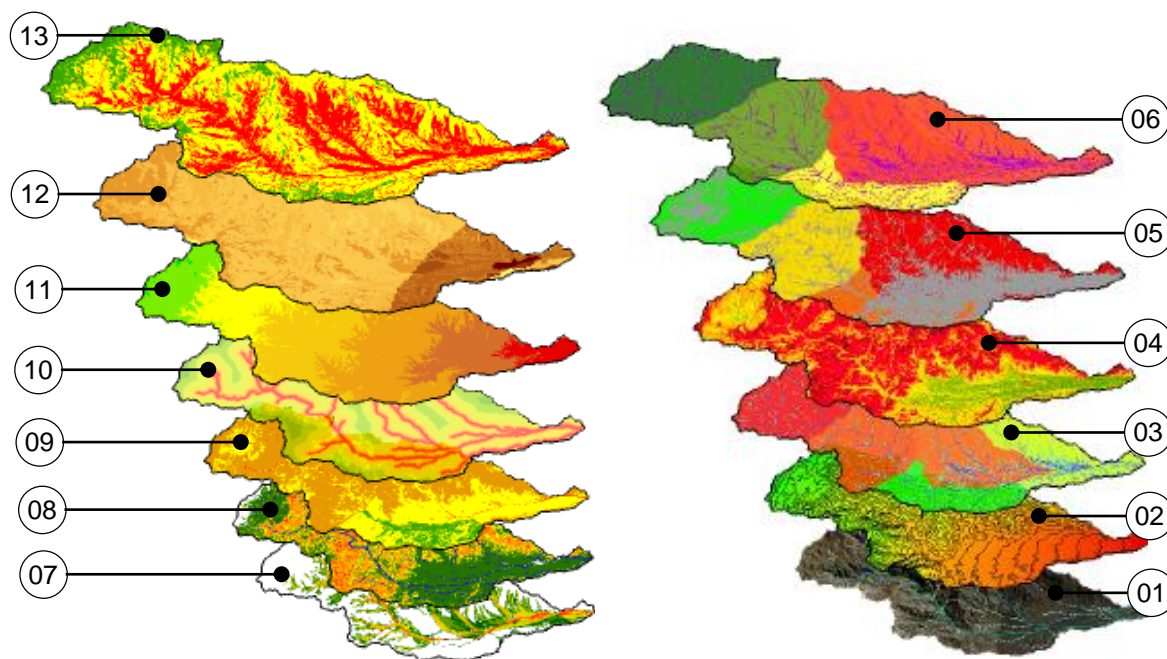
Criterio	Subcriterio	Peso [%]
1	<b>Amenaza Aluvional</b>	60
	1-1 Mapa de Subcuencas (Área, km <sup>2</sup> )	10
	1-2 Mapa de Diferencias de altura (m)	10
	1-3 Mapa de Longitudes de cauce (km)	10
	1-4 Mapa de Isodistancias a cauces (m)	20
	1-5 Mapa de Pendientes (m/m)	20
	1-6 Mapa de Isocronas (min.)	20
	1-7 Potencial de Infiltración (CN)	10
2	<b>Amenaza de Procesos de Remoción en Masa y Erosión de Suelos</b>	40
	2-1 Mapa de Probabilidad de Flujo Aluvional	10
	2-2 Mapa de Zonas de Inundación	10
	2-3 Índice de Humedad (TWI)	20
	2-4 Mapa de Inestabilidad de Taludes	20
	2-5 Mapa de Potencia / relieve (SPI)	15
	2-6 Mapa Pérdida de Suelo (Gavrilovic)	15
	2-7 Mapa de Zonas de Potenciales Cárcavas	10

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se indican las estadísticas de las variables. Para el mapeo se normalizaron según (2), dando mínimos de 0 y máximos de 1 para todas las variables. Las variables indirectas fueron reclasificadas en forma inversa para que queden numéricamente todas directas. Las variables inversas fueron aquellas que mientras aumenta el valor numérico de la variable se reduce la amenaza. Serían los casos de: Distancia a cauces, Isocronas, índice TWI y Estabilidad de laderas (indicadas con \* en la Tabla II). El resto son variables directas, es decir, mientras aumenta su valor, aumenta su aporte al mapa de amenaza aluvional.

$$z_d = \frac{v_i - \min}{\max - \min} \quad ; \quad z_i = \frac{\max - v_i}{\max - \min} \quad (2)$$

En la Fig. 2 se presenta un ejemplo de aplicación con los niveles utilizados en la subcuenca del A° San Isidro.

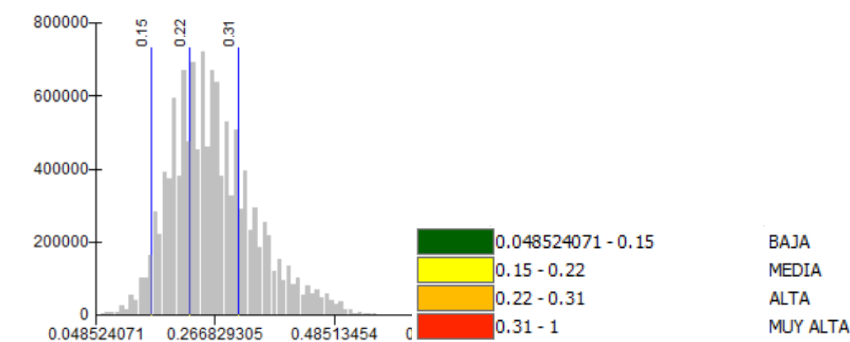


**Figura 2.** Detalle de niveles de la EMC en cuenca A° San Isidro; 01: Imagen satelital y red de drenaje; 02: MDE; 03: Área subcuencas y TWI; 04: Pendientes; 05: Diferencia altitudinal y cárcavas; 06: Longitud de cauces y SPI; 07: Probabilidad de flujo aluvional; 08: Planicies de Inundación e Inestabilidad de laderas; 09: Tasas de erosión de suelos; 10: Isodistancias a cauces; 11: Isocronas; 12: Potencial infiltración (CN); 13: Amenazas aluvionales

**Tabla II – Estadísticas de variables para la EMC**

Nº	Variable	Unidad Física	Min	Max	Media	Desv.
1	Superficie Subcuenca	Km <sup>2</sup>	0.252	19.458	8.479	3.888
2	Dif. Altura	m	19.380	1503.350	367.479	367.479
3	Long. Cauce Mayor	Km	0.900	14.500	7.664	2.362
4*	Distancia a Cauce	m	25.000	1250.000	330.718	256.537
5	Pendiente	%	0.003	928.618	28.194	28.494
6*	Isocronas	hs	0.000	2.613	0.933	0.487
7	CN	adim	68.000	99.000	84.096	4.460
8	Prob. Flujo Aluvión	%	0.000	2428.570	5.360	35.795
9	Zonas Inundación	adim	0	1	mapa binario	
10*	Índice Topográf. Humedad (TWI)	adim	0	1	0.126	0.325
11*	Índice Estabilidad Laderas	adim	-8.593	10.000	4.295	3.343
12	Potencia de Cauce (SPI+TWI)	adim	0	1	mapa binario	
13	Pérd. Suelo - Erosión / Gavrilovic	tn/ha año	14.039	65648.125	3657.112	2408.553
14	Cárcavas	adim	0	1	mapa binario	

La definición de umbrales, para la clasificación del mapa, estuvo dada por la asignación de tres valores (adoptados) que dividen el histograma de frecuencias con una diferencia a partir de la media muy cercana a media desviación estándar ( $\mu \mp \frac{\sigma}{2}$ ). En Fig. 3 se indican los umbrales adoptados y la escala (numérica) del mapa de amenazas.



**Figura 3.** Histograma de frecuencias del mapa de amenazas y umbrales de clasificación adoptados

El resultado principal es el producto de la EMC, presentado en un mapa regional de toda el área de estudio, clasificado en 4 clases de amenazas aluvionales (ver Fig. 5).

Las áreas rojas del mapa representarán zonas de amenaza aluvional muy alta, debido a encontrarse en el rango superior de la clasificación realizada, es decir que para muchas de las variables consideradas sus valores internos fueron altos, evidenciando una amenaza mayor. Las personas, infraestructuras y cualquier tipo de ocupación están expuestos a verse seriamente afectadas frente a cualquier tipo de evento aluvional.

Las áreas naranjas del mapa refieren a zonas de amenaza aluvional alta, en las que la ocupación permanente por parte de la población no es recomendada, las personas están en peligro incluso dentro de sus viviendas, ya que las edificaciones están expuestas a ser destruidas.

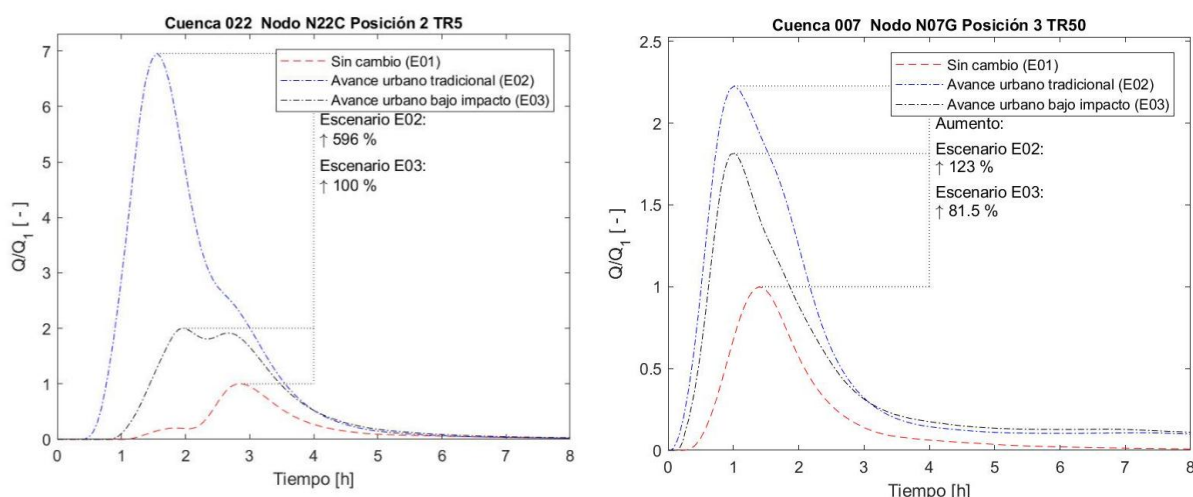
Las áreas amarillas incluye a todas las zonas con valores intermedios siendo éstos lugares con amenaza aluvional media. Se traduce en la posibilidad de una ocupación permanente por parte de la población, teniendo en cuenta una serie de criterios obligatorios en paralelo al desarrollo de obras de mitigación necesarias.

Y finalmente las áreas verdes implican valores bajos a nulos ubicados en la zona inferior de la clasificación realizada, debido a que la mayoría de las variables presentaron bajos valores, correspondiendo entonces a lugares con baja a amenaza aluvional. El grado de peligro es bajo, y tanto las personas como las edificaciones solo se verán afectada en caso de eventos extremos.

### **Resultados de Escenarios:**

El impacto que produce una urbanización tradicional (con calles en la máxima pendiente, con damero ortogonal, pocos espacios verdes, etc.) puede llegar a multiplicar el valor del caudal pico entre 2 a más de 6 veces (respecto a la condición actual o natural), como lo indican los hidrogramas de Figura 4 (se muestran sólo ejemplos para cuencas 22-C Colector Las Heras, y 07-G Colector Sosa). En Tabla III se presenta resumen de impactos de todos los escenarios analizados.





**Figura 4.** Impacto hidrológico por avance urbano (con y sin técnicas sustentables)

**Tabla III** - Resumen de Impactos en caudal (aumentos promedio relativos a la situación actual)

	ESCENARIOS				
	URBANO	DUBI	AGRICOLA	INCENDIOS	CC
	E02	E03	E04	E05	E06
<b>TR 5</b>	113%	36%	49%	102%	19%
<b>TR 50</b>	93%	20%	30%	91%	24%
<b>TR 100</b>	81%	15%	27%	82%	24%

Luego de analizar el régimen normativo vigente, y dentro de las soluciones planteadas, se presenta una propuesta de ocupación que deberá ser consensuado con los cuatro Municipios intervinientes y el Gobierno Provincial, a través de la Comisión Reguladora del Piedemonte y la APOT. En líneas generales contempla reglamentaciones básicas, todas tendientes a minimizar el impacto hidrológico causado por la urbanización.

Se presentan pautas de urbanización o restricción, tipificando obras de regulación pluvial no convencional, como trincheras de infiltración, reservorios de detención temporal, trampas de agua o indicando relaciones tendientes a regular por ejemplo la cantidad de movimiento de suelo permitido o la densidad de lotes (o superficie mínima de lote) en función de la pendiente, con el objetivo de disminuir la impermeabilización producida a medida que se avanza hacia aguas arriba.

Como premisa básica el uso del mapa de amenazas permitiría restringir en primera instancia, posibles propuestas de desarrollo urbano en zonas rojas y naranja (muy alta y alta amenaza aluvional), identificar zonas críticas, y/o priorizar medidas de mitigación en zonas urbanas ya consolidadas expuestas.

## CONCLUSIONES

### Respecto a los cambios en el potencial de infiltración en los últimos diez años

Se analizaron los cambios detectados respecto del mapa de CN del año 2008 indicando un aumento de los valores medios ponderados por área, del orden del 3 % a nivel medio y por subcuencas, con diferencias en los máximos de hasta un 22%, interpretándose que es producto de acciones antrópicas.

### **Respecto a los Escenarios Analizados**

El Escenario E02 indica un impacto medio del orden de 113%, con máximos de hasta 6,4 veces el caudal previo. Esta alternativa de avance urbano, obviamente es la menos deseada, pero muchas veces es la más frecuente.

La alternativa sustentable de permitir un avance y desarrollo urbano, es mediante el uso de técnicas adecuadas a las condiciones locales; es decir propiciando un **Desarrollo Urbano de Bajo Impacto**. Este escenario E03 permite indicar que de utilizar estas propuestas, se puede reducir a más de la mitad el impacto causado por el cambio de uso de suelo, de natural a urbano.

El Escenario E04 (avance de la frontera agrícola) indica que el impacto es moderado, llegando a aumentar (en promedio) los caudales pico hasta un 48 %.

Para el Escenario E05 (incendios) se analizó a detalle lo sucedido en C° Arco y alrededores. Los impactos son relativamente altos comparados con el caso real analizado, llegando a afectar en un 102 % de aumento del caudal producido por una tormenta de 5 años de recurrencia.

Finalmente el Escenario E06 (aumento de precipitaciones pluviales entre un 3 a un 7% al año 2065) produjo el impacto más bajo, llegando a un aumento medio en los caudales pico del orden del 19 al 24%.

### **Conclusiones respecto a Soluciones Estructurales**

El presente mapa de amenazas aluvionales no incluye las principales obras de infraestructura planteadas, como el caso de las presas Chacras de Coria, Sosa y obras complementarias. De implementarse estas grandes soluciones estructurales, se reducirían las amenazas, por lo que se debiera actualizar el mapa síntesis.

La extensión del colector Blanco Encalada hacia el Norte, en una longitud cercana a 1 km, reduciría notablemente la situación norte del distrito Vertientes del Pedemonte, en Luján de Cuyo.

La situación del A° El Challao en inmediaciones al azud San Isidro, requiere medidas de mantenimiento para ampliar su sección, debido a la permanente sedimentación y levantamiento del nivel de base por arenas.

Dentro de las propuestas técnicas presentadas como soluciones estructurales, se destaca la implementación sistemas no convencionales de drenaje pluvial que permitan infiltrar y/o retener el agua de lluvia en lugar de derivarla hacia aguas abajo, agravando la situación de las zonas bajas, estas soluciones pueden reducir los riesgos.

### **Recomendaciones respecto a Soluciones No Estructurales**

Se recomiendan realizar estudios (a nivel inter-municipal con enfoque de cuenca) relativos a Planes Maestros de Drenaje Pluvial (PMDP), realizar campañas de difusión, concientización y educación respecto a temas como amenaza, vulnerabilidad y riesgo (hídrico), inversión en estudios de investigación específicos y desarrollo de tecnología, que permita reducir el riesgo o mitigar sus efectos. Se hace énfasis en el monitoreo (Observatorio) de avances hacia una Gestión Integral del Riesgo y Aumento de la Seguridad Hídrica, junto con el desarrollo e incorporación de herramientas de predicción hidrológica, acciones sobre sistemas de comunicación estratégica; optimizar y articular el uso de diferentes redes de medición de variables hidrometeorológicas existentes (INTA, SMN, INA, privados, etc.), y fortalecer capacidades de tomadores de decisión, favorecer la cooperación entre los diferentes niveles del Estado, articulando información,

metodologías y resultados, creando y fortaleciendo las capacidades locales. Finalmente se recomienda realizar estudios sobre potenciales impactos en destinos turísticos de Mendoza (incluyendo las vías de comunicación), a fin de identificar y analizar medidas de adaptación.

Dentro de las soluciones no estructurales planteadas, se destaca la necesidad de ampliar y mejorar el actual Sistema Hidrometeorológico que utiliza las estaciones pluviométricas en tiempo real que administra el INA, para llevarlo a un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para eventos hidrometeorológicos extremos.

### **Recomendaciones respecto al Uso del Mapa de Amenazas Aluvionales**

Es importante resaltar que el mapa de amenazas aluvionales presentado, fue producto de un análisis regional y posee una escala de trabajo determinada (1:50.000) por lo que no debieran obtenerse conclusiones a nivel de parcela o lote. Su confección persigue un fin de planificación y ordenamiento territorial, recomendando para aquellos casos en que se necesite mayor precisión, realizar una mejora de escala mediante incorporación de información de detalle y estudios hidráulicos a escala recomendada de 1:5000.

Asimismo, se resalta que el mapa debe ser actualizado cada 5 años o menos, incluyendo los cambios de uso de suelo producidos y las obras hidráulicas o de infraestructura realizadas, que modificarían (aumentando o disminuyendo) el nivel de amenaza aluvional.

### **Recomendaciones respecto a la Seguridad Hídrica de Diques Aluvionales**

Se requiere de un análisis de posibles modos de fallo de las presas existentes y la determinación de sus áreas de inundación en caso de rotura, junto con la revisión (o confección) de los Planes de Acción Durante Emergencia (PADE), que permita gestionar el riesgo de catástrofe. Se sugiere para esto el empleo de la metodología desarrollada por IPresas que está llevando adelante el Organismo Regulador de la Seguridad de Presas (ORSEP) en algunas presas de Argentina.

También se recomienda avanzar en la redacción de una Ley Provincial relativa a la Seguridad de Presas en consonancia con el anteproyecto de Ley Nacional del año 2017.

### **Recomendaciones respecto al Análisis de Riesgos**

El presente estudio sólo analizó variables que competen a la amenaza aluvional. Una segunda etapa que analice la componente de Vulnerabilidad (nivel de susceptibilidad ante los efectos de una amenaza) es necesaria, y permitirá calcular el Riesgo Aluvional (Probabilidad de que se produzca un evento debido a la interacción de la vulnerabilidad con la amenaza).

Se recomienda no sólo representar este Riesgo Aluvional en un mapa síntesis, sino también calcular el Riesgo en unidades monetarias, lo que permitiría conocer el potencial daño (económico) respecto a la probabilidad de ocurrencia del evento.

Finalmente, se puede indicar que un adecuado uso de la información proporcionada con el mapa de amenazas aluvionales elaborado, junto a la aplicación y regulación de soluciones locales basadas en la naturaleza, propiciarán avances hacia la Seguridad Hídrica y Reducción de Riesgos de Desastres en Mendoza.



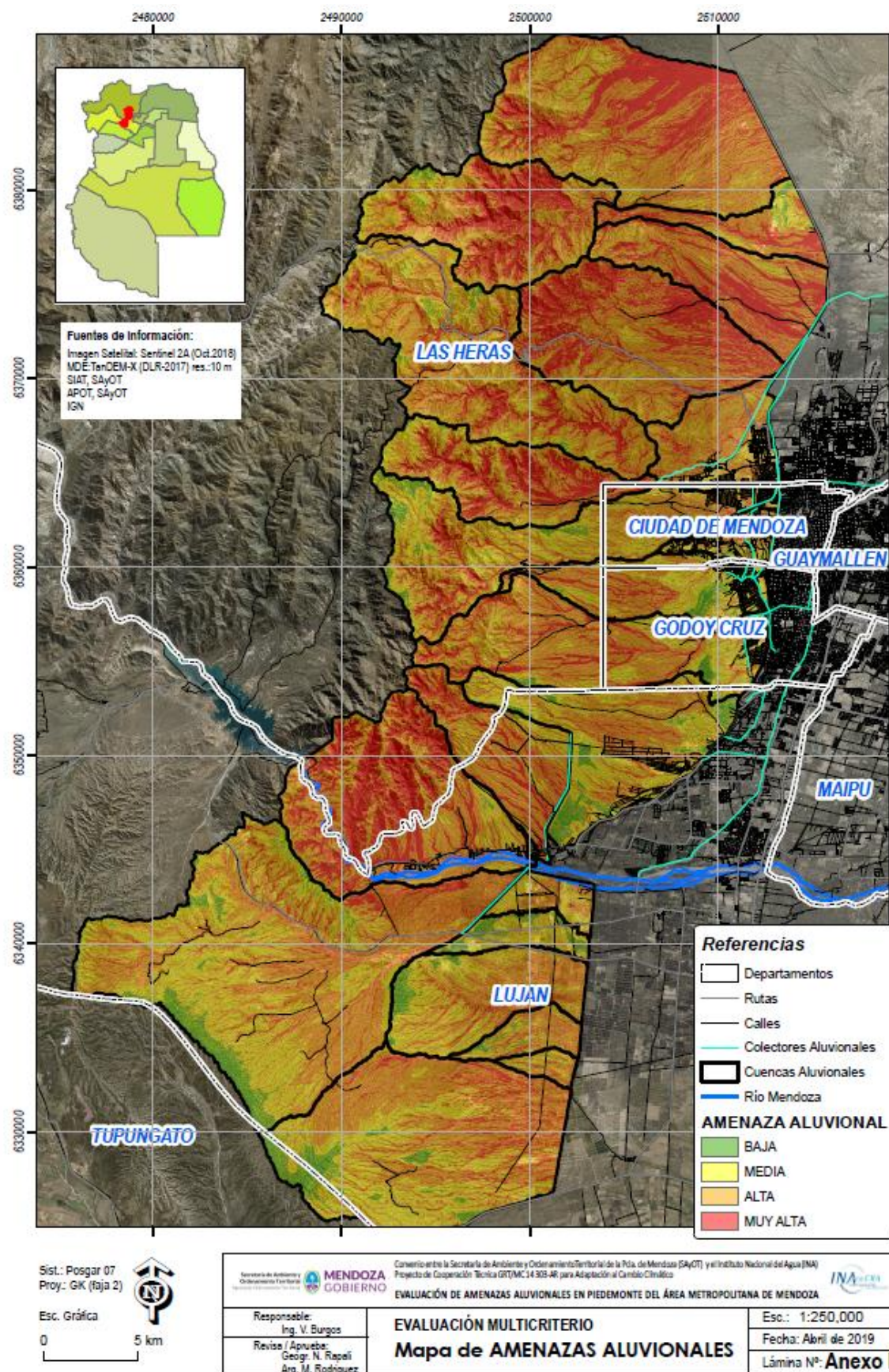


Figura 5. Mapa de Amenazas Aluvionales del AMM



## REFERENCIAS

- Burgos, V.H. y A.P. Salcedo. Evaluación de metodologías utilizadas para estimación de riesgos hídricos por inundación urbana. Casos de estudio en Mendoza y Catamarca. *En Libro de artículos del Segundo Congreso Latinoamericano de Estudios Urbano-Ambientales y Gestión de Riesgos* Lanús, Buenos Aires. (2016)
- Burgos, V.H., L. Martínez y A.P. Salcedo. Actualización del mapa de CN (número de curva) del Gran Mendoza” en *4to. Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (IFRH)* Ezeiza, Instituto Nacional del Agua, (2018).
- Burgos, V.H. Amenazas Hídricas en piedemonte del Área Metropolitana de Mendoza. *En 2do Encuentro de Diálogos sobre Resiliencia y Riesgo de Desastres*. UTN FRM, Mendoza, Argentina – inédito. (2018)
- Burgos, V.H. Soluciones basadas en la naturaleza: acciones locales para lograr Seguridad Hídrica en Mendoza. *En II Congreso Internacional Agua para el Futuro*, DGI. Inédito (2019).
- DLR German Aerospace Center. TanDEM-X IDEM Dataset / Project ID DEM\_HYDR1884: “Landslide and flash flood risk assessment on informal foothill settlements at western of Mendoza and Catamarca province, Argentina” © DLR (2016).
- Gärtner, N. & Burgos, V. Ubicación automática de posiciones críticas de tormentas patrones para análisis de riesgo hídrico en piedemonte del Área Metropolitana de Mendoza (Argentina). *En 4to. Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (IFRH)* Ezeiza, Instituto Nacional del Agua. (2018).
- Globevnik L., Holjevic D., Petkovsek G., Rubinic J. Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques, erosion prediction in Ungauged Basins: integrating methods and techniques. *In: Proc. Int. Symp. HS01, Erosion Prediction in Ungauged Basins (PUBs): Integrating Methods and Techniques*, Sapporo, July 8–9, 2003, IAHS Publ. No. 279: 224–233. (2003).
- Guisasola, E. Situación actual de la ciudad de Mendoza. Su sistema de mitigación de crecidas. *En: Amenazas naturales de origen hídrico en el centro-oeste árido de Argentina*. Vich, A.; Gudiño M.E. (editores) Edit. Fund. Univ. Nac. de San Juan. (2010)
- Horton, P.; Jaboyedoff, M.; Rudaz, B.; & Zimmermann, M. Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at regional scale. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 869–885, (2013).
- INA-CRA. Tormenta de Proyecto para el Pedemonte del Gran Mendoza, (2008).
- Pack, R., Tarboton, D. & Goodwin, C. The SINMAP approach to terrain stability mapping. *In 8th congress of the international association of engineering geology*, Vancouver, British Columbia, Canada. Vol. 21. (1998).
- Saaty, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York. (1980).
- Tarboton D. G. A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models. Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, U.S.A. *Water Resources Research*, 33(2): 309-319. American Geophysical Union. USA. (1997).
- USACE. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Version 5.0. (2016).
- Vich, A. I., y Pedrani, A. La erosión hídrica en el piedemonte árido de Mendoza. *En: IANIGLA, 30 Años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales*. D. Trombotto y R. Villalba, editores. (2002)

# LOS ÍNDICES TOPO-HIDROLÓGICOS Y SU CONTRIBUCIÓN AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN MENDOZA

Burgos V.H.<sup>a</sup>, Salcedo A.P.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Grupo Reducción de Riesgos Hídricos y Adaptación al Cambio Climático – Subgerencia Centro Regional Andino – Instituto Nacional del Agua, Mendoza, ARGENTINA

e-mail: [yburgos@ina.gob.ar](mailto:yburgos@ina.gob.ar)

## RESUMEN

*Una de las problemáticas identificadas en el Plan Provincial de Ordenamiento Territorial (PPOT) es el deterioro de las condiciones ambientales y una mayor exposición al riesgo por amenazas naturales y antrópicas, ante el avance de la urbanización no planificada y el desarrollo de proyectos inmobiliarios, agrícolas o petroleros sin un adecuado control. El Área Metropolitana de Mendoza (AMM) está expuesta a diversas amenazas, entre ellas las aluvionales. Incorporar en los planes territoriales un análisis hidráulico de las amenazas hídricas, permitiría una reducción de riesgos a desastres al restringir o condicionar el uso del suelo en función de tales amenazas.*

*Tradicionalmente el cálculo de áreas inundables por modelación numérica conlleva procesos complejos y alta capacidad técnica, además de rigurosos datos de campo para su calibración y validación. Una forma expeditiva para la obtención de información que otorgue una mirada sistémica del comportamiento hidrológico de un área son los denominados índices topo-hidrológicos, que surgen de operaciones matemáticas entre variables obtenidas del procesamiento del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), permitiendo cartografiar zonas de potencial anegamiento o sitios con peligro de erosión. Estos índices otorgan una primera mirada a la geomorfometría y por ende a las funciones hidrológicas de la cuenca bajo estudio, resultando muy útiles para incorporarlos en la toma de decisiones.*

*En el presente trabajo se expone la metodología de cálculo de 2 índices (índice topográfico de humedad e índice de potencia de cauce), los recaudos y pre-procesamientos necesarios, y su incorporación en un modelo de evaluación multicriterio para la generación de un mapa síntesis de amenazas aluvionales en el piedemonte del AMM. Esta caracterización pretende ser un aporte para facilitar el ordenamiento territorial considerando a la gestión del riesgo y la gestión ambiental como elementos fundamentales.*

*Palabras Clave:* TWI, SPI, Índice Topográfico de Humedad, Índice de Potencia

## INTRODUCCIÓN

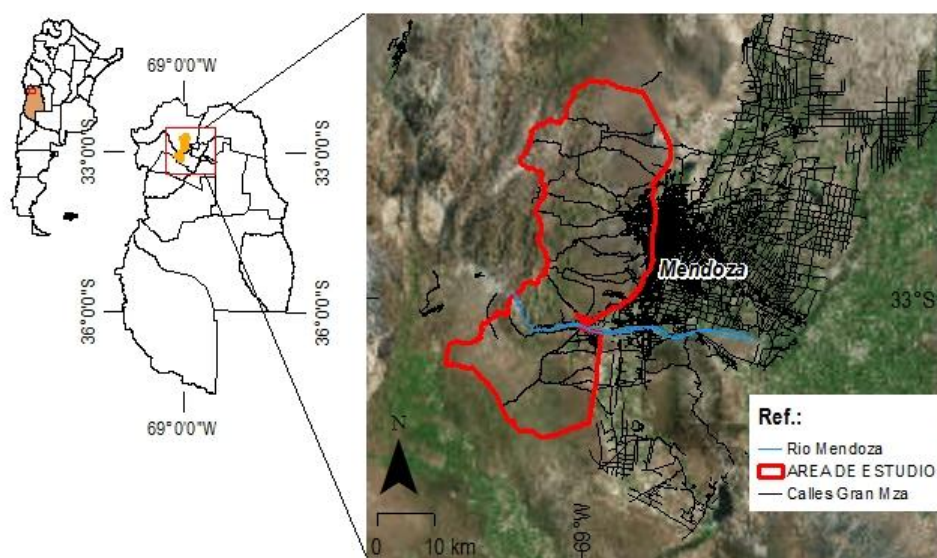
La evaluación hidrológica es un componente clave en el diseño y ejecución de los Planes de Ordenamiento Territorial. En el caso de la Provincia de Mendoza, y en particular su área metropolitana, se encuentra bajo amenaza aluvional constante. Estos eventos suelen centrarse en los meses de verano, dada la ocurrencia de tormentas convectivas de corta duración pero de gran intensidad que generar peligrosas avenidas y activación de cauces secos, causando numerosos daños a la población y la infraestructura.

La implementación del análisis hidrológico e hidráulico en los estudios de riesgo, implica el desarrollo de modelos matemáticos de simulación, los cuales en general requieren de personal altamente capacitado y un volumen grande de información para la calibración de los mismos. Sin embargo, de acuerdo a numerosas pruebas y comprobaciones que se han realizado en el Área de Hidrología del INA, se observó que es posible aplicar los denominados índices topo-hidrológicos, utilizando solo como insumo el Modelo Digital de Elevación, obteniendo resultados de áreas inundadas similares al ser comparadas con modelación hidráulica, así como también de índices geotécnicos como el de estabilidad de laderas, al ser contrastado con modelos específicos para tal uso. Esto es de suma importancia, ya que el procesamiento de obtención de los índices es rápido y expeditivo, y con la utilización de herramientas de geoprocésamiento de un SIG, es posible obtener una cartografía de amenaza aluvional preliminar, prescindiendo, en una primera etapa, de modelación matemática.

Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue utilizar índices de simple aplicación para estimar zonas de peligro hídrico y geotécnico. Se expone la metodología realizada para la obtención de dos índices. El primero denominado Índice Topográfico de Humedad (TWI – *Topographic Wetness Index*) y el segundo denominado Índice de Potencia de Cauces (SPI – *Stream Power Index*). El desempeño de ambos índices fue comparado con resultados obtenidos por modelación hidráulica 2D (modelos HEC-RAS y Flow-R) y por modelación geotécnica mediante Índice de Estabilidad de Laderas (modelo SINMAP).

### ÁREA DE ESTUDIO:

El área de estudio se ubica en la provincia de Mendoza, Argentina, en la zona comprendida entre los 32° 30' y 33° 15' de latitud S y 68° 15' y 69° 30' de longitud O. Abarca parte de los departamentos de Las Heras, Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz y Luján de Cuyo. Comprende una altitud que va desde los 730 msnm hasta los 3.455 msnm y posee una superficie total de 1243 km<sup>2</sup> aproximadamente y se ubica al oeste del área metropolitana de Mendoza (AMM) como se indica en Fig. 1.



**Figura 1.** Área de estudio

## MATERIALES Y MÉTODOS:

Para el procesamiento de los índices se utilizó un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) TanDEM-X IDEM. En el año 2015 y 2016, el INA-CRA se presentó a dos Anuncios de Oportunidad publicados por la DLR (Agencia Espacial Alemana) para la adquisición de imágenes TerraSAR-X y TanDEM-X. El proyecto “*Modelación hidrológica e hidráulica utilizando datos de alta resolución de TanDEM-X*” resultó seleccionado para la adjudicación de imágenes radar en sectores del noroeste de la provincia de Mendoza y noreste de la provincia de Catamarca. Para todo el estudio se utilizó el MDE TanDEM-X (DLR, 2016) (IDEM: *Intermediate DEM*) de 10 m de resolución.

En función de las precisiones definidas por la DLR, el producto TanDEM-X IDEM utilizado, con una resolución espacial de 10 m posee un error absoluto planimétrico de 10 m (1 píxel) y un error vertical (al 90% de confianza) de entre 2 a 4 m. En Tabla I se indica dichos valores.

**Tabla I:** Precisiones del MDE TanDEM-X

Producto (DEM)	Separación de píxeles independiente	Precisión horizontal absoluta CE90	Precisión vertical absoluta LE90	Precisión vertical relativa / Error lineal punto a punto 90%	Cobertura
TanDEM-X DEM (producto estándar 0.4 arcsec ecuador)	~ 12 m (0.4 arcsec ecuador)	<10 m	<10 m	2 m (pendiente ≤ 20%) 4 m (pendiente > 20%)	Global
TanDEM-X DEM (1 arcsec)	~ 30 m (1 arcsec ecuador)	<10 m	<10 m	No especifica	Global
TanDEM-X DEM (3 arcsec)	~ 90 m (3 arcsec ecuador)	<10 m	< 10 m	No especifica	Global
TanDEM-X Intermediate DEM (IDEM)	~ 12 m (0.4 arcsec ecuador)	<10 m	<10 m	No especifica	Regional

Fuente: DLR (2016)

## LOS ÍNDICES TOPO-HIDROLÓGICOS

La topografía es uno de los principales factores que controla la variación espacial de las condiciones hidrológicas, afectando la distribución espacial de la humedad del suelo, del flujo del agua subterránea y de los procesos erosivos.

En el presente trabajo se muestran las aplicaciones de dos índices (TWI y SPI). La rápida ejecución de estos índices permite obtener aproximaciones hidráulicas y geotécnicas de buena performance, prescindiendo de modelos matemáticos de difícil procesamiento.

Ambos índices utilizan para su cálculo la superficie de contribución aguas arriba “A”. Este parámetro puede ser calculado bajo varias metodologías a partir del uso de SIG, incluso los modelos hidráulicos de simulación, calculan internamente estos algoritmos, y su resultado será distinto según cual se utilice. El algoritmo más usado frecuentemente es el denominado D8 el cual establece las 8 posibles direcciones a 45°, basados en el ángulo que posee la celda central de análisis respecto a sus vecinos. El método D8 asigna un código de dirección de flujo a cada celda, basado en la máxima pendiente respecto a sus ocho vecinos. De acuerdo al ángulo, se clasifica en 8 clases según la orientación (E, NE, N, NW, W, SW, S, SE) codificadas con números potencias de 2 (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128).



Para el presente trabajo se calculó “A” bajo distintos algoritmos, y se concluyó de acuerdo a la bibliografía consultada y al desempeño de las metodologías, que el algoritmo  $D_{\text{Infinito}}$  es el que mejor se ajustaba. Este método fue desarrollado por Tarboton (1997), también se lo encuentra con la denominación “ $D_{\text{Inf}}$  o ( $D_{\infty}$ )”, donde la dirección de flujo es determinada en la dirección de máximo descenso sobre 8 facetas triangulares formadas sobre una ventana de 3 x 3 píxeles centrada sobre el píxel a estudiar. Según Tarboton, el uso de facetas triangulares evita la aproximación involucrada en ajustar un plano y la influencia de vecinos con mayor altitud sobre flujos aguas abajo, sugiriendo el uso de facetas triangulares para remover la limitación de solamente considerar con 8 direcciones de flujo en los algoritmos de dirección simple como  $D_8$ , permitiendo infinitos posibles caminos para el flujo en una dirección.

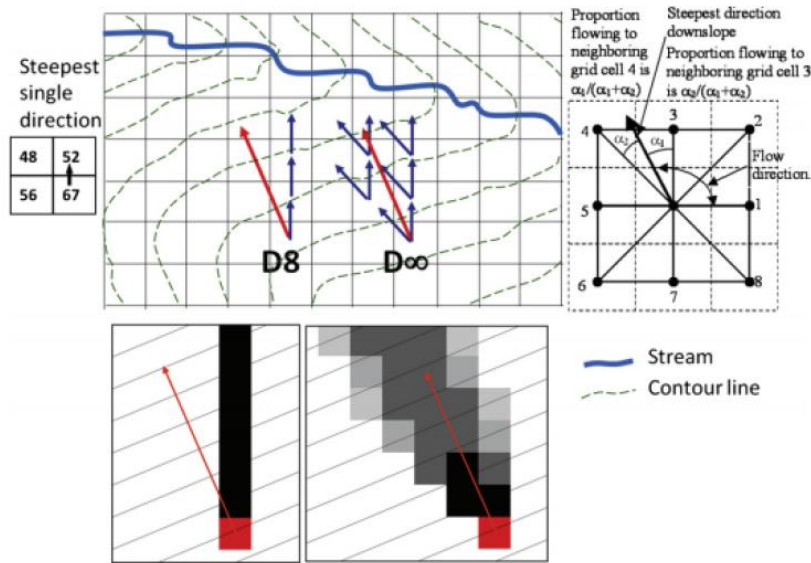
El algoritmo  $D_{\text{Inf}}$  admite también una sola dirección de flujo, pero permite que al área pueda fluir dentro de una o dos celdas dependiendo de la dirección (Seibert y McGlynn, 2007).

Asimismo, este método no subestima drenajes como sucede con la técnica de múltiples direcciones desarrollada por Quinn (1991). Este método denominado dirección de flujo múltiple (MFD – *multiple flow direction*) distribuye flujo fraccionalmente a cada vecino de menor elevación en proporción a la pendiente hacia este vecino, basado en un sistema de valores de pesos de pendiente, tendiendo a producir patrones visuales más reales que el  $D_8$  evitando la concentración en líneas (Giménez Suarez, 2008). Según Tarboton (op. cit.), los métodos de dirección múltiple de flujo, tienen la desventaja que el flujo de un píxel es dispersado a todos los píxeles vecinos con elevación inferior, y que es importante minimizar esta dispersión ya que influye en la estimación del valor final de A.

En el estudio realizado por (Giménez Suarez, 2008) en el cual se comparan varios métodos de cálculos de A, el autor llega a las siguientes conclusiones: el método  $D_8$  no presenta distribución o dispersión, pero las trayectorias de flujo son obligadas a seguir las direcciones de grilla. El método de dirección múltiple (MFD) sigue la pendiente topográfica pero presenta una dispersión sustancial. El método Kinematic de Lea (1992) marcha bajando las curvas de nivel en forma de escalera, al igual que  $Rho_8$ , desarrollado por Fairfield y Leymarie (1991), mientras el algoritmo DEMON desarrollado por Costa-Cabral y Burges (1994) y  $D_{\text{Inf}}$  alcanzan un balance con una difusión levemente ancha. Para Tarboton algunos píxeles calculados con  $D_{\text{Inf}}$  no presentan difusión o propagación.

En general cuando la pendiente topográfica está alineada con los ejes de la grilla, cardinal o diagonal, el procedimiento  $D_{\text{Inf}}$  da los mismos resultados que el  $D_8$ , y ambos son correctos (Tarboton, op.cit.). Sin embargo, cuando la pendiente topográfica no está alineada con una de las direcciones de la malla, los procedimientos difieren.  $D_8$  no presenta dispersión, pero a expensas de sesgo en la malla.  $D_{\text{Inf}}$  sigue la pendiente topográfica al costo de presentar algo de dispersión. Giménez Suarez (op.cit.) somete a todos los algoritmos a un test estadístico ANOVA que si bien con el cual no encuentra diferencias significativas, define que lo más recomendable es la utilización del algoritmo  $D_{\text{Inf}}$ , el cuál es el “término medio” de las metodologías, ya que puede dirigir el flujo en infinitas direcciones y aunque adolece de no poder distribuir flujo a más de dos celdas, no sufre de la alta dispersión como el MFD.

En Fig. 2 se observa la diferencia entre la grilla de acumulación de flujo calculada mediante algoritmo D<sub>8</sub> respecto del método D<sub>inf</sub>.



**Figura 2.** Flujo D<sub>8</sub> vs D<sub>inf</sub> (obtenido de Tesfa et al., 2011)

### Índice Topográfico de Humedad (TWI – Topographic Wetness Index)

El TWI es un índice que permite identificar potenciales zonas donde se concentra la humedad o sectores donde se acumula el agua. Fue desarrollado por Beven y Kirkby (1979) a partir del modelo de escurrimiento TOPMODEL, según Ec. (1).

$$TWI = \ln \left( \frac{A}{\tan \beta} \right) \quad (1)$$

Donde A es la superficie de contribución aguas arriba, expresado en m<sup>2</sup>, y  $\tan \beta$  es la pendiente local (tangente de la pendiente calculada en radianes).

El índice modela la dinámica de los flujos superficiales y subsuperficiales basados en el control topográfico del escurrimiento. Ofrece una mejor perspectiva en lo referente a la predicción de sitios que por saturación y alta concentración del escurrimiento puedan actuar como rutas iniciales de procesos de mayor inundación (López López, 2006).

La grilla final de TWI en nuestra zona de trabajo está en un rango de valores que van de 7 a 27. A fin de clasificar este rango continuo de datos, los autores del método de TWI sugieren dividir en 4 clases (<8, de 8 a 9, 9 a 10 y >10). Estos rangos fueron comparados por Beven y Kirkby (op cit.) con porcentajes de saturación de suelo medidos en campo en una cuenca de estudio en Inglaterra (correspondiendo a cada clase 0% a 25%, 25% a 50%, 50% a 75%, mayor a 75% de saturación).

Por lo tanto, el TWI es un parámetro que describe la tendencia de una celda para acumular agua. Está basado en un balance de masa que evalúa la propensión a acumular y evacuar

el agua. A medida que aumenta el área de contribución y disminuye la pendiente, la humedad es mayor.

Moore et. al (1991) encontraron una gran correlación entre la distribución del TWI y la distribución del contenido de agua superficial en suelos de cuencas en barbecho. Asimismo encontró una relación lineal entre el TWI y la orientación de laderas. Por tanto es posible observar mayor proliferación de la vegetación en las zonas de saturación.

Para el caso de estudio, se realizó una comparación entre las zonas de máxima saturación obtenidas mediante TWI y una imagen de NDVI. Este último es un índice normalizado de vegetación que utiliza las bandas visibles e infrarrojo cercano para estimar la vigorosidad de la vegetación. El NDVI posee una escala de valores continuos que van de -1 a 1, siendo los valores cercanos a 1 de vegetación sana y vigorosa y a medida que disminuye su valor es indicativo de senescencia de la vegetación o de menor porcentaje de vegetación. En el apartado de resultados se observan las imágenes NDVI.

### **Índice de Potencia de Cauce (SPI – Stream Power Index)**

Este índice es usado para describir la fuerza de erosión de un cauce. A medida que el área de contribución y pendiente aumentan, la contribución de escorrentía de las zonas aguas arriba y la velocidad del flujo aumentan, por tanto, SPI y el riesgo de erosión asociado, se incrementan también. El índice se estima con Ec. (2) donde A es la superficie de contribución aguas arriba (en m<sup>2</sup>), y  $\beta$  la pendiente local (expresada en radianes).

$$SPI = A \cdot \tan \beta \quad (2)$$

Las verificaciones de este índice se realizaron con los resultados del modelo SINMAP (*Stability Index MAPping*), el cual caracteriza cada celda (pixel) en función del índice de estabilidad (Pack et al, 1998; Tarolli y Tarboton, 2006). Este índice permite estimar procesos de remoción en masa.

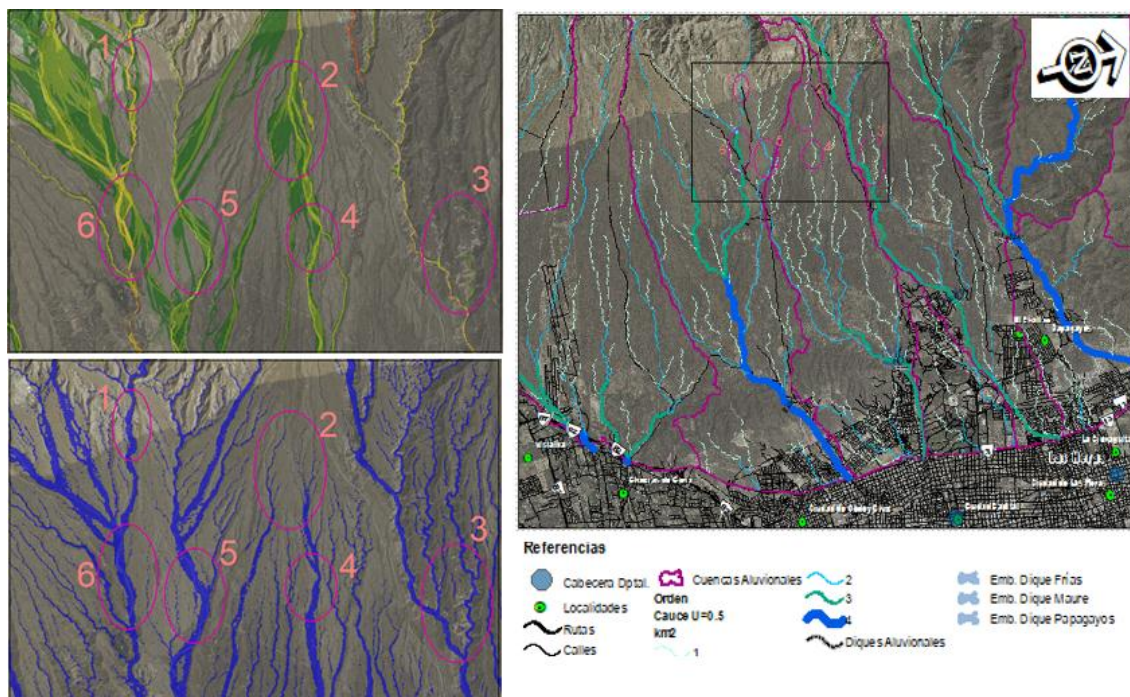
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este apartado se mostrarán las comparaciones realizadas en el área de estudio, entre los índices topo-hidrológicos y los datos de contrastación: modelación hidráulica e índice de estabilidad de laderas del modelo SINMAP.

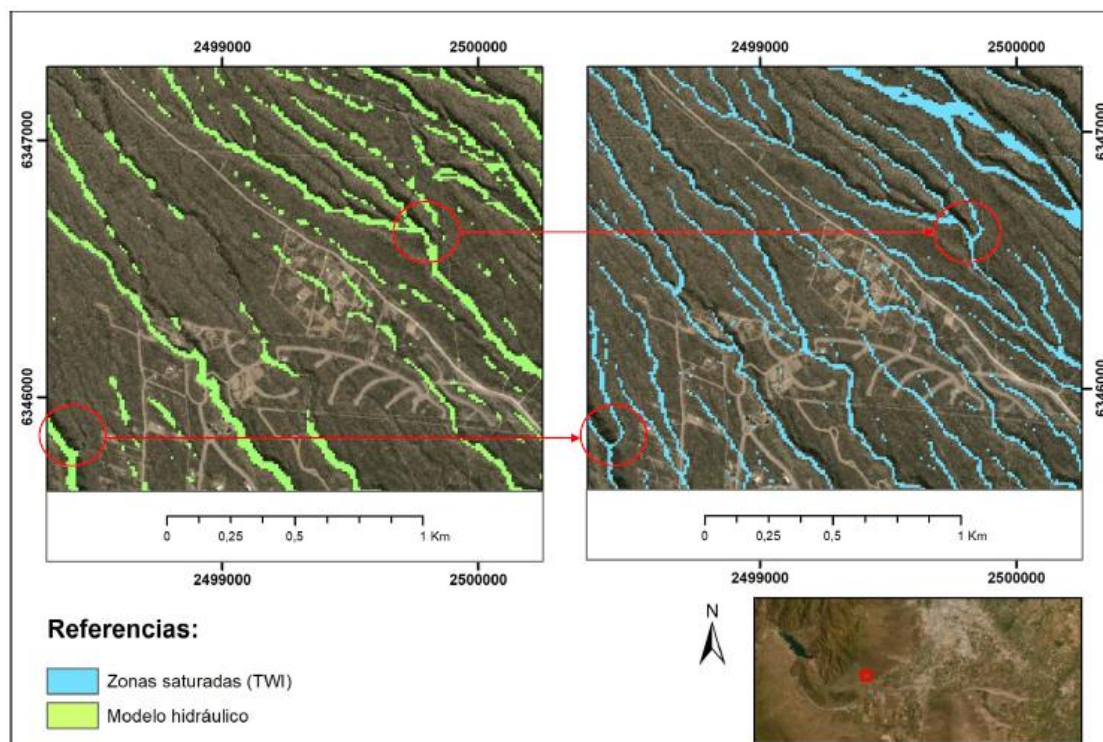
En Fig. 3 se observa una comparación entre anchos de inundación calculados por a) modelación hidráulica en Flow-R (Horton et al., 2013) el cual internamente calcula bajo el algoritmo  $D_{Inf}$ , y b) HEC RAS bajo algoritmo  $D_8$ . En los círculos numerados se aprecia que es necesario el complemento de ambos resultados.

Los resultados obtenidos mediante índice TWI fueron contrastados con los anchos de inundación arrojados por la modelación hidráulica 2D de HEC RAS. A continuación se presentan imágenes comparativas (Fig. 4 y 5) donde se aprecian similitudes entre ambos y se marcan algunas diferencias o complementos de información.

Si bien el umbral recomendado por los autores que desarrollaron el índice, fija valores mayores a 10 como las zonas saturadas, se ha podido corroborar en la zona de estudio que es posible mover el umbral hasta 8. La verificación se realiza con los anchos de inundación de la modelación hidráulica.

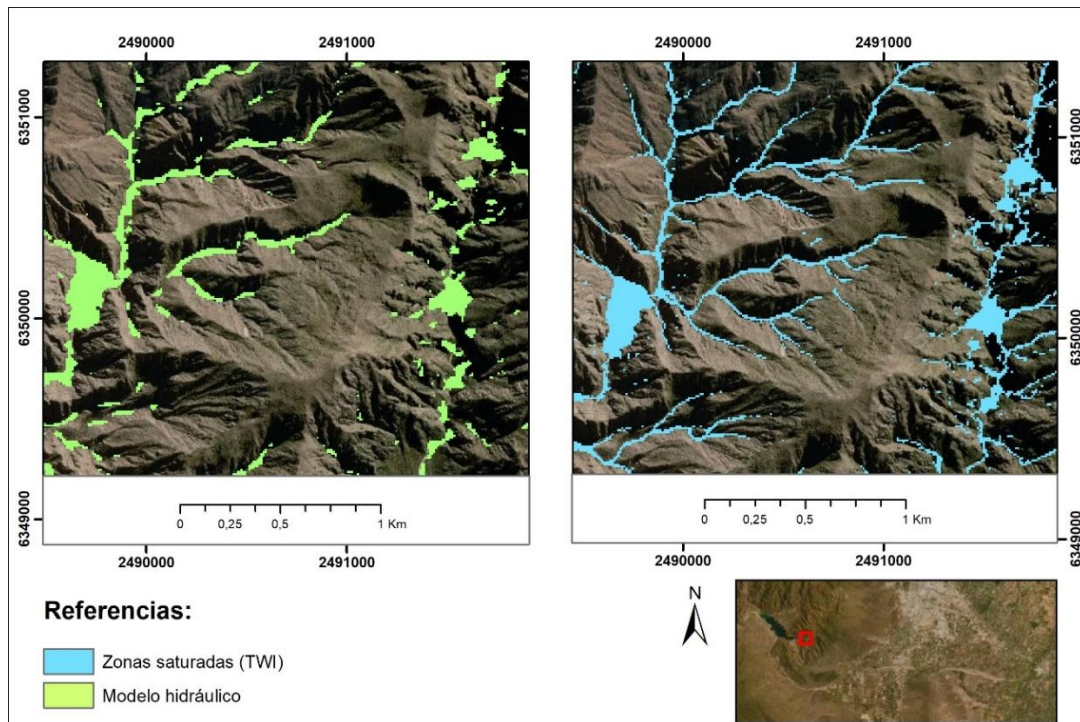


**Figura 3.** Ejemplo de cauces paralelos, convergentes y divergentes. Diferencia entre resultados: a) modelo Flow-R que indica probabilidades de flujo y b) modelo HEC RAS que indica áreas inundables; c) Ubicación de recorte.



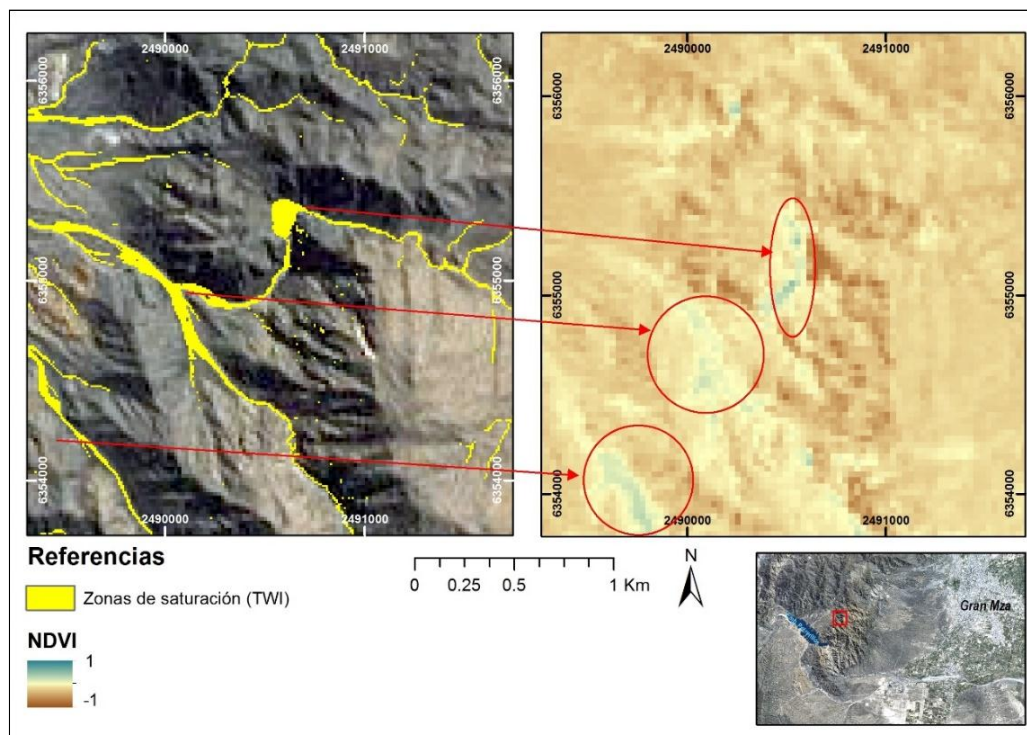
**Figura 4.** Comparación TWI con modelación hidráulica (zona de cauces paralelos).





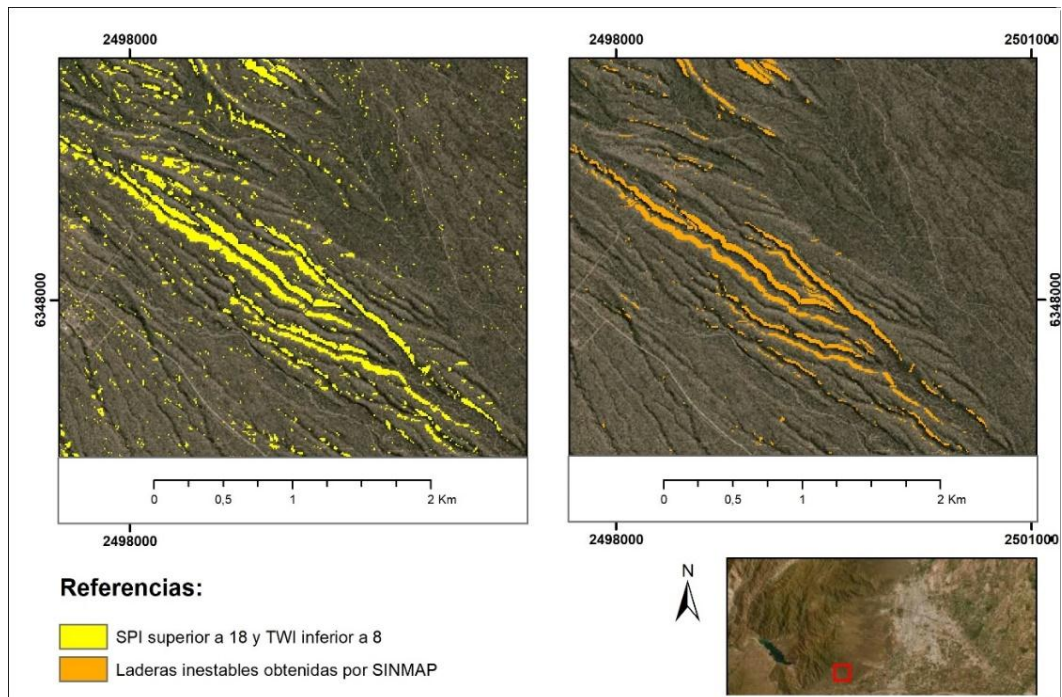
**Figura 5.** Comparación TWI con modelación hidráulica (zona de mayor pendiente).

En Fig. 6 se presenta una comparación entre zonas saturadas por TWI respecto a sitios de mayor proliferación de la vegetación calculado por NDVI. En los círculos en rojo se observan sectores con valores altos de NDVI próximos a 1, en los cuales coincide con fondos de cauces anchos con valores altos de saturación.



**Figura 6.** Comparación TWI con NDVI

Del análisis del índice SPI se observó buena correspondencia entre zonas de mayor potencia de cauce, respecto a laderas inestables cartografiadas con modelo SINMAP. En Fig. 7 se muestran dichas comparaciones.



**Figura 7.** Comparación SPI con laderas inestables (modelo SINMAP)

## CONCLUSIONES

Con la calibración realizada (umbrales de TWI y SPI) se pueden obtener resultados similares a un modelo hidráulico (HEC RAS o Flow-R) o geotécnico (SINMAP), siendo los índices presentados más rápidos de procesar.

El buen desempeño de los índices dependerá inexorablemente de la bondad del MDE (resolución espacial, precisión, método de adquisición). A su vez, también dependerá de la escala de trabajo.

Se concluye que es óptimo para estudios regionales, dado que es posible obtener zonas de amenaza aluvional en forma expeditiva, prescindiendo de laboriosas modelaciones matemáticas, las cuales suelen calcularse para estudios de detalle. Por ejemplo, el área analizada en el presente trabajo con 1240 km<sup>2</sup> con cuencas individuales del orden de 50 a 100 km<sup>2</sup>.

El complemento de diversas técnicas topo-hidrológicas a base de geoprocesos proporciona información suficiente para delimitar zonas con diferentes grados de amenazas y poder planificar el territorio.

## REFERENCIAS

- Beven, K. J. y Kirby, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrological Sciences Journal*, 24:1, 43-69 (1979).
- Costa-Cabral, M. y Burges S. J. Digital Elevation Model Networks (DEMON): A Model of Flow Over Hillslopes for Computation of Contributing and Dispersal Areas. *Water Resources Research*, 30(6): 1681-1692 (1994).
- DLR German Aerospace Center, TanDEM-X IDEM Dataset / Project ID DEM\_HYDR1884: "Landslide and flash flood risk assessment on informal foothill settlements at western of Mendoza and Catamarca province, Argentina" © DLR (2016).
- Fairfield, J. y Leymarie, P. Drainage Networks from Grid Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, 27(5): 709-717 (1991).
- Giménez Suárez, M. Metodología de cálculo del factor topográfico LS integrado en los modelos RUSLE y USPED. Aplicación al arroyo del lugar, Guadalajara (España). Tesis doctoral. *Universidad Politécnica de Madrid*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Departamento de Proyectos y Planificación Rural (2008).
- Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B. E. A., y Zimmermann, M. Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. *Natural hazards and earth system sciences*, 13(4), 869-885 (2013).
- Moore, I. D., Grayson R. B. y Ladson A. R. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrological Processes*, 5(1): 3-30 (1991).
- Lea, N. L. An Aspect Driven Kinematic Routing Algorithm. En *Overland Flow: Hydraulics and Erosion Mechanics*. Edited by A. J. Parsons and A. D. Abrahams, Chapman & Hall. New York. USA (1992).
- López López, D. Desarrollo e implementación de un modelo para la clasificación automática de unidades de relieve a partir de modelos digitales de elevación. Tesis. *Centro de Investigaciones en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo*. México (2006).
- Pack, R. T., Tarboton, D. G., & Goodwin, C. N. The SINMAP approach to terrain stability mapping. In *8th congress of the international association of engineering geology*, Vancouver, British Columbia, Canada. Vol. 21, p.25 (1998).
- Quinn, P. K., Beven, P., Chevallier, and O. Planchon. The prediction of Hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models, *Hydrol. Proc.*, 5, 59-80 (1991).
- Seibert J. y McGlynn B. L. A New Triangular Multiple Flow Direction Algorithm for Computing Upslope Areas from Gridded Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, Vol. 43, W04501 (2007).
- Tarboton D. G. A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models. Utah Water Research Laboratory, Utah State University, Logan, U.S.A. *Water Resources Research*, 33(2): 309-319. American Geophysical Union. USA (1997).
- Tarolli, P., y Tarboton, D. G. A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 2006, 10 (5), pp.663-677 (2006).
- Tesfa, T. K., Tarboton, D. G., Watson, D. W., Schreuders, K. A., Baker, M. E., y Wallace, R. M. Extraction of hydrological proximity measures from DEMs using parallel processing. *Environmental Modelling & Software*, 26(12), 1696-1709 (2011).

# CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE *SENNA APHYLLA* EN EL COMPLEJO MINERO FABRIL DE SAN RAFAEL

Castaño, A. R.<sup>a</sup> Invernizzi, R.<sup>b</sup> Plá, R.<sup>c</sup> Olmedo M<sup>b</sup>, Jasan. R.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>ICES – Comision Comision Nacional de Energía Atómica, Regional Malargüe, ARGENTINA

<sup>b</sup>División Técnicas Analíticas Nucleares, Departamento Química Nuclear, Comisión Nacional de Energía Atómica, ARGENTINA

<sup>c</sup>Departamento Química Nuclear, Comisión Nacional de Energía Atómica, ARGENTINA

e-mail:[aganan@cnea.gov.ar](mailto:aganan@cnea.gov.ar)

## RESUMEN

En este trabajo se identifica la presencia de metales pesados en suelo y *Senna aphylla* (Cavanilles) Irwin & Barneby la cual es una leguminosa nativa de Argentina. El área de estudio es el Complejo Minero Fabril de San Rafael (CMFSR). La técnica utilizada para la determinación de los metales pesados fue el Análisis por Activación Neutrónica. Se muestrearon seis sitios, tres de ellos son pasivos ambientales generados por la actividad minera en el complejo minero, en estos sitios se determinó la correlación entre los metales pesados hallados en el suelo y los valores encontrados en la planta. Se hallaron los Factores de Bioacumulación (FBA) y de Translocación (FT) para esta planta, donde se logró determinar que el FBC de Zn es alto con valores hasta de 28,46 en el sitio S6P1 y de 4 en FT para los sitios S5P2 y S6P1. Este informe ha posibilitado considerar esta planta como asimiladora de Zn, con capacidad de translocación a la parte aérea del mismo y de otros elementos tales como Co, Cr, Cs, Eu, La, Rb, Sc, Sm, Sr, Ba, Br, Ca, K y Na y como especie fitoestabilizadora de otros elementos en los que manifiesta bajo potencial para la extracción, como es el caso de As, Ce, Na y K.

*Palabras Claves:* Análisis por Activación Neutrónica, Fitorremediación, Factor de Bioacumulación, Factor de Translocación.

## 1. Introducción

Los recursos minerales son material base para el desarrollo socio-económico. A pesar de esto, 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/m<sup>3</sup>) es un riesgo potencial 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, también 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).



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 por 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.

La “biorremediación” es por lo tanto una solución ideal para la disminución de la polución y la tecnología emergente es fitorremediación. En general fitorremediación es el uso de vegetación para tratamientos *in situ* de suelos contaminados, sedimentos y agua. En ese sentido general fitorremediar significa “limpiar” sitios contaminados con el uso de plantas apropiadas, las cuales ofrecen no solo mayor potencial para remediarlos respecto a métodos convencionales y costosos sino también ofrece medios para utilizar procesos sostenibles “verdes” (Pulford and Watson 2003)), lo cual generalmente tiene una alta aceptación del público y puede llevarse a cabo en el sitio para remediar los suelos contaminados, sedimentos y/o aguas (Vidali 2001). Excepto pocos factores limitantes, esta tecnología tiene la habilidad de regenerar los ambientes contaminados efectivamente. Además es amigable con el ambiente, es una manera segura y de bajo costo para limpiar contaminantes o polutantes, presenta ventajas estéticas, y aplicabilidad a largo plazo (Shukla et al. 2010; Schnoor et al. 1995). Es aplicable a sitios con contaminantes orgánicos, de nutrientes o metálicos a los que se puede acceder por las raíces de las plantas y ser secuestrados, degradados, inmovilizados o metabolizados en el lugar. Esta ha sido particularmente propuesta como una técnica promisorio para la remediación de suelos contaminados con metales pesados (Zhu and Shaw 2000; Shahandeh et al. 2001).

*Senna aphylla*, es un arbusto característico de la provincia fitogeográfica del monte, entre 50-2000 m.s.n.m. y su distribución en Argentina va desde Salta a Chubut. Es un arbusto bajo (0,4 m- 1,5 m) de aspecto áfilo, de la familia Fabaceae. Con ramas de hasta 4 mm de diámetro, glabras, de aspecto desordenado, con extremos algo péndulos y a veces espinosos. Sus hojas son poco notables, de hasta 2 mm con forma de escama triangular. Sus flores son solitarias o en racimos, en la parte superior de las ramas. De 1,5 cm de largo, con 5 pétalos ovoidales amarillo oro. Florece desde septiembre a abril. Su fruto es una vaina, glabra, comprimida, recta o arqueada, de 4-11 cm x 5 mm, que se abre a la madurez. Semillas romboidales, grises comprimidas de hasta 5 mm, separadas entre sí por

subdivisiones membranosas. Con frutos maduros desde diciembre hasta abril. Vulgarmente se le denomina Pichana, Pichanilla, Retamilla, Monte de la Perdíz entre otros. La familia Fabaceae se destaca por poseer especies con capacidad fitorremediadora (Vara Prasad and de Oliveira Freitas 2003), donde se destacan varias especies del género *Senna* con capacidad para asimilar o retener Cu (Ssenku et al; 2014), Cd y Zn (Callejas, 2009); Pb, Zn, Al y Au (Chibuzo et al; 2019, De Marco et al; 2017; Berefo, 2014). Específicamente *Senna aphylla* ha sido identificada por (Mazzucco, 2018) para la provincia de San Juan, como una especie con capacidad fitoextractora de Zn, y con comportamiento estabilizador de As, Fe, Ba y Cr. En Argentina no se han desarrollado muchos estudios relacionados con la transferencia de metales entre el suelo y la planta, lo que implica la fitoextracción, es decir translocación y acumulación de metales desde el suelo hacia las partes de la planta por debajo y por encima del suelo (Song et al. 2005; Mahmood 2010) en zonas con pasivos generados por la actividad minera. Aunque ya se vienen desarrollando investigaciones que apuntan a la fitorremediación de suelos y humedales con altas concentraciones de metales pesados (Scotti et al 2019).

El propósito de la presente investigación es determinar la capacidad fitorremediadora de *S. aphylla* que ha crecido de manera natural en suelo y pasivos ambientales generados por la actividad minera en el CMFSR. Se determinan en ella los Factores de Bioacumulación y el Factor de Translocación para poder categorizar su habilidad fitorremediadora

## **2. Materiales y Métodos**

A continuación se describen el área de estudio y la metodología de muestreo así como los diferentes análisis realizados a las muestras de suelo, raíz y parte aérea de *S. aphylla*.

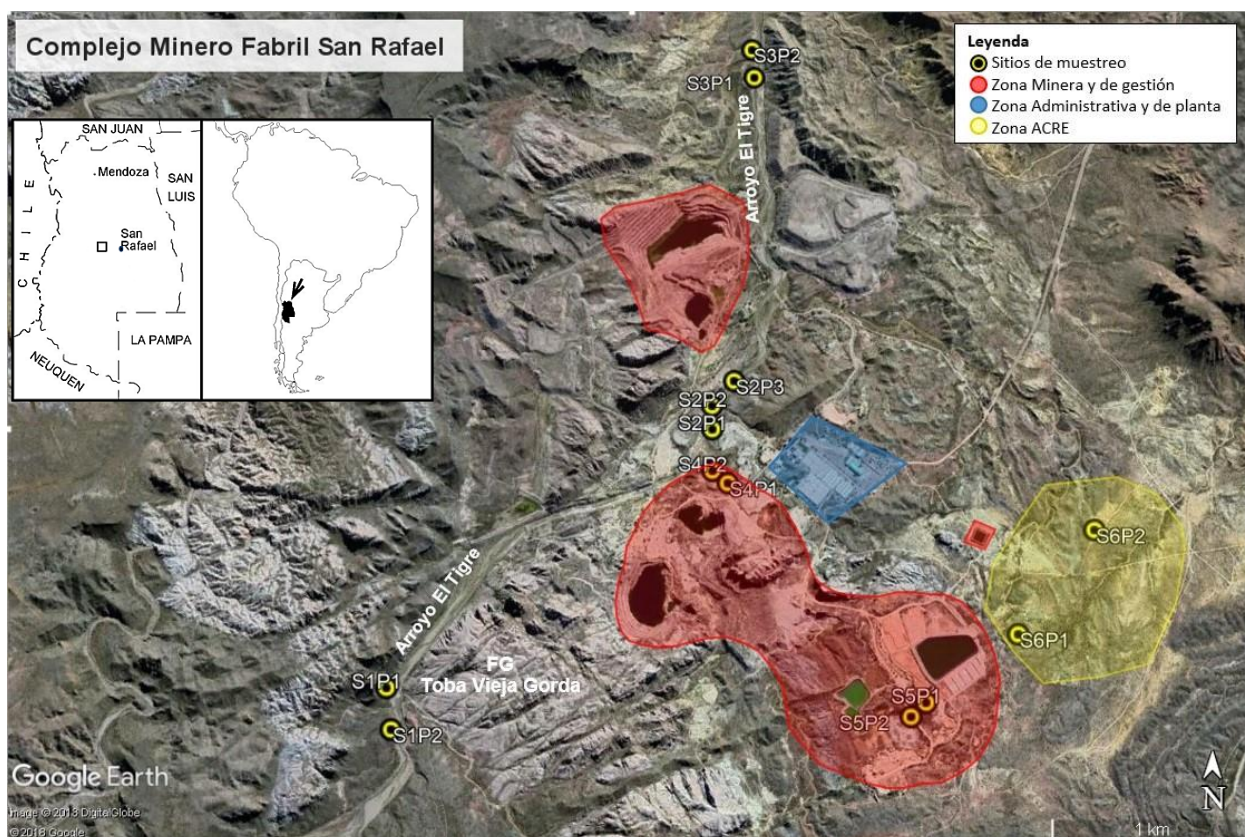
### **2.1. Área de Estudio**

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 actualidad. Sin embargo, en 1997 el Complejo fue cerrado como consecuencias de los cambios políticos y económicos que se estaban produciendo.

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 volcanoclásticas 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).



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

## 2.2 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), tomadas de los 6 sitios (S), las parcelas fueron de 100 m<sup>2</sup>. S1P1, S1P2 son muestras tomadas a lo largo del **arroyo El Tigre** antes de pasar la zona industrial; 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 la hojarasca fresca de un área de 40 cm x 40 cm, luego con la pala se tomaban aproximadamente 1000 g de suelo y se depositaban 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 4 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 de la Minería del Uranio (PRAMU), 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 la cual se realizó en el Laboratorio del (PRAMU) en Malargüe, en una proporción de 1:3 con un pH metro digital Pocket Hanna Combo.

Otra porción de 50 gr de suelo fue rotulada y puesta en una 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.

Se eligió un ejemplar de *S. aphylla* para la determinación taxonómica y para la colección del herbario. El material vegetal de raíces y parte aérea se cosechó desenterrando las raíces y tomando la parte aérea de cada arbusto en cada una de las parcelas. Este material fue puesto en bolsas de cierre hermético, debidamente rotulado. En el laboratorio del PRAMU este material se acondicionó para luego ser enviado al laboratorio TAN. El acondicionamiento de las muestras consistió en el lavado con agua destilada para eliminar restos de suelo y suciedad de cada una de las partes, luego el secado que se realizó hasta llegar a un peso constante, y las moliendas de la raíz y la parte aérea para enviarlas al laboratorio TAN con un total de 50 gr de muestra.

## 2.2. Determinación de las variables

El contenido de metales pesados y el pH de los suelos en los seis sitios donde se halló *S. aphylla* del CFMSR, fueron determinados como se describe a continuación: Para la determinación de las concentraciones multielementales, las muestras fueron previamente secadas en estufa a 103° C 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 marca Ortec (30% de eficiencia, 1.9 keV de resolución para el pico de 1332.5 keV de <sup>60</sup>Co), un módulo buffer multicanal Ortec modelo 919E y el software de adquisición de datos Gamma Visión. El cálculo de concentraciones se realizó a través de programas desarrollados en el laboratorio TAN.

Debido a que no se determinó Zn por medio de AAN, ya que la señal del elemento no era identificable, se mandó a analizar Zn en tres muestras de suelo para S4P1, S5P1 y S6P1 por medio del método Olsen-EDTA. En estas tres parcelas también se logró determinar contenido de materia orgánica (MO) por medio del método Walkley Black.

Para la determinación del pH inicialmente el suelo fue tamizado para sacarle piedritas y restos vegetales luego fue molido manualmente con un palote sobre papel Kraft y en un vaso graduado de laboratorio se mezclaron 50 g de suelo en 150 ml de agua destilada, la solución fue agitada durante 3 minutos y se dejó reposar por otros 3 minutos antes de realizar la medición con pHmetro/ conductímetro/ termómetro Digital Pocket Hanna Combo.

El contenido de metales pesados en la raíz y parte aérea de *S. aphylla* se determinó de igual manera que para el suelo, diferenciándose en que las muestras vegetales fueron, previo al análisis, molidas utilizando un molino criogénico y liofilizadas durante 24 horas. Luego fueron pastilladas y envasadas para irradiación y posterior medición. Se realizaron dos mediciones con tiempos de decaimiento de 7 y 30 días aproximadamente para la



determinación de: As, Ba Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Na, Rb, Sc, Sm, Sr, Th, U y Zn.

El Factor de Bioconcentración (FBC) para los metales, es expresado como la proporción de la concentración del metal en la raíz sobre la concentración total del metal en el suelo y el Factor de Translocación (FT) para los metales en la planta se calcula como la concentración del metal en la parte aérea dividida entre la concentración del metal determinado en la raíz. (Tu et al. 2003)

### 3. Resultados y Discusión

Los resultados de los análisis realizados en suelo figuran en la Tabla 1, expresados considerando dos cifras significativas para su incertidumbre, no incluida en esta tabla; se calcularon las medianas de las concentraciones halladas para los elementos químicos analizados, y se las comparó para investigar si existían diferencias significativas entre los sitios muestreados.

#### 3.1 Concentración de metales pesados en el suelo

La discusión de estos resultados en el suelo (Tabla 1) ya fue presentada en Informe Técnico IT-GOE N° 34/18 por lo que vamos a hacer referencia a la relación de estos resultados de metales pesados en suelo respecto a los contenidos de metales pesados hallados en la vegetación. Como no hubo diferencia significativa,  $p < 0.05$ , entre las medianas de los metales pesados y metaloides entre los sitios; entonces tenemos que las concentraciones variaron de la siguiente forma:

$Fe > Sr > Rb > Ce > La > Cr > U > Cs > As > Co > Th > Sm > Sc > Hf > Zn > Eu$ ,

se reconoce que Zn y M.O. (materia orgánica), sólo se analizaron en tres parcelas.

#### 3.2 Concentración de Metales Pesados en la Raíz y parte aérea de *S. aphylla*

En la Tabla 2 se presenta los contenidos de metales pesados As, Na ( $\mu g/g$ ) y Ca, K (%) en raíz y parte aérea de *S. aphylla* hallada en cada una de las parcelas analizadas, y el respectivo coeficiente de variación C.V. para cada parcela; el CV. es la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, lo que da una interpretación “relativa” del grado de variabilidad del elemento analizado. Los valores están expresados considerando dos cifras significativas para su incertidumbre, no incluida en esta tabla.

El elemento que mayor C.V. presenta dentro de la raíz y parte aérea de *S. aphylla* es Sm con 125 y 122% respectivamente. Este es un elemento que por lo general presenta concentraciones bajas en la planta tanto en la raíz (0,0012  $\mu g/g$  S2P1) como en la parte aérea (0,00403  $\mu g/g$  en S5P1), donde sus valores mínimos no llegan a la unidad, seguido por K con C.V. de 117 % en la raíz y valores que van desde 1100  $\mu g/g$  en S5P2 a 9800  $\mu g/g$  en S4P1; en contraste los sitios S5P2 y S4P1 son de pasivos ambientales con pH 7,71 y 7,84 respectivamente. Es posible que el K asimilado o retenido en la raíz se deba a la biodisponibilidad de captación generada por el ambiente iónico en el suelo además de que estos sitios presentan una textura arenosa que favorece la asimilación de K (Andrades y Martínez, 2014). Los valores de K en la parte aérea no tienen un gran C.V, pero las concentraciones son altas en todos los sitios, con una mediana de 7100  $\mu g/g$ . En la raíz de *S. aphylla* de S5P1 y S5P2 el U presentó un C.V de 101% pero hay que tener en cuenta que los valores tanto en raíz (0,38  $\mu g/g$  de mediana) como en parte aérea (0,22  $\mu g/g$ ) son bajos; lo que hay que destacar es la captación por parte de la planta ya que los valores en el suelo si son altos, destacando la presencia de U en la parte aérea 0,637  $\mu g/g$  de *S. aphylla* hallada en

el sitio S2P1, que está ubicado cerca al arroyo El Tigre, y no es zona minero industrial. En este sitio S2P1, la presencia en la raíz no fue detectada y los valores de U en el suelo son de 2,8 µg/g que hace parte de la media normal de U en la corteza terrestre (IAEA, 2006); se destaca que este sitio presenta un pH de 8,83, más alto que el de los pasivos ambientales S4P1 7,84, S5P1 7,85 y S5P2 7,71; en los cuales los valores de U son para S4P1 de 143 µg/g, S5P1 49,6 µg/g y S5P2 de 76 µg/g, lo cual puede deberse a que el valor de pH es más alto y facilita su asimilación hasta la parte aérea además de que S2P1 se puede ver afectado por material particulado que llega de la zona minero industrial. El contraste entre el contenido de U en la parte aérea de los sitios de pasivos ambientales y la parte aérea de S2P1 puede estar relacionado a esos valores de pH en el sitio. Además en la parte aérea de S5P1 no se detectó U y el valor en S5P2 es de 0,227 µg/g y 0,664. Entre los metales pesados el U hace parte de los difícilmente disponibles o asimilables por la vegetación al igual que el Cr, elemento que está presente en el suelo y en la vegetación (Farid *et al*; 2013). Su C.V en el suelo es de 45,6 %, en la raíz 66,1% y 36,4% en la parte aérea. El exceso de Cr en la vegetación frecuentemente induce fitotoxicidad en la germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas (Zeng et al, 2011), afecta el crecimiento de tallos y raíces, desarrollo de las hojas (Tiwari et al, 2009) en la translocación de agua y nutrientes y la división celular (Singh et al. 2013), así como también afecta la producción de clorofila y la actividad enzimática (Liu et al. 2008) lo cual finalmente afecta la salud de la planta y en las semillas su éxito germinativo a concentraciones superiores a 75 µg/g (Hira et al, 2019).

En la raíz de *S. aphylla* la concentración de los metales pesados y metaloides se puede expresar de la siguiente manera (con excepción de K y Ca cuyos valores siempre son altos en la vegetación): Sr>Na>Fe>Zn>Ba>Cr>Rb>Br>U>Cs>Ce> As>La>Co>Sm>Th>Hf>Sc >Eu y las concentraciones de cada uno de los elementos en la parte aérea de *S. aphylla* se presentaron así Sr>Na>Zn>Fe>Ba>Rb>Br>Cr>Cs>U>Ce>As>La>Co>Th>Hf> Sm>Sc>Eu. Las concentraciones altas en la raíz no implican que estas sean altas en la parte aérea, por ejemplo como ocurre con el Cr, el cual presenta mayores concentraciones en la raíz que el Rb y el Br, pero en la parte aérea son mayores las concentraciones del Rb y Br que las concentraciones de Cr.

### 3.3 Correlación entre la concentración de metales pesados hallados en el suelo, la raíz y la parte aérea

Se identificó correlación positiva o alta intensidad de relación lineal con significancia probabilística de la hipótesis nula (relación aleatoria) de  $p < (0.05)$  entre los contenidos de metales pesados hallados en la raíz de *S. aphylla* y el contenido de metales pesados hallados en su parte aérea para todos los sitios.

En la Figura 2a, las concentraciones de los elementos en el suelo mostraron correlación positiva con las concentraciones de los elementos en la raíz de *S. aphylla* y su parte aérea, con probabilidad muy por debajo de 0.05 ( $P < 0.05$ ). Es decir las concentraciones de los elementos en el pasivo ambiental S5P2 condicionan o influyen en la presencia de estos en la raíz y en la parte aérea. La concentración de metales pesados en el suelo del sitio S5P2 correlaciona de manera positiva con las concentraciones de metales pesados tanto del suelo como de la raíz y parte aérea del sitio S5P1, lo cual tal vez se deba a la cercanía y factores como la pendiente

del terreno. Las concentraciones de los elementos en el suelo del sitio S5P1 correlacionan de manera positiva pero con bajo valor, con las concentraciones de metales pesados en la raíz y parte aérea de la vegetación presente en el sitio S5P1. Los demás sitios (Figuras 2b a 2e) correlacionaron de manera positiva únicamente entre los valores de metales pesados determinados en la raíz y los valores determinados en la parte aérea, las concentraciones de los elementos en el suelo no influyeron de manera notoria en los valores hallados en la planta, debido posiblemente a la biodisponibilidad de los elementos y de manera concreta a los valores de pH en cada uno de los sitios, ya que el pH es altamente influyente en la captación o retención de los elementos por parte de la vegetación, por lo general mayor asimilación de metales pasados por parte de la planta se da en ambientes con pH bajo (Lian et al; 2014).

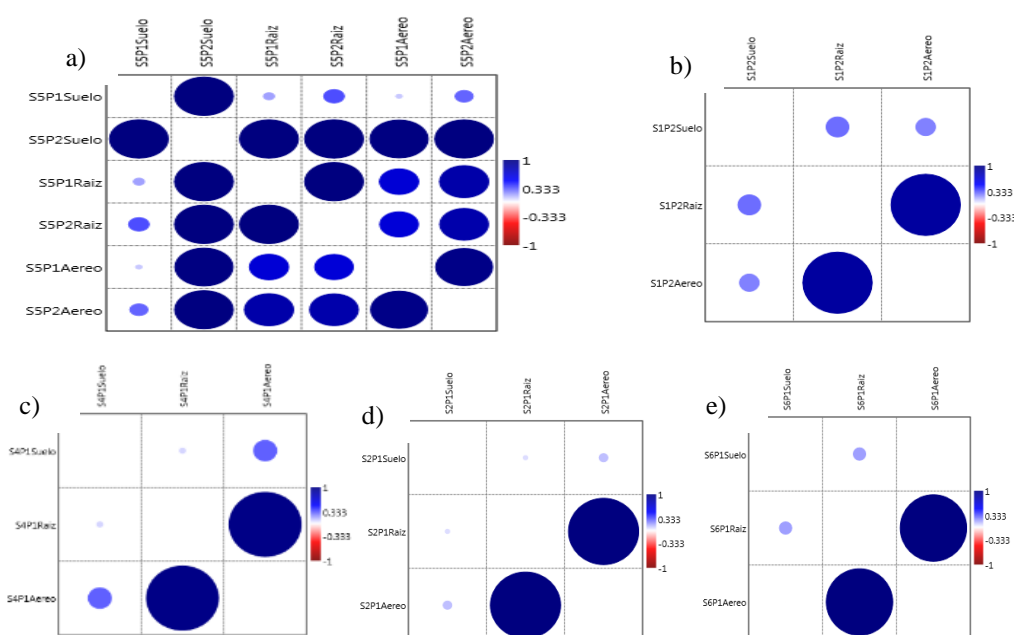


Figura 2. a) Correlación entre la concentración de metales pesados hallados en el suelo, la raíz y la parte aérea de *S. aphylla* para S5P1 y S5P2. b) *idem* S1P2, c) S4P1, d) S2P1 y e) S6P1

Las concentraciones de los metales pesados en las raíces de *S. aphylla* fueron superiores a las medidas en la parte aérea, casi en todas las parcelas y para todos los elementos, con excepción del S1P2 donde la concentración de los elementos fue mayor en la parte aérea y sólo Na, Fe, Cr y Co se presentaron en mayor proporción en la raíz. Este sitio es el más alejado de la zona minero industrial y presenta el pH más alto 9,05. En casi todos los sitios hay mayor concentración de Zn, Rb, Cs (a excepción de S2P1) y de Br en la parte aérea.

El As sólo se pudo detectar tanto en la raíz como en la parte aérea de *S. aphylla* de las parcelas S5P1 y S5P2 a pesar de ser detectado en las muestras de suelo de todas las parcelas;

no se detectó en las raíces de *S. aphylla* hallada en las parcelas S2P1 y S4P1, el valor de As en el suelo de S4P1 fue de los más altos (21,26 µg/g). La concentración típica de As va desde 10 µg/g en suelos no contaminados (Adriano, 1986), a valores tan altos como 30,000 µg/g en suelos contaminados (Vaughan, 1993). Lo afirmado por Lian et al; (2014), acerca del pH se detecta en S5P2, que es el sitio con el pH más bajo y la mayor asimilación de As, Tablas 1 y 2.

### 3.4 Factores de Bioconcentración y Translocación

Se determinó el FBC para estimar si los metales se transfieren del suelo a la raíz de la planta (Tabla 3). Para evaluar la habilidad de *S. aphylla* para translocar los metales desde la raíz hacia la parte aérea se calculó el FT (Tabla 4).

Los factores de bioconcentración para *S. aphylla* estuvieron entre 2,99 - 28,47 para el Zn, 0,18 - 0,62 para Sr; 0,0001- 0,0035 para Sc, 0,01 - 0,03 para Rb; 0,0005 - 0,0025 para La; 0,0008 - 0,004 para Fe; 0,0018 - 0,0050 para Eu; 0,0055 - 0,023 para Cs; 0,0060 - 0,113 para Cr; 0,0006 - 0,0047 para Co; y entre 0,0017 - 0,0059 para As. Estos valores son bajos para la mayoría de los elementos analizados e indican que en *S. aphylla* no hay hiperacumulación. Aunque en el caso del Zn se observó valores elevados para S6P1 con 28,47; S4P1 con 16,45 y en S5P1 con 2,99.

Para evaluar la habilidad de *S. aphylla* para translocar los metales desde la raíz hacia la parte aérea (Tabla 4) se observa que La y Sm van desde (0,2 a 12,2) y (0,27 a 47,1) respectivamente, con los valores más altos pertenecientes al sitio S2P1, seguido por K (0,72 a 6,10 en S5P1 el valor más alto); Br (1,4 a 5,7 en S6P1 el valor más alto); Zn (0,37 a 4,0 en S5P2 el valor más alto); Cs (0,5 a 2,82 en S6P1 el valor más alto); Ba (0,37 a 2,4 en S1P2); Cr (0,21 a 3,5 en S2P1); Ca (0,41 a 1,20 en S1P2); Eu (0,35 a 1,74 en S2P1 el valor más alto); Fe de (0,36 a 1,25 en S4P1 el valor más alto); Sr de (0,55 a 1,17 en S6P1 el valor más alto). El resto de los elementos presentaron FT muy bajos y en algunos casos no pudieron calcularse como consecuencia de no ser detectado en la raíz o la parte aérea. Las plantas acumuladoras de metales se caracterizan por  $FT > 1$  (Raskin y Ensly 2000, Tu *et al.* 2003).

El Br, un elemento no esencial para plantas y animales, aunque es uno de los más abundantes en la corteza terrestre, presentó en todos los sitios valores de  $FT > 1$ ; los suelos de cenizas volcánicas contienen grandes cantidades de Br debido a los contenidos en el material parental e impacto de la exhalación volcánica (Kabata-Pendias 2011), las mayores concentraciones se dan en zonas costeras, Yuita (1983) reportó 495 µg/g de Br, en suelos costeros de Japón. Las concentraciones reportadas de Br en plantas terrestres varían de  $<1$  a 285 mg kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias y Szteke 2015). A pesar de que no obtuvimos valores de Br en el suelo, Kabata-Pendias y Szteke (2015) sugiere que su presencia en la planta depende de su presencia en el suelo, y muchas veces los valores en las plantas pueden ser mayores a lo encontrado en el suelo (Shtangeeva, 2017).

El Zn, K, Cs, La, Sc y Rb están presentes en casi todos los sitios, y los que aparecen solamente en un sitio o dos, como el Ba, Ca, Co, Cr, Eu, Fe, Na, Sr, Sm, indican que estos son elementos transferibles en *S. aphylla*, mientras que para el resto de los metales en los sitios



donde el FT fue menor a 1, hay poco paso a la parte aérea del elemento pero hay estabilización de los mismos. De esta manera, aunque FT del Ba en S2P1 y S5P1, Th en S5P2, Co en S5P2 y As en S5P1 no son superiores a 1 están muy cercanos a este valor, por lo que es oportuno indicar que estos elementos podrían ser considerados como transferibles en *S. aphylla*, y los elementos que tienen un valor muy bajo en esta relación son elementos que están estabilizados en la raíz de la planta, como es el caso de U y Th en S5P2, Co en S5P1, Zn en S2P1 entre otros.

Aunque los FT indican una translocación hacia la parte superior de *S. aphylla* para algunos de los elementos determinados, los valores de FBC bajos, indican débil paso del suelo a la raíz o débil transferencia de esos elementos del suelo a la planta. Se puede identificar que la eficacia de *S. aphylla* para asimilar los elementos no es lo único que influye en el FBC y FT, sino que es posible que factores tales como el pH, textura del suelo, contenido de materia orgánica, entre otros estén influyendo. Hay especies de plantas que toleran las concentraciones elevadas de metales en el suelo aunque restringen su absorción y translocación hacia las hojas. Sin embargo, otras los absorben y acumulan activamente en su biomasa.

#### 4. Conclusiones

Hubo correlación positiva entre las concentraciones de los elementos en el suelo con las concentraciones de los elementos en la raíz de *S. aphylla* y su parte aérea para los sitios S5P1, S5P2, S1P2 y los demás sitios presentaron correlación positiva entre la concentración de los elemento en la raíz y la concentración de estos en la parte aérea.

Las concentraciones de los metales pesados en las raíces de *S. aphylla* fueron superiores a las medidas en la parte aérea, casi en todas las parcelas y para todos los elementos

El Zn presentó un FBC para *S. aphylla* entre 2,99 - 28,47 lo que manifiesta un alto potencial de extracción del Zn del suelo hacia la planta.

El Zn, K, Cs, La, Sc, Rb, Ba, Ca, Co., Cr, Eu, Fe, Na, Sr y Sm son elementos que se transfieren desde la raíz a la parte aérea de *S. aphylla*.

Elementos como U, Th y Co entre otros, a pesar de no ser transferidos, debido a FT muy por debajo de 1, se encuentran estabilizados en la raíz de *S. aphylla*.

Los resultados se obtuvieron en *S. aphylla*, una especie nativa que ha crecido de manera natural en las diferentes parcelas, de las cuales tres son de pasivos ambientales; es necesario realizar proyectos multidisciplinarios que involucren la incorporación de variables como por ejemplo la presencia de micorrizas en el suelo y en sistema radicular de la planta para comprender mejor los procesos de asimilación e incorporación de metales pesados.

## 5. Tablas

**Tabla 1.** Concentración en suelo de metales pesados ( $\mu\text{g/g}$ ) y Fe en (%), valores de pH para cada una de las 6 parcelas muestreadas. En negrita se indican los valores de uranio que sobrepasan los valores medios en la corteza terrestre que están entre 2-3  $\mu\text{g/g}$  (IAEA, 2006), respecto a las concentraciones de los valores hallados en el total de parcelas. nd: no detectado

	As	Sb	Ce	Eu	La	Lu	Nd	Sm	Yb	Co	Fe %	Hf	Sc	Cr	Cs	Rb	Sr	Th	U	Zn	MO	Ph
<b>S1P2</b>	7,9	0,545	62,6	1,298	30,07	0,321	19	5,58	1,96	14,91	41,52	6,04	13,38	52,9	5,17	89	517	9,91	2,16	nd	nd	9,05
<b>S2P1</b>	8,18	0,542	69,1	1,338	32,41	0,323	29,3	5,316	1,73	13,82	42,6	5,12	11,68	50,9	6,76	73	615	9,92	2,8	nd	nd	8,8
<b>S4P1</b>	<b>21,26</b>	1,315	106,4	1,262	46	0,11	71,9	17,57	1,54	6,59	19,91	4,37	5,119	18	11,76	83	431	6,69	<b>143</b>	2	0,41	7,84
<b>S5P1</b>	<b>25,8</b>	1,465	106,2	2,13	44,9	0,183	61,5	15,28	2,42	14,99	36,24	5,3	8,18	30,6	18,23	86	566	9,79	<b>76</b>	4	4	8
<b>S5P2</b>	13,4	1,526	83,9	1,14	39,06	0,287	43,1	10,48	1,83	7,24	27,24	6,25	6,804	28,7	16,28	96	nd	8,14	<b>49,6</b>	nd	nd	7,71
<b>S6P1</b>	7,6	0,515	64,5	1,313	32,36	0,234	29,9	6,404	1,44	6,07	19,35	5,18	5,413	19,1	10,54	63	518	6,73	4,1	0,3	0,82	7,79

**Tabla 2.** Concentración de metales pesados As, Na (µg/g) y Ca, K (%) en raíz y parte aérea de *S. aphylla* hallada en cada una de las parcelas analizadas, medianas y el respectivo C.V. para cada parcela. nd: no detectado

Lugar	As	Ba	Br	Ca %	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K %	La	Na	Rb	Sc	Sm	Sr	Th	U	Zn
<b>S1P2Raíz</b>	nd	4,567	1,817	4,8	nd	0,029	2,98	nd	0,0054	39,96	nd	2,2	0,016	69	1,088	0,0048	0,0033	96,8	nd	nd	15,7
<b>S2P1Raíz</b>	0,033	5,296	0,229	9,8	nd	0,008	0,31	0,037	0,005	35,98	nd	nd	0,008	18,5	1,103	0,0012	0,0012	237	nd	nd	17,7
<b>S4P1Raíz</b>	Nd	11,35	1,434	7,0	nd	0,013	0,35	0,28	0,0068	24,05	nd	9,8	0,016	12,5	2,926	0,0029	nd	116	nd	nd	32,9
<b>S5P1Raíz</b>	0,043	2,367	1,265	7,9	0,135	0,036	1,92	0,296	0,0038	60,44	0,013	1,2	0,052	289	1,608	0,0153	0,0145	250	0,019	0,11	11,9
<b>S5P2Raíz</b>	0,079	4,496	0,224	8,1	0,444	0,026	1,92	0,188	0,0057	75,1	0,008	1,1	0,122	93,8	1,593	0,0183	0,059	177	0,022	0,66	7,85
<b>S6P1Raíz</b>	0,044	6,897	0,503	13,7	0,157	0,029	2,17	0,088	0,0048	76,63	0,015	nd	0,079	105	1,04	0,0187	0,0156	322	0,018	nd	8,54
<b>Mediana</b>	0,0435	4,93	0,884	8	0,157	0,0275	1,92	0,188	0,0052	50,2	0,013	1,7	0,034	81,4	1,384	0,0100	0,0234	207	0,019	<b>0,385</b>	13,8
<b>C.V</b>	40,4	52,7	<b>74,7</b>	35,1	<b>70,2</b>	45,5	66,1	64,37	19,0	42,0	30,0	<b>117,3</b>	<b>92,2</b>	<b>103,1</b>	45,9	<b>79,3</b>	<b>125,1</b>	43,0	10,5	<b>101,0</b>	58,6
<b>S1P2Aérea</b>	nd	11,3	10,46	5,8	nd	0,0218	0,68	nd	0,0074	39,7	nd	7,4	0,0314	43,4	1,67	0,00904	0,0073	108	nd	nd	29,2
<b>S2P1Aérea</b>	nd	5,0	0,960	5,4	0,313	0,0170	1,09	0,0480	0,0087	32,2	nd	nd	0,0999	74,0	0,84	0,00494	0,0554	164	0,0071	0,637	6,7
<b>S4P1Aérea</b>	nd	4,3	5,58	2,9	0,190	0,0089	0,719	0,156	0,00305	30,3	nd	7,1	0,0227	11,8	3,43	0,00505	0,00736	64,5	nd	0,098	35,4
<b>S5P1Aérea</b>	0,031	2,1	1,82	5,1	nd	0,0092	0,43	0,676	0,00133	29,7	nd	7,2	0,0155	83,4	4,64	0,00426	0,00403	148	0,0158	nd	36
<b>S5P2Aérea</b>	0,050	3,17	0,241	6,1	0,202	0,0207	0,56	0,484	0,00334	52,7	0,0113	5,2	0,0587	35,6	5,36	0,01215	0,01721	135	0,0128	0,227	31,4
<b>S6P1Aérea</b>	nd	15,8	2,29	14,4	0,084	0,0117	0,47	0,248	0,00214	27,9	nd	4,4	0,0265	26,2	3,28	0,00614	0,0054	378	nd	nd	33,5
<b>Mediana</b>	0,045	4,65	2,055	5,6	0,196	0,0143	0,62	0,248	0,0031	31,25	0,0113	7,1	0,0289	39,5	3,355	0,0055	0,0073	141,5	0,0128	0,227	32,45
<b>C.V</b>	33,1	<b>77,7</b>	<b>108,1</b>	60,1	47,4	38,5	36,4	<b>79,0</b>	69,2	26,5	0	21,8	<b>74,9</b>	60,7	53,5	44,2	<b>122,8</b>	65,8	37,1	<b>87,7</b>	38,5

**Tabla 3.** Factor de Bioconcentración (FBC) para *S. aphylla* en cada uno de los sitios del CMFSR donde fue hallado el mismo elemento en suelo y en la raíz.

Lugar	As	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	La	Rb	Sc	Sm	Sr	Th	U	Zn
<b>S1P2</b>	-	-	0,0019	0,056	-	0,0042	0,0010	-	0,0005	0,012	0,0004	0,0006	0,19	-	-	-
<b>S2P1</b>	0,0040	-	0,0006	0,0060	0,0055	0,0037	0,0008	-	0,0003	0,015	0,0001	0,0002	0,38	-	-	-
<b>S4P1</b>	-	-	0,0019	0,019	0,024	0,0054	0,0012	-	0,0003	0,035	0,0006	-	0,27	-	-	16
<b>S5P1</b>	0,0017	0,0013	0,0024	0,063	0,016	0,0018	0,0017	0,0025	0,0012	0,019	0,0019	0,0010	0,44	0,0019	0,0014	3,0
<b>S5P2</b>	0,0059	0,0053	0,0036	0,067	0,012	0,0050	0,0028	0,0013	0,0031	0,017	0,0027	0,0056	-	0,0028	0,0134	-
<b>S6P1</b>	0,0058	0,0024	0,0047	0,12	0,0083	0,0037	0,0040	0,0028	0,0025	0,017	0,0035	0,0024	0,62	0,0026	-	28

**Tabla 4.** Factor de Translocación (FT) para *S. aphylla*

Lugar	As	Ba	Br	Ca	Ce	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	Hf	K	La	Na	Rb	Sc	Sm	Sr	Th	U	Zn
<b>S1P2</b>	-	2,5	5,8	1,2	-	0,76	0,23	-	1,4	0,99	-	3,3	2,0	0,63	1,5	1,9	2,2	1,1	-	-	1,9
<b>S2P1</b>	-	0,94	4,2	0,55	-	2,1	3,6	1,3	1,7	0,90	-	-	12	4,0	0,76	4,0	47	0,70	-	-	0,38
<b>S4P1</b>	-	0,38	3,9	0,41	-	0,70	2,1	0,56	0,45	1,3	-	0,72	1,5	0,94	1,2	1,7	-	0,56	-	-	1,1
<b>S5P1</b>	0,73	0,91	1,4	0,65	-	0,26	0,23	2,3	0,35	0,49	-	6,1	0,30	0,29	2,9	0,28	0,28	0,60	0,84	-	3,0
<b>S5P2</b>	0,64	0,70	1,1	0,75	0,46	0,80	0,29	2,6	0,58	0,70	1,4	4,8	0,48	0,38	3,4	0,66	0,29	0,76	0,57	0,34	4,0
<b>S6P1</b>	-	2,3	4,6	1,1	0,53	0,41	0,21	2,8	0,44	0,36	-	-	0,33	0,25	3,2	0,33	0,35	1,2	-	-	3,9



## 6. Agradecimientos

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).

## 7. Bibliografía

Adriano, D.C. Trace elements in the terrestrial environment. New York: Springer, 1986. 867p

Andrades M y Martínez, M.A Fertilidad del Suelo y Parámetros que la Definen.<sup>3ª</sup> Edición. Logroño Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones 2014. 29 pág. U. Digital.-(Material didáctico), agricultura y alimentación.

Berefo E. 2014 Phytoremediation of heavy metal contaminated soil using *Senna hirsuta* (L.), *Panicum maximum* (Jacq.) and *Helianthus annuus* (L.). BSc. Applied Biology. Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi.

Callejas C., M. 2009. Evaluación de *Cynodon dactylon* (L) Pers y *Senna tomentosa* Batka como plantas extractoras de Zn y Cd. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza, UNAM.

Castaño-Gañán A.R., Jasan R. Y Invernizzi R. 2018. Análisis por activación neutrónica para la determinación de metales pesados en suelos del Complejo Minero Fabril De San Rafael, Mendoza. En actas e-ICES 13.

Chibuzo Ugwu, Emmanuel, Nwadinigwe, Alfreda and Chinenye Agbo, Benita. 2019. Phytoremediation of heavy metals in spent engine oil-polluted soil by *Senna alata* L. 10.1101/532887.

De Marco, Rudinei, Da Silva, Rodrigo, O. Da Ros, Clovis, Vanzam, Mateus and Boeno, Daniel. 2017. *Senna multijuga* and peat in phytostabilization of copper in contaminated soil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 21. 421-426. 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p421-426.

Farid, Mujahid, Ali, Shafagat, Shakoor, Muhammad, Bharwana, Saima, Rizvi, Hina, Ehsan, Sana, Tauqee, Hafiz Muhammad, Iftikhar, Usman and Hannan, Fakhir. 2013. EDTA assisted phytoremediation of Cadmium, Lead and Zinc. International Journal of Agronomy and Plant Production. 4. 2833-2846.

Galán Huertos, E y Romero Baena, A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Conferencia Macla 10:48-60 pp.

Hira Amin, Basir Ahmed Arain, Muhammad Sadiq Abbasi, Farah Amin, Taj Muhammad Jahangir and Noor-ul-Ain Soomro (2019) Evaluation of chromium phyto-toxicity, phyto-tolerance, and phyto-accumulation using biofuel plants for effective phytoremediation,

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), Uranium 2006: Resources, Production and Demand, OECD Publishing.

Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants, 4th ed. ed. Boca Raton, FL: CRC Press Taylor & Francis Group.

Kabata-Pendias, A., and B. Szteke. 2015. Trace elements in abiotic and biotic environments. Boca Raton, London, New York: CRC Press Taylor & Francis Group.

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.

Lian M. H, Sun, L.N, Hu, X. M and Tang, J. X. 2014. Effects of soil pH on phytoremediation of *Sedum sflfredii* Hance in Cd and Zn contaminated soil. Chinese Journal of Ecology. 33. 3068-3074.

Liu D, Zou J, Wang M, Jiang W. 2008. Hexavalent chromium uptake and its effects on mineral uptake, antioxidant defence system and photosynthesis in *Amaranthus viridis* L. Bioresour Technol. 99(7):2628–2636.

Mahmood, T. 2010. Phytoextraction of heavy metals-the process and scope for remediation of contaminated soils. Soil & Environment, 29(2), 91–109.

Mansilla M.Y., y Dieguez S.R. 2013. Modelamiento geológico mediante “software” minero del sector Tigre I. La Terraza: Distrito Uranífero Sierra Pintada, provincia de Mendoza. Revista de la CNEA, Año XIII, N° 51-52. Pag 21-31.

Mazzucco., F.A. Análisis del contenido de elementos traza y comportamiento acumulador en plantas de la Cuenca del río Jáchal, provincia de San Juan. Tesis-Recursos Naturales Renovables, UNCuyo. 2018

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

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.

Pulford, L.D. and Watson, C. (2003) Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Land by Trees—A Review. International Journal of Environment, 29, 529-540. [http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00152-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00152-6)

Raskin I. y Ensley B.D. 2000. Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons, New York. 304pp.

Schnoor, J.L., Licht, L.A., McCutcheon, S.C., Wolfe, N.L. and Carriera, L.H. (1995) Phytoremediation: An Emerging Technology for Contaminated Soils. Environ. Sci. Technol., 29:318-323A

Shahandeh, H., Lee, J.H., Hossner, L.R., Loepper, R.H. (2001). Bioavailability of uranium and plutonium in soil-water systems and the potential of phytoremediation. In: Gobran, G.R., Wenzel, W.w., Lombi, Trace Elements in the Rhizosphere. CRC Press, pp. 93-126.

Shahid, M., Khalid, S., Abbas, G., Shahid, N., Nadeem, M., Sabir, M., Aslam, M., Dumat, C., 2015. Heavy metal stress and crop productivity. In: Hakeem, K.R. (Ed.), Crop Production and Global Environmental Issues. Springer International Publishing, pp. 1–25

Scotti, A., Silvani V., Cerioni J., Visciglia M., Benavidez M., Godeas A., (2019). Pilot testing of a bioremediation system of water and soils contaminated with heavy metals: Vegetable Depuration Module. International Journal of Phytoremediation. doi:10.1080/15226514.2019.1583634.

Shtangeeva, Irina. 2017. Bromine Accumulation in some Crops and Grasses as determined by Neutron Activation Analysis, Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1-9.

Singh HP, Mahajan P, Kaur S, Batish DR, Kohli RK. 2013. Chromium toxicity and tolerance in plants. Environ Chem Lett. 11(3):229–254. doi:10.1007/s10311-013-0407-5.

Song, J., Yong, M., & Wu Long, H. (2005). Chelate-enhanced phytoremediation of heavy metal contaminated soil. Biogeochemistry of Chelating Agents. In B. Nowack, ., & J. M. VanBriesen (Eds.), (pp. 366–382): American Chemical Society.

Ssenku, J.E., Ntale, M., Backéus, I., & Oryem-Origa, H. (2014). Assessment of Seedling Establishment and Growth Performance of *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit., *Senna siamea* (Lam.) and *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid. in Amended and Untreated Pyrite and Copper Tailings.

Shukla V, Upreti DK, Patel DK, Tripathi R. 2010 – Accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in some lichens of Garhwal Himalayas, India. International Journal of Environment and Waste Management 5(1/2), 104–113.

Tiwari KK, Dwivedi S, Singh NK, Rai UN, Tripathi RD. 2009. Chromium (VI) induced phytotoxicity and oxidative stress in pea (*Pisum sativum* L.): biochemical changes and translocation of essential nutrients. J Environ Biol. 30(3):389–394.

Tu C., Ma I.Q. y Bondada B. 2003. Arsenic accumulation in the hyperaccumulator Chinese brake and its utilization potential for phytoremediation. J. Environ. Qual. 31,1671-1675.

Vara Prasad MN, de Oliveira Freitas HM. 2003. Metal hyperaccumulation in plants: Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. Electron J Biotechn 6:285–321.

Vaughan, G.T. The environmental chemistry and fate of arsenical pesticides in cattle tick dip sites and banana land plantations. Melbourne: CSIRO Division of Coal Industry, Center for Advanced Analytical Chemistry, NSW, 1993

Vidali, M. 2001. Bioremediation: An overview. *Journal of Applied Chemistry*, 73 (7), pp. 1163-1172.

Yuita, K. 1983. Iodine, bromine and chlorine contents in soils and plants of Japan. III. Iodine, bromine and chlorine contents in the Andosols and in plants of Central Honshu. *Soil Science and Plant Nutrition* 29 (4):403–28.

Zeng F, Zhao F, Qiu B, Ouyang Y, Wu F, Zhang G. 2011. Alleviation of chromium toxicity by silicon addition in rice plants. *Agric Sci China*. 10(8):1188–1196. doi:10.1016/S1671-2927(11)60109-0

Zhu, Y.G., Shaw, G. 2000. Soil contamination with radionuclides and potential remediation. *Chemosphere* 41, 121-128.

# MÉTODO WUDAPT PARA LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA. ANÁLISIS DE ZONAS IDENTIFICADAS Y SU COMPORTAMIENTO TÉRMICO.

M. F. Colli<sup>1</sup> E.N. Correa<sup>2</sup> C. F. Martinez<sup>3</sup>

*Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE - CCT CONICET Mendoza)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)*

e-mail: [mfcolli@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:mfcolli@mendoza-conicet.gob.ar)

## RESUMEN

*El trabajo tiene por objetivo considerar la aplicabilidad del sistema de Zonas Climáticas Locales -LCZ- propuesto por Stewart y Oke en el Área Metropolitana de Mendoza -AMM-. Como hipótesis se sostiene que la zonificación microclimática permitiría un ordenamiento ambiental de la ciudad en relación a la disponibilidad de recursos climáticos y sus posibilidades de aprovechamiento para el diseño sustentable del parque edilicio y el uso de las energías renovables. Para corroborar si la zonificación generada es congruente con el comportamiento térmico de la ciudad, a partir de análisis de imágenes satelitales se ha evaluado la distribución de la temperatura superficial del AMM, a partir del procesamiento de imágenes LANDSAT 8.*

*La implementación del sistema en Mendoza se realiza con la herramienta WUDAPT. La misma presenta como limitación la imposibilidad de generar subclases, y que las clases puras propuestas en la metodología no describen de manera acabada la condición de los canales viales del AMM en verano. Esto se debe a la existencia de una intensa forestación urbana, donde el arbolado en alineación actúa como un elemento estructurante de la morfología, y genera que las clases dentro del sistema de clasificación propuesto no sean puras, afectando la relación entre SVF (factor de visión de cielo), H/W (relación alto/ancho de canal vial), FOS (factor de ocupación de suelo), superficie impermeable y altura promedio de los elementos. Otra limitación es el tamaño de las zonas de entrenamiento, exige áreas homogéneas de 1 Km<sup>2</sup>, condición difícil de cumplir en el AMM. Los resultados muestran que el modelo de LCZ necesita ser adaptado para la apropiada caracterización de las zonas climáticas en ciudades con abundante forestación urbana, cuya tipología es creciente en América. Superadas las limitaciones, las zonas climáticas identificadas muestran cierta correlación con el desempeño térmico de los distintos sectores de la ciudad.*

**Palabras clave:** Clima urbano, Isla de Calor, Zonas Climáticas Locales, AMM.

## INTRODUCCIÓN

El planeamiento urbano tiene una transcendencia fundamental para informar, coordinar e implementar medidas que mejoren la calidad ambiental de las ciudades frente al cambio climático. Para la mitigación del calentamiento urbano se han propuesto estrategias, a nivel internacional, susceptibles de ser incorporadas en la planificación territorial. Especialmente en la “pequeña escala”, existe una amplia experiencia de diseño bioclimático urbano. A su vez, en los últimos años se ha producido a nivel edilicio un importante esfuerzo para aumentar la eficiencia energética, con el objetivo de reducir de forma paralela el consumo de energía y la generación de gases de efecto invernadero.

Tal como expresan Betchel y colaboradores (2015) es necesario avanzar en el estudio del clima urbano y conocer las condiciones climáticas propias de cada urbe y cómo las mismas generan

---

<sup>1</sup> Becaria Doctoral CONICET

<sup>2</sup> Investigadora Independiente CONICET

<sup>3</sup> Investigadora Adjunta CONICET



estrés térmico, contaminación ambiental y propician distintas patologías en los habitantes urbanos que se encuentran bajo sus efectos. Para estudiar el efecto combinado del clima urbano, el cambio climático en las ciudades y evaluar la vulnerabilidad de las poblaciones urbanas, se necesitan modelos climáticos avanzados.

El uso de modelos climáticos demanda contar con información detallada sobre la superficie urbana, a fin de disponer de datos necesarios como parámetros de entrada para los modelos urbanos (Betchel, 2015). Uno de los modelos con mayor aplicación es el de Zonas climáticas locales (LCZ) desarrollado por Stewart y Oke (2012), el cual ha sido aplicado en distintos casos a nivel mundial, regional y local (Puliafito et al., 2013, Stewart et al., 2014, Monteiro 2018, Wang et al., 2018).

Dentro de este contexto, este trabajo tiene como objetivo, analizar la factibilidad de implementación en el AMM utilizando el método WUDAPT. Para corroborar si la zonificación generada es congruente con el comportamiento térmico de la ciudad, a partir de análisis de imágenes satelitales se ha evaluado la distribución de la temperatura superficial del AMM, a partir del procesamiento de imágenes LANDSAT 8.

Como hipótesis, considera que contar con una zonificación climática que permita estandarizar el estudio del clima urbano del AMM posibilitará disponer de una base teórica sólida para su planificación. La zonificación permitirá interrelacionar dinámica urbana y clima, para desarrollar estrategias de mitigación a distintos factores de riesgo. De modo específico, la configuración urbana del AMM, en lo que refiere a la fuerte presencia de arbolado en alineación de calles, demanda una adaptación y un ajuste a la metodología propuesta internacionalmente para que su implementación sea viable en la región.

## **METODOLOGÍA**

La metodología está compuesta por dos etapas: en la primera se hace un análisis del sistema propuesto por Stewart y Oke (2012) para la clasificación de LCZ; en la segunda se aplica el sistema WUDAPT en el AMM.

### ***Etapas 1: Modelo de análisis del Clima Urbano. Zonas Climáticas Locales***

Stewart y Oke (2012) desarrollaron un sistema de clasificación de paisaje, basándose en el clima de espacios urbanos y rurales, con el objetivo de estandarizar los estudios de UHI (urban heat island). El sistema comprende la categorización de LCZ que son “regiones uniformes en cobertura del suelo, estructura, materiales y actividades humanas que se extienden entre unos cientos de metros hasta algunos kilómetros en escala horizontal”. El sistema comprende la categorización en 17 LCZ (Figura 1), 15 de ellas definidas por la morfología de superficie y cobertura de suelo, y 2 definidas por el uso del suelo y los materiales de construcción predominantes en cada uno. El conjunto estándar es sectorizado en dos tipologías: a) construidas -LCZ 1 a 10-, y b) de cobertura de suelo - LCZ A a G.

Es decir que cada Zona Climática Local es el resultado de un conjunto de parámetros que configuran y caracterizan las propiedades morfológicas, de cobertura superficial, propiedades radiativas y propiedades metabólicas. Cada “zona” se nombra individualmente, distinguiendo el conjunto de propiedades superficiales que las caracteriza. Los parámetros utilizados en la definición de cada zona se muestran en la Tabla I. Teniendo en cuenta que cada clase describe un tipo construido o un tipo de cobertura natural, los parámetros están definidos sólo para las LCZ estándar, pero atendiendo a la realidad que una ciudad no se ajuste a los tipos propuestos, los autores proponen como alternativa la posibilidad de realizar una subclasificación combinando tipologías.

TIPOS DE EDIFICACIÓN	DEFINICIÓN	TIPOS DE COBERTURA	DEFINICIÓN
1. Compacto en altura	Edificación densa de edificios de más de 10 pisos. Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.	A. Bosque / Arbolado Denso	Densamente arbolado por especies perennifolias. Coberturas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosques, actividad forestal o parques urbanos.
2. Compacto de media altura	Edificación densa de mediana altura (3 a 9 pisos). Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: concreto, ladrillos, roca y cerámica.	B. Árboles dispersos	Arbolado disperso de especies perennifolias. Coberturas previas en su mayoría (plantas bajas). Zonas de bosques, actividad forestal o parques urbanos.
3. Compacto de baja altura	Edificación densa de baja altura (1 a 3 pisos). Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: concreto, ladrillos, roca y cerámica.	C. Arbustos	Arbustos, matas y árboles leñosos bajos dispersos. Coberturas previas en su mayoría (suelos desnudos o arena). Zonas de matorrales o agricultura.
4. Abierto en altura	Edificios de más de 10 pisos separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.	D. Plantas Bajas	Paisajes dominados por cultivos, plantas bajas y/o césped. Pocos árboles. Zonas de parques urbanos o de actividad agrícola.
5. Abierto de media altura	Edificios de mediana altura (3 a 9 pisos) separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: concreto, hierro, roca y vidrio.	E. Rocas o pavimento	Paisajes de rocas o zonas pavimentadas. Pocos árboles. Zonas de rocosas o para estacionamiento.
6. Abierto de baja altura	Edificios de baja altura (1 a 3 pisos) separados. Abundancia de coberturas previas (plantas bajas y algunos árboles). Materiales de construcción: madera, concreto, ladrillos, roca y cerámica.	F. Suelo descubierto o arena	Áreas de cobertura con arena o suelo descubierto. Poca cobertura vegetal. Zonas de desiertos o de agricultura (luego de cosecha).
7. Construcciones bajas	Densa edificación de un piso. Pocos árboles. Tierra compactada. Materiales de construcción livianos: madera, metal corrugado y paja.	G. Agua	Grandes cuerpos de agua libres como mares. O pequeñas áreas como ríos, reservorios y lagunas.
8. Grandes Construcciones bajas	Grandes edificaciones bajas (1 a 3 pisos) separadas. Pocos árboles. Pavimento. Materiales de construcción: hierro, concreto, metal y roca.	<b>VARIACIONES EN LAS PROPIEDADES DE LA COBERTURA</b>  <i>Variaciones que sufren las propiedades de la cobertura según las condiciones agrícolas, condiciones climáticas y/o ciclos estacionales.</i>	
9. Construcciones dispersas	Construcciones pequeñas o medianas dispersas en áreas naturales. Abundancia de las coberturas previas (plantas bajas, árboles dispersos)	b. Árboles desnudos	Árboles caducifolios (invierno). Incrementa la visión del cielo. Reducen el albedo.
10. Áreas Industriales	Edificios industriales de baja y media altura (chimeneas y tanques). Pocos árboles. Pavimento o tierra compactada. Materiales de construcción: metal, hierro y concreto.	s. Cubierta de nieve	Más de 10 cm de nieve. Aumenta el albedo. Disminuye el ingreso de energía.
		d. Suelo seco	Suelo seco. Disminuye el ingreso de energía. Aumenta el albedo. Gran ratio de Bowen.
		w. Suelo húmedo	Suelo muy húmedo. Aumenta el ingreso de energía. Disminuye el albedo. Bajo ratio de Bowen.

**Figura 1.** Zonas Climáticas Locales propuestas por Stewart y Oke (2012)

**Tabla I.** Valores de propiedades superficiales para cada LCZ.

Zona Climática Local (LCZ)	Relación H/W	SVF	Proporción de superficie del suelo con la cubierta del edificio (%).	Proporción de superficie del suelo con cubierta impermeable (roca, pavimento) (%).	Construcción media / altura del árbol zH	Calor Antropogénico
1-Compacto en altura	>2	0.2-0.4	40-60	40-60	>25	50-300
2- Compacto de media altura	0.75-1.5	0.3-0.6	40-70	30-50	8-20	<75
3-Compacto de baja altura	0.75-1.5	0.2-0.6	40-70	20-40	3-8	<75
4-Abierto en altura.	0.75-1.25	0.5-0.7	20-40	30-40	>25	<50
5-Abierto de media altura	0.3-0.75	0.5-0.8	20-40	30-50	8-20	<25
6-Abierto de baja altura	0.3-0.75	0.6-0.9	20-40	20-40	3-8	<25
7-Construcciones bajas	1-2	0.2-0.5	60-90	<10	2-4	<35
8-Grandes Construcciones bajas	0.1-0.3	>0.7	30-50	40-50	3-10	<50
9-Construcciones dispersas	0.1-0.25	>0.8	10-20	<20	3-8	<10
10-Áreas Industriales.	0.2-.05	0.6-0.9	30-30	20-40	5-15	<300
A-Bosque / Arbolado Denso	>1	<0.4	<10	<10	<3-30	0
B-Árboles dispersos	0.25-0.75	0.5-0.8	<10	<10	3-15	0
C-Arbustos	0.25-1.0	<0.9	<10	<10	<2	0
D-Plantas Bajas	<0.1	<0.9	<10	<10	<1	0
E-Rocas o pavimento	<0.1	<0.9	<10	<90	<0.25	0
F- Suelo descubierto o arena	<0.1	<0.9	<10	<10	<0.25	0
G-Agua	<0.1	<0.9	<10	<10	-	0

## Etapla 2: Aplicación del método WUDAPT en Mendoza

Se utilizó la herramienta World Urban Database y Access Portal Tools (WUDAPT), que es un proyecto comunitario que busca generar un censo de ciudades de todo el mundo ofreciendo herramientas para definir las LCZ. Esta herramienta es de acceso libre y permite cargar datos locales y compararlos con otras ciudades. Se aplica puntualmente a la Ciudad de Mendoza que posee clima árido, con amplias fluctuaciones de temperatura diarias y estacionales, intensa radiación solar en todas las estaciones y un régimen de baja precipitación anual ( $\approx 250$  mm). Los vientos locales son de tipo anabáticos catabáticos con una velocidad promedio de 2 m/s y de dirección NE y SO (Correa 2006). La ciudad posee un modelo urbano abierto de calles anchas y construcciones relativamente bajas, e intensa forestación que conforman túneles verdes (Cantón, et al, 2010). El aglomerado urbano está intensamente arbolado con especies plantadas en líneas paralelas a un sistema de conducción de riego artificial. El 68% de las especies arbóreas se concentra en tres tipos *Morus alba* ('morera', 39%), *Fraxinus ssp.* ('fresno europeo' y 'fresno americano', 20%) y *Platanus hispanica* ('plátano', 9%) (Martinez et al., 2014). Esta configuración urbana sumada a la intensa forestación de sus calles modifica las condiciones radiativas y de flujo de viento de los cañones urbanos, superando los efectos de la estructura edilicia en muchas zonas consolidadas de la metrópoli. Estas particularidades urbanas del AMM son las que generan que los parámetros definidos por Stewart y Oke (2012) para establecer cada zona estándar, a escala local se combinen de forma diferente a las establecidas para definir las propiedades microclimáticas de las zonas, que propone el sistema LCZ. Ante ello es necesario revisar la clasificación teniendo en cuenta las características específicas del área de estudio que determinan la necesidad de crear subclases en época estival.

En el caso de la propiedad H/W, teniendo en cuenta que más del 80% de la densidad edilicia corresponde a baja densidad, de 1 o 2 niveles (3 a 6 m de altura) y poseen un ancho de calle de 20 m; el H/W en el caso de 1 nivel es 0.15 y para el de caso de 2 niveles 0.3, siendo que según los parámetros definidos por Stewart y Oke corresponde que esta propiedad esté comprendida entre 1-2 (Tabla. 1). Un fenómeno similar ocurre con el SVF. Antecedentes locales muestran que, si se tuviera en cuenta sólo la morfología urbana, el AMM debería clasificarse en la LCZ 2, donde el SVF debe estar comprendido según la literatura entre 0.75-1.00, cuando la medición realizada indica un SVF de 0.13 (Sosa et al., 2016). Debido a que el arbolado urbano es un elemento estructurador y determinante de las LCZ por su capacidad de condicionar el SVF, resulta primordial realizar una LCZ en estación estival con el máximo desarrollo vegetativo del dosel forestal, como así también en la estación invernal donde sólo influye el ramaje desnudo dada la condición caducifolia de las especies arbóreas.

### ***Determinación de LCZ con WUDAPT***

Teniendo en cuenta las características del área AMM se desarrolló la aplicación del modelo LCZ con la utilización de la herramienta WUDAPT.

Este proyecto tiene como objetivo muestrear las LCZ, la cobertura del suelo y los tipos de uso del suelo. Este proceso se realiza a partir de los siguientes pasos especificados en el sitio web (<http://www.wudapt.org/>): el paso 1 que consiste en la descarga de datos y software, paso 2 generación de la clasificación LCZ y el paso 3 donde se suben y comparten los archivos generados. A continuación, se explica cómo se ha desarrollado cada paso en este trabajo.

#### ***Paso 1 Descarga de datos y software***

La selección de las imágenes satelitales Landsat 8, son descargadas de EarthExplorer del USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Para evitar la influencia del dosel de los árboles, que no permite la visualización por teledetección de la zona que se encuentra debajo del mismo, se seleccionan imágenes pertenecientes al invierno. Además, si se realizara en primavera-verano, sería necesaria la creación de subclases y el método WUDAPT se limita a clases puras. Por estas razones las imágenes seleccionadas corresponden al 24 de julio de 2018 (invierno en el hemisferio sur) a las 02:43:13 en UTC. El proyecto WUDAPT trabaja con Saga Gis, pero en este trabajo se opta por trabajar con Qgis para el procesamiento y análisis de las imágenes.

#### ***Paso 2 Generación de la clasificación LCZ.***

Se realiza en dos etapas. En la primera etapa, para el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales, se utilizó el software libre QGIS 3.2 'Bonn'. Las imágenes se proyectaron en Posgar 07 Argentina Faja 2. La calibración y la corrección atmosférica de todas las bandas se realiza automáticamente mediante el método DOS1 y los niveles digitales se convierten a valores de reflectancia (Picone 2017). Finalizada esta etapa, se genera una superposición de bandas, lo que da como resultado un ráster virtual, ya que la entrada para la clasificación debe ser un archivo ráster. Fusionadas todas las bandas, se hace un recorte del área de interés.

En la segunda etapa se realiza la Clasificación mediante teledetección. Para generar las LCZ con el método WUDAPT se utiliza la Clasificación Supervisada, donde se parte de un conjunto de clases conocido a priori, es decir, es el proceso de asignar clases de cobertura terrestre a píxeles. En dicha clasificación deben seleccionarse muestras representativas para cada clase de cobertura terrestre definidas con anterioridad, en este caso, cada LCZ definida por Stewart y Oke. Luego, el software utiliza estos "sitios de entrenamiento" que sirven para "entrenar" al ordenador en el conocimiento de las distintas categorías y los aplica a toda la imagen, es decir, con los atributos de píxeles de una identidad conocida, se clasifican los píxeles de identidad desconocida (Linares 2011). En este trabajo, se realizó una clasificación supervisada con algoritmo de mínima distancia para lograr la clasificación de zonas.

Para realizar el proceso de clasificación se utiliza el complemento "Semi-Automatic Classification Plugin" (SCP) de código abierto y gratuito para QGIS, que permite la clasificación semiautomática de imágenes de teledetección. Finalizada la selección de las áreas de entrenamiento, se ejecuta el algoritmo de clasificación, el ordenador calcula las estadísticas elementales de cada categoría y

con los atributos de píxeles de estas se clasifican los píxeles de identidades desconocidas. Este cálculo se aplica a todas las bandas que intervienen en la clasificación. El resultante u output file es un archivo raster (.tif) donde cada valor de píxel corresponde a una categoría definida previamente.

### *Paso 3 Compartir los archivos generados*

Esta etapa consiste en compartir los resultados y que se encuentren disponibles para la comunidad de expertos urbanos e investigadores interesados en la temática. De esta manera se conforma un censo de ciudades de todo el mundo. Los mapas se encuentran disponibles en Geopedia ([https://geopedia.world/#t4\\_x4167958.278334089\\_y743579.4111581943\\_s2\\_b17](https://geopedia.world/#t4_x4167958.278334089_y743579.4111581943_s2_b17)).

Una vez definidas las LCZ se procede a la contrastación con la temperatura superficial. La obtención de la temperatura superficial es adquirida a partir de datos Landsat, específicamente a partir de la Banda 10 de las imágenes previamente procesadas.

## **RESULTADOS**

Los resultados se presentan en función de las dos etapas presentadas en la metodología. Con respecto a la *etapa 1* “Modelo de análisis del Clima Urbano. Zonas Climáticas”, se rescata como aspectos positivos que el modelo pretende superar la tradicional clasificación de los espacios en “urbanos y rurales” para los estudios de clima urbano, como se han realizado hasta ahora en el AMM (Mesa et al., 2003; Correa et al., 2003 Puliafito et al. 2013). La clasificación de las LCZ complementa la tradicional diferenciación del área urbana-rural y tiene como objetivo la estandarización de los estudios de clima urbano, lo que facilita la comunicación y la comparación interurbana de los resultados a nivel local e internacional.

El sistema permite a los planificadores utilizar las LCZ como “mapas climáticos” y “mapas urbano-climáticos”, ya que otorga la posibilidad de cuantificar las capas térmicas y morfológicas, a través del uso de datos normalizados como lo son: la estructura urbana, la cubierta o rugosidad y el metabolismo. Esto facilita la comunicación del significado de variables meteorológicas evaluadas en los monitoreos y la interpretación de las consecuencias de las decisiones de diseño sobre el comportamiento microclimático de la ciudad.

La limitación fundamental del modelo es que no permite capturar las peculiaridades de cada sitio analizado, ya que es un sistema reduccionista, esto deriva en que su capacidad de descripción, análisis y explicación tenga ciertas limitaciones. Para los casos en que una ciudad no se ajuste a los tipos propuestos, como se explicó anteriormente, Stewart y Oke (2012) proponen la realización de una subclasificación combinando tipologías. Las subclases están justificadas cuando las características secundarias del sitio afectan el clima local o cuyas características pueden estar relacionadas con los objetivos particulares de una investigación climática. Aunque las subclases agregan flexibilidad al sistema LCZ, se dan varias advertencias para su uso.

Por lo analizado, es fundamental tener en cuenta que la subclasificación es justificable cuando las características secundarias en un área pueden generar interferencia y afectar directamente el clima local (Monteiro, 2018). Esta situación se da para el caso del AMM-Argentina, donde la intensa forestación de sus canales viales -45.000 árboles en las calles de la ciudad capital- (Martínez et al., 2014), modifica las condiciones radiativas y de flujo de viento de los cañones urbanos, superando los efectos de la estructura edilicia en muchas zonas consolidadas de la metrópoli. Sumado a ello, en la ciudad más del 80% de la densidad edilicia corresponde a baja densidad, de 1 o dos niveles -3 a 6 m de altura-, cuyo FOS (Factor de Ocupación de Suelo) se halla comprendido entre 0.35 a 0.70 y el Factor de Visión de Cielo (SVF por sus siglas en inglés), en los canales viales oscila entre 0.15 a 0.65 (valor correspondiente al verano) (Correa et al., 2010). Además, los árboles son caducifolios es decir que pierden el follaje en invierno, y en su mayoría son de primera y segunda magnitud forestal (cuya altura final se halla entre 12 a 25 m). Tomando como base estos parámetros y contrastando los mismos con los utilizados para definir las zonas de origen mostradas en la Tabla 2, se aprecia que será necesario la utilización de subclases para la definición de las LCZ a nivel local en verano. Es decir que el desafío será definir a escala local, un conjunto mínimo de subclases



que permitan la apropiada caracterización de sus espacios urbanos, sin alejarse del objetivo reduccionista de la metodología, ni comprometer sus posibilidades de homologación.

El resultado final de la *etapa 2 “Aplicación del método WUDAPT en Mendoza”*, es un mapa (Figura 2) donde se representan las LCZ del AMM y su entorno. El área de estudio alcanzó un total de 69.724,09ha, de este total, sólo 16.814ha pertenecen al AMM, el resto corresponde al piedemonte localizado al oeste mendocino y áreas de cultivo al este. La distribución porcentual de las LCZ sobre el área metropolitana según la tipología de construcción que se presenta en la tabla III, en el centro del mapa se puede observar la zona urbana y periurbana del AMM, donde la Zona climática Local que predomina es “LCZ-6 Abierto de baja altura” alcanzando un porcentaje del 27,55%, localizada fundamentalmente en la zona central de la mancha urbana. Esta zona se caracteriza por poseer edificios separados de baja altura (1 a 3 pisos), siendo el concreto y ladrillos los materiales de construcción predominantes. La LCZ-8 “Grandes construcciones bajas” sigue en porcentaje con un 22,71%. Estas zonas tienen un paisaje dominado por grandes edificaciones bajas y separadas entre sí. Se encuentra al sur de la mancha urbana, donde se han expandido barrios privados en detrimento de superficie agrícola. El sector que esta zona ocupa hacia el este posee heterogeneidad de usos, industrial y de depósito con la expansión de barrios cerrados.

En tercer lugar, en orden decreciente (21,42%) se encuentra la categoría LCZ-3 “Compacto de baja altura”, localizándose en la zona central de la ciudad de Mendoza, caracterizada por ser el centro administrativo, financiero y comercial de la provincia, con edificación densa de baja altura (1 a 3 pisos). Esta clase se encuentra también en cabeceras departamentales y en sus entornos inmediatos.

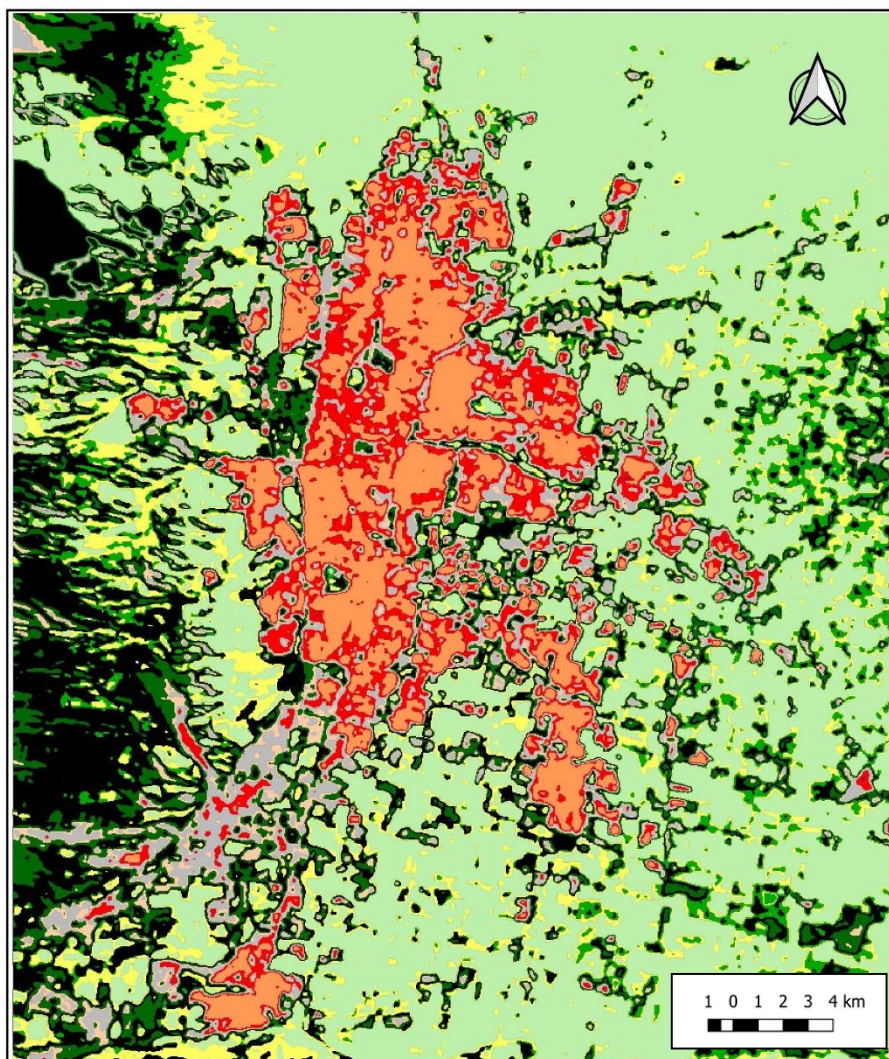
Siguen en porcentaje LCZ-9 “Construcciones dispersas” (14,87%), LCZ-5 “Abierto de mediana altura” (8,87%) y LCZ-2 “Compacto de media altura” (4,58%). En el AMM no hay presencia de las LCZ-1,4 y 7. Al oeste se observa un importante sector con las clases A y B, representando al Parque General San Martín (374ha).

Se presenta la distribución porcentual de LCZ en el AMM y Piedemonte según tipo de edificación y cobertura (Tabla II). El sector del piedemonte está categorizado con las clases E-Roca y F-Suelo desnudo, encontrando manchas dispersas de vegetación autóctona.

Al norte y fundamentalmente hacia el este de la mancha urbana, predomina la zona D-plantas bajas, que efectivamente se corresponde con el cinturón productivo del Oasis norte de Mendoza, representado por un paisaje dominado por cultivos frutihortícolas.

Se observa que temperatura superficial (Figura 3) posee correlación con las clases definidas mediante el Método WUDAPT, sin embargo, debido a que la imagen satelital corresponde a las 11:27am (hora local), no se puede corroborar que este patrón se cumpla en horarios donde la UHI alcanza su mayor intensidad o durante el período de calentamiento, es decir en la tarde.

## Zonas climáticas locales. Área Metropolitana de Mendoza



### REFERENCIAS

- LCZ 2. Compacto de media altura
- LCZ 3. Compacto de baja altura
- LCZ 5. Abierto de mediana altura
- LCZ 6. Abierto de baja altura
- LCZ 8. Grandes construcciones bajas
- LCZ 9. Construcciones dispersas
- LCZ A. Bosque/Arbolado denso
- LCZ B. Árboles dispersos
- LCZ D. Plantas bajas
- LCZ E. Roca
- LCZ F. Suelo desnudo



Sistema de proyección Posgar 2007  
Faja 2  
EPSG 5344

**Figura 2.** Zonas Climáticas Locales. Área Metropolitana de Mendoza. Fuente: Elaboración de las autoras.

**Tabla II.** Distribución porcentual de Zonas Climáticas Locales en el AMM y Piedemonte- Tipo de edificación y cobertura.

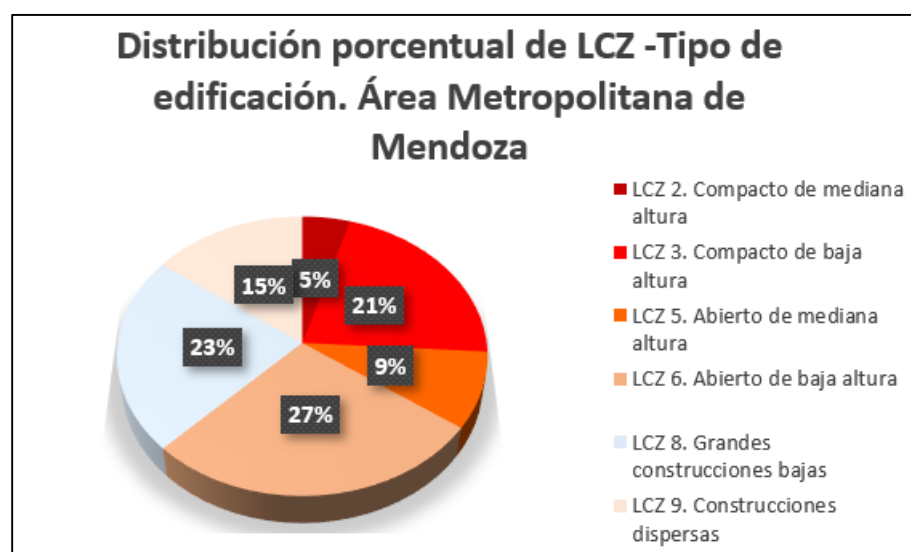
Zonas Climáticas Locales	Sup. en hectáreas	Porcentaje
LCZ 2. Compacto de media altura	770,32	1,10
LCZ 3. Compacto de baja altura	3601,53	5,17
LCZ 5. Abierto de mediana altura	1491,08	2,14
LCZ 6. Abierto de baja altura	4632,2	6,64
LCZ 8. Grandes construcciones bajas	3819,09	5,48
LCZ 9. Construcciones dispersas	2500,31	3,59
LCZ A. Bosque/Arbolado denso	5144,11	7,38
LCZ B. Árboles dispersos	4656,76	6,68
LCZ D. Plantas bajas	27376,1	39,26
LCZ E. Roca	8700,38	12,48
LCZ F. Suelo desnudo	7032,21	10,09
Total	69724,09	100

Fuente: Elaboración de las autoras.

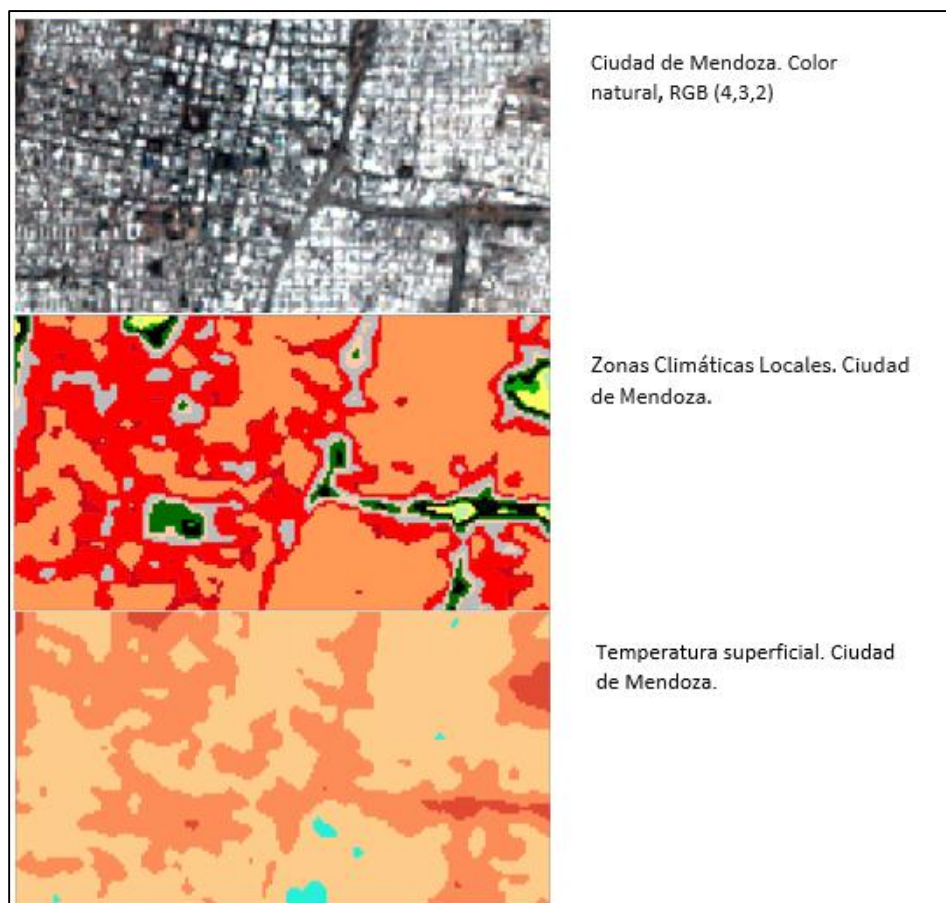
**Tabla III.** Distribución porcentual de Zonas Climáticas Locales en el AMM - Tipo de edificación.

LCZ – Tipo de edificación	Sup. en hectáreas	Porcentaje
LCZ 2. Compacto de media altura	770,32	4,58
LCZ 3. Compacto de baja altura	3601,53	21,42
LCZ 5. Abierto de mediana altura	1491,08	8,87
LCZ 6. Abierto de baja altura	4632,21	27,55
LCZ 8. Grandes construcciones bajas	3819,09	22,71
LCZ 9. Construcciones dispersas	2500,31	14,87
TOTAL	16814,53	100,00

Fuente: Elaboración de las autoras.



**Figura 3.** Distribución porcentual de Zonas Climáticas Locales en el AMM - Tipo de edificación y cobertura. Fuente: Elaboración de las autoras.



**Figura 3.** Correlación de LCZ y temperatura superficial. Fuente: Elaboración de las autoras.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El sistema de LCZ proporciona una discretización simple e integral del paisaje urbano, permitiendo estandarizar los estudios del clima urbano en general. Tiene como objetivo lograr un equilibrio entre la exactitud y la aplicabilidad, ya que se considera como un punto de partida óptimo para la recolección de los datos, la definición de la geometría urbana y las características microclimáticas de las distintas zonas.

Si se aplica la metodología de manera integral se logra alcanzar el objetivo principal propuesto por sus autores que es estandarizar los estudios de clima urbano y la UHI (Steward y Oke, 2012). Permite homologar, estandarizar y realizar un estudio sistémico vinculando las condiciones climáticas con las características morfológicas y tecnológicas de la ciudad en estudio. Si bien posee limitaciones, se considera que las mismas pueden superarse, de modo tal de aprovechar el potencial del esquema para identificar y analizar las características del clima, el metabolismo y la morfología urbana. Así puede conformarse como una herramienta de utilidad no sólo para el estudio del clima urbano, sino también para la planificación urbana sustentable y estratégica.

La ausencia de medición de temperatura del aire y de contrastación térmica no permite comprobar si las zonas son realmente homogéneas y si están apropiadamente definidas. Ante esto los objetivos de la metodología no se logran, es decir que al no realizarse un abordaje completo que incluya la verificación de cada zona, no se puede alcanzar una estandarización del estudio del clima urbano, que sirva como base para la planificación y en menor medida, lograr comparar los resultados obtenidos entre ciudades.

La intensa forestación urbana en el AMM representa un elemento determinante a la hora de definir las LCZ, ya que esta particularidad determina valores de SVF que no resultan coincidentes con las propiedades establecidas para las tipologías construidas. Es posible afirmar que se logrará determinar con mayor precisión cada zona climática en la medida en que se determine con exactitud su factor de visión de cielo, esto es que el SVF sea cuantificado mediante el instrumental



adecuado y analizado con softwares específicos -Píxel de Cielo (Correa et al., 2005), Rayman (Matzarakis et. al, 2007), BioKlima v.2.6 (2016).

Ante estas condicionantes se recurre al método WUDAPT para realizar una clasificación más ajustada. Con el desarrollo de esta técnica para la época invernal se ha logrado como resultado la definición de las LCZ para el AMM (Imagen 3).

A partir del proceso se definen 11 clases, 6 de tipología de edificación y 5 de cobertura. Con respecto a las zonas definidas por tipología de construcción la LCZ-6 “Abierto de baja altura” es la que posee mayor superficie, mientras que la LCZ -2 “Compacto de media altura” la menor en tamaño (Tabla 3). Fuera de la mancha urbana se registran las LCZ de cobertura, fundamentalmente de Roca al oeste y cubierta vegetal de baja altura al este.

Analizando el método, se concluye que, si bien es un proceso con numerosos pasos y múltiples variables a tener en cuenta, es un proceso que se ejecuta de manera sencilla y económica, ya que, teniendo datos y conocimiento del área, se puede realizar en su totalidad con teledetección.

Es fundamental que se pueda verificar que las zonas hayan sido correctamente clasificadas, debido a que, en el proceso de clasificación pueden confundirse clases que posean firmas espectrales similares. Es decir que, si bien es una herramienta muy útil, es una primera aproximación a la clasificación. Resulta fundamental complementar del método con la corroboración a campo, el ajuste mediante los parámetros definidos por Stewart y Oke (2012) y la contrastación térmica.

## REFERENCIAS

- Arellano Ramos, B.; Roca Cladera J. (2015). Planificación Urbana y Cambio Climático. International Conference on Regional Science. XVI Reunión de Estudios Regionales. Centro de Política de Suelo y Valoraciones (CPSV). Universidad Politécnica de Cataluña. 18-20 de noviembre de 2015.
- Bechtel, B.; Paul J.; Böhner J.; Ching J.; Conrad o.; Feddema J.; Mills G.; See L.; Iain Stewart. (2015). Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *Int. J. of Geo-Inf.* 4, 199-219.
- BioKlima v. 2.6 (software) (2016). Recuperado de <https://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>
- Camilloni I; Barros V. (1994) Urban-biased trends in Buenos Aires' mean temperature. *Cl. Research* 4,33-45
- Camilloni I; Barros V. (1995) Influencia de la isla urbana de calor en la estimación de las tendencias seculares de la temperatura en Argentina subtropical. *Geofísica Internacional* 34, 161-170.
- Camilloni I; Barrucand M. (2012) Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island. <https://www.researchgate.net/publication/225137484>
- Cantón, M.A., Martínez, C.F. (2009). Sustentabilidad del Bosque Urbano en Zonas Áridas. Análisis y Diagnóstico de la condición de las arboledas en Mendoza-Argentina. 6to Congreso Iberoamericano de Parques y Jardines Públicos.
- Capelli, A.M.; Piccolo, M.; y Campo A. M. (2006) Clima urbano de Bahía Blanca. *Revista Universitaria De Geografía - Volumen 15 – 2006.*
- Castro Y., Fernández Figueroa E.; Álvarez A, López A. (2014). Morfología urbana en la ciudad de Sagua la Grande. *Arquitectura y Urbanismo* vol.35 no.3.
- Correa E. N., Ruiz M. A., Cantón M. A. (2010). Morfología forestal y confort térmico en “ciudades oasis” de zonas áridas. *Ambiente Construido*, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 119-137, out./dez. 2010. ISSN 1678-8621.
- Correa, E. N. (2006). Isla de Calor Urbana. El caso del área metropolitana de Mendoza. Tesis doctoral en Ciencias, Área Energías Renovables. Fac. de Ciencias Exacta. Universidad Nacional de Salta. Salta-Argentina.
- Correa, E. N.; Pattini, A.; Córlica, M. L.; Fornés, M.; Lesino, G. (2005) Evaluación del factor de visión de cielo a partir del procesamiento digital de imágenes hemisféricas. Influencia de la configuración del cañón urbano en la disponibilidad del recurso solar. *AVERMA*. Vol. 9, pp. 43-48.
- Correa, E.; Martínez, C. F.; Lesino, C.; Cantón, A. (2006). Impact of Urban Parks on the Climatic Pattern of Mendoza's Metropolitan Area, in Argentina. 23<sup>a</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture. PLEA 2006.



- Fernández García, F.; Martilli, A. (2016). Estudio de detalle del Clima Urbano De Madrid. <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspeInf/EnergiayCC/04CambioClimatico/4cEstuClimaUrb/Ficheros/EstuClimaUrbaMadWeb2016.pdf>
- Grosso Cepparo, M.V. (2017) Agua y tierras secas. Lecturas críticas sobre la escasez hídrica en el Departamento Lavalle (Mendoza). Estudios Socioterritoriales. N° 22 p. 27-45.
- Martínez C. F., Cantón M. A., Roig Juárez F. A. (2014). Incidencia del déficit hídrico en el crecimiento de forestales de uso urbano en ciudades de zonas áridas. Caso de Mendoza, Argentina. *Interciencia Revista de Ciencia y Tecnología de América*. ISSN 0378-1844. Venezuela. Vol. 39 (12): 890-897. 2014.
- Martínez C. F.; Cantón, M.A.; Roig F. A. (2009). Impacto de la condición de aridez en el desarrollo ambientalmente sustentable de ciudades oasis. El caso del arbolado urbano en el ÁMM. *AVERMA*. Vol. 13. pp. 113-120.
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2007) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 51:323–334
- Mazzeo N.; Camilloni I.; Gassmann M. (1989) Climatología de la difusión atmosférica en la zona de Campana (prov. de Buenos Aires). *Geoacta* 16, 11 a 21.
- Mazzeo N.; Camilloni I. (1991) Buenos Aires Urban Meteorological Data Analysis of a Five- Day Period. *Energy and Buildings* 15, 339-343.
- Monteiro, (2018). Zonas Climáticas Locais E A Relação Com A Morfologia Urbana. Estudo De Caso: Campinas/Sp. <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/1047?mode=full>
- Oke, T. R. (2006) Initial Guidance To Obtain Representative Meteorological Observations At Urban Sites. Instruments and Observing Methods. Report n°. 81. WMO.
- Pezzuto, C. C.; DE LA Silva, J. M. P. (2013). Métodos de Análisis del Recorte Territorial por medio de la Zona Climática Local y Unidad de Paisaje: Estudio de Caso en el Municipio de Campinas. XII ENCAC. Piccone (2014). [https://www.researchgate.net/profile/Natasha\\_Piccone/publication/301495626\\_Clima\\_Urbano\\_de\\_la\\_ciudad\\_de\\_Tandil/links/5716788308aec49c999cbddc/Clima-Urbano-de-la-ciudad-de-Tandil.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Natasha_Piccone/publication/301495626_Clima_Urbano_de_la_ciudad_de_Tandil/links/5716788308aec49c999cbddc/Clima-Urbano-de-la-ciudad-de-Tandil.pdf)
- Puliafito, S.; Bochaca, F.; Allende, D.; Fernández, R. (2013) Green áreas and microscale thermal comfort in arid environments: A case study in Mendoza, Argentina”. *Atmos. Clim. Sci.* 3, 372–384.
- Roca, G.; Puliafito, S.; Allende, D.; Ruggieri, F.; Pascual, R. (2016). Modelado Urbano A Microescala: contribución al confort urbano de ecosistemas áridos. *AVERMA*. Vol. 4, pp. 01.77-01.88.
- Ruiz, M.A.; Correa Cantaloube, E.; Cantón, M. A. (2016). Diseño eficiente de parques en ciudades de zonas áridas. *Confort térmico y clima urbano. ENCACS 2016*. p. 105-116.
- Sosa, M.B.; Correa Cantaloube, E.; Cantón, M.A. (2016). ¿En qué medida la forma urbana afecta al comportamiento térmico exterior? Un estudio para reducir la isla de calor urbana en una ciudad árida. *ENCACS 2016*. p. 91-102.
- Stewart, I. D.; Oke T. R.; Krayenhoff E. S. (2014). “Evaluation Of The Local Climate Zone Scheme Using Temperature Observations And Model Simulations”. *International Journal Of Climatology*. 34: 1062 – 1080.
- Stewart, I. D.; Oke, T. R. (2012) Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.93, n. 12, p. 1879–1900.
- Wang, C.; Ariane M.; Myint S.; Kaplan S.; Brazel A.J., Lukasczyk J. (2018) Assessing local climate zones in arid cities: The case of Phoenix, Arizona and Las Vegas, Nevada. *J. of Photogram. and Remote Sensing*. Vol 141:59-71.
- World Urban Database y Access Portal Tools. <http://www.wudapt.org/>

# ESTUDIO DE LAS ÁREAS DE VEGETACIÓN EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE NEUQUÉN CON TELEDETECCIÓN

Finessi, F.G.<sup>a</sup> y Cogliati, M.G.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>LANTEL, Departamento de Geografía, Fa.Hu., Universidad Nacional del Comahue, ARGENTINA

e-mail: [florencia.finessi@gmail.com](mailto:florencia.finessi@gmail.com)

## RESUMEN

*En este trabajo se estudió la variabilidad espacial de los índices de vegetación y su asociación con el estado de la vegetación en un área de montaña del norte Neuquino, con información satelital (MODIS-SPOT) para el período 2014-2018. El trabajo incluyó el análisis de los índices NDVI (normalized difference vegetation index) y MSAVI2 (Modifiel Soll Adjusted Vegetation Index) que indican el estado y grado de cobertura de la vegetación, los valores de temperatura diurna media mensual y las precipitaciones. El seguimiento y evolución de la vegetación, con sensores remotos, permiten un análisis dinámico para la mejora de investigaciones sobre el uso y manejo de los recursos hídricos, ambientales, control de desmontes, como también el desarrollo de estrategias de planificación territorial. La metodología contempló la utilización de un sistema de información geográfica (SIG) para el tratamiento y análisis de las imágenes, y la información del modelo de precipitación GPM (Global Precipitation Measurement). El área seleccionada presenta ambientes aún poco conocidos, los cuales responden a variados factores locales, que modifican la vegetación autóctona. En la zona existe déficit hídrico desde noviembre a marzo y el máximo de precipitación se da en otoño e invierno, lo que se vio reflejado en las variaciones estacionales de los valores de NDVI y MSAVI2. Ambos índices presentaron variación espacial asociados a zonas con diferencias de vegetación y suelo. El MSAVI2 y el NDVI alcanzaron valores máximos de 0.9 y 0.7 respectivamente en zonas de mallines con humedad y vegetación abundante.*

*Palabras Clave:* NDVI, MSAVI2, temperatura, precipitación, vegetación

## INTRODUCCIÓN

Las áreas montañosas, caracterizadas por tener un terreno de tipo complejo con difícil acceso, presentan marcada variabilidad espacial relacionada con las condiciones climáticas y naturales. Los datos obtenidos con sensores remotos suministran información en una grilla de puntos homogénea y con una frecuencia adecuada para el estudio de cambios estacionales. En el caso del área examinada, se cuenta con poca información de superficie, el clima es riguroso y el acceso/mantenimiento de estaciones de superficie es muy complejo.

Los sistemas ópticos de sensoramiento remoto proveen información acerca de la cantidad y propiedades bioquímicas del follaje, mientras que los sistemas de microondas suministran información sobre la biomasa y estructura de las áreas vegetales (Quattrochi, D.A. and Luvall, J.C.,1999) Los sensores remotos brindan además información de los flujos de energía de superficie y la temperatura de la superficie.

Cogliati, M. G. 2017 expone que la cobertura del suelo incluye el conjunto de características naturales y modificadas por el hombre que cubren la superficie terrestre.

Por ello es importante el mapeo de la cobertura del suelo para conocer los usos antrópicos que pudieran afectar los hábitats naturales. Wessels et al, 2004 indagaron la aplicación de datos MODIS para el mapeo de cobertura del suelo con resolución moderada (250/500 m), para fines conservacionistas a escala regional en el estado de Pará, Brasil y Yellowstone, EE.UU. La clasificación MODIS para Brasil fue exitosa para desarrollar un producto bosque/ no bosque adecuado para monitorear los impactos humanos como por ejemplo la deforestación.

Martinuzzi et al, 2008 desarrollaron un método de mapeo de la vegetación y hábitats en una reserva forestal tropical seca integrando el NDVI obtenido de imágenes LANDSAT, información topográfica e imágenes IKONOS de alta resolución. Guo et al, 2014 analizaron los cambios en la vegetación de Mongolia, en una escala temporal de orden mensual y estimaron sus respuestas para el periodo 1983-2006, en áreas sin impacto antrópico. Wang et al, 2014 estudiaron los cambios en el NDVI y su relación con la precipitación en China, con resultados que indicaron a través del índice una tendencia creciente entre 1982-2006, en bosques de coníferas boreales, en sistemas de montaña templados y en bosques caducifolios tropicales.

El propósito del presente trabajo fue estudiar la variabilidad espacial de los índices de vegetación y su asociación con el estado de la vegetación en la región andino patagónica en el norte de la provincia del Neuquén, con información satelital, con baja densidad espacial de datos de superficie o de difícil acceso. El trabajo incluyó el análisis de los índices NDVI (normalized difference vegetation index) y MSAVI2 (Modifiel Soll Adjusted Vegetation Index) que indican el estado y grado de cobertura de la vegetación, los valores de temperatura diurna media mensual y las precipitaciones.

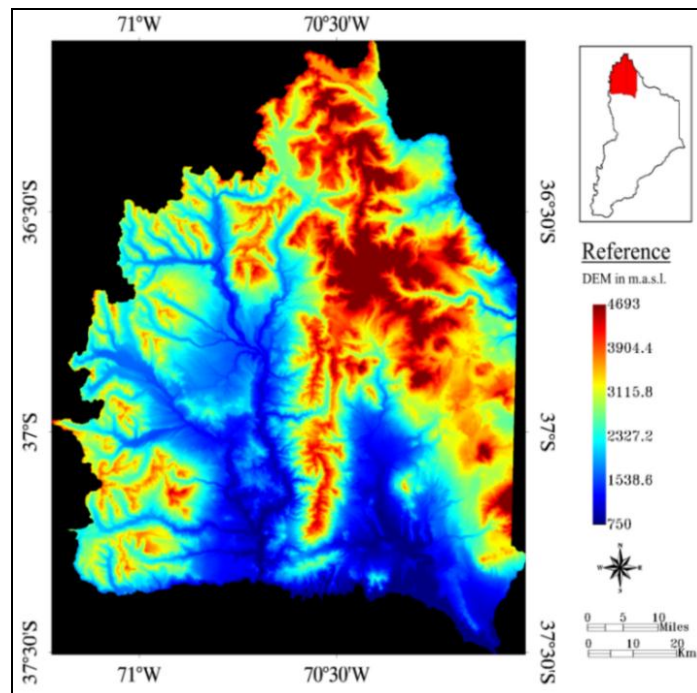
## ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS

El área de estudio fue la cuenca alta del río Neuquén (CARN), ubicada en los departamentos Minas y Chos Malal, en el extremo noroeste de la provincia del Neuquén entre los 36°06'S y 37°30'S y entre 71°12'W y 70°01'W con una superficie total de 10.644 km<sup>2</sup>, y alturas que oscilan entre los 779 m.s.n.m. hasta 4693 m.s.n.m (Vn. Domuyo) (Fig. 1). La región norte de la provincia se caracteriza por áreas montañosas y valles intermontanos, donde se observa una marcada variabilidad espacial de las condiciones meteorológicas y topográficas.

La CARN presenta una diversidad en el uso de suelo y se define por una escasa cobertura vegetal, relieve de laderas pronunciadas y escasez de reguladores naturales, lo cual produce además de crecidas, intensos torrentes en las zonas altas, generando un proceso constante de erosión hídrica (Valicenti J.L., 2001).

Según Bertani L. A. 2011 uno de los problemas ambientales más comunes en la CARN es la degradación de la tierra por efecto del sobrepastoreo. Las condiciones climáticas y los pisos altitudinales existentes en la cuenca, permiten el desarrollo de una gran cantidad de humedales (mallines y vegas). Éstos son tierras pantanosas, bañados o esteros (Erizé,1960), que se diferencian de las áreas circundantes tanto por su tipo de suelo el cual es altamente orgánico, por estar presentes en cuencas con un alto contenido hídrico y muestran flora característica. En la Patagonia Argentina y en particular en la CARN, estos ecosistemas naturales que se distribuyen por lo general en las líneas de drenaje entre las sierras y las mesetas, son de gran importancia por presentar una vegetación de alto valor forrajero para la ganadería extensiva (Peña *et al.*, 2008; Ciari G., 2010; Easdale M.H. and Gaitán J.J, 2010; Campo *et al.* 2011; Peña O. and Campo A., 2012).

Bertani L. A. 2011 explica que “los mallines constituyen un recurso natural muy valorado en la zona ya que aportan agua para el hombre y el ganado, además de proveer abundante forraje en zonas semiáridas” (2011:66). Esto se refleja en la cuenca, constituyéndose prácticamente en el único sustento de los pobladores rurales y son recursos escénicos que da valor al paisaje por su condición de “oasis” en un medio semiárido. La mayor disponibilidad de agua en los mallines conlleva el desarrollo de tipos de suelos y comunidades vegetales azonales con áreas de baja representatividad, pero de gran valor para la ganadería de la región (Gaitán *et al.*, 2009).



**Figura 1.** Localización y curvas de nivel del área de estudio. Fuente: Shuttle Radar Topographic Mission 3 (SRTM-3) (USGS, 2004).

Los suelos son fundamentales para el desarrollo de la vegetación natural, no obstante, la relación es recíproca. Por ello es de suma importancia conocer sus características y determinar el nivel de cobertura, ya que zonas con suelo desnudo se pueden asociar con áreas degradadas por sobrepastoreo principalmente en las zonas más bajas de la cuenca (campos de invernada). En la CARN los suelos presentan un régimen de humedad con edafoclima xérico, presentando déficit de humedad en verano. En las zonas cercanas a afloramientos rocosos de las altas cumbres y divisorias de aguas o en ciertos sectores asociados a mesetas de tipo basálticas, dominan los suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas holocenas (Andosoles); estos suelos son moderadamente profundos, con materia orgánica y un leve a moderado déficit hídrico estival (Vitrixerandes típicos y mólicos, Udivitrandes típicos y Haploxeroles vitrandico), la textura dominante en este grupo de suelos es del tipo franco arenosa con retenciones hídricas elevadas (Irisarri *et al.*, 1979; CFI – COPADE, 1991; Bran *et al.*, 2002), por lo que presentan una buena aptitud para el desarrollo de la vegetación. Mientras que en las zonas adyacentes a ríos, arroyos y mallines prevalecen los suelos húmedos, profundos, de textura franca limosa, provistos de materia orgánica y en muchos casos con una capa de agua subsuperficial (Haplacuoles énticos y Humacuenptes típicos) (Bran *et al.*, 2002).

En este trabajo se utilizaron series temporales de productos MOD11A2 (Land Surface Temperature and Emissivity), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index) y GPM IMERG V03 (Global Precipitation Measurement)<sup>1</sup>.

## METODOLOGÍA

Los productos MOD11A2 (LST: land surface temperature), con resolución temporal de 16 días fueron generados a partir de imágenes del sensor MODIS<sup>2</sup> (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) del satélite TERRA. Las mismas se obtuvieron del centro de archivos disponibles en línea en el sitio web de EarthExplorer<sup>3</sup>. Las imágenes se reproyectaron, y se efectuó el diagnóstico del área de estudio utilizando ENVI 5.0 (Environment for Visualizing Images ITT), con la implementación del módulo MODIS Reprojection Tool. El proceso genera de manera automática el mosaico de la totalidad de las imágenes, como también la reproyección sinusoidal a coordenadas geográficas.

En este trabajo se analizaron las variaciones estacionales de la vegetación con los índices de vegetación NDVI y MSAVI2 desde el 1 de marzo de 2014 al 1 de marzo de 2019, que se obtuvieron a partir imágenes SPOT/PROBA-V y MSAVI2 con escenas MODIS, que presentan los índices de vegetación con resoluciones de 100 y 250/500 metros respectivamente.

Debe tenerse en cuenta que ambos índices, sufren falta de datos debido a la presencia de nubes y aerosoles que pueden bloquear la visión del instrumento en distintos niveles. El MSAVI2 (Modified Soil-adjusted Vegetation Index) provee información complementaria sobre las variaciones espaciales y temporales de la vegetación, minimizando los problemas de contaminación presentes en el NDVI, como los asociados al entorno con presencia de suelo desnudo o con elevado albedo.

El NDVI puede obtenerse a partir de la Ec. (1) Rouse et al. (1974)

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)$$

donde  $\rho_{NIR}$ ,  $\rho_R$  son las reflectancias de superficie corregidas atmosféricamente en el infrarrojo cercano y rojo respectivamente.

Y el MSAVI2 se calcula a partir de Ec. (2)

$$MSAVI2 = \frac{(2 * \rho_{NIR} + 1 - \sqrt{(2 * \rho_{NIR} + 1)^2 - 8 * (\rho_{NIR} - \rho_{RED})})}{2} \quad (2)$$

El Índice MSAVI2 se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (relación entre el infrarrojo de onda corta y el rojo).

Este índice, que se obtiene buscando una mejora del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), logra diferenciar los distintos estadios de la vegetación gracias a factores de corrección del suelo, a diferencia del NDVI que requería especificar el factor

<sup>1</sup> Visor de Actividad Espectral del Portal de Datos Abiertos de la Secretaría de Gobierno de Agroindustria de la República Argentina. <https://geoadmin.agroindustria.gob.ar/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/home>

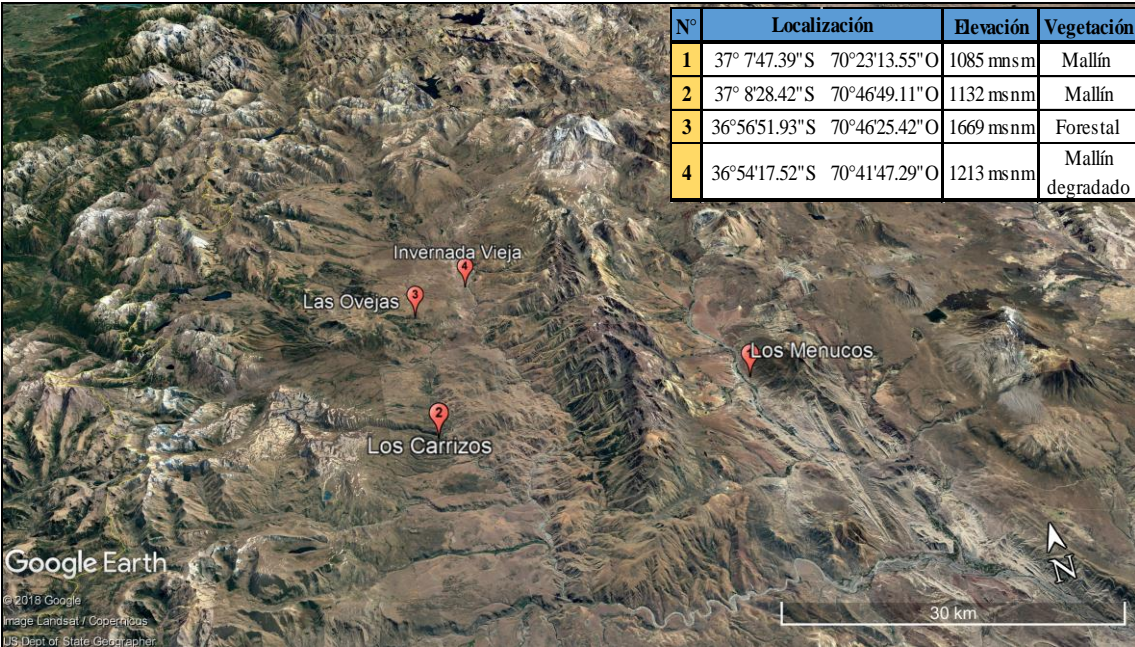
<sup>2</sup> <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

<sup>3</sup> <http://earthexplorer.usgs.gov>



de corrección de brillo del suelo. (Qi, J. et al, 1994). Los dos índices se complementan entre sí, en los estudios de vegetación y mejoran la detección de los cambios de vegetación y la extracción de parámetros biofísicos. Otra diferencia entre NDVI y SAVI2 es que en presencia de nieve el segundo decrece con mayor notoriedad que el primero.

Se seleccionaron cuatro puntos de muestreo para las series temporales (ver Fig. 2), teniendo en cuenta las características geomorfológicas y la vegetación presente en el área de estudio. El primer punto, Los Menucos (LM) se localiza al oeste de la Cordillera del Viento en zona de valle cordillerano. Mientras que los otros tres puntos se localizan al oeste de la Cordillera de los Andes, en distintas elevaciones, dos de ellos en áreas de valles inter-montanos, en áreas de mallines con distinto nivel de conservación. Los Carrizos (LC) en zona de mallín e Invernada Vieja, (IV) en un mallín que presenta degradación, el último punto de análisis de encuentra en un área forestal implantada con Pino Ponderosa cercana a Las Ovejas (LO) (ver Fig. 2).



**Figura 2.** Localización de los puntos de muestreo en vista 3D. Fuente: Google Earth Pro (2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis se debe tener en cuenta que en el área debido a efectos topográficos y estacionales se presentan gran cantidad de días con distinto porcentaje de cobertura nubosa, que interfieren con la información de los sensores ópticos. Este efecto se da principalmente en invierno, asociado a una variación de tipo estacional de las lluvias y el área cubierta de nieve, con un aumento entre mayo-agosto y disminución entre septiembre y noviembre. Esto determina el régimen hidrológico natural de la CARN de tipo pluvio-nival, que se caracteriza por poseer una doble onda de crecida. La primera de ellas ocurre en época invernal (mayo a julio) cuando se producen las mayores precipitaciones. La precipitación de nieve, se acumula en la parte alta de la cuenca y da lugar posteriormente a la segunda onda de crecida hacia fines de la primavera (octubre a diciembre) en el período de fusión (Salcedo A.P. 2011; Valicenti, J. L. 2001; Bustinza et al 2011). Según trabajos en el área realizados por Cogliati et al 2013, 2014 y Finessi,

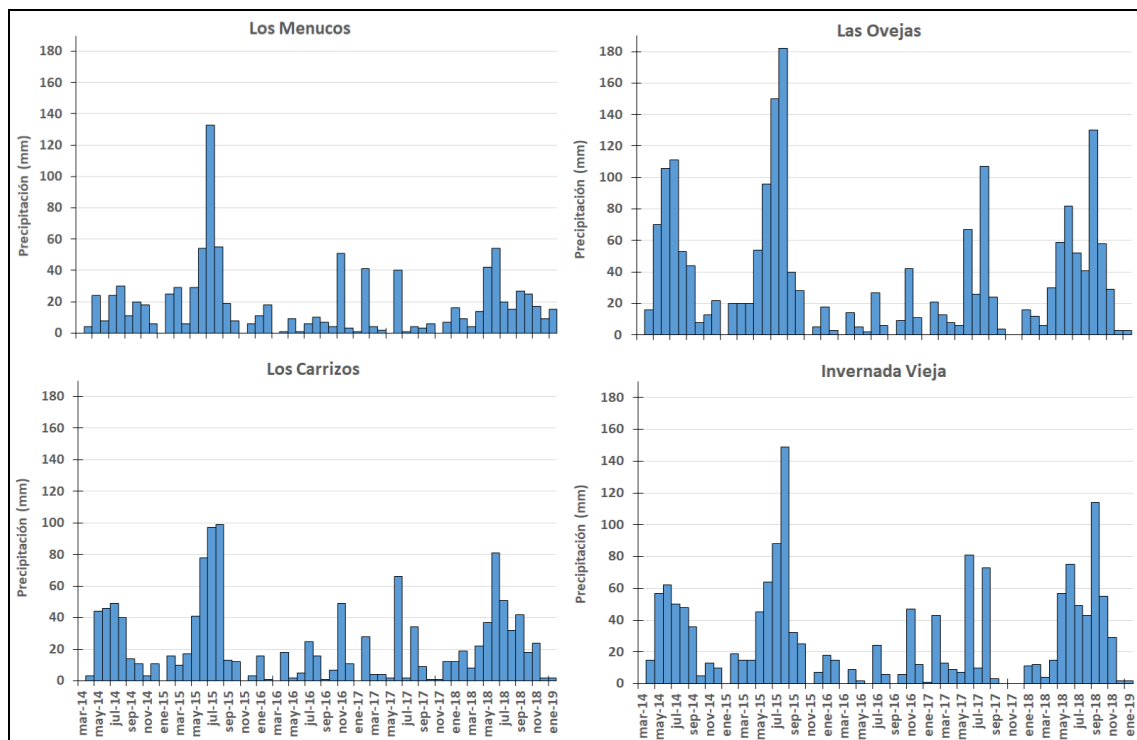
F.G. & Groch, D. 2018, se sabe que el área cubierta de nieve presenta su mínimo en febrero y su máximo en agosto, observándose en septiembre, el comienzo de la fusión asociado al incremento de la temperatura por encima de 0 °C, coincidiendo con los periodos con valores más bajos de los índices NDVI y MSAVI2.

La Figura 3 presenta la precipitación media mensual, por lo que los meses con mayor precipitación, la vegetación y la atmósfera presentan una menor cantidad de material particulado debido al efecto del depósito húmedo.

La zona de estudio corresponde a un sistema semiárido, ubicado dentro de la zona de influencia de los oestes, por lo que es frecuente la presencia de material particulado en suspensión por la acción del viento, y mayor cantidad de partículas que interfieran en los valores de reflectancia captados por sensores.

Las estaciones meteorológicas de superficie se encuentran dispersas y alejadas de los puntos seleccionados dentro del área de estudio, por lo que se decidió utilizar el promedio areal de los valores satelitales.

Los resultados muestran un aumento de los índices de vegetación en el mes siguiente a la temporada más lluviosa, para las áreas de mallines en buen estado de conservación (ver Fig. 3 y 4).



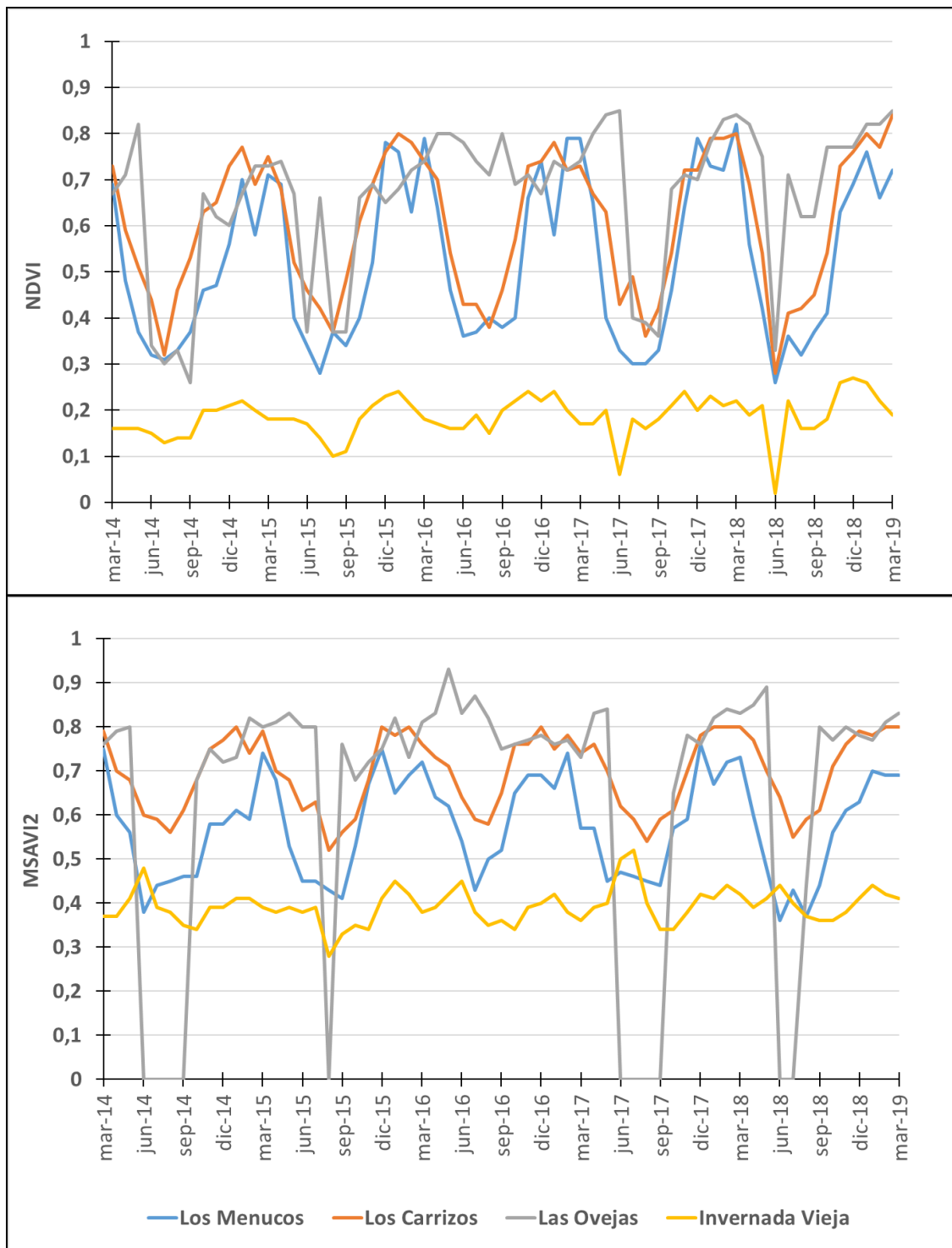
**Figura 3.** Serie temporal de precipitación (mm) para los cuatro puntos de muestreo seleccionados a partir de datos de GPM IMERG V03 (Los Menucos (LM); Los Carrizos (LC); Las Ovejas (LO); Invernada Vieja (IV)).

La Figura 4 presenta las series temporales de los índices NDVI y MSAVI2. El índice MSAVI2 presenta una sensibilidad mejorada en las regiones con un porcentaje elevado de suelo desnudo y áreas con cubierta de nieve (IV).

Según Matsushita, B. 2007, el NDVI tiende a eliminar o debilitar los efectos topográficos, siendo el efecto topográfico relativo a la resolución espacial, de manera que si aumenta la resolución espacial el efecto decrece o desaparece.

La marcha anual de ambos índices, presentó máximos entre diciembre/marzo para las áreas de vegetación natural con valores que alcanzaron 0.82 NDVI- 0.78 MSAVI2. En el caso del área implantada detectan mínimos invernales que alcanzan valores de 0.0 para MSAVI2, que se asociarían a la presencia de nieve, la cual altera el comportamiento que, de otro modo, se mantendría con valores similares a los que se observan en julio de 2016 (ver Fig. 4) y máximos con NDVI de 0.85 y MSAVI2 de 0.93 MSAVI2 en marzo/mayo.

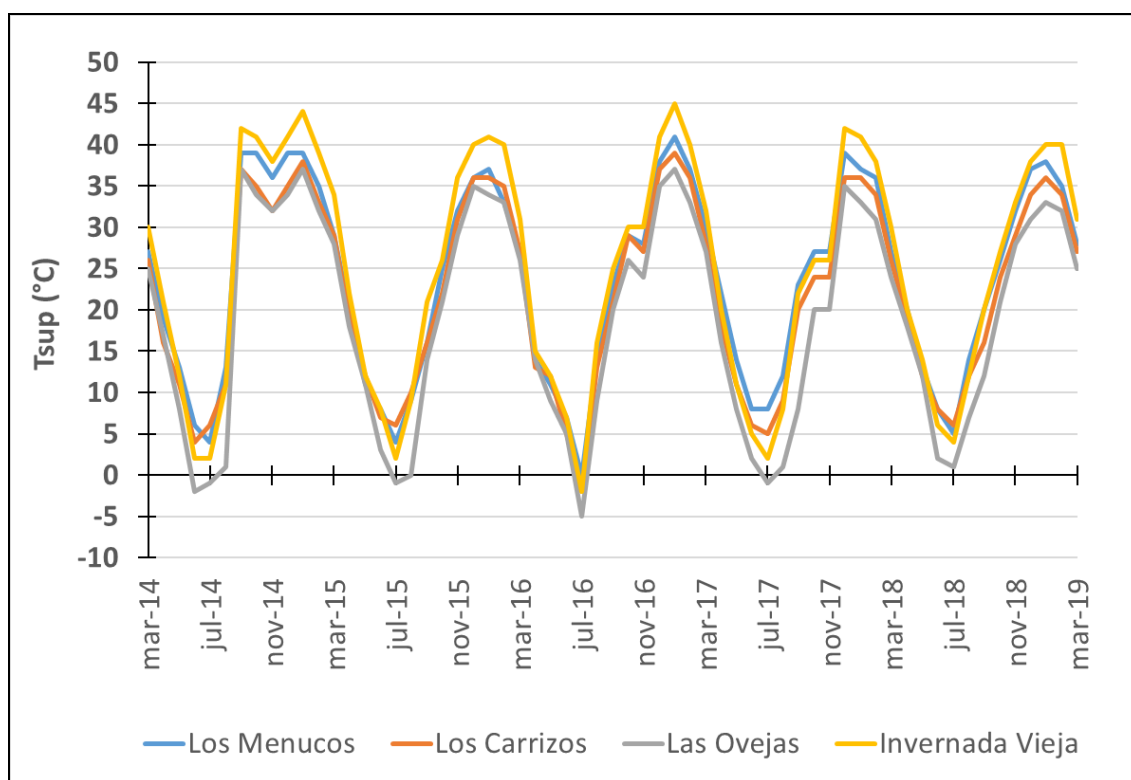
Tanto el NDVI como el MSAVI2 presentaron valores mucho menores para el punto en IV, donde el mallín presenta una alta degradación, por lo que la metodología permitiría destacar estos sectores, con valores máximos de 0.55 MSAVI2 y 0.25 NDVI.



**Figura 4.** Serie temporal de NDSI -arriba- y MSAVI2 -abajo- para los cuatro puntos de muestreo seleccionados, a partir de productos SPOT/PROBA-V y MODIS respectivamente.

Los valores mínimos se dieron entre junio/agosto en todos los puntos analizados y tienen su correspondencia con la variación estacional de la temperatura y la presencia de nieve en los sectores más bajos de la CARN, que alcanza a cubrir casi toda el área de estudio.

La Figura 5 presenta la marcha anual de la temperatura de superficie que presenta una influencia estacional marcada y el efecto de la altitud en la amplitud anual, que es mayor en los puntos más altos, alcanzando temperatura de la superficie inferiores a 0°C. La mayor temperatura entre los puntos de muestreo, se presentó en IV, zona que se corresponde con un área de mallín degradado, con un alto porcentaje de suelo descubierto, mientras que LO presentó las menores temperaturas, siendo el punto de muestreo con menores temperaturas a lo largo de toda la serie en la época invernal asociado a la cota en la que se encuentra y a la presencia de nieve sobre el suelo.



**Figura 5.** Serie temporal de temperatura de superficie (Tsup (°C)) para Los Menucos (LM), Los Carrizos (LC), Las Ovejas (LO) e Invernada Vieja (IV), con datos del producto MOD11A2.

## CONCLUSIONES

La marcha anual de los índices de vegetación MSAVI2 y NDVI a partir de productos SPOT/PROBA-V y MODIS respectivamente en el área norte de la provincia del Neuquén, Argentina para el periodo 03/2014-03/2019, presentaron un marcado efecto estacional en ambos casos en las zonas con vegetación natural. con máximos entre diciembre/marzo para las áreas de vegetación natural y en áreas con pino ponderosa si bien se observa un máximo entre marzo/mayo la disminución de los meses invernales se asociaría a la presencia de nieve.

Tanto el NDVI como el MSAVI2 presentaron valores mucho menores para Invernada Vieja donde el mallín presenta una alta degradación, por lo que la metodología permitiría destacar estos sectores. Teniendo en cuenta los distintos sensores, las mayores diferencias se presentaron durante la estación invernal, en las zonas con áreas cubierta de nieve, lo cual podría no solo estar asociado a las diferentes metodologías, sino que se debería también a las resoluciones espaciales de los sensores (SPOT-PROBA-V, 100 m /MODIS, 500 m) y factores locales, que modifican la vegetación autóctona. En la zona existe déficit hídrico desde noviembre a marzo y el máximo de precipitación se da en otoño e invierno, lo que se vio reflejado en las variaciones de los valores de NDVI y MSAVI2. Ambos índices presentaron variación espacial asociados a zonas con diferencias de vegetación y suelo. El MSAVI2 y el NDVI alcanzaron valores máximos de 0.9 y 0.7 respectivamente en zonas de mallines con humedad y vegetación abundante. Mientras que, en la zona del mallín degradado con mayor porcentaje de suelo desnudo, los valores máximos fueron menos siendo 0.55- MSAVI2 y 0.25-NDVI.

## REFERENCIAS

- Bertani, L.A. Evaluación geoecológica de los paisajes del Departamento Minas (Provincia de Neuquén), para el estudio de la degradación de la tierra. *Tesis presentada para la obtención del grado de Doctor en Geografía*. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Buenos Aires, Argentina 2011.
- Bran D., Ayesa J. and López C. Áreas ecológicas de Neuquén. *Laboratorio de Teledetección-SIG. Inta-Eea*. Bariloche. Ciudad de Bariloche, Argentina 2002.
- Bustanza, J., González, M., Neme, M. & Rubio, Y. Recursos hídricos superficiales. *Geología y recursos naturales de la provincia del Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino* 841-848 (2011).
- Campo A. M., Peña O., Gandulllo R. and De la Cal R. Análisis de la vegetación de un humedal “mallín” localizado en una zona semiárida de la provincia de Neuquén (Argentina). *Papeles de Geografía*, 53-54 (2011).
- CFI – COPADE. *Estudio Regional de Suelos de la Provincia del Neuquén*. Buenos Aires, Argentina 1991.
- Ciari G. Funcionamiento hidrológico de los mallines y sus cuencas asociadas. *Carpeta Técnica, Medio Ambiente N° 13*, EEA INTA Esquel. Chubut, Argentina 2010.
- CIMOP-Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas, *La gestión del agua y su infraestructura en el desarrollo sustentable del territorio*. Buenos Aires, Argentina, 2009.
- Cogliati, M. G, Finessi, F. G. & Groch, D. Estudio del área cubierta de nieve en la Cordillera del Viento utilizando información satelital. *Actas 4to. Encuentro Internacional de Geografía del Cono Sur*, 57-67 (2014).
- Cogliati, M. G, Groch, D. & Finessi, F. G. Estimación de la cubierta de nieve en el norte de la provincia del Neuquén. *Boletín Geográfico* 35, 47-58 (2013).
- Cogliati, M. G. Estudio preliminar de las áreas de vegetación nativa en el norte de la provincia de Neuquén a través de la aplicación de teledetección. *IX Congreso Argentino de Tecnología Espacial*. Córdoba, Argentina 2017.
- Easdale, M.H. and Gaitán, J.J. Relación entre la superficie y clase de mallines y la composición de la estructura ganadera en establecimientos del Noroeste de la Patagonia. Estación Experimental Agropecuaria, INTA Bariloche. *Revista Argentina de Producción Animal* 30, 69-80 (2010).
- Erizé, E. Diccionario comentado Mapuche-Español”. *Cuadernos del Sur*. Instituto de Humanidades. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina 1960.
- Finessi, F. G. & Groch, D. Estudio hidrológico de la Cuenca Alta del Río Neuquén. *RDI UNCo*. Neuquén, Argentina 2018.



- Gaitán J.J., López C., Ayesa J., Siffredi G. y Umaña F. Reconocimiento, Cartografía y Evaluación de Mallines Área Zapala- Provincia del Neuquén. *Centro Regional Patagonia Norte INTA Eea. Bariloche. Área De Investigación en Recursos Naturales*. Bariloche, Argentina 2009.
- Guo, L., Wu, S., Zhao, D., Yin, Y., Leng, G. and Zhang, Q. NDVI-Based Vegetation Change in Inner Mongolia from 1982 to 2006. Hindawi Publishing Corporation. *Advances in Meteorology* 2014, 1-12 (2014).
- Irisarri J. Los suelos del Departamento Minas. *Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional del Comahue. Cinco Saltos, Argentina. Informe Inédito (1979).
- Martinuzzi, S., Gould, W.A., Ramos Gonzalez O.M., Martinez Robles, A., Calle Maldonado, P., Pérez-Buitrago, N. and Fumero Caban, J. Mapping tropical dry forest habitats integrating landsat NDVI, Ikonos imagery, and topographic information in the Caribbean island of Mona. *Biol Trop* 56 (2), 625-39 (2008).
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. and Qiu, G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest. *Sensors (Basel)* 7(11), 2636-2651 (2007).
- Peña, O. and Campo, A. Estado de degradación en mallines localizados en el centro oeste de la Provincia de Neuquén (Argentina). *Revista Geográfica de América Central* 49 (2), 157-173 (2012).
- Peña, O., Ostertag G., Gandullo R. and Campo A. Comportamiento de la vegetación de un humedal (mallín) entre períodos húmedos y secos mediante análisis hidrológico y espectral. *Investigaciones geográficas* 45, 229-249 (2008).
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H. and Sorooshian, S. A. Modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment* 48, 119-126 (1994).
- Quattrochi, D.A. and Luvall, J.C. Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and applications. *Landscape Ecology* 14, 577-598 (1999).
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 3010-3017 (1974).
- Salcedo, A.P. Estimate of Area of Snow Cover in Watersheds with High Rate of Data Fusion Using ERS-2. Master's Thesis, *Faculty of Mathematics, Physics and Astronomy and the Mario Gulich Institute for Advanced Space Studies*. Argentina 2011.
- USGS, 2004. Shuttle Radar Topography Mission, 1 Arc Second scene SRTM\_u03\_n008e004, Unfilled Unfinished 2.0. *Global Land Cover Facility*, University of Maryland, College Park, Maryland, 2000.
- Valicenti, J.L. Cuenca del río Neuquén. Análisis del fenómeno precipitación-escorrentía. *Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro*. Cipolletti, Argentina 2001.
- Wang, S., Chen, X., Li, X., Zhang, G. and Yang, T. Trends of NDVI, and their relationship in different forest ecological zone of China during 1982 to 2006, Proc. SPIE 9260, *Land Surface Remote Sensing II*, 92602H (2014).
- Wessels, K.J., De Fries, R.S., Dempewolf, J., Anderson, L.O., Hansen, A.J., Powell, S.L and Moran, E.F. Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: Examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA and Para' State, Brazil *Remote Sensing of Environment* 92, 67-83 (2004).

# FACTIBILIDAD TÉCNICA Y DE SALUD PÚBLICA DE LA RECOLECCIÓN DE AGUAS NIEBLAS: ESTUDIO DE CASO

García-Ubaque C. A.<sup>a</sup>, Vaca-Bohórquez M. L.<sup>b</sup> y García-Ubaque J. C.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, COLOMBIA

<sup>b</sup>Consultora, Investigadora Independiente, COLOMBIA

<sup>c</sup>Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, COLOMBIA

e-mail: [cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

## RESUMEN

*El propósito de esta investigación fue la evaluación para consumo humano de la captación de aguas nieblas en el municipio de San Antonio (Cundinamarca, Colombia). Se recolectó agua niebla mediante un prototipo de captador de 6 m<sup>2</sup>, que se instaló en el área durante 53 días consecutivos y se analizó el agua recolectada para evaluar su viabilidad para consumo humano. El volumen promedio diario de captación en la zona fue de 43,26 L/día y los parámetros de potabilidad evaluados cumplen con los valores mínimos establecidos en el Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000, con excepción del pH. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que esta alternativa para captación y uso de agua plantea opciones alternativas y puede escalarse de manera que se pueda producir las cantidades necesarias en comunidades asentadas en zonas de baja precipitación. Adicionalmente, la calidad del agua recolectada en esta zona es adecuada para consumo humano, por lo que mejora las condiciones de salud de la población. A partir de estos resultados, se sugiere realizar una evaluación de factibilidad económica para su aplicación y sostenibilidad en grupos poblacionales más amplios.*

*Palabras Clave:* Captación de neblinas, abastecimiento rural de agua, saneamiento ambiental.

## INTRODUCCIÓN

La recolección de agua de niebla con el propósito de producir agua limpia es una tecnología sustentable y económica que se ha estudiado, evaluado y aplicado en lugares muy variados del mundo, como: Chile, Ecuador, Croacia, España, Namibia, Cabo Verde y Sudáfrica, entre otros (Klemm et al, 2012; Olivier J. and Rautenbach C., 2002; Lekouch et al, 2010; Molina J. and Escobar C., 2008). Estos proyectos de recolección han sido orientados generalmente a proveer de agua potable a comunidades que sufren escasez y/o intermitencia en el suministro y como apoyo de procesos agrícolas y de reforestación, tal como se muestra en los trabajos de Cortina et al, 2011; Estrela et al, 2009 y Pryet et al, 2012. También se ha observado como una estrategia de supervivencia utilizada por organismos vivos en ambientes extremadamente áridos (Henschel J. and Seely M., 2008; Holwerda et al, 2010; Ebner et al, 2011; Marzol M., 2008).

Una de las ventajas de este método de obtención de agua, consiste en que el agua es captada mediante métodos pasivos (no requieren suministro de energía adicional) aprovechando las condiciones climáticas que favorecen la formación de niebla densa,

por lo cual pueden atender necesidades de comunidades situadas en zonas marginales. En Colombia las zonas que presentan este tipo de características se ubican en las tres cordilleras, en las serranías de San Lucas, La Macuira, Baudó, La Macarena, la Sierra Nevada de Santa Marta y el cerro Tacaruna, entre los 1.500 y los 3.800 metros de altura sobre el nivel del mar. Otros autores incluyen las sierras de San Jacinto y Chamuza, el cerro Murrucucú, las islas Providencia y Gorgona y las serranías de Aspare, Chiribiquete, Puinawai y Naquén (Armenteras et al, 2007).

La recolección se hace mediante mallas captadoras, suspendidas y orientadas en sentido perpendicular al flujo del viento, de modo que la nube de niebla sea arrastrada hacia ella (Klemm et al, 2012; Cerceda et al, 2008; Prada et al, 2009). Cuando las gotas de agua suspendida que conforman la niebla hacen contacto con el tejido de la malla, éstas sufren un cambio de energía superficial que favorece la formación de gotas de mayor tamaño, que se adhieren, aglutinan y escurren por la malla misma, para ser almacenadas en tanques.

En los proyectos de recolección de niebla llevados a cabo en el mundo, suelen buscarse lugares de muy poca precipitación, cerca de cuerpos grandes de agua que provean la evaporación masiva necesaria para la formación de nubes, es decir, lagos u océanos, y un factor de condensación rápida para la formación de niebla al nivel del suelo, como la elevación del terreno (Klemm et al, 2012; Olivier J. and Rautenbach C., 2002; Cerceda et al, 2008; Prada et al, 2009). Al tener un sistema montañoso paralelo a su costa pacífica, Colombia es un país que presenta características primarias favorables para la recolección de agua de niebla; sin embargo, la investigación en captación y gestión de este recurso de agua potable aún es muy incipiente. Molina y Escobar publicaron en 2008 un estudio de la variabilidad en la recolección de agua de niebla en la zona montañosa del suroeste de Colombia (Molina J. and Escobar C., 2008), y concluyeron que los resultados permiten plantear la posibilidad de aplicaciones a gran escala para esta tecnología en diferentes zonas del país.

En muchos de estos lugares donde la disponibilidad de agua para consumo humano de buena calidad es escasa e inestable, una alternativa como esta provee una solución costo-efectiva para problemas relacionados con enfermedades derivadas de mala calidad del agua, como dengue, malaria, cólera, hepatitis A e intoxicaciones, entre otras (Pino et al, 2010; Briñez et al, 2012), que de acuerdo con la Defensoría del Pueblo, 2009, durante el año 2007 sumaron 173.712 casos en el país, frente a 154.357 casos en el 2006, lo que representa un aumento del 12,2 %.

En este estudio se captó y caracterizó agua niebla recolectada en el Municipio de San Antonio (Cundinamarca), que se localiza en una zona geográfica favorable y evaluar esta tecnología como una alternativa de suministro complementario de agua potable en zonas rurales cercanas a Bogotá D.C. (León P. and Peñaloza L., 2012).

## **METODOLOGIA**

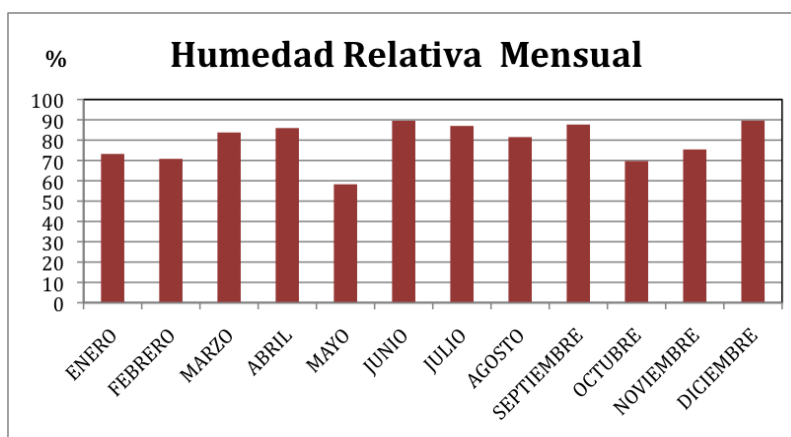
Se construyó un captador de tela de poliéster del tipo geotextil con varias caras de manera que en un espacio relativamente pequeño se optimizara la superficie de recolección de agua, con un área total de 6 m<sup>2</sup> y separado 1 m del suelo (Ver Fig. 1); se

instaló en un área cercana a la reserva natural de Chicaque, en el municipio de San Antonio (Cundinamarca) que presentaba condiciones climáticas favorables.



**Figura 1.** Captador instalado (León P. and Peñaloza L., 2012).

En la Fig. 2, se puede observar la media histórica de la humedad relativa de la Estación Boquemonte, en el municipio de Soacha, cercana al sitio de captación (CAR, 2012). Al estar por encima de 70% durante casi todo el año, se confirma el potencial que tiene la zona para una recolección efectiva de agua niebla.



**Figura 2.** Promedio Humedad relativa mensual - Estación Meteorológica Boquemonte (abril 2012).

El registro de los datos en campo se realizó durante 53 días consecutivos, desde el 19 de marzo hasta el 9 de mayo de 2012. Además de registrar la producción volumétrica diaria de agua, se analizaron las características físicas, químicas y biológicas del agua captada, de acuerdo con los requerimientos del Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico para aguas de consumo humano RAS 2000 (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la producción volumétrica de agua por captación se muestran en la tabla I.

**Tabla I.** Producción volumétrica de agua del captador de agua niebla.

Fecha	Producción volumétrica de agua (L)	Fecha	Producción volumétrica de agua (L)	Fecha	Producción volumétrica de agua (L)
19-mar	31,0	05-abr	33,5	22-abr	54,0
20-mar	35,0	06-abr	38,5	23-abr	51,5
21-mar	33,5	07-abr	43,0	24-abr	44,5
22-mar	36,0	08-abr	32,5	25-abr	46,5
23-mar	38,5	09-abr	42,0	26-abr	45,5
24-mar	43,0	10-abr	46,5	27-abr	48,0
25-mar	42,0	11-abr	44,5	28-abr	49,0
26-mar	36,0	12-abr	39,5	29-abr	46,5
27-mar	46,5	13-abr	40,5	30-abr	49,0
28-mar	39,5	14-abr	49,0	01-may	45,5
29-mar	34,5	15-abr	44,5	02-may	53,0
30-mar	36,0	16-abr	42,0	03-may	50,5
31-mar	36,0	17-abr	46,5	04-may	49,0
01-abr	42,0	18-abr	42,0	05-may	51,5
02-abr	39,5	19-abr	46,5	06-may	50,5
03-abr	38,5	20-abr	44,5	07-may	43,0
04-abr	44,5	21-abr	49,0	08-may	46,5
				09-may	49,0
<b>Producción media (L/día)</b>					43,26
<b>Desviación estándar (L/día)</b>					5,775

**Tabla II.** Análisis químico, físico y microbiológico.

Parámetros	Unidades	Valor Muestra	Valor máximo aceptable*
Alcalinidad total	mg/L	<7	200
Calcio	mg/L	19,5	60
Color	Unidades de platino-cobalto (UPC)	<5	15
<i>Escherichia Coli</i>	Presencia/ ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia	Ausencia
Coliformes totales		Ausencia	Ausencia
Conductividad	µsm/cm	124	
Dureza total	mg/L	<10	300
Fosfato	mg/L	<0,15	0,5
Hierro	mg/L	<0,090	0,3
Magnesio	mg/L	<2	36
Nitratos	mg/L	0,55	1,0
Nitritos	mg/L	0,025	0,1



<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Muestra</b>	<b>Valor máximo aceptable*</b>
Olor y sabor	Aceptable – no aceptable	Aceptable	Aceptable
pH	-	6,25	6,5 – 9,0
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)	1,5	2

\* RAS 2000.

En la tabla 2 se presentan los resultados de los análisis químico, físico y microbiológico del agua captada.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El RAS 2000 propone un suministro de 55 (L·habitante/día) de agua potable para una actividad de vida media y sin incluir cultivo de alimentos y las características técnicas del prototipo instalado permitieron captar un promedio de 43,26 L/día, por lo que se requeriría un sistema con mayor capacidad que pueda captar el agua necesaria para atender las necesidades de la población.

De acuerdo con los estándares de calidad que se deben garantizar en el agua para el consumo humano (Kourtey et al, 2011; Kidron G. and Starinsky A., 2011; Aikawa et al, 2007; Aleksic et al, 2009), las características del agua captada en el sector cumplen con los requerimientos físicos, químicos y microbiológicos para este uso establecidos en el RAS 2000, con excepción del nivel de pH, el cual requeriría un tratamiento previo a su distribución. Esto indica que la calidad del agua en la atmósfera de este sector es adecuada para consumo humano.

Los resultados de este estudio exploratorio sirven de base para llevar a cabo un estudio de factibilidad económica y social de la aplicación del proyecto con base en lo documentado en otros países (Klemm et al, 2012; Olivier J. and Rautenbach C., 2002; Lekouch, et al, 2010; Cortina et al, 2011; Estrela et al, 2009) y otras regiones del país (Molina J. and Escobar C., 2008), siguiendo recomendaciones de mantenimiento y sostenibilidad, para la aplicación efectiva de esta tecnología a gran escala en estos municipios.

## REFERENCIAS

- Aikawa M, Hiraki T, Shoga M, Tamaki M, Sumitomo S, Seven-year trend and the time and seasonal dependence of fog water collected near an industrialized area in Japan, *Atmospheric Research* 2007; 83: 1-9.
- Aleksic N, Roy K, Sistla G, Dukett J, Houck N, Casson P, Analysis of cloud and precipitation chemistry at Whiteface Mountain, NY, *Atmospheric Environment* 2009 Feb; 43: 2709-2716.
- Armenteras D, Cadena-V C, Moreno R. Evaluación del estado de los bosques de niebla y de la meta 2010 en Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt: 2007.

Bríñez A, Karol J, Guarnizo G, Juliana C Arias V, Samuel A. Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima, Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2012 Ago; 30(2): 175-182.

CAR Corporación autónoma regional de Cundinamarca. Registro histórico de humedad relativa media mensual de la estación meteorológica de Boquemonte, 2012 Abril.

Cereceda P, Larrain H, Osses P, Farías M, Egaña I, The climate of the coast and fog zone in the Tarapacá Region, Atacama Desert, Chile, Atmospheric Research 2008; 87: 301-311.

Cortina J, Amata B, Castillo V, Fuentes D, Maestre F, Padilla F, et al., The restoration of vegetation cover in the semi-arid Iberian southeast, Journal of Arid Environments 2011 Sep; 75: 1377-1384.

Defensoría del Pueblo de Colombia. Diagnóstico del cumplimiento del derecho humano al agua en Colombia. 2009 Abr: 342-352. ISBN: 978-958-9353-96-7.

Ebner M, Miranda T, Roth-Nebelsick A, Efficient fog harvesting by *Stipagrostis sabulicola* (Namib dune bushman grass), Journal of Arid Environments 2011 Feb; 75: 524-531.

Estrela M, Valiente J, Corell D, Fuentes D, Valdecantos A, Prospective use of collected fog water in the restoration of degraded burned areas under dry Mediterranean conditions, Agricultural and Forest Meteorology 2009 Jun; 149: 1896-1906.

Henschel J and Seely M, Ecophysiology of atmospheric moisture in the Namib Desert", Atmospheric Research 2008; 87: 362-368.

Holwerda F, Brujinzeel L, L. Muñoz-Villers E, Equihua M, Asbjornsen H, Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico, Journal of Hydrology 2010 Jan; 284: 84-96.

Kidron G, Starinsky A, Chemical composition of dew and rain in an extreme desert (Negev): Cobbles serve as sink for nutrients, Journal of Hydrology 2011 Dec; 420-421:284-291.

Klemm O, Schemenauer R, Lummerich A, Cereceda P, Marzol V, Corell D, et. al., Fog as a Fresh-Water Resource: Overview and Perspectives. Ambio 2012 Feb; 41: 221-234.

Kourtev P, Hill K, Shepson P, Konopka A, Atmospheric cloud water contains a diverse bacterial community, Atmospheric Environment 2011 Jun; 45: 5399-5405.

Lekouch I, Muselli M, Kabbachi B, Ouazzani J, Melnytchouk-Milimouk I, Beysens D, Dew, fog, and rain as supplementary sources of water in south-western Morocco, Energy 2010 Mar; 36: 2257-2265.

León P, Peñaloza L, Recolección y/o captación de aguas nieblas para los sectores rurales de Pasquilla, Mochuelo y Las Violetas (tesis para optar título de Ingeniero Civil). Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2012.

Marzol M, Temporal characteristics and fog water collection during summer in Tenerife (Canary Islands, Spain), Atmospheric Research 2008; 87: 352-361.

Ministerio de Desarrollo Económico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000.

Molina J, Escobar C, Fog Collection Variability in the Andean Mountain Range of Southern Colombia", Die Erde 2008; 139: 127-140.

Olivier J, Rautenbach C, The implementation of fog water collection systems in South Africa, Atmospheric Research 2002 Mar; 64: 227-238.

Prada S, Menezes de Sequeira M, Figueira C, Oliveira da Silva M, Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal), Agricultural and Forest Meteorology 2009 Feb; 149: 1179-1187.

Pino N, Tejeda O, Chávez Z y Rapado M, Enfermedad diarreica aguda y su relación con la calidad del agua de consumo. Revista habanera de ciencia médica publicación periódica en línea. 2010 Nov (citado 2013 may; 9(4): 473-479). Se consigue en: URL: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1729-519X2010000400005&lng=es>.

Pryet A, Domínguez C, Fuente P, Chaumont C, Ozouville N, Villacís M, et al, Quantification of cloud water interception along the windward slope of Santa Cruz Island, Galapagos (Ecuador), Agricultural and Forest Meteorology 2012 Mar; 161: 94-106.

# SANITARIO SECO: UNA ALTERNATIVA PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO EN ZONAS RURALES

García-Ubaque C. A.<sup>a</sup>, Vaca-Bohórquez M. L.<sup>b</sup> y García-Ubaque J. C.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, COLOMBIA

<sup>b</sup>Consultora, Investigadora Independiente, COLOMBIA

<sup>c</sup>Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, COLOMBIA

e-mail: [cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

## RESUMEN

*El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el uso de sanitario seco en una zona rural en Colombia. Se seleccionaron quince familias ubicadas en zona rural de un municipio de Cundinamarca. Con su acompañamiento se construyó un sanitario seco en una de las viviendas, el cual operaría durante cinco meses y se hizo una evaluación ex-post acerca de los aspectos técnicos y económicos asociados a su utilización. Como resultados, se observó que el sanitario seco posee facilidad constructiva, ya que no requiere un adiestramiento especializado por parte de comunidades que lo deseen utilizar y muestra ventajas ambientales asociadas a menor contaminación de fuentes hídricas y menor uso de fertilizantes químicos. Para el municipio estudiado, los costos asociados a su construcción y funcionamiento pueden representar un ahorro equivalente a \$616.973.456 (US\$308.487), frente a uso de sanitarios convencionales. Sin embargo, se encontraron barreras culturales para su utilización. En muchos países existe en el sector rural un gran porcentaje de hogares que no cuentan con un sistema de alcantarillado para disponer los residuos humanos, lo cual genera desafíos importantes a nivel de salud ambiental y el cuidado de los ecosistemas. La alternativa propuesta es una solución ambientalmente aceptable desde la perspectiva técnica y económica, sin embargo y para que alcance la cobertura necesaria que permita generar un impacto relevante, deben trabajarse los factores de tipo social y cultural que generan percepciones y prejuicios sobre el manejo de excretas en la población.*

*Palabras Clave:* Salud ambiental, saneamiento básico, eliminación de excretas, compostaje, evaluación.

## INTRODUCCIÓN

Los desafíos ambientales que la sociedad enfrenta en la actualidad constituyen una amenaza real al nivel de calidad de vida de una parte de la población y a la posibilidad de mejoramiento de las condiciones básicas en la gran mayoría de las comunidades que aún no logran satisfacer sus necesidades mínimas de salud y bienestar. De manera particular el manejo de residuos humanos (heces y orina) se ha constituido en una problemática central, que conlleva serias implicaciones para la salud humana y para la conservación y disponibilidad de servicios de los recursos naturales, especialmente en las zonas rurales.

Para el año 2013, el Departamento Nacional de Estadística DANE, reportó en la Encuesta Nacional de Calidad de Vida que, a nivel nacional, el 74,2% de los hogares colombianos cuentan con inodoros conectados a alcantarillado y en las cabeceras municipales el 91,9% (DANE, 2013). Sin embargo, en este mismo documento se

aprecia que fuera de las cabeceras municipales, solo un 14,8 % de los hogares tiene alcantarillado, un 54,7 % de ellos, maneja sus residuos humanos mediante pozos sépticos, un 11,7 % tiene inodoro sin conexión a ningún sistema de tratamiento, un 14,0 % no tiene servicio sanitario y un 4,9 % maneja otro tipo de sistemas (letrinas, bajamar, etc.); lo que implica que un 85,3 % de estos hogares está disponiendo de manera inadecuada sus residuos y considerando las dificultades de tipo técnico y económico que implica llevar a cada uno de estos hogares un servicio de alcantarillado, las perspectivas de solución no parecen posibles. En la tabla I se puede apreciar la situación del país por regiones.

**Tabla I.** Porcentaje de hogares sin alcantarillado en Colombia. Año 2013

	Hogares sin alcantarillado (%)
Promedio Nacional	24,8
Región Atlántica	45,2
Región Oriental	29,1
Región Central	24,6
Región Pacífica	53,9
Bogotá	0,3
Antioquia	21,1
Valle del Cauca	8,2
San Andrés y Providencia	67,7
Orinoquía y Amazonía	4,3

Fuente: (DANE, 2013)

La Tabla I permite apreciar que en el país existen áreas cuya población que está disponiendo sus residuos humanos mediante mecanismos que ponen en un riesgo considerable tanto la salud humana, como la salud del ecosistema; entre ellos se destacan las costas atlántica y pacífica (45,2 % y 53,9 % respectivamente).

Por otra parte, el tratamiento de residuos humanos utilizando descargas de agua potable para su transporte a fuentes hídricas, no parece la alternativa más eficiente, ya que por lo menos el 27% del agua potabilizada se está utilizando en los sanitarios, junto con un 20% que se pierde en los sistemas de distribución (Devkota et al, 2013), y aún más preocupante es que el 3% de la energía producida se gasta en el tratamiento de agua potable y de aguas residuales (Chirjiv A. and Defne A., 2014).

Se han probado diferentes opciones para reducir el consumo de agua en el tratamiento de desechos humanos como: la utilización de aguas lluvias y grises, el uso de sanitarios altamente eficientes y sanitarios secos que, al evaluarlas con criterios como ahorro de agua, costos de infraestructura, ahorro de energía y emisión de gases de efecto invernadero, la alternativa más conveniente resulta ser el sanitario seco (Devkota et al, 2013; Anand C. and Defne A., 2014). Adicionalmente, se ha encontrado que los desechos humanos (tanto heces como orina) tienen un valor potencial para ser aprovechados como fertilizantes o como combustibles, o incluso como fuente de proteína para animales, entre otros (Mnkeni P. and Austin L., 2009).



En los sanitarios convencionales, el agua se utiliza básicamente como un medio de transporte, que termina generando al final del proceso, los mismos residuos sólidos que deben ser tratados por diferentes medios como: disposición en rellenos sanitarios, tratamientos térmicos, disposición en suelos, u otros, sin olvidar que adicionalmente se debe realizar tratamiento al agua utilizada (Chirjiv A. and Defne A., 2014).

Diversos estudios han demostrado que la mejor condición para realizar el tratamiento de residuos, desde el punto de vista técnico-económico, es ejecutar los procedimientos “in situ”, disminuyendo al máximo el transporte y generando un ciclo favorable de aprovechamiento. Sin embargo, por tratarse de desechos humanos, los prejuicios culturales, la falta de conocimiento técnico-científico y el manejo de riesgos asociados, hacen que este tipo de soluciones enfrenten una enorme dificultad para ser desarrollados en forma masiva, de manera que produzcan impactos relevantes en las condiciones ambientales y de salud de las poblaciones comprometidas (Caicedo N. and Cruz M., 2012).

Una barrera social adicional, para el tratamiento “in situ” de los desechos humanos es que tradicionalmente se han puesto a prueba e investigado en zonas rurales y poblaciones vulnerables, por lo cual estos sistemas se asocian a condiciones de pobreza, sin apreciar las bondades que generan en términos de calidad de vida en todo el ciclo productivo (Devkota et al, 2013).

Para materializar el uso de tecnologías de conservación de recursos y permitir que se vuelvan parte del quehacer de una comunidad, se deben conocer los factores que influyen la toma de decisiones por parte de los hogares (Dupont D. and Renzetti S., 2013). Características como nivel educativo, tamaño y composición de la familia, precio del agua, percepción del riesgo y hábitos, entre otros; se constituyen en elementos impulsores o perturbadores de estos procesos. Estas nuevas tecnologías requieren experimentación y un marco de aplicación para manejar la complejidad y la incertidumbre de la aceptación social. Tomar en cuenta solo los aspectos técnicos, es insuficiente y lleva a grandes frustraciones y retrocesos en los objetivos de salud humana y salud ambiental; debe haber capacitación y acompañamiento (Wallina et al, 2013).

Los sanitarios secos son un sistema de eliminación de excretas que no necesita agua y con el cual se puede obtener abono orgánico. El sistema plantea el uso de dos cámaras alternas una activa (en uso) y otra en reposo donde se da lugar a los procesos de desactivación y mortalidad constante de organismos y patógenos. La primera patente para un inodoro de tierra se registró en 1838 por Thomas Swinburne. Más tarde, Henry Moule empezó a experimentar enterrando sus heces en el jardín y después de 3 o 4 semanas, no había rastros del material enterrado, con lo cual dio inicio al diseño de su propio inodoro en el que se depositaba una cantidad determinada de tierra, que caía de una tolva ubicada detrás de la taza sobre las heces frescas. A principios de la década de 1980, el profesor MatsWolgast del KarolinskaInstitutet, en Estocolmo, Suecia, desarrolló el sistema WM Ekologen, tipo ES, que, se basa en un proceso de deshidratación, diseñado para desviar la orina (Caicedo N. and Cruz M., 2012). Se han hecho desarrollos posteriores, pero con el mismo propósito de no utilizar agua y convertir los desechos humanos en un producto reciclable.

En el presente estudio se analizan los resultados de un estudio sobre tratamiento de residuos humanos mediante la construcción y operación de un sanitario seco, en la vereda San Miguel del municipio Mesitas del Colegio (Cundinamarca). Comprendió las siguientes etapas: a) Encuesta a la comunidad sobre hábitos de uso del sanitario y uso de compost en los cultivos de la zona, b) Capacitación a la comunidad para mostrar los beneficios del sanitario seco y recibir retroalimentación, c) Construcción de un sanitario seco como prototipo para evaluar la implementación del proceso, d) Operación del sanitario seco y toma de muestras de laboratorio y e) Análisis de costos de construcción y operación (Niño J. and Bermúdez J., 2013).

## METODOLOGIA

El municipio Mesitas del Colegio, se encuentra a 60 km de la ciudad de Bogotá y cuenta con 21713 habitantes, de los cuales 8277 viven en la cabecera municipal (38,1%) y 13436 viven en la zona rural (61,9 %) (Ministerio de Salud y Protección Social, 2014). Tiene una cobertura de acueducto del 87% y de alcantarillado del 47,4% (DNP, 2014).

Con la colaboración de la Junta de Acción Comunal, se convocó la participación de 15 núcleos familiares, a quienes se les aplicó una encuesta para conocer sus hábitos con respecto al uso de los sanitarios y el tipo de abonos utilizados para los cultivos que manejan.

Se construyó un sanitario seco en una de las fincas y durante cinco meses se hizo seguimiento a las variables de temperatura, volumen y densidad del residuo para evaluar la evolución del proceso de compostaje. El producto final fue caracterizado para verificar que cumpliera con los requerimientos mínimos para su uso como abono orgánico. Posteriormente se proyectó la cantidad agua ahorrada en un año y su impacto económico en las finanzas del municipio, si este adoptara la tecnología de sanitarios secos para el tratamiento de residuos humanos.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la encuesta se presentan en la Tabla II.

**Tabla II.** Resultados encuesta aplicada

Variables		Valor
Número de familias encuestadas		15
Promedio de integrantes por familia		3,33
Promedio de usos/día del sanitario		8,33
Cultivos predominantes en el área (%)	Mango	31,0
	Yuca	8,0
	Mandarina	28,0
	Aguacate	13,0
	Plátano	13,0

	Otros	7,0
Tipo de abonos utilizados (%)	Orgánicos (gallinaza, estiércol de cerdo, etc.)	53,4
	Químicos	13,4
	Ninguno	33,2
Aceptación del uso de heces humanas para la elaboración de abonos orgánicos (%)	Si	67,0
	No	33,0

Fuente: (Niño J. and Bermúdez J., 2013).

En la Tabla III, se pueden apreciar los datos obtenidos en el material sometido al proceso de compostaje, durante el proceso.

**Tabla III.** Datos registrados durante el proceso de compost

Fecha	Peso (kg)	Volumen de la muestra (m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
04-nov-2012	-	-	-	-
18-nov-2012	6,20	0,0177	24,00	350,85
09-dic-2012	6,00	0,0177	53,00	339,53
23-dic-2012	5,30	0,0177	62,00	299,92
06-ene-2013	5,80	0,0177	68,00	328,21
20-ene-2013	5,50	0,0177	56,00	311,24
03-feb-2013	5,20	0,0177	45,00	294,26
17-feb-2013	5,00	0,0177	38,00	282,94
03-mar-2013	4,80	0,0177	29,00	271,62
17-mar-2013	4,40	0,0177	25,00	248,99
Promedio	5,425	0,0177		303,06
Acumulado	43,4	0,1593		

Fuente: (Niño J. and Bermúdez J., 2013).

En la Tabla IV se presenta la comparación de los costos de construcción y de operación de un sanitario seco con un sanitario convencional, teniendo en cuenta las condiciones de la zona de estudio.

**Tabla IV.** Comparación de costos de construcción y operación en las condiciones del municipio

Variable	Costos de construcción	Costos de operación (año)
Sanitario convencional	\$1.582.000	\$162.200*
Sanitario Seco	\$1.183.500	\$107.300**

\*Costos de potabilización y tratamiento de aguas residuales.

\*\*Valoración del tiempo/persona e insumos requeridos para el manejo de los desechos. Fuente: (Niño J. and Bermúdez J., 2013).

El compost obtenido en la operación del sanitario seco fue evaluado para verificar que cumpliera estándares mínimos para ser usado en los cultivos del área. Los datos se presentan en la Tabla V.

**Tabla V.** Análisis de laboratorio del compost obtenido

Parámetro	Unidad	Resultado	Norma (Farm Composting Handbook)
Relación C/N*		10,5 : 1	25 : 1 – 30 : 1
Humedad	%	47	40 – 65
pH		7,59	5,5 – 9,0
Temperatura	°C	68	55 - 75

\*Carbono/Nitrógeno.

Fuente: (Niño J. and Bermúdez J., 2013).

En la Tabla VI, se calcula el ahorro en consumo anual de agua si toda la población del municipio implementara el uso de sanitarios secos.

**Tabla VI.** Cálculo del ahorro anual de consumo de agua en el municipio

Año	2013
Población del municipio proyectada del censo de 2005	22 082 habitantes
Promedio descargas/ día/ habitante	2,25
Promedio volumen de agua en cada descarga	0,032 m <sup>3</sup>
Gasto de agua / habitante / día	0,072 m <sup>3</sup>
Gasto anual de agua del municipio	580.314,96 m <sup>3</sup>
Precio de venta de agua potable en el municipio	\$1.063,17 m <sup>3</sup>
Valor anual ahorrado por el municipio en consumo de agua	\$616.973.456

Fuente: (Niño J. and Bermúdez J., 2013).

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el estudio, se puede observar que:

- El grupo social con el que se trabajó mostró actitudes favorables hacia la posibilidad de utilizar las excretas como abono en sus cultivos, sin embargo, durante la etapa de acompañamiento mostró desconfianza sobre los procedimientos de manipulación de excrementos para su tratamiento.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio, el compost obtenido cumple con los estándares para pH, temperatura, contenido de cenizas y humedad. El único parámetro por encima del valor mínimo exigido es la relación C/N, lo cual requeriría ajustes dentro del proceso para cumplir la norma.
- Los costos de construcción y operación del sanitario seco representan un ahorro de 25% y 33% respectivamente, al compararlo con un sanitario convencional.
- La estimación del ahorro anual de agua para el municipio, si toda su población adoptara el uso del sanitario seco, sería de 580.314,96 m<sup>3</sup>, que representan COP\$616.973.456 (U\$308.487 aprox.).

## DISCUSIÓN

La tecnología del sanitario seco ofrece a nivel técnico y ambiental muchas ventajas sobre los sistemas convencionales de tratamiento de residuos humanos, tanto en términos de costos, como de impactos sobre el medio ambiente (Devkota et al, 2013; Anand C. and Defne A., 2011; Mnkeni P. and Austin L., 2009; Dienera et al, 2014). Sin embargo, su uso no ha logrado masificarse de una manera relevante, que pueda modificar significativamente las condiciones de saneamiento básico en zonas rurales, debido a prejuicios y barreras de tipo social y cultural relacionadas con temores sobre la seguridad del sistema, por considerarla como una alternativa para población de bajos recursos y además requerir mayores actividades de mantenimiento por parte de los usuarios, entre otros (Devkota et al, 2013). De manera análoga, otro tipo de comportamientos ambientalmente amigables como la separación de basuras, el reciclaje, el uso de la bicicleta o transporte público, cambiar las bolsas plásticas por bolsas reutilizables, etc., se enfrentan a valoraciones de tipo social que dificultan su adopción por parte de la mayoría de la población.

Estos desafíos requieren por parte de las autoridades y los tomadores de decisiones que se tengan en cuenta no solo las ventajas técnicas de las alternativas de solución a un problema de manejo de residuos sólidos, en este caso, sino la manera en que las comunidades los perciben. Es muy importante conocer los factores que influyen la toma de decisiones por parte de los hogares para adoptar tecnologías de conservación de recursos, por ejemplo: su ingreso, el nivel educativo, el tamaño de la familia, el precio de los recursos y de la tecnología, entre otros (Dupont D. and Renzetti S., 2013). Se debe tener en cuenta que toda política pública pasa por una decisión personal (Wallina et al, 2013) y esto hace que sea necesario un trabajo adicional de pedagogía, socialización y seguimiento.

Las nuevas tecnologías y con mayor razón, las relacionadas con manejo de excretas, requieren experimentación y un marco de aplicación para manejar la complejidad e incertidumbre para su aceptación social. Se debe profundizar en aspectos como capacitación y acompañamiento teniendo en cuenta factores como: cosmovisión y valores de los grupos sociales, percepción del riesgo y hábitos. Se requieren tanto inversiones en el desarrollo de estructuras físicas, como en el fortalecimiento de estructuras sociales (Montes A., 2009). Se ha encontrado que grupos sociales con igual nivel socioeconómico, tienen diferentes percepciones sobre el manejo de desechos humanos (Lamichhane K. and Babcock R., 2013) y la información limitada sobre riesgos y procedimientos hacen que prácticas y tecnologías con buen desempeño técnico no logren volverse hábitos en las comunidades.

Como herramientas de trabajo para lograr cambios relevantes en términos de adopción de tecnología y prácticas ambientalmente amigables, se han propuesto realizar análisis etnográficos que permitan entender la manera en las personas hacen las cosas, educar, desarrollar habilidades, motivar el uso continuado del comportamiento y generar nuevo conocimiento (Ramani et al, 2012), se requiere un modelo flexible que evalúe las diferentes etapas y fases adaptándose a la respuesta de la comunidad y no de manera lineal (Davies-Colley C. and Smith W., 2012)).



Se requiere proponer un diálogo cultural que haga énfasis en las personas y no en las cosas o procedimientos (Eva P., 2006) y desarrollar alternativas que mejoren la interacción tecnología-usuario (Guerrero et al, 2006; De Olmo A., 2011).

## REFERENCIAS

- Anand C, Defne A. Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, rainwater flushed, and composting toilets. *Journal of Environmental Management* 2011; 92: 419-428.
- Caicedo N, Cruz M. Implementación del Programa de sanitarios ecológicos como estrategia para disminuir enfermedades en el corregimiento de Caimalito del municipio de Pereira. Tesis de grado Administración Ambiental [2012]. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Chirjiv A, Defne A. Composting toilets as a sustainable alternative to urban sanitation – A review. *Waste Management* 2014; 34: 329–343.
- DANE Departamento Nacional de Estadística. Encuesta Nacional de Calidad de Vida 2013. [Internet]. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/es/estadisticas-sociales/calidad-de-vida-ecv/87-sociales/calidad-de-vida/5399-encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-2013>. Consultado mayo de 2014.
- Davies-Colley C, Smith W. Implementing environmental technologies in development situations: The example of ecological toilets. *Technology in Society* 2012; 34: 1-8.
- Del Olmo A. Sanitario mecatrónico para un sistema ecológico. Tesis de grado para Ingeniero Mecatrónico [2011]. Universidad Autónoma de México, México D.F.
- Devkota J, Schlachter H, Anand C, Phillips R, Defne A. Development and application of EEAST: A life cycle based model for use of harvested rainwater and composting toilets in buildings. *Journal of Environmental Management*. 2013; 130: 397-404.
- Dienera S, Semiyagab S, Niwagabab C, Murray A, Gningd J, Mbéguéré M, et al. A value proposition: Resource recovery from faecal sludge: Can it be the driver for improved sanitation? *Resources, Conservation and Recycling* 2014; 88: 32-38.
- DNP Departamento Nacional de Planeación, Información municipal para la construcción de programas de gobierno. [Internet]. Disponible en: <https://pwh.dnp.gov.co/Programas/DesarrolloTerritorial/Gesti%C3%B3nP%C3%BAblicaTerritorial/Gu%C3%ADaMetodolog%C3%ADaPublicaciones.aspx>. Consultado mayo de 2014.
- Dupont D, Renzetti S. Household behaviour related to water conservation. *Water Resources and Economics* 2013; 4: 22-37.
- Eva P. La pertinencia cultural en los procesos de transferencia tecnológica: el caso de las unidades sanitarias secas en la región de Aysen, Chile. Tesis de grado Magister en Desarrollo Rural [2006]. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Guerrero M, Fritche J, Martínez R, Hernández Y. Diseño y construcción de sanitarios ecológicos secos en áreas rurales. *Revista Cubana de Salud Pública* 2006; 32(3) [Internet] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21420864016>. Consultado mayo de 2014.
- Lamichhane K, Babcock R. Survey of attitudes and perceptions of urine-diverting toilets and human waste recycling in Hawaii. *Science of the Total Environment* 2013; 443: 749-756.

Ministerio de Salud y Protección social. Sistema Integral de la Protección Social SISPRO, Ficha departamental y municipal [Internet]. Disponible en: <http://www.sispro.gov.co/#>. Consultado mayo de 2014.

Mnkeni P, Austin L. Fertiliser value of human manure from pilot urine-diversion toilets. *Water SA* 2009; 35(1): 133-138.

Montes A. Análisis de la contribución de los sanitarios secos al Saneamiento básico rural. Caso: vereda chorrillos. Tesis de grado Maestría en Gestión Ambiental [2009]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Niño J, Bermúdez, J. Implementación de sanitario seco para la obtención de compost orgánico en la vereda San Miguel de Mesitas del Colegio (Cundinamarca). Tesis de grado Ingeniería Civil [2013]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

Ramani S, SadreGhazi S, Duysters G. On the diffusion of toilets as bottom of the pyramid innovation: Lessons from sanitation entrepreneurs. *Technological Forecasting & Social Change* 2012; 79: 676-687.

Wallina A, Zannakisb M, Johanssonc L, Molandera S. Influence of interventions and internal motivation on Swedish homeowners' change of on-site sewage systems. *Resources, Conservation and Recycling* 2013; 76: 27-40.

# CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RIO ANDALGALÁ, PROVINCIA DE CATAMARCA

Garelli Martin <sup>a</sup> y Niz Adriana <sup>ab</sup>

<sup>a</sup> Licenciatura en geología, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

<sup>b</sup> instituto de Monitoreo y control de la degradación geoambiental, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina.

e-mail: [martino.geo1234@gmail.com](mailto:martino.geo1234@gmail.com)

## RESUMEN

*El presente trabajo tiene como fin el estudio de la caracterización morfométrica de la cuenca del río Andalgala, ubicada al norte de la ciudad cabecera del departamento. Esta presenta zonas vulnerables, no solo por los depósitos finos no consolidados fácilmente erosionables, sino también por sus crecidas espontaneas en épocas estivales que arrastran mucho material. La cuenca principal mencionada abarca 3 subcuencas con características particulares y propias.*

*El sector NW corresponde a la subcuenca de Río Andalgala, esta aloja un importante proyecto minero, Agua Rica. El sector N la subcuenca del Río Candado y NE la subcuenca del Río Blanco, ambos poseen depósitos glaciares y periglaciares de gran tamaño. Estas 3 áreas generan procesos de deslizamientos y remoción en masa, cuyos materiales van a parar en la cuenca baja, generando posibles riesgos para la población.*

*Se llevó a cabo un estudio considerando los procesos geomorfológicos dominantes, las geoformas de erosión y de acumulación, la evolución del paisaje a partir de agentes antrópicos y naturales, para definir las condiciones generales de la cuenca.*

*Palabras claves:* crecidas, deslizamientos

## INTRODUCCIÓN

La zona corresponde a una cuenca hidrográfica que se sitúa en la región oeste de la provincia de Catamarca, en el faldeo suroccidental de la sierra de Aconquija en el departamento de Andalgala, ubicándose entre las coordenadas 27° 19' 03,08" S, 66° 13' 32,12" O en nacimiento y 27° 36' 36,74" S, 66° 18' 47,83" O, punto donde desemboca el drenaje de la cuenca.

El departamento, gracias a su clima, situación geográfica y contexto geológico, cuenta con una amplia variedad de recursos naturales, renovables y no renovables. Es por esto que es necesario el aportar información de base, para planificar adecuadamente futuras prácticas antrópicas.

Los principales aportes que recibe la cuenca provienen de las subcuencas Mina, Candado y Blanco, definiendo así un drenaje de tipo perenne, conteniendo agua todo el tiempo, ya que el nivel freático permanece por arriba del fondo del cauce.

Se analizaron las características morfométricas de la cuenca principal que abastece a la población de agua para riego y agua potable.



Figura 1. Área de ubicación de la cuenca del rio Andalgala, imagen extraída del software libre Google Earth.

## MARCO GEOLOGICO

El área de estudio se encuentra ubicada en el sector oeste de la sierra de Aconquija, Departamento Andalgala, provincia de Catamarca, estando inmerso en la provincia geológica de sierras pampeanas [1]Stelzner, 1873, compuesto principalmente por basamento cristalino ígneo-metamórfico y depósitos finos no consolidados localizados en el área cumbre.

La estructura de las Sierras Pampeanas ha sido caracterizada por [2]González Bonorino 1950, quien las consideró un sistema de montañas en bloque, limitadas por fallas inversas de alto ángulo, son cordones orientados en dirección NNO-SSW con alta pendiente hacia el Oeste y suave hacia el Este.

La sierra de Aconquija está constituida por el batolito de capillitas, el cual se encuentra compuesto de rocas graníticas con diferenciación sienogranítica, adamellitica y granodiorítica, de edad ordovícica (Dames y Moore, 1997.proyecto Pasma). También presenta vestigios de la última glaciación, de relieve escarpado con enormes Valles en “U” típicos del paso de un glaciar, Valles colgados, circos glaciares y depósitos morrenicos.

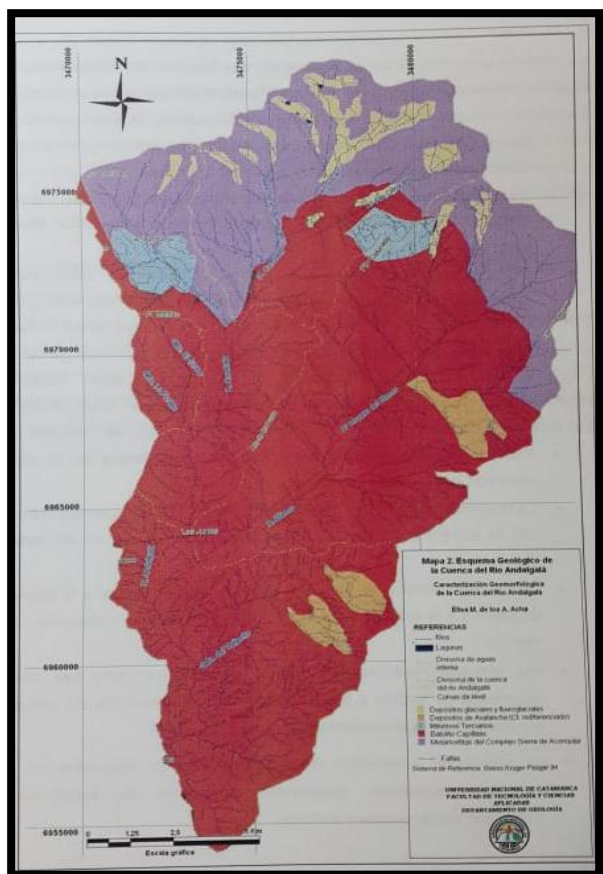


Figura 2. Mapa geológico de la cuenca del río Andalgala, extraído de tesis (Acha, Elisa Ma. de los A. 2010)

## METODOLOGIA

Este estudio fue realizado mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el soporte técnico de software Google Earth, donde se delimitaron la cuenca y subcuencas principal, para luego exportarlo en formato .kmz a Global Mapper y así obtener el modelo de elevación digital.

Posteriormente se digitalizaron las curvas de nivel cada 50 metros generando una base de datos vectorial, altimétrico y longitudinales con el software Arcgis map, para así obtener la red de drenaje y pendientes.

Los cálculos de las dimensiones de cada cuenca también fueron obtenidos mediante la digitalización y poligonización de parte de los SIG.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la confección del mapa hidrológico de la cuenca del Río Andalgala, se logró determinar 3 subcuencas (subcuenca Mina, subcuenca Candado y subcuenca Blanca) y un área en zonas bajas encargadas de recolectar y recibir aportes de estos efluentes.

### Parámetros físicos

Constituyen un conjunto de información necesaria para conocer el comportamiento hidrológico de la zona, dentro de las cuales se logro analizar los siguientes parámetros: área, longitud, perímetro, ancho, índice de compacidad, factor de forma, relación de elongación y relación circularidad.



- La cuenca principal es catalogada como pequeña (campos, 1992) (250Km-500Km) en cuanto a su forma, es alargada rectangular con relieves fuertes y pendientes pronunciadas, lo que demuestra crecidas repentinas teniendo pocas posibilidades de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa.
- Con el análisis de los parámetros generales de las subcuencas se determinó que: la subcuenca río Blanco cubre un área de 87 Km<sup>2</sup>, la subcuenca del río candado muestra un área de 49,9 Km<sup>2</sup> y el área de la subcuenca sur es de 17 Km<sup>2</sup>; siendo las tres propensas a crecidas instantáneas en épocas estivales. Con respecto a sus formas, las subcuencas del río Candado y río Mina son oval oblonga a rectangular oblonga, siendo la primera la que posee máxima capacidad de captación de agua superficial, en tanto que la subcuenca del río blanco se la clasifica como rectangular.
- Los resultados obtenidos nos permiten determinar que la subcuenca del río Candado, al ser la más redondeada a diferencia de las demás, permite captar una mayor recepción de precipitación, mientras las otras al ser más alargadas, tienen poca posibilidad de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa.

<b>1 RIO ANDALGALA</b> Area: 259 Km Perimetro: 87Km Longitud: 22,9Km Ancho: 11,3Km Índice de compacidad: 3,9 Factor de forma: 0,44 Relación de enlogación: 0,70 Relación de circularidad: 0,42	<b>2 RIO MINA</b> Area: 17 Km Perimetro: 18,8Km Longitud: 4,27Km Ancho: 3,9Km Índice de compacidad: 1,7 Factor de forma: 0,93 Relación de enlogación: 0,45 Relación de circularidad: 0,60
<b>3 RIO CANDADO</b> Area: 49,9 Km Perimetro: 31,4Km Longitud: 11,4Km Ancho: 4,37Km Índice de compacidad: 1,58 Factor de forma: 0,38 Relación de enlogación: 0,23 Relación de circularidad: 0,63	<b>4 RIO BLANCO</b> Area: 87 Km Perimetro: 39,7Km Longitud: 11,3Km Ancho: 2,09Km Índice de compacidad: 2,382 Factor de forma: 0,65 Relación de enlogación: 0,25 Relación de circularidad: 0,69

Tabla 1 Valor de los parámetros obtenidos con los Sig.

### Parámetros de red drenaje

Estos parámetros son los encargados de definir la forma y el modelo de la red de drenaje, para su elaboración se tomó en cuenta la jerarquización, relación de bifurcación, densidad de drenaje y diseño de drenaje.

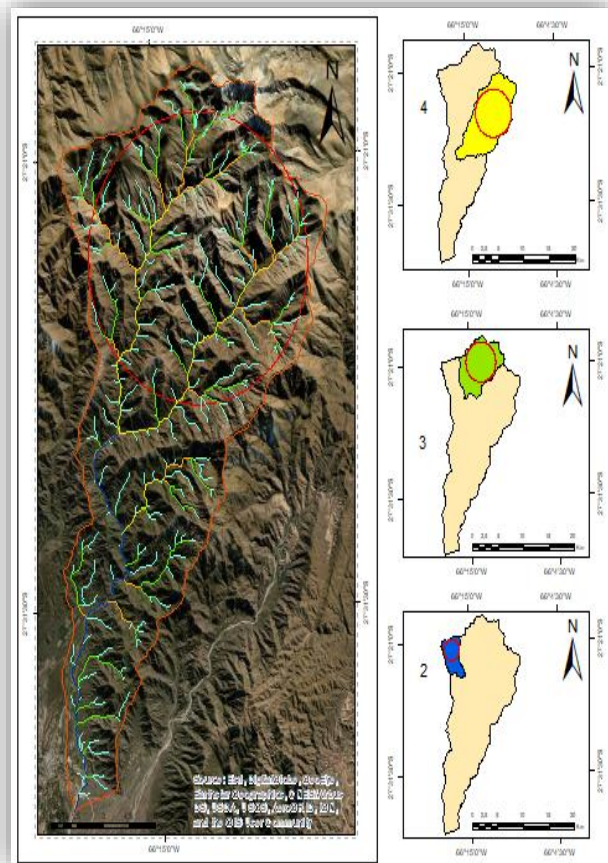


Figura 3 Mapa de áreas, cuenca principal y subcuencas, generadas con el software ArgisMap 10.5

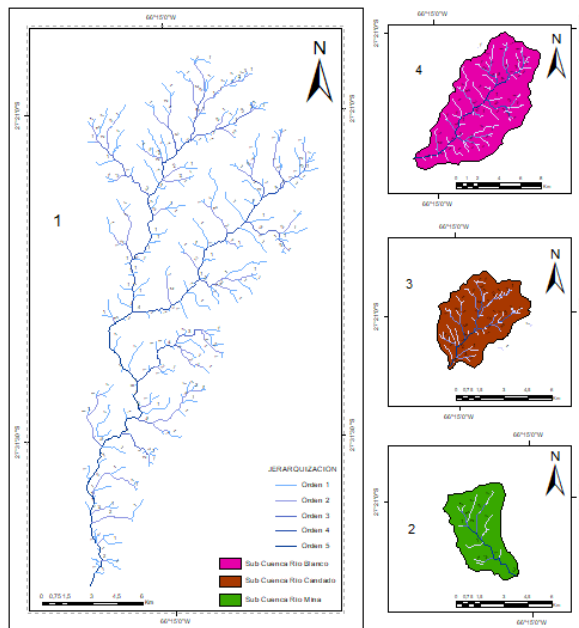


Figura 4. Mapa de jerarquización de ríos.

- Según la clasificación de la densidad de drenaje (Monsalve 1999) la cuenca del Río Andalgalá da como resultado 2,35 lo que corresponde a una densidad de drenaje baja, asociados a volúmenes medios de escurrimiento, es decir que presenta un buen drenaje, indicando una escasa infiltración, que favorece el escurrimiento superficial.
- En cuanto la relación de bifurcación se obtiene un valor de 4,9, indicando una cuenca con relieve montañoso, amplia red hidrográfica y suelos o coberturas erosionables.
- Las cuencas Andalgalá poseen un alto orden (Horton,)  $\geq 5$  que se corresponden con un gran número de cauces primarios, indicador de una importante actividad erosiva y productora de agua y sedimentos

- Para el modelo de la red de drenaje se empleó la clasificación de Way (1978) la cual se basa en la densidad de la corriente, textura y forma. De acorde a esta clasificación se logro determinar que la cuenca principal posee un drenaje angulado, controlado por fallas y fracturas entre rocas de distintas naturalezas. Para las sub cuencas, el sistema de drenaje es distinto; La subcuenca del río Mina presenta un drenaje de tipo rectangular, donde los tributarios se juntan con la corriente principal en ángulos casi rectos; las subcuencas del río Candado y río Blanco, ambos presentan drenajes similares de tipo paralelo y semi paralelo, este desarrollo se puede deber a la presencia de las cubiertas de sedimentos semiconsolidados fácilmente erodables.

### Parámetros de altura

Son de gran importancia debido a que ejercen una gran influencia sobre la respuesta hidrológica, puesto que las pendientes de gran valor, generan mayores velocidades de agua en las escorrentías en lapsos menores de tiempo.

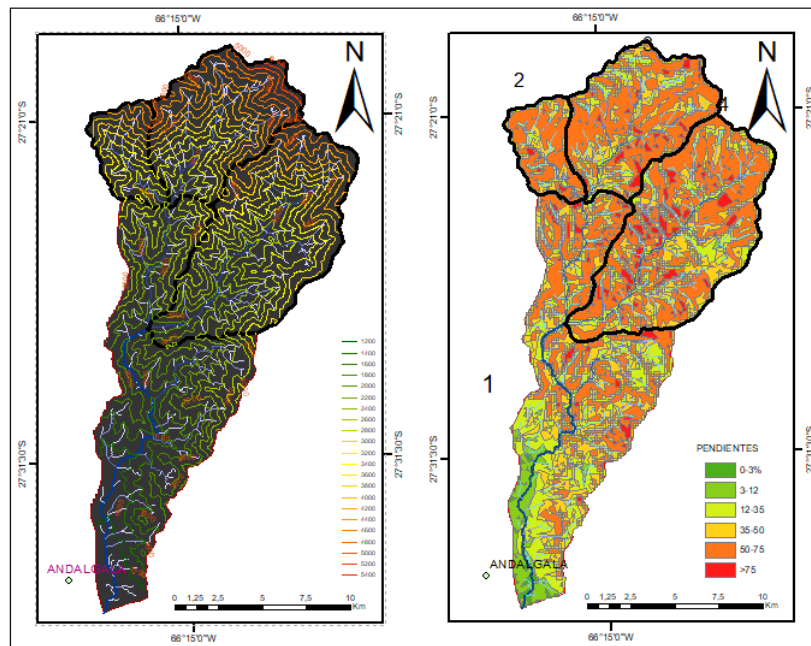


Figura 5. Mapa topográfico y de pendientes.

- ✚ Según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998), se clasificó la cuenca en pendientes, con SIG sobre el Modelo Digital de Elevación. La cuenca principal posee una altura aproximada de 5400msnm con un desnivel altitudinal del 4200m, con importantes pendientes cuyos valores superan  $>75\%$  en sus nacientes, lo que indica terrenos muy escarpados con buen escurrimiento.
- ✚ Se observa que las mayores alturas se encuentran dentro de la subcuenca del río Candado (cumbres más altas de la Sierra Aconquija), pero es la subcuenca del río Blanco es quien tiene las pendientes más elevadas, produciéndose importantes deslizamientos de rocas y flujos de materiales.
- ✚ La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce. Para determinar la pendiente media de la cuenca se utilizó el mapa topográfico y el Modelo Digital de Elevación, cuyo valor es de 72,85%. Con respecto a la altura media de la cuenca cuyo valor ronda a los 1200, se observa que la cuenca baja se encuentra en un estado intermedio del ciclo de erosión, entre la fase de equilibrio y vejez.

### Perfiles altitudinales

El perfil altimétrico es simplemente el gráfico de altura en función de la longitud a lo largo del río principal. Para este caso se ha tomado un perfil que respete la dirección principal del cauce, desde el punto más alto hasta la desembocadura, el cause principal escurre en el sentido N-S por lo que el perfil se tomó en esa dirección.

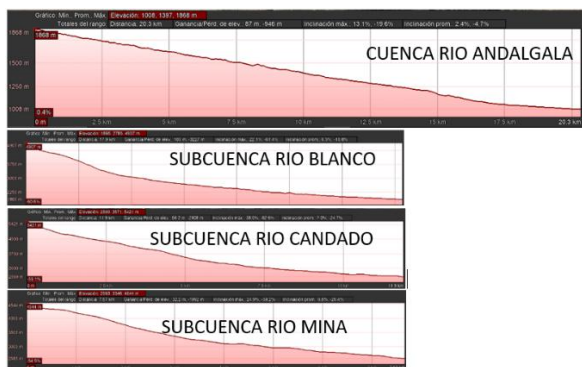


Figura 6. Perfiles altimétricos para la determinación de pendiente.

A los perfiles altimétricos se los obtuvieron utilizando la herramienta de diseño gráfico Google Earth, donde se trazaron los perfiles de 3 Km aproximadamente, con el fin de mostrar el cambio de las pendientes en los diversos tramos de los afluentes principales de cada subcuenca, esos tramos han sido seleccionados considerando una cierta homogeneidad en cada uno.

La orientación de la cuenca, según Llamas (1993), es su dirección geográfica según la resultante de la pendiente general. La orientación de la cuenca Andalgalá posee una mínima exposición solar, favoreciendo la retención de humedad, brindando un mayor desarrollo de suelo y cubierta vegetal en zonas media y baja.

## 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 considera que es una cuenca bien drenada y de baja densidad, obteniendo un modelo de drenaje tipo angulado.
- Las fuertes pendientes en cuenta alta y media, en conjunto con el material no consolidado, son muy susceptibles a la erosión. La consecuencia de este problema es que, a mayor pendiente, mayor es la erosión y la carga del material, en esto se podría suponer un incremento en la energía del cauce lo que se traduce en una mayor proporción de transporte de material hacia el fondo del río.
- 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.

## REFERENCIAS

- González Bonorino, F. 1950a. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. Revista de la Asociación Geológica Argentina 5(3): 81-110. Buenos Aires.
- Morlans, MC(2003). "Universidad nacional de Catamarca. Regiones Naturales de Catamarca, Provincia Geológica y Provincia Fitogeografica". Argentina. 32 pagina.
- 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.
- Atlas Catamarca (2006), - Departamento de Andalgalá.
- Chow, V., Maidmen, D., y Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Mc.Graw Hill. Santa Fe de Bogota. 584.p.

Horton, R.E., 1945 Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative monitoring. Bull.Geol.Soc.Am., 56:275–370.

Strahler A. V. (1952): Hypsometry analysis of erosional topography. Bull, Geol. Soc. Am. Vol. 63. p.p. 923-938.

Ruiz, D Y Stopp, P 1978. The river basin. An Introduction to the study of hydrology. Cambridge University Press. Londres – Inglaterra. 120p.

[www.edafologia.ugr.es](http://www.edafologia.ugr.es): tema 5. Erosion Hidrica.

[www.glaciares.org.ar](http://www.glaciares.org.ar): Glaciares de argentina.



# CAMBIOS EN LA DINÁMICA (1969-2019) DE LA LENGUA DEL GLACIAR MANSO, PARQUE NACIONAL NAHUEL HUAPI.

Ghilardi J. C.<sup>a</sup> y Ruiz L.<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, ARGENTINA.

<sup>b</sup>Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) CONICET, Mendoza, ARGENTINA.

e-mail: [lruiz@gmail.com](mailto:lruiz@gmail.com)

## RESUMEN

*Los glaciares son testigos del cambio climático. Al igual que en la mayoría de los cordones montañosos del mundo, en las últimas décadas se ha observado un retroceso considerable de los glaciares de Patagonia. Para comprender la respuesta de los mismos frente al cambio climático es necesario estudiar su dinámica. En este trabajo se analizan los cambios en la dinámica de la lengua cubierta del glaciar Manso (también llamado Ventisquero Negro) a partir de los cambios en las estructuras superficiales. El glaciar Manso (10.9 km<sup>2</sup>) ha sufrido un importante retroceso (1.4 km) en los 30 años. A partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales de alta resolución se realizó una interpretación de las estructuras superficiales del glaciar entre 1969 y 2019. Entre 1969 y 1981 la zona terminal de la lengua cubierta del glaciar estuvo caracterizada por la presencia de termokarst producto del dominio de la ablación por sobre la dinámica. Luego de la generación del lago proglacial, y en particular desde 2010, la parte frontal del glaciar está dominada por grietas transversal y estructuras tipo rift, asociadas a la dinámica de desprendimiento de témpanos. Por otro lado, se observa una disminución en el número de ojivas entre ambos períodos. Posiblemente, este cambio se debe a una menor transferencia de masa desde la zona de acumulación en las últimas décadas. Los cambios observados en las estructuras superficiales de la lengua cubierta del glaciar Manso permiten inferir un cambio en el campo de esfuerzos actuantes en los últimos 50 años, desde condiciones predominantemente comprensivas en el pasado (1969-1981) hacia condiciones predominantemente extensivas en la última década (2012-2019). Esta extensión generalizada del glaciar ayuda a explicar en parte el mayor adelgazamiento de este glaciar en las últimas décadas.*

*Palabras Clave:* Cambio Climático, Glaciar, Dinámica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los glaciares son testigos del cambio climático. Al igual que en la mayoría de los cordones montañosos del mundo, en las últimas décadas se ha observado un retroceso considerable de los glaciares de Patagonia (Paul and Mölg, 2014; Zemp et al, 2015, 2019). La Patagonia Argentina presenta un amplio rango de precipitaciones que generan ecorregiones sumamente diferentes a lo largo de un gradiente este-oeste (Morello et al., 2012). Desde mediados del siglo pasado, en la estrecha franja húmeda cerca de los Andes, las precipitaciones han disminuido, alcanzando reducciones de hasta el 30-50% en algunas localidades y las temperaturas han aumentado (Barros et al., 2015). En el noroeste de la

Patagonia se proyecta que la tendencia de precipitación negativa observada continúe, con una mayor reducción durante el invierno (Barros et al., 2015).

Los glaciares tienen un rol esencial en la dinámica natural, especialmente en la regulación del ciclo hidrológico (Kaser et al., 2010; Bliss et al., 2014), por lo tanto, también intervienen en los ciclos ecológicos de los ecosistemas bajo su influencia (Rocha, 2015). Además, brindan una serie de servicios ecosistémicos entre los cuales se destacan el aprovisionamiento y reservorio de agua dulce, la regulación de la temperatura, la regulación de la calidad y cantidad de agua que escurre por los cauces, servicios culturales, estéticos y espirituales (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005). Los glaciares son sumamente relevantes en la valoración paisajística de los ambientes de alta montaña, por lo cual tienen un impacto social y económico, tanto para las comunidades aledañas, como para los organismos gubernamentales que se encargan de la conservación y manejo.

A pesar de la importancia científica, económica, social y el significado para el cambio global, el conocimiento de los glaciares de Patagonia era aún muy limitado hasta comienzos de la década del '90 (Skvarca, 2002). Actualmente existe un creciente interés por profundizar el conocimiento y comprender cómo están siendo afectados frente al cambio climático (Bown, 2004; Masiokas et al., 2009, 2010; Paul and Mölg, 2014; Ruiz et al., 2017).

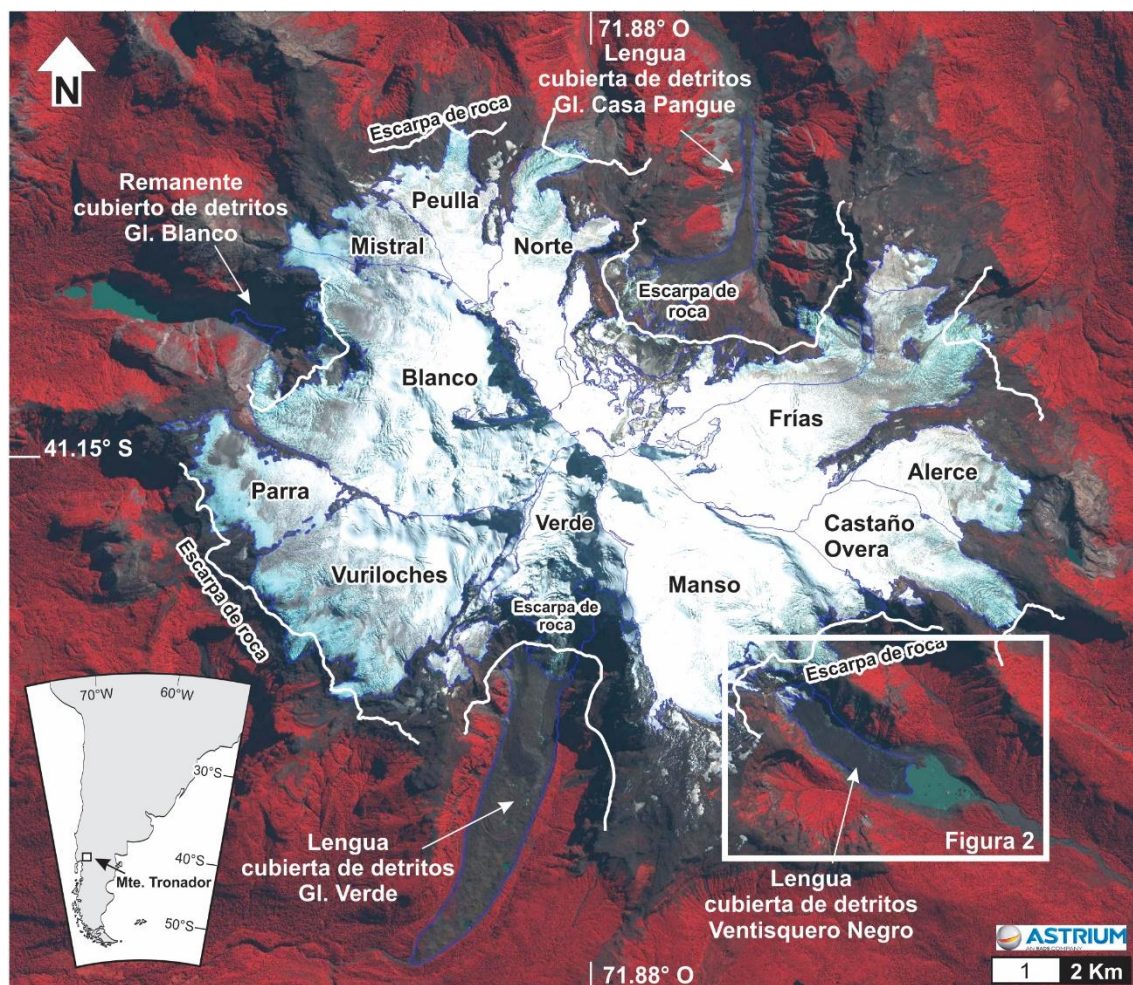
La reacción de un glaciar a un cambio en el clima involucra una compleja cadena de procesos (Meier, 1984). Los cambios en las condiciones atmosféricas (radiación solar, temperatura del aire, precipitación, viento, nubosidad, etc.) influyen en el balance de masa (ganancia y pérdida de masa) de los glaciares. En escalas temporales de años a décadas, los cambios acumulados en el balance de masa causan cambios de espesor y de volumen, que modifican el flujo ya sea por deformación interna o deslizamiento basal. Es el flujo de hielo (aumento o disminución) el que finalmente lleva a un cambio en la extensión del glaciar, el avance o retroceso de la posición de su frente. Por lo tanto, para conocer la respuesta de los glaciares a los cambios en el clima es necesario comprender y evaluar la dinámica de estos (Cuffey and Paterson, 2010).

Mediciones de espesor y velocidad de los glaciares previos a la época de imágenes satelitales, particularmente para los Andes, son casi inexistentes (Ruiz et al., 2015), por lo tanto es muy difícil analizar los cambios en la dinámica de los glaciares asociadas a los cambios recientes. Sin embargo, ya que la gran mayoría de las estructuras superficiales de los glaciares son una expresión de los campos de esfuerzos presentes en el glaciar, es posible utilizar los cambios en el tipo, extensión y posición de las estructuras superficiales como un “proxy” de los cambios en la dinámica de los glaciares (Benn and Evans, 2010; Colgan et al., 2016).

A partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales de alta resolución se analizan los cambios en las estructuras superficiales de la lengua cubierta del glaciar Manso en últimos 50 años (1969-2019) con el objetivo de conocer los cambios en la dinámica de a lo largo del tiempo.

## **2. AREA DE ESTUDIO**

El glaciar Manso (10.9 km<sup>2</sup>) es un glaciar de valle ubicado en la ladera sureste del Monte Tronador (41° 9' 38.67" S, 71°53' 6.52" O.) (Figura 1). La parte superior del glaciar descende desde la cumbre del Monte Tronador y se encuentra interrumpida por acantilados de varios cientos de metros de altura que generan gran cantidad de avalanchas y desprendimientos. El material proveniente de estas avalanchas alimenta a la lengua inferior "reconstituida" del glaciar, la cual transporta una importante carga de detritos y rocas que le confieren un aspecto sucio (de ahí el nombre local "Ventisquero Negro") (IANIGLA, 2018).



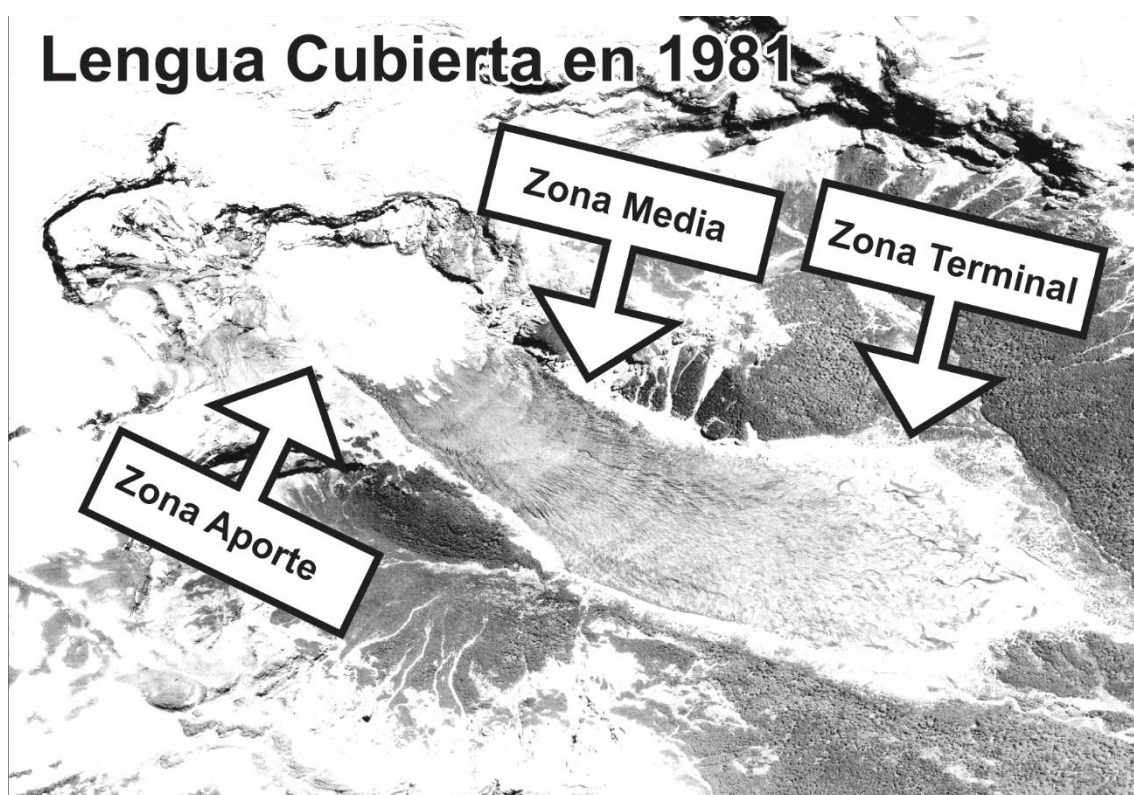
**Figura 1.** Monte Tronador y sus glaciares (Ruiz et al., 2017). El recuadro blanco indica la zona de lengua cubierta del glaciar Manso (Figuras 2 y 4).

En las últimas décadas, se ha observado importante un retroceso de los glaciares del Monte Tronador (Bown, 2004; Masiokas et al, 2009; Paul and Mölg, 2014; Ruiz et al, 2017). Todos los glaciares de esta área fueron significativamente más grandes, desarrollando morrenas y trimlines claros durante la pequeña edad de hielo, entre 1650 y 1850 (Masiokas et al, 2009, 2010). El glaciar Manso ha sufrido un importante retroceso (1.4 km) en los 30 años. De los glaciares de la región, es el que presenta mayor pérdida de masa ( $-0.085 \pm 0.01$  km<sup>3</sup>), y, junto con el glaciar Casa Pangué, la mayor disminución de altura de la superficie de hielo ( $-85 \pm 0.6$  m) (Ruiz et al, 2017). En mayo de 2009 se produjo un colapso de la morrena terminal que endicaba el lago, produciendo un



vaciamiento repentino del lago y una descarga de agua que generó una grave erosión del suelo y la vegetación aguas abajo. Se estima que el evento generó caudales de hasta  $4100\text{m}^3/\text{s}$ , (Worni et al, 2012).

En base a la fotografía aérea de 1969 y para mejorar la comprensión de los cambios acontecidos en la superficie del glaciar, esta fue dividida en tres zonas: aporte, media y terminal (Figura 2). La zona de aporte es la parte superior de la lengua, por debajo de la cascada de hielo que conecta la zona de acumulación en la parte superior, con la zona de ablación del glaciar (lengua cubierta). La zona media, como su nombre lo indica es la parte media de la lengua del glaciar y es principalmente una zona de transporte de hielo desde la zona de aporte hacia la zona terminal. Finalmente, la zona terminal de la lengua es relativamente más ancha que los demás sectores y es el sector donde se encuentra el frente de glaciar y la mayor cobertura de detritos.



**Figura 2.** División del glaciar en zona de aporte, zona media y zona terminal.

### **3. MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL**

#### **3.1 Imágenes satelitales y fotografías aéreas**

Se utilizaron fotografías aéreas (1969-1981) e imágenes satelitales de alta resolución (2012-2019) (Tabla I). Para que la variación captada no sea la correspondiente a variación estacional se utilizaron imágenes de fines de verano. Sin embargo, las imágenes se seleccionaron principalmente en función de su disponibilidad. Las fotografías aéreas fueron georreferenciadas y ortorectificadas en PCI Geomática con una resolución espacial de 1 metro y una precisión en la coordenada espacial menor a 1 m (Tabla I). Las imágenes satelitales pancromáticas de alta resolución del satélite Pleiades fueron georreferenciadas

y ortorectificadas en PCI Geomática siguiendo la metodología de Ruiz y colaboradores (2015).

**Tabla I.** Información de las imágenes utilizadas en el estudio.

Fuente de la información	ID	Fecha	Resolución espacial (m)	Precisión	
				X (m)	Y (m)
IGN	No corresponde	Feb 1969	1	0,5	0,5
IGN	No corresponde	Feb 1981	1	0,5	0,5
Pléiades ortho-image	DS_PHR1A_201204211445393_SE1_PX_W072S42_0220_01654	21/04/2012	1	0,2	0,4
Pléiades ortho-image	DS_PHR1A_201903111448379_FR1_PX_W072S42_0221_01578	11/03/2019	1	0,2	0,4

### 3.2 Lengua glaciar, lago proglaciar y estructuras superficiales

Sobre la base de las imágenes satelitales y fotografías aéreas se generaron manualmente (mediante el software SAGA) cuatro capas vectoriales (polígonos) de la lengua cubierta del glaciar Manso (1969-2019) y dos capas del lago proglaciar (2012 y 2019), dado que a partir de la década de 1990 comienza a observarse el surgimiento del mismo en la zona terminal de la lengua (Ruiz et al, 2017). Para la determinación de los bordes, tanto de la lengua como el lago, se utilizaron criterios de cambio de tonalidad. Además, se realizó una interpretación de las estructuras superficiales identificando cambios en la tonalidad y textura de las imágenes pancromáticas. Siguiendo la clasificación propuesta por Colgan et al, 2016, se trabajó con las siguientes categorías: ojivas, grietas (transversales, longitudinales o en échelon), cicatrices de grietas, canales, termokarst o sumideros, rift y conos de avalancha. Gracias a la alta resolución espacial de las fuentes de información utilizadas (Tabla I) fue posible mapear estructuras superficiales de pocos metros de extensión (4.5 m).

## 4. RESULTADOS

En primer lugar, no se observa un cambio considerable del área por encima de la cascada (zona de acumulación) en el glaciar Manso entre 1969 y 2019. En contraste, se observó una gran reducción en la extensión y largo de la lengua cubierta del glaciar (Tabla II). La pérdida total de superficie de la lengua cubierta fue de 1.4 km<sup>2</sup> entre 1969 y 2019, lo que representa una pérdida de más del 60% del área en 1969. Durante el mismo periodo el frente del glaciar Manso retrocedió 1,23 km. Se observa un aumento en la tasa de retroceso en los últimos años (Tabla 2).

**Tabla II.** Variación de la superficie y de la longitud máxima de la lengua cubierta del glaciar Manso.

Año	Área (km <sup>2</sup> )	Cambio del área (km <sup>2</sup> a <sup>-1</sup> )	Largo (km)	Cambio de largo (m a <sup>-1</sup> )
-----	-------------------------	--	------------	--------------------------------------



<b>1969</b>	2,31	0	3,41	0
<b>1981</b>	2,29	-0.002	3,41	-0,6
<b>2012</b>	1,15	-0.036	2,45	-31
<b>2019</b>	0,90	-0.037	2,19	-37
<b>Total</b>	-	<b>-0.028</b>	-	<b>-24</b>

#### **4.1 Estructuras superficiales identificadas en la lengua cubierta del glaciar Manso entre 1969 y 2019**

##### **Grietas**

Las grietas son manifestaciones visibles de los esfuerzos de tensión presentes en el hielo asociadas a un comportamiento de fractura. Para la digitalización se utilizaron principalmente criterios de cambio de tonalidad. Se clasificaron las grietas en tres categorías: en échelon, longitudinales y transversales. Las grietas échelon (Figura 3.b) son relativamente fáciles de identificar debido a su característica forma de “gancho”, resultado de esfuerzos rotacionales en el hielo. Las grietas longitudinales (Figura 3.a) y transversales (Figura 3.d) se clasificaron en función de su orientación respecto a la dirección del flujo del glaciar.

##### **Rifts**

Los rifts (Figura 3.c) son grietas aisladas que se han propagado por todo el espesor del frente del glaciar cuando este termina en un cuerpo de agua. Pueden ser paralelas o perpendiculares al flujo. Se encuentran en la zona de ablación y están asociados a una dinámica de desprendimiento de témpanos (o calving).

##### **Cicatrices**

Se consideraron cicatrices (Figura 3.e) a aquellas grietas que están cerradas por causa de esfuerzos compresivos. En consecuencia, su presencia indica que los patrones de fuerzas que formaron las grietas en el pasado ya no están presentes.

##### **Sumideros o Termokarst**

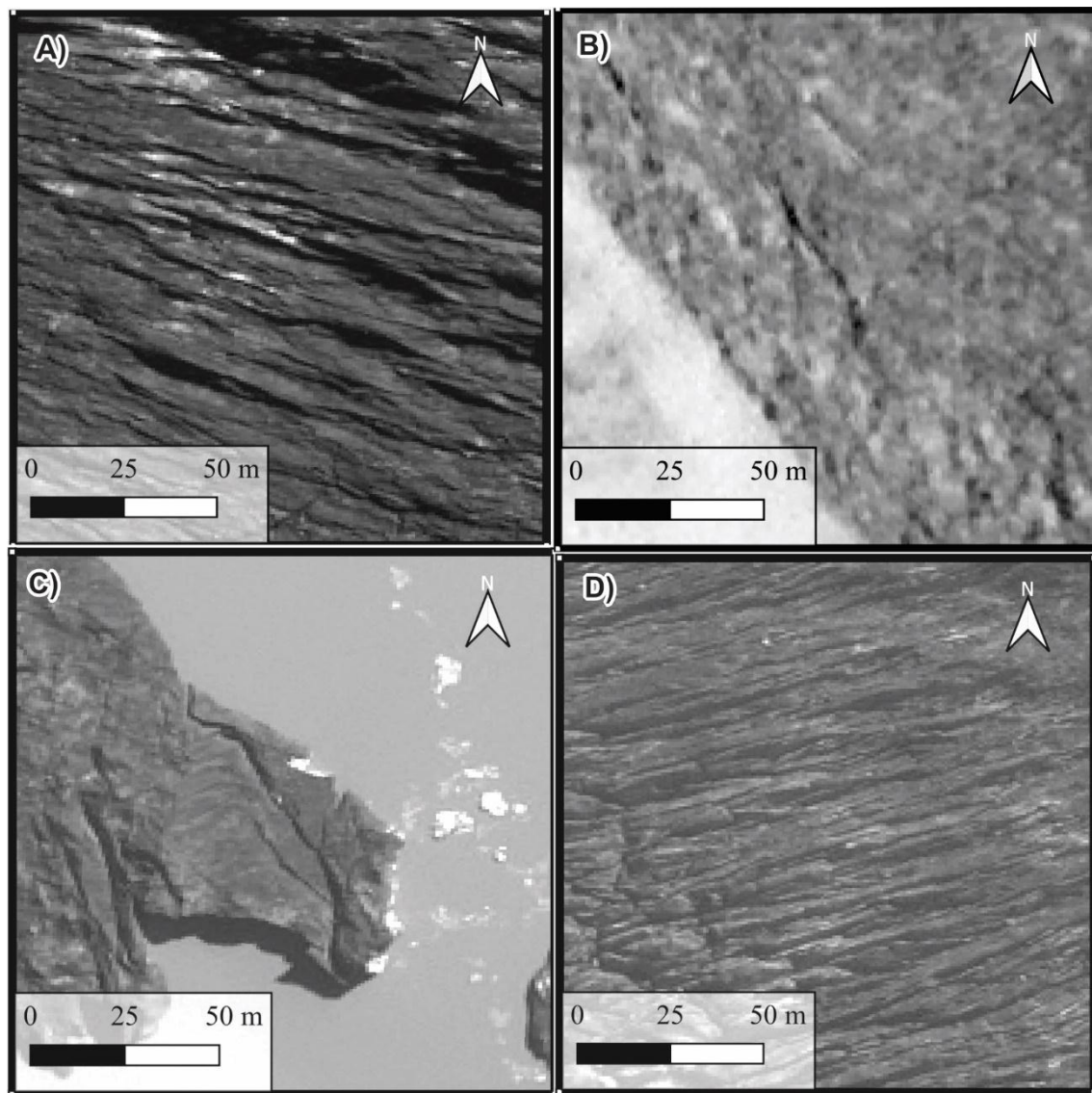
Se consideraron como sumideros o termokarst a aquellas estructuras que son el resultado de procesos de ablación, formación de pequeños cuerpos de agua o el ensanchamiento de moulins (Figura 3.g). Para la digitalización se tuvo en cuenta cambios de tonalidad y principalmente la forma de las estructuras.

##### **Canales**

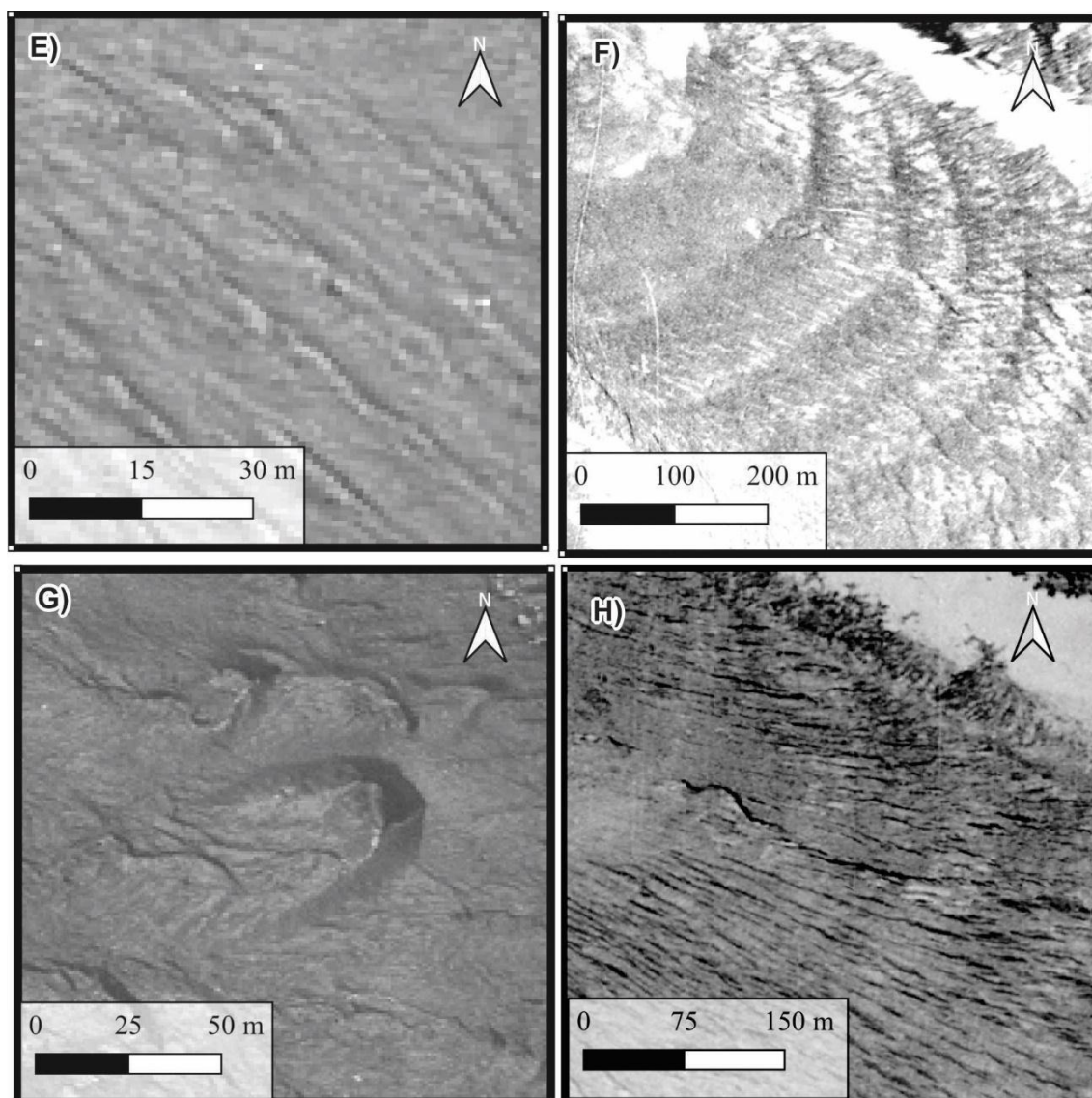
Se entiende por canales a aquellas estructuras formadas por la erosión hídrica generada por la fusión del hielo (tasas de derretimiento son mayores que las de congelación) y posterior escurrimiento del agua en la superficie del glaciar (Figura 3.h).

## Ojivas

A grandes rasgos existen dos tipos de ojivas, de ola o de banda, las cuales presentan diferentes teorías de formación y desarrollo (Goodsell et al, 2002). En este estudio se identificaron ojivas de ola las cuales consisten en una secuencia alternada de crestas y canales, formados por el aporte de masa proveniente de las cascadas de hielo. Están asociadas a un comportamiento plástico del hielo. Cada secuencia de banda cresta-canal representa un año de aporte (Figura 3.f).



**Figura 3. a-d.** Imágenes de grietas longitudinales modelo (a), en échelon (b), rift (c) y grietas transversales (d).



**Figura 3. e-d.** Imágenes de cicatrices modelo (e), ojivas (f), termokarst (g) y canales (h).

## **4.2 Cambios observados en las estructuras superficiales en las diferentes zonas de la lengua cubierta del glaciar Manso entre 1969 y 2019**

### **Zona de aporte**

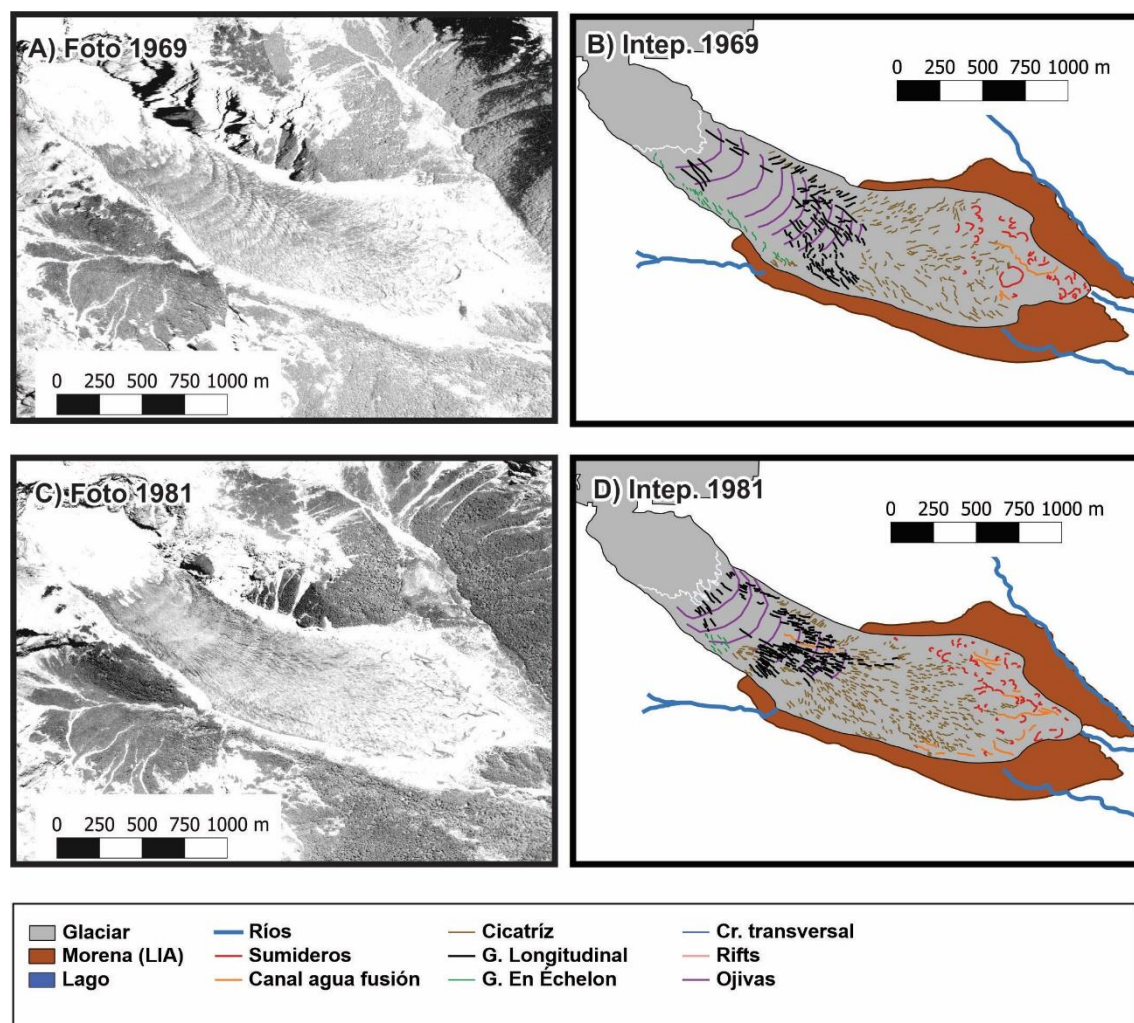
Para 1969 y 1981 en la zona de aporte ( $0.4 \text{ km}^2$ ) se observa solo el cono de avalanchas. En contraste, en 2012 y 2019 se observan grietas transversales cerca del ápice del cono de avalancha, y en menor medida grietas longitudinales y cicatrices en la parte inferior del cono de avalancha (Figura 4).

### **Zona media**

Durante el periodo 1969-1981 la zona media ( $0.82 \text{ km}^2$ ) estuvo dominada por grietas longitudinales y ojivas. En contraste, durante 2012, y en mayor medida en 2019, se observa un gran número de estructuras de fusión (termokarst, canales y sumideros) (Figura 4). En 1969 y 1981 se observan once y ocho secuencias de ojivas respectivamente, fluyendo desde el cono de avalancha hacia la zona media. En contraste, en 2012 se observan solo dos ojivas en la zona media, mientras que 2019 no se observa ninguna. En el margen sur de la zona media se observan grietas en échelon producto de la tensión rotacional, entre 1969 y 2019.

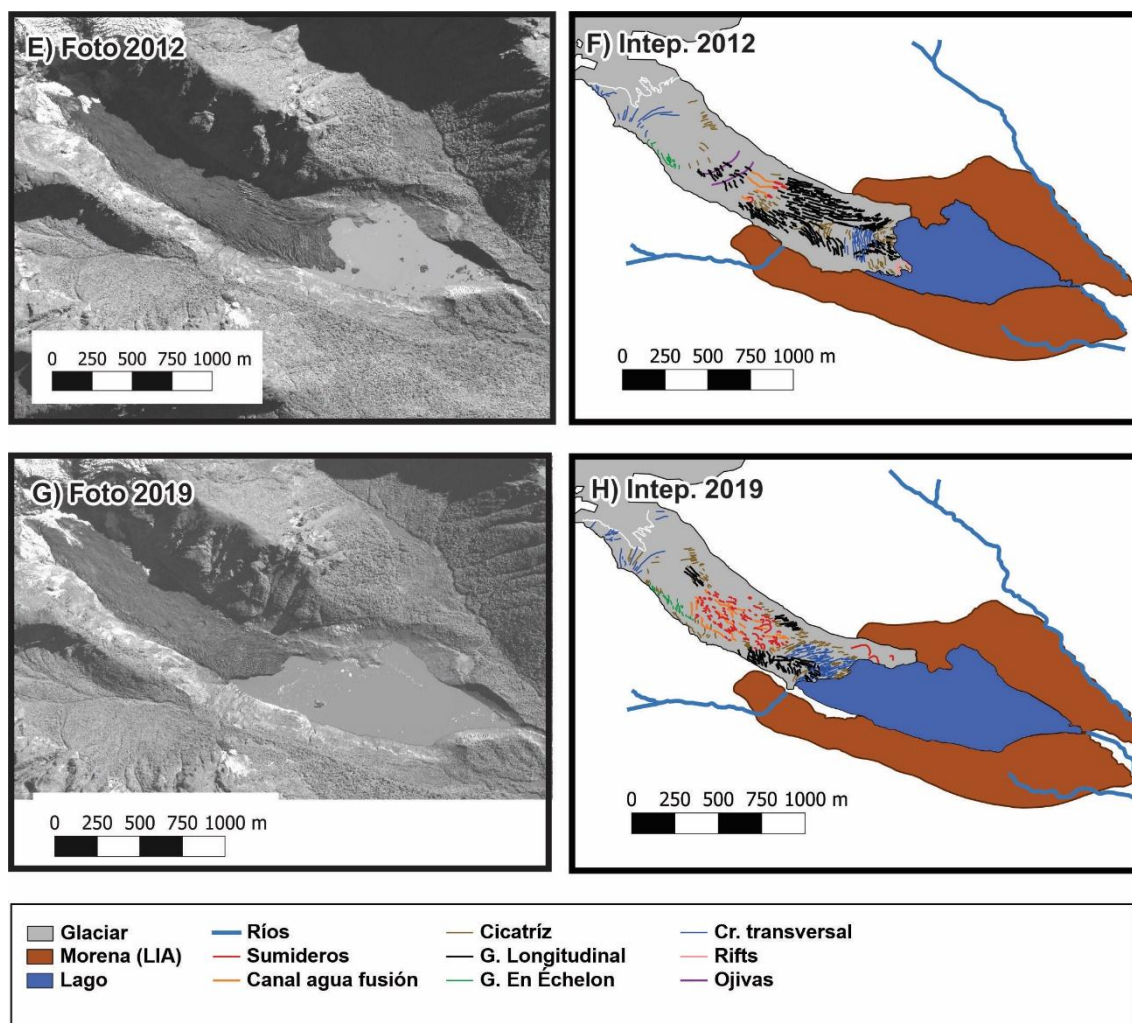
### Zona terminal

Entre 1969 y 1981 la zona terminal ( $1.14 \text{ km}^2$ ) de la lengua cubierta del glaciar estuvo caracteriza por la presencia de estructuras de fusión (termokarst, canales y sumideros) y cicatrices de grietas. Luego de la generación del lago proglacial y en particular desde 2010, la parte frontal del glaciar está dominada por grietas transversales, estructuras tipo rift y, hacia el interior, por grietas longitudinales con formación de seracs, particularmente en el año 2012 (Figura 4).



**Figura 4. a-d.** A la izquierda se muestran las imágenes del glaciar en 1969 (a) y 1981 (c). A la derecha se muestran los mapas de las estructuras superficiales interpretadas para 1969 (b) y 1981 (d).





**Figura 4. e-h.** A la izquierda se muestran las imágenes del glaciar en 2012 (e) y 2019 (g). A la derecha se muestran los mapas de las estructuras superficiales interpretadas para 2012 (f) y 2019 (h).

## 5. DISCUSIÓN

Las estructuras superficiales, tanto aquellas asociadas a la presencia de campos de esfuerzos desviatorios, como las generadas por la fusión diferencial de la superficie del glaciar, permiten hacer inferencias sobre los cambios de esfuerzos que actuaron o dejaron de actuar en un determinado sector del glaciar.

A lo largo de los últimos 50 años la zona de aporte ha estado activa, el cono de avalanchas se ha mantenido a partir de la acumulación de nieve, hielo y detritos provenientes de la parte superior del glaciar (zona de acumulación) y de la zona de roca libre. Se observa una reducción de aproximadamente el 50% en el tamaño del cono de avalanchas entre las fotografías aéreas de 1969-1981 con respecto a las imágenes satelitales de 2012-2019, que puede estar relacionado a un menor aporte desde la zona de acumulación hacia la zona de ablación y que puede explicar en parte el retroceso y pérdida de masa de este glaciar en los últimos años (Masiokas et al., 2010; Ruiz et al., 2017). Sin embargo, las fotos aéreas (febrero) son de mediados de la temporada de ablación, mientras que las imágenes satelitales (marzo-abril) son de finales de la temporada de ablación, por lo que también es más probable que el menor tamaño del cono se deba a que el glaciar se encuentra más seco. Por otro lado, la falta de generación de ojivas y la presencia de grietas



transversales aledañas al cono de avalancha en 2012 y 2019, son evidencia de un cambio de un estado de flujo comprensivo a uno con un comportamiento extensivo, incluso por debajo de un fuerte cambio de pendiente. Este cambio podría estar asociado a una respuesta general del glaciar al aumento de velocidad en el frente luego del vaciamiento repentino del lago (Ruiz et al., 2015).

La zona media, entre 1969 y 1981 estuvo dominada por grietas longitudinales, indicando la presencia de patrones de esfuerzos extensivos, transversales al flujo glaciar. La presencia de estos patrones sugiere una dinámica activa y una tendencia a la expansión del hielo en el sector intermedio entre la zona de aporte y la zona terminal del glaciar. En contraste, para los años posteriores, y particularmente en 2019, se observa un dominio de los procesos de ablación y escurrimiento. Lo que sugiere una merma en la velocidad en esta región del glaciar. Por su parte, la disminución del número de ojivas sugiere una menor transferencia de masa desde la zona de aporte hacia la zona de la lengua cubierta entre 1969-1981 y 2012-2019.

La zona terminal de la lengua cubierta del glaciar, entre 1969 y 1981, estuvo caracterizada por la presencia de termokarst y canales, producto del dominio de la ablación por sobre la dinámica. Gran parte de la zona terminal (en el sector aledaño a la zona media) se encuentra dominada por cicatrices de grieta, lo cual sugiere una merma en los esfuerzos extensivos. Todo esto sugiere una baja velocidad superficial en el sector. Luego de la generación del lago proglaciar, la parte frontal del glaciar comienza a estar dominada por grietas transversales y longitudinales, seracs y estructuras tipo rift, asociadas a una dinámica de desprendimiento de témpanos. La presencia de estas estructuras, sumada a la alta tasa de retroceso (Tabla 2), concuerda con una mayor velocidad superficial producto de una disminución de la presión efectiva en el frente del glaciar (Ruiz et al., 2015).

Los cambios observados en las estructuras superficiales de la lengua cubierta del glaciar Manso permiten inferir un cambio en el campo de esfuerzos actuantes en los últimos 50 años. Con condiciones predominantemente comprensivas asociadas a la presencia de ojivas y una zona terminal con predominio de estructuras de ablación que sugieren una casi nula velocidad del frente del glaciar cuando este terminaba en tierra entre 1969 y 1981. Hacia condiciones predominantemente extensivas entre 2012-2019, con grietas extensionales incluso en la zona de aporte y en el frente del glaciar asociada a una dinámica de calving activa. Este cambio en la campo de esfuerzos permite inferir que el fuerte retroceso y adelgazamiento que ha sufrido este glaciar en las últimas décadas (Tabla 2; (Ruiz et al., 2015, 2017) ha estado relacionado con una extensión generalizada del glaciar.

## **6. CONCLUSIONES**

En los últimos 50 años se observó un notorio cambio en el patrón de estructuras superficiales que permitieron inferir cambios importantes en la dinámica del glaciar. En particular, en la zona de aporte se observó una reducción del área del cono de avalancha y de generación de ojivas que permiten inferir una disminución del aporte desde la zona de acumulación. Por otro lado, la aparición en la última década (2012-2019) de grietas extensionales permite insinuar también un menor aporte y un comportamiento extensivo. En lo que respecta a la zona media o de mayor transporte se infiere una disminución de

la velocidad superficial (sin presencia de ojivas y una disminución de grietas longitudinales), mientras que en la zona terminal se observa un cambio de esfuerzos comprensivos a extensionales, que permiten inferir un aumento de velocidad debido a un mayor deslizamiento basal asociado a la presencia del lago proglaciar.

Los cambios observados en las estructuras superficiales de la lengua cubierta del glaciar Manso permiten inferir un cambio en el campo de esfuerzos actuantes en los últimos 50 años, desde condiciones predominantemente comprensivas en el pasado (1969-1981) hacia condiciones predominantemente extensivas en la última década (2012-2019). Esta extensión generalizada del glaciar ayuda a explicar, en parte, el mayor adelgazamiento de este glaciar en las últimas décadas.

## REFERENCIAS

- Bown F (2004) Cambios climáticos en la Región de Los Lagos y respuestas recientes del Glaciar Casa Pangue (41°080S). (Memoria de Magister en Geografía, Universidad de Chile)
- Barros VR, Boninsegna JA, Camilloni IA, Chidiak M, Magrín GO and Rusticucci M (2015) Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation: Climate change in Argentina. *WIREs Clim Change* **6**(2), 151–169 (doi:10.1002/wcc.316)
- Benn DI and Evans DJA (2010) *Glaciers and Glaciation*. Hodder Education
- Bliss A, Hock R and Radić V (2014) Global response of glacier runoff to twenty-first century climate change. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* **119**(4), 717–730 (doi:10.1002/2013JF002931)
- Colgan W, Rajaram H, Abdalati W, McCutchan C, Mottram R, Moussavi MS and Grigsby S (2016) Glacier crevasses: Observations, models, and mass balance implications: Glacier Crevasses. *Rev. Geophys.* **54**(1), 119–161 (doi:10.1002/2015RG000504)
- Cuffey KM and Paterson WSB (2010) *The Physics of Glaciers, Fourth Edition.*, 4 edition. Academic Press, Amsterdam
- Goodsell B, Hambrey MJ and Glasser NF (2002) Formation of band ogives and associated structures at Bas Glacier d'Arolla, Valais, Switzerland. *J. Glaciol.* **48**(161), 287–300 (doi:10.3189/172756502781831494)
- IANIGLA (2018) Rio Negro | Inventario Nacional de Glaciares. Informe IANIGLA [http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/?page\\_id=1602](http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/?page_id=1602)
- Kaser G, Grosshauser M and Marzeion B (2010) Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **107**(47), 20223–20227 (doi:10.1073/pnas.1008162107)
- Masiokas MH, Luckman BH, Villalba R, Ripalta A and Rabassa J (2010a) Little Ice Age fluctuations of Glaciar Río Manso in the north Patagonian Andes of Argentina. *Quaternary Research* **73**(1), 96–106
- Masiokas MH, Luckman BH, Villalba R, Ripalta A and Rabassa J (2010b) Little Ice Age fluctuations of Glaciar Río Manso in the North Patagonian Andes of Argentina. *Quaternary Research* **73**(1), 96–106 (doi:10.1016/j.yqres.2009.08.004)

- Masiokas MH, Rivera A, Espizua LE, Villalba R, Delgado S and Aravena JC (2009) Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **281**(3–4), 242–268 (doi:10.1016/j.palaeo.2009.08.006)
- Millennium Ecosystem Assessment (Program) ed. (2005) *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC
- Morello J, Matteucci SD, Rodríguez AF, Silva M and Haro JC de (2012) *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*.
- Paul F and Mölg N (2014) Hasty retreat of glaciers in northern Patagonia from 1985 to 2011. *Journal of Glaciology* **60**(224), 1033–1043 (doi:10.3189/2014JoG14J104)
- Rocha AS (2015) Glaciares en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE). *Investigaciones Geográficas* (49), ág. 51-68 (doi:10.5354/0719-5370.2015.37513)
- Ruiz L, Berthier E, Masiokas M, Pitte P and Villalba R (2015) First surface velocity maps for glaciers of Monte Tronador, North Patagonian Andes, derived from sequential Pléiades satellite images. *Journal of Glaciology* **61**(229), 908–922 (doi:10.3189/2015JoG14J134)
- Ruiz L, Berthier E, Viale M, Pitte P and Masiokas MH (2017) Recent geodetic mass balance of Monte Tronador glaciers, northern Patagonian Andes. *The Cryosphere* **11**(1), 619–634 (doi:10.5194/tc-11-619-2017)
- Skvarca P IMPORTANCIA DE LOS GLACIARES DEL HIELO PATAGÓNICO SUR PARA EL DESARROLLO REGIONAL. , 14
- Worni R, Stoffel M, Huggel C, Volz C, Casteller A and Luckman B (2012) Analysis and dynamic modeling of a moraine failure and glacier lake outburst flood at Ventisquero Negro, Patagonian Andes (Argentina). *Journal of Hydrology* **444–445**, 134–145 (doi:10.1016/j.jhydrol.2012.04.013)

# VARIABILIDAD DE ISÓTOPOS ESTABLES ( $^{13}\text{C}$ , $^{15}\text{N}$ ) DEL COLÁGENO DE LOS HUESOS DE GUANACOS Y SU ASOCIACIÓN CON FACTORES CLIMÁTICOS Y ESPACIALES

Gil, A.<sup>a</sup>, Seitz, V. P.<sup>bc</sup>, Soria, N. D.<sup>c</sup>, Neme, G.<sup>a</sup>, Abbona, C.<sup>a</sup>, Dauverné, A.<sup>a</sup>, Quiroga, G.<sup>a</sup>, Peralta, E.<sup>a</sup>, Otaola, C.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente IDEVEA-Conicet-UTN, ARGENTINA.

<sup>b</sup> Laboratorio de Desertificación y Ordenamiento Territorial (LaDyOT), Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas IADIZA-Conicet, ARGENTINA.

<sup>c</sup> Grupo de Ecología y Manejo de Vertebrados Silvestres (GEMaVer), Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas IADIZA-Conicet, ARGENTINA.

e-mail: [agil@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:agil@mendoza-conicet.gob.ar)

## RESUMEN

El guanaco (Lama guanicoe) ha sido uno de los recursos más importantes en la dieta humana de períodos pre-industriales, y sus restos óseos son comunes en sitios arqueológicos de sudamérica. El estudio de las variaciones isotópicas en el colágeno de sus huesos brinda información sobre su uso en la dieta humana así como información paleoecológica, que puede aplicarse en su biología de conservación. En este último punto, temas como dieta y desplazamiento de sus poblaciones actuales comparada a las del siglo XX pueden ofrecer panoramas útiles para la conservación y manejo. El objetivo del presente estudio fue el análisis de la variación de las mediciones isotópicas de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  y su relación con descriptores climáticos (período 1901-2000) y el espacio (latitud y longitud). Se analizaron 121 muestras de huesos cuyas dataciones arrojaron un rango cronológico desde la actualidad a 9375 años AP. Se construyó un sistema de información geográfica con las localidades donde se colectaron las muestras y los descriptores climáticos en formato ráster. Estos últimos representaron los promedios del déficit y el exceso hídrico; el índice de aridez; el número de días con heladas; la evapotranspiración potencial; las precipitaciones; la temperatura media diaria; la temperatura mensual mínima, la máxima y el número de días de lluvia por mes. Se calcularon los coeficientes de correlación entre descriptores climáticos para mantener el principio de parsimonia. Los modelos lineales generalizados explicaron el 21,9% de la variación para el  $^{13}\text{C}$  y el 30,4% para el  $^{15}\text{N}$ . Ambos modelos estuvieron compuestos por el espacio y cuatro variables climáticas (la precipitación media, el número de días de lluvia, la temperatura mensual y la evapotranspiración). El modelo mínimo adecuado de ambos isótopos estuvo compuesto por la temperatura y el número de días de lluvia, mientras que el  $^{15}\text{N}$  también incluyó las precipitaciones. Existe una variación espacial de ambos isótopos, para el  $^{15}\text{N}$  asociado con la latitud y el  $^{13}\text{C}$  se asoció con la longitud, la latitud y su producto ( $X*Y$ ), sugiriendo un patrón espacial

*no contemplado en los modelos. Futuras hipótesis que contrasten la composición de la dieta del guanaco derivada de la proporción de isótopos estables con variaciones espaciales florísticas y físico-ambientales podrían informar sobre otras asociaciones entre las poblaciones de esta especie y el entorno.*

Palabras clave: Clima, Ecología isotópica, Zonas áridas.

## INTRODUCCIÓN

El guanaco (*Lama guanicoe*) ha sido uno de los recursos más importantes en la dieta humana de períodos pre-industriales, y sus restos óseos son comunes en sitios arqueológicos de América del Sur. El estudio de las variaciones isotópicas en el colágeno de sus huesos brinda información sobre el ciclo de los isótopos en la cadena alimentaria; la cual tiene utilidad en la inferencia sobre el uso del guanaco como componente de la dieta humana así como información paleoecológica, que puede aplicarse en su biología de conservación. En este último punto, temas como dieta y desplazamiento de sus poblaciones actuales comparada a las del siglo XX pueden ofrecer panoramas útiles para la conservación y manejo. El objetivo del presente estudio fue el análisis de la variación de las mediciones isotópicas de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  y su relación con descriptores climáticos (período 1901-2014), el espacio (latitud y longitud) y su cronología estimada. Se propone así, un primer entendimiento sobre la variación de estos isótopos en esta especie de herbívoro nativo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron 121 muestras de huesos provenientes de 48 sitios arqueológicos, los cuales se georreferenciaron mediante gps (Garmin GPSMaps 78s). Las muestras se distribuyen cronológicamente a lo largo del Holoceno, desde 9375 años AP aunque mayormente durante los últimos 1000 años. Se construyó un sistema de información geográfica con una ventana espacial entre los  $-34^\circ$  a  $-38^\circ$  de latitud Sur y  $-70^\circ$  a  $-67^\circ$  de longitud Oeste ([ver Fig. 1](#)), en el cual se representaron las localidades georreferenciadas de los sitios arqueológicos junto con las variables climáticas en formato ráster. Se consideraron como potenciales variables climáticas descriptoras a las temperaturas media (TMP), mínima (TMN) y máxima (TMX), la precipitación (PRE), la evapotranspiración potencial (PET), la amplitud térmica diaria (DTR), el número de días de lluvia (WET), el número de días de helada (FSR), el promedio mensual del déficit hídrico (DFH) y del exceso hídrico (EXH). Estos descriptores climáticos provinieron de series temporales de datos mensuales promediados para el período 1/01/1901 al 31/12/2014. El formato ráster representó una grilla con resolución espacial de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  ([CRU TS 3.23, Harris et al., 2014](#)). Se consideró a la latitud y longitud como representantes de variables explicativas no incorporadas en los modelos con



potencialidad de traducirse en patrones espaciales. Se muestrearon las capas raster con las localidades en formato vectorial de puntos. Para analizar la potencialidad explicativa de los descriptores climáticos en la variación de la carga isotópica en los huesos de guanaco, ésta fue interpretada como una variable respuesta de naturaleza numérica continua.

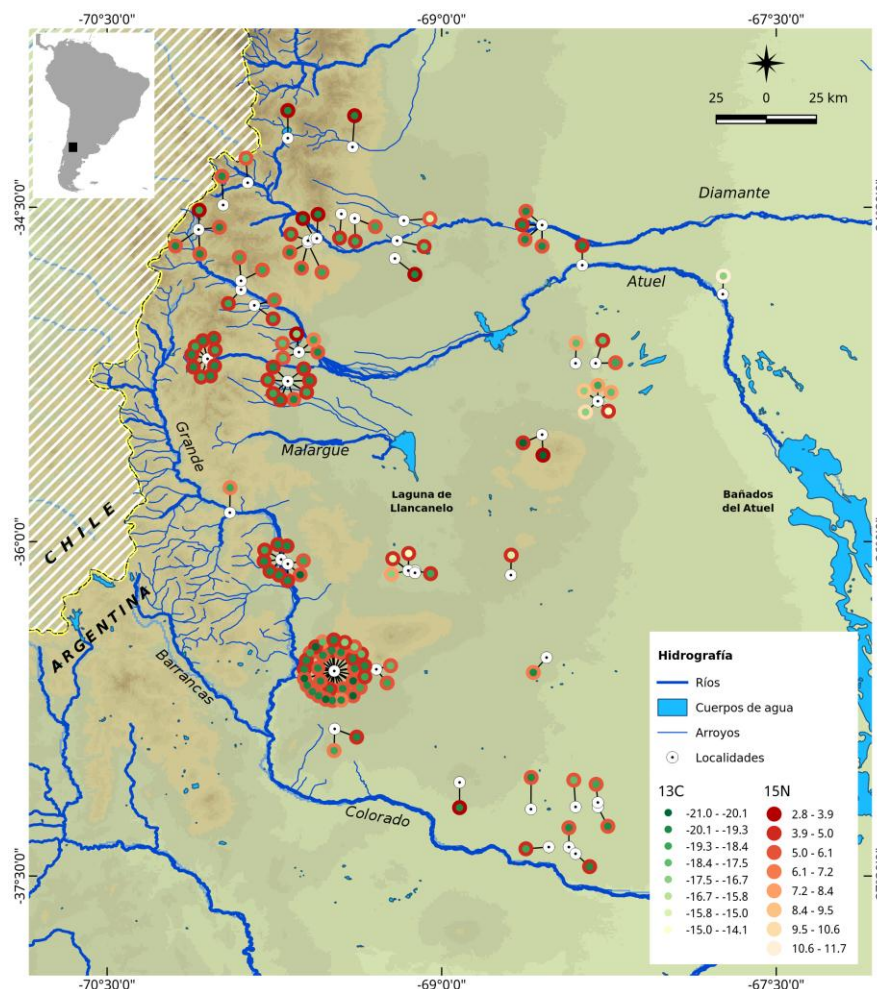


Figura 1. Relieve del área de estudio mostrando las localidades de colecta de huesos de *Lama guanicoe*, el número de muestras y sus valores isotópicos para  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$ .

Un análisis exploratorio de datos (Tukey, 1977) permitió examinar la distribución de las variables respuesta  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  para seleccionar una distribución teórica que mejor las represente, así como la colinealidad entre las variables explicativas para eliminar aquellas fuertemente correlacionadas ( $r \geq 0,75$ ). La estimación de asociación entre valores isotópicos y variables descriptoras fue puesta a prueba modelando una función de la media estadística con modelos lineales generalizados (Crawley, 2007; McCullagh y Nelder, 1989). Se evaluó la bondad de ajuste comparando los cambios de devianza entre el modelo ajustado y el modelo saturado. Debido a la falta de normalidad de los datos de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  (ambos Shapiro W = 0,83,  $p < 0,05$ ), las variables respuesta se representaron mediante la distribución teórica de probabilidades gamma (función *inverse*). Puesto

que la distribución gamma sólo acepta valores positivos, se sumó 100 a cada valor de  $^{13}\text{C}$ . Con el objeto de evaluar las funciones que mejor representen la relación entre las variables descriptoras y los valores isotópicos, se construyeron relaciones lineales ( $f$ ), cuadráticas ( $f^2$ ) y cúbicas ( $f^3$ ). Se construyó el modelo global con las relaciones más explicativas, el cual se comparó con modelos candidatos que combinaron las variables descriptoras en orden decreciente de complejidad. Se seleccionaron los modelos sobre la comparación entre el valor cuantil 0,95 de la distribución chi cuadrado y el valor del estadístico devianza ( $p = 0,05$ ). El proceso de simplificación concluyó en el modelo mínimo adecuado (de efectos fijos) cuyo ajuste fue diagnosticado mediante gráficos y análisis de normalidad de residuos (de Shapiro). Los gráficos evaluados fueron de residuos frente a valores estimados, probabilístico de normalidad y análisis gráfico de valores atípicos con el cálculo del índice de Cook como valor umbral.

## RESULTADOS

Sobre la matriz de correlación se seleccionaron las variables climáticas no derivadas: la precipitación, el número de días de lluvia, la temperatura mensual y la evapotranspiración, (ver [Tabla 1](#)).

**Tabla 1.** Matriz de correlaciones entre los descriptores ambientales recortados al área de estudio. DFH: Media mensual de déficit hídrico, DTR: Rango diurno de temperaturas, EXH: Media mensual de exceso hídrico, FSR: Frecuencia de días con heladas, IA: Índice de Aridez, PET: Evapotranspiración potencial, PRE: Precipitaciones, TMN: Promedio mensual de temperaturas mínimas diarias, TMP: Temperatura diaria promedio, TMX: Promedio mensual de temperaturas máximas diarias, WET: Frecuencia mensual de días con lluvia. En itálicas: variables altamente correlacionadas ( $r \geq 0,75$ ). En negritas, variables seleccionadas para el análisis.

	DFH	DTR	EXH	FSR	IA	PET	PRE	TMN	TMP	TMX	WET
DFH	<i>1</i>										
DTR	<i>0,81</i>	<i>1</i>									
EXH	<i>-1,00</i>	<i>-0,82</i>	<i>1</i>								
FSR	<i>-0,52</i>	<i>-0,71</i>	<i>0,52</i>	<i>1</i>							
IA	<i>-0,99</i>	<i>-0,81</i>	<i>0,99</i>	<i>0,48</i>	<i>1</i>						
<b>PET</b>	<i>0,85</i>	<i>0,69</i>	<i>-0,85</i>	<i>-0,50</i>	<i>-0,76</i>	<i>1</i>					
<b>PRE</b>	<i>-0,97</i>	<i>-0,80</i>	<i>0,97</i>	<i>0,48</i>	<i>0,99</i>	<b>-0,70</b>	<i>1</i>				
TMN	<i>0,53</i>	<i>0,70</i>	<i>-0,53</i>	<i>-0,99</i>	<i>-0,48</i>	<i>0,56</i>	<i>-0,47</i>	<i>1</i>			
<b>TMP</b>	<i>0,61</i>	<i>0,78</i>	<i>-0,61</i>	<i>-0,99</i>	<i>-0,57</i>	<b>0,61</b>	<b>-0,55</b>	<i>0,99</i>	<i>1</i>		
TMX	<i>0,66</i>	<i>0,84</i>	<i>-0,66</i>	<i>-0,97</i>	<i>-0,62</i>	<i>0,64</i>	<i>-0,60</i>	<i>0,97</i>	<i>1,00</i>	<i>1</i>	
<b>WET</b>	<i>-0,19</i>	<i>-0,22</i>	<i>0,19</i>	<i>0,69</i>	<i>0,17</i>	<b>-0,07</b>	<b>0,22</b>	<i>-0,66</i>	<b>-0,62</b>	<i>-0,57</i>	<i>1</i>

La media aritmética de  $^{13}\text{C}$  fue de -19,03 y su rango entre -21,0 y -14,1. Incluir a los descriptores climáticos en interacciones dobles o triples no mejoró el ajuste del modelo  $^{13}\text{C}$ , el cual quedó conformado por interacciones lineales (ver [Tabla 2](#)). La bondad de ajuste del modelo climático ha sido baja (5,45% de la devianza explicada). El modelo ha mejorado considerablemente al incluir el

espacio, explicando el 22,05%. El modelo mínimo adecuado explicó el 21,86% y estuvo compuesto por las temperaturas y el número de días de lluvia al año como descriptores climáticos, junto con la latitud, la longitud y su producto ( $X*Y$ , ver [Tabla 3](#) y [Tabla 4](#)).

**Tabla 2.** Descriptores ambientales que representaron cambios significativos de la devianza de los modelos nulos, final y modelos compuestos en la distribución de  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$ .

	$^{13}\text{C}$				$^{15}\text{N}$				
		g.l.	Devianza (%)	AIC		g.l.	Devianza (%)	AIC	
MODELO NULO	$f$	120	0,0248 (0)	383,3	$f$	120	5,492 (0)	369,29	Las variables han sido expresadas como funciones lineales ( $f$ ), cuadráticas ( $f^2$ ) o funciones cúbicas ( $f^3$ ). cambios significativos ( $p < 0,05$ , g.l.: grados de libertad) han sido expresados como porcentaje de la devianza entre paréntesis. El Criterio de Información de Akaike (AIC) mide el grado de ajuste de cada modelo.  El análisis de Shapiro de los residuos rechazó la normalidad de los errores ( $W = 0,89$ , $p < 0,05$ ). El gráfico de residuos
Evapotranspiración potencial	$f$	119	0,02484 ( $5,0\text{e}^{-06}$ )	385,28	$f$	119	5,3304 (0,162)	367,65	
Precipitación anual	$f^2$	118	0,02393 ( $9,1\text{e}^{-04}$ )	382,81	$f$	119	5,2663 (0,226)	366,18	
Temperatura diaria promedio	$f$	119	0,02414 ( $7,0\text{e}^{-04}$ )	381,84	$f^2$	118	4,4495 (1,043)	347,65	
Frecuencia mensual de días con lluvia	$f^2$	118	0,02435 ( $4,9\text{e}^{-04}$ )	384,9	$f^3$	117	5,0082 (0,484)	364,05	
MODELO CLIMÁTICO FINAL	-	116	0,023484 (0,001)	385,42	-	116	4,1191 (1,373)	342,26	
MODELO ESPACIAL+CLIMÁTICO	-	113	0,019361 (0,005)	364,59	-	112	4,315 (1,177)	331,99	

estandarizados frente a valores predichos (ver [Fig. 2a](#)) muestra una concentración de puntos en determinadas zonas del espacio cartesiano; el gráfico probabilístico de normalidad (ver [Fig. 2b](#)) muestra falta de linealidad en los valores extremos y expresan por lo tanto, la heterocedasticidad de la variable respuesta. El gráfico de valores atípicos mostró tres datos sobreinfluyentes (1 y 2, Localidad: Volcán El Hoyo, 4: Diamante Arroyo Hondo) con valores positivos aunque se encuentran dentro de distancias aceptables (índice de Cook  $< 0,5$ , ver [Fig. 2c](#)).

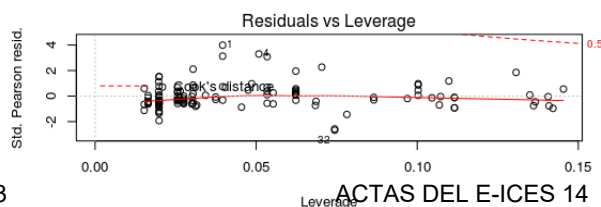
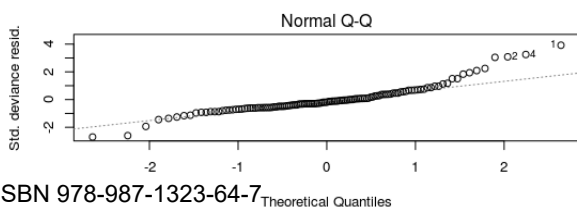
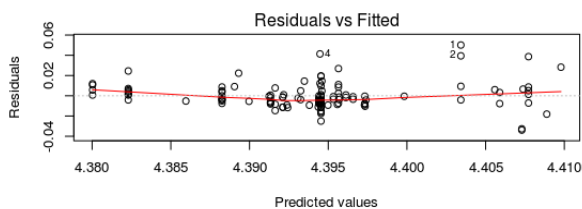
La función de ajuste gamma para  $^{13}\text{C}$  ([Tabla 4](#)) fue:

$$^{13}\text{C} = 1 / \{ 4,28 \times 10^{-01} - [ -4,57 \times 10^{-05} * \text{TMP} ] + [ -5,20 \times 10^{-04} * \text{WET} ] + [ 1,71 \times 10^{-04} * (\text{X} * \text{Y}) ] + [ 5,97 \times 10^{-03} * \text{X} ] + [ 1,18 \times 10^{-02} * \text{Y} ] \}$$

Las temperaturas anuales aportaron más a la explicación de la variabilidad de  $^{13}\text{C}$ , seguido por latitud\*longitud, la frecuencia de días de lluvia al año, latitud y longitud. Los descriptores climáticos tuvieron efecto positivo, aumentando el valor isotópico a mayor valor de temperatura y frecuencia de días de lluvia al año (ver [Fig. 4a y 4b](#)). Por el contrario, latitudes y longitudes más altas (hacia el Sur y el Oeste), se asociaron con los valores isotópicos de  $^{13}\text{C}$  más negativos.

**Tabla 3.** Estadísticas de selección y medidas de ajuste de modelos aplicando análisis de la devianza para explicar la relación entre los valores isotópicos  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$  y los descriptores climáticos. En itálicas, los modelos teóricos conformados por los descriptores seleccionados mediante AIC. F: estadístico de Fischer, g.l.: grados de libertad, p valor y su código de significación= ‘\*\*\*’: 0,001, ‘\*\*’: 0,01, ‘\*’: 0,05, ‘,’: 0,1, ‘-’: 1. En negritas, los modelos mínimos adecuados.

Modelo de base	Modelo de contrastación	F	g.l.	p	Devianza
<b><math>^{13}\text{C}</math></b>					
<i>PET + PRE + PRE<sup>2</sup> + TMP + WET + X*Y + X + Y</i>		-	113	- -	0,018640
	PET + PRE + PRE <sup>2</sup> + TMP + WET + X + Y	10,57	(1, 112)	0,0015 **	0,001774
	PET + PRE + TMP + WET + X*Y + X + Y	4,26	(1, 112)	0,0414 *	0,000715
	PRE + PRE <sup>2</sup> + TMP + WET + X*Y + X + Y	1,03	(1, 112)	0,3115 -	0,000174
	PET + PRE <sup>2</sup> + TMP + WET + X*Y + X + Y	4,26	(1, 112)	0,0412 *	0,000716
	PET + PRE + PRE <sup>2</sup> + WET + X*Y + X + Y	7,61	(1, 112)	0,0068 **	0,001278
	PET + PRE + PRE <sup>2</sup> + TMP + X*Y + X + Y	19,44	(1, 112)	0,0000 ***	0,003265
	PET + PRE + PRE <sup>2</sup> + TMP + WET + X*Y + Y	9,96	(1, 112)	0,0021 **	0,001673
	PET + PRE + PRE <sup>2</sup> + TMP + WET + X*Y + X	10,64	(1, 112)	0,0015 **	0,001787
	PRE <sup>2</sup> + TMP + WET + X*Y + X + Y	3,47	(1, 113)	0,0651 ,	0,065130
	<b>TMP + WET + X*Y + X + Y</b>	0,02	(1, 114)	0,8760 -	<b>0,000004</b>
	WET + X*Y + X + Y	7,97	(1, 115)	0,0056 **	0,001358
	TMP + X*Y + X + Y	16,72	(1, 115)	0,0001 ***	0,002849
	TMP + WET + X + Y	8,00	(1, 115)	0,0055 **	0,001363
	TMP + WET + X*Y + Y	7,54	(1, 115)	0,0070 **	0,001285
	TMP + WET + X*Y + X	7,99	(1, 115)	0,0055 **	0,001362
<b><math>^{15}\text{N}</math></b>					
PET + PRE + TMP <sup>2</sup> + WET + X*Y + X + Y		-	113	-	3,666200
	PET + PRE + TMP <sup>2</sup> + WET + X + Y	3,90	(1, 113)	0,0506 ,	0,13391
	<b>PRE + TMP<sup>2</sup> + WET + X + Y</b>	1,95	(1, 114)	0,1655 -	<b>0,06878</b>
	PRE + WET + X + Y	12,78	(1, 115)	9,e-06 ***	0,90567
	TMP <sup>2</sup> + WET + X + Y	5,47	(1, 115)	0,0211 *	0,19379
	PRE + TMP <sup>2</sup> + X + Y	14,40	(1, 115)	0,0002 ***	0,51027
	PRE + TMP <sup>2</sup> + WET + Y	4,30	(1, 115)	0,0404 *	0,15233
	PRE + TMP <sup>2</sup> + WET + X	4,20	(1, 115)	0,0427 *	0,14891



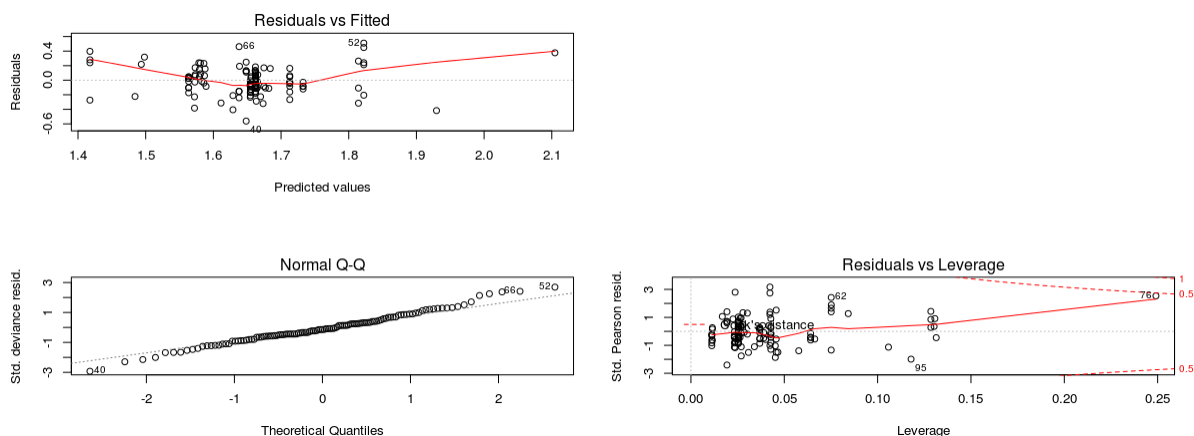


**Figura 2.** Gráficos diagnósticos del ajuste del modelo mínimo adecuado del isótopo  $^{13}\text{C}$ : a) residuos estandarizados frente a valores predichos, b) probabilístico de normalidad (q-q plot), c) de valores atípicos.

La media aritmética de  $^{15}\text{N}$  fue de 5,24, con rango entre 2,8 a 11,7. La bondad de ajuste del modelo climático de  $^{15}\text{N}$  es mejor que el  $^{13}\text{C}$ , explicando el 24,99% de la devianza, e incluir las componentes del espacio mejoró la explicación de la variación (28,72%, ver [Tabla 2](#)). El modelo mínimo adecuado explicó un porcentaje de devianza muy similar al modelo climático (25,03%), y estuvo conformado por la función cuadrática de las temperaturas anuales, las precipitaciones, el número de días de lluvia al año y la latitud y longitud (ver [Tabla 3](#)). El análisis de Shapiro confirmó la normalidad de los residuos ( $W = 0,99$ ,  $p < 0,05$ ). El gráfico de residuos estandarizados frente a valores predichos (ver [Fig. 3a](#)) y el gráfico probabilístico de normalidad (ver [Fig. 3b](#)) mostraron una mayor homogeneidad y linealidad en la variable respuesta. El gráfico de valores atípicos mostró dos datos sobreinfluyentes: uno en peso positivo (76: localidad La Olla) y otro negativo (95: Zanjón El Morado) aunque se encuentran dentro de distancias aceptables (índice de Cook  $< 0,5$ , ver [Fig. 3c](#)).

**Tabla 4.** Coeficiente de estimación, desvío estándar y valor t (=coeficiente\_x / error estándar x) con p valor y su código de significación ('\*\*\*': 0,001, '\*\*': 0,01, '\*': 0,05, ',': 0,1, '-': 1) para cada parámetro que conformaron los modelos mínimos adecuados de los isótopos  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$ ,

	Estimador	Error	t	Pr(> t )	Significación
$^{13}\text{C}$					
Intercepto	$4,28_{\times}10^{-01}$	$1,50_{\times}10^{-01}$	2,86	0,0051	**
TMP	$-4,57_{\times}10^{-05}$	$1,61_{\times}10^{-05}$	-2,85	0,0053	**
WET	$-5,20_{\times}10^{-04}$	$1,27_{\times}10^{-04}$	-4,10	0,0001	***
X * Y	$1,71_{\times}10^{-04}$	$6,00_{\times}10^{-05}$	2,85	0,0052	**
X	$5,97_{\times}10^{-03}$	$2,16_{\times}10^{-03}$	2,77	0,0066	**
Y	$1,18_{\times}10^{-02}$	$4,14_{\times}10^{-03}$	2,85	0,0052	**
$^{15}\text{N}$					
Intercepto	-0,5576	0,7594	-0,73	0,4643	
PRE	-0,0019	0,0007	-2,69	0,0083	**
TMP <sup>2</sup>	-0,0005	0,0001	-4,16	0,0001	***
WET	-0,0856	0,0201	-4,26	0,0000	***
X	-0,0312	0,0134	-2,33	0,0217	*
Y	0,0252	0,0105	2,41	0,0174	*



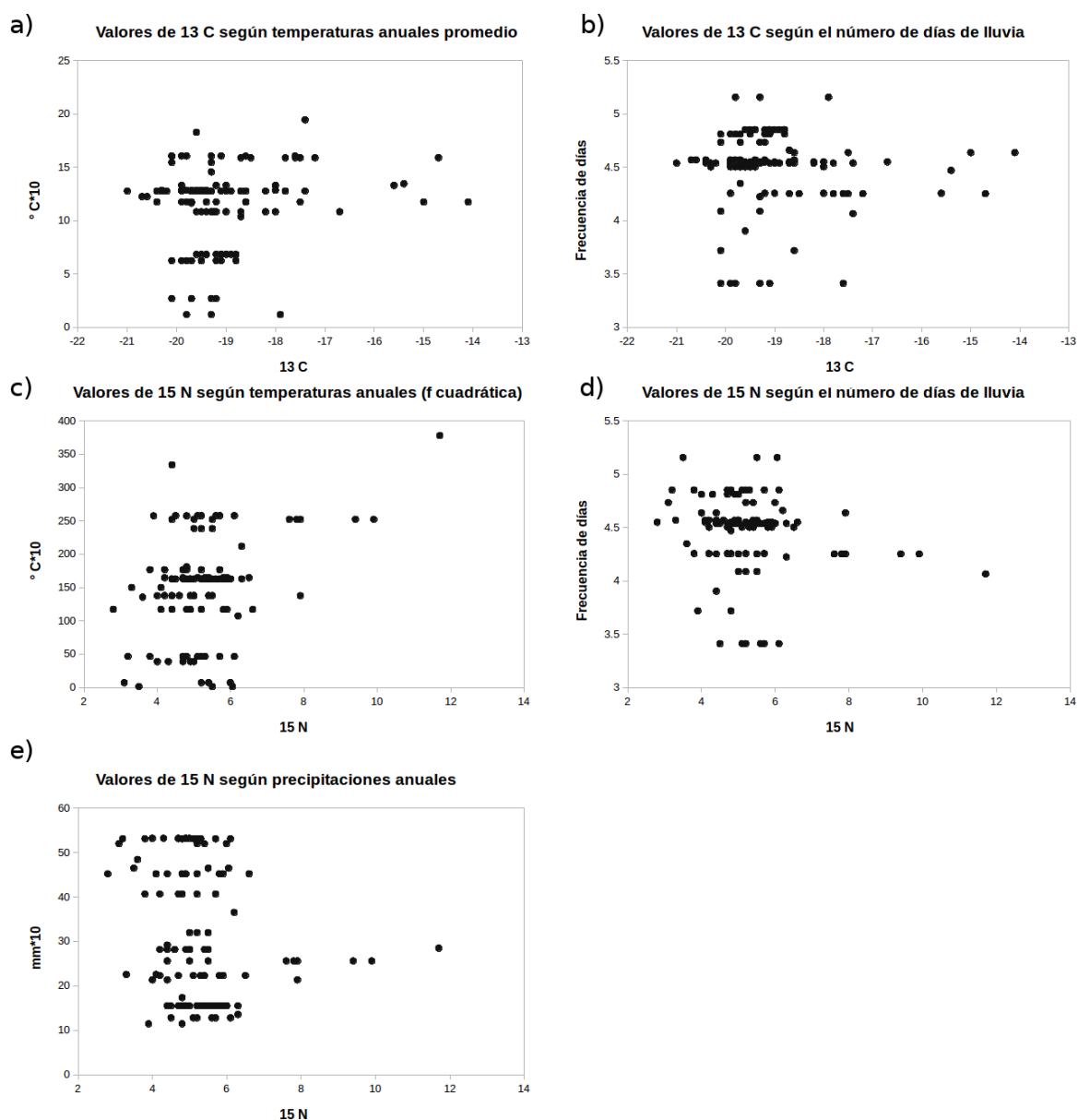
**Figura 3.** Gráficos diagnósticos del ajuste del modelo mínimo adecuado del isótopo  $^{15}\text{N}$ : a) residuos estandarizados frente a valores predichos, b) probabilístico de normalidad (q-q plot), c) de valores atípicos

La función de ajuste gamma del modelo mínimo adecuado del  $^{15}\text{N}$  (Tabla 4) fue:

$$^{15}\text{N} = 1 / \{ -0,5576 - (-0,0019 * \text{PRE}) + [-0,0005 * \text{TMP}^2] + [-0,0856 * \text{WET}] + [-0,0312 * \text{X}] + [0,0252 * \text{Y}] \}$$

Las temperaturas anuales tuvieron un mayor aporte en la explicación de la variabilidad del  $^{15}\text{N}$ , seguido por las precipitaciones, el número de días con lluvia, la longitud y la latitud. Todos los descriptores climáticos que conformaron el modelo mínimo adecuado del  $^{15}\text{N}$  tuvieron efectos positivos (ver Figs. 4c, 4d y 4e), aumentando el valor isotópico a mayores temperaturas, precipitaciones y número de días lluviosos. Para los elementos espaciales, los valores isotópicos de  $^{15}\text{N}$  aumentan con latitudes más altas (hacia el Sur) y longitudes más bajas (hacia el Este).

**Figura 4.** Relación entre los valores isotópicos de las muestras de hueso de guanaco y los valores de los descriptores



climáticos que compusieron los modelos mínimos adecuados (puntos negros). a)  $^{13}\text{C}$  y temperaturas climáticas (multiplicados por 10), b)  $^{13}\text{C}$  y número de días de lluvia, c)  $^{15}\text{N}$  y temperaturas climáticas, d)  $^{15}\text{N}$  y número de días de lluvia, e)  $^{15}\text{N}$  y precipitaciones. Valores climáticos para el área donde se colectaron las muestras obtenidos del promedio anual para el período 1901-2014.

## DISCUSIÓN

1. Debido a la alta correlación entre las variables independientes, la incidencia de las temperaturas anuales en la distribución del  $^{13}\text{C}$  y el  $^{15}\text{N}$  también podría estar traducido en el rango diurno de temperaturas, en el promedio mensual de temperaturas mínimas diarias y la frecuencia de días con heladas. De igual modo, el aporte de las precipitaciones a la explicación del  $^{15}\text{N}$  podría traducirse en

el índice de aridez, el rango diurno de temperaturas, el promedio mensual del déficit hídrico y del exceso hídrico.

2. La falta de ajuste del modelo  $^{13}\text{C}$ , junto al alto porcentaje de variación explicado por el espacio sugieren que la variación de este isótopo podría responder a variables no incluidas en este análisis. La distribución florística de la vegetación varía con la altitud, latitud y longitud de acuerdo a su biogeografía. Al ser fuente isotópica primaria para los guanacos, la vegetación sería una variable explicativa de la variación de  $^{13}\text{C}$  en el colágeno de los huesos de guanaco, por lo que debería tenerse en cuenta en futuros análisis sobre la temática.

3. El rango de valores de  $^{13}\text{C}$  indicaría que la dieta de los guanacos estuvo basada en plantas  $\text{C}_3$ , las cuales serían más representativas en regiones de menor temperatura anual promedio y menor frecuencia de días de lluvia.

4. El buen ajuste del modelo de  $^{15}\text{N}$  y su función de distribución de probabilidades explicada en gran medida por los descriptores climáticos indicaría que su variabilidad se traduce directamente con la variación del clima. La escasa participación de los componentes espaciales sugiere que no existen patrones espaciales que no se han tenido en cuenta en el presente análisis.

5. El rango de valores de  $^{15}\text{N}$  en el caso de guanaco no señala aspectos tróficos, en tanto herbívoro, aunque si se postula el mismo es un indicador de los valores basales de las plantas que consume y las mismas están influenciada tanto por el ciclo de nitrógeno como variaciones en precipitación y temperatura.

Futuras hipótesis que contrasten la composición de la dieta del guanaco derivada de la proporción de isótopos estables con variaciones espaciales florísticas y físico-ambientales podrían informar sobre otras asociaciones entre las poblaciones de esta especie y el entorno.

## REFERENCIAS

Crawley, M.J., 2007. The R Book. Wiley, West Sussex.

Harris, I. et al., 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. International Journal of Climatology, 34(3), pp.623–642. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.3711> [Accessed June 25, 2019].

McCullagh, P., Nelder, J.A., 1989. Generalized Linear Models, 2nd ed. Chapman and Hall, London.

Tukey, J.W., 1977. Análisis exploratorio de datos. *Massachusetts: Addison-Wesley*.

# ADSORCIÓN DE PLOMO EN BENTONITA Y CARBÓN ACTIVADO

Hidalgo N. A.<sup>a</sup>, Senese A.<sup>a</sup>, Cañari L.<sup>a</sup> y Gutiérrez L.<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones Mineras, FI, Universidad de Nacional de San Juan, ARGENTINA.

e-mail: nhidalgo@unsj.edu.ar

## RESUMEN

*La utilización del proceso de adsorción ha crecido rápidamente en los últimos años, acompañada por el aumento en los requerimientos ambientales y de calidad en los productos. En forma permanente se sintetizan nuevos materiales adsorbentes con propiedades especiales y para aplicaciones específicas. Los minerales arcillosos, engloban a un grupo de minerales, donde encuentran su principal campo de aplicación como sorbentes, donde la capacidad de sorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad). Como carbón activado se designa a un amplio rango de materiales manufacturados basados en carbono que exhiben una estructura porosa muy desarrollada y una elevada área superficial interna, otorgándoles propiedades adsorbentes excepcionales. Las modificaciones químicas de estos sorbentes más usados en la industria son activación química y térmica. Por esto, el objetivo de este estudio fue la activación de bentonita y carbón previo a los ensayos de adsorción con Pb (II). La metodología consistió en una primera etapa en la activación de las muestras en estudio para conseguir un aumento en la porosidad y el área superficial, esta última fue determinada luego de aplicar los tratamientos. Para el caso de una muestra de bentonita, la reacción de este mineral de arcilla con un ácido mineral en solución tal como el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Siendo para el caso del carbón una activación física mediante el empleo de vapor de agua. En una segunda etapa, se realizó ensayos de adsorción mediante un diseño de cribado factorial ANOVA, los cuales consistieron en poner en contacto las arcillas activadas con soluciones de nitrato de plomo a distintas concentraciones y pH, con el fin de evaluar la capacidad de adsorción. Además, se complementó con microscopía electrónica para determinar la presencia del metal. Se concluye que las capacidades de adsorción de plomo tanto para bentonita y carbón fueron  $q = 54.85$  mg/g y  $q = 73$  mg/g respectivamente.*

**Palabras Clave:** Adsorción, bentonita, plomo, carbón, activación.

## INTRODUCCIÓN

Los elementos metálicos, debido a que están presentes en los ecosistemas acuáticos a muy baja concentración, son denominados elementos traza. Algunos son nutrientes esenciales para las plantas y los animales, micronutrientes (como Mn (Manganeso), Mo (Molibdeno), Cu (Cobre), Co (Cobalto), Zn (Zinc), Sc (Escandio) y V (Vanadio)) mientras que otros elementos (como el Ni (Níquel), Sn (Estaño) y Cr (Cromo)) son esenciales únicamente para los animales, pero cuando estos elementos están presentes en sistemas ambientales a concentraciones superiores a ciertos niveles, debido a desequilibrios naturales o por introducción antropogénica, pueden ser tóxicos para los seres vivos (Domenech and Peral, 2008). Otro término en la clasificación de los metales, es el de los metales pesados, refiriéndose a aquellos metales que causan un impacto ambiental debido a su toxicidad y cuya propiedad principal es tener una densidad aproximadamente superior a 6 g/cm<sup>3</sup> exceptuando al Ti (Titanio) (4,5 g/cm<sup>3</sup>) pero también considerado como metal pesado y al As, que aunque es un no metal,



presenta una alta densidad de 5,7 g/cm<sup>3</sup>, por lo que se considera un metal pesado, además de otras propiedades de carácter ambiental (Baird, 2001; Domenech and Peral, 2008; O'Connell, *et al*; 2008). Las implementaciones de metales en los procesos industriales han permitido que grandes concentraciones de metales pesados potencialmente tóxicos sean emitidas a la atmósfera y vertidos en los ambientes acuáticos y terrestres (Fu and Wang, 2011; O'Connell, *et al*; 2008); en el medio hidrosférico, cantidades cercanas a 109 Kg./año de metales traza se han vertido, siendo las aguas residuales de origen domésticas, las plantas térmicas, las fundiciones y las acerías, las principales fuentes de emisión (Tabla I). El orden de flujos de emisión o cargas contaminantes de metales a la hidrosfera corresponde a Mn (Manganeso) > Zn (Zinc) > Cr (cromo) > Pb (Plomo) > Ni (Níquel) ≈ Cu (cobre) > Se (Selenio) ≈ As (Arsénico) > Sb (Antimonio) > V (Vanadio) > Mo (Molibdeno) > Cd (Cadmio) > Hg (Mercurio) (Domenech and Peral, 2008). La Organización Mundial de la Salud (OMS), estableció que la máxima concentración de iones de metales pesados en el agua debe estar en un rango de 0,01-1 ppm, sin embargo, en la actualidad se reportan concentraciones de iones de metales pesados hasta de 450 ppm en los efluentes. La toxicidad de los metales pesados depende de su movilidad en el medio, que a su vez, depende de su especiación química, persistencia y tendencia de acumulación o bioacumulación (Domenech and Peral, 2008; Kumar, *et al*; 2012).

Tabla I. Principales actividades industriales generadoras de metales pesados.

<b>Industria</b>	<b>Metales</b>	<b>Contaminación Derivada</b>
Minería de metales Ferrosos	Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn	Drenaje ácido de minas, relaves y escombreras.
Extracción de Minerales	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Presencia en las menas como en los subproductos
Fundición	As, Cd, Pb, Ti	Procesado del mineral para obtención de metales
Metalúrgica	Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn	Procesado térmico de metales
Aleaciones y Acero	Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn	Fabricación, eliminación y reciclaje de metales. Relaves y escoriales
Gestión de Residuos	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn	Incineración de residuos o en lixiviados
Corrosión metálica	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente
Galvanoplastia	Cr, Ni, Zn, Cu	Los efluentes líquidos de procesos de recubrimiento.
Pinturas y pigmentos	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn	Residuos acuosos de la fabricación y el deterioro de la pintura vieja
Baterías	Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg	Fluido de la pila de residuos, la contaminación del suelo y las aguas subterráneas
Electrónica	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn	Residuos metálicos acuosos y sólidos desde el proceso de fabricación y reciclaje
Agricultura y Ganadería	Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, As, Mn, Cu	Contaminación de escorrentía, aguas superficiales y subterráneas

El impacto ambiental generado por estas sustancias tóxicas ha llevado a la comunidad científica a desarrollar diferentes métodos para el tratamiento de los efluentes industriales contaminados con estas sustancias, entre los cuales están: precipitación, oxido-reducción, intercambio iónico, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación. Sin embargo, estos métodos han resultado bastante costosos e ineficientes especialmente cuando la concentración de los metales es muy baja, además de la formación, disposición y almacenamientos de lodos y desechos, originados durante los procesos, lo cual se convierte en un problema mayor a resolver (Sala, 2010; Duarte, 2009). La clasificación de las técnicas de tratamiento de metales pesados en las aguas residuales depende de diferentes factores.

La adsorción es una técnica que presenta la remoción de una amplia variedad de contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y posiblemente selectiva dependiendo de adsorbente de lo cual también depende su rendimiento, básicamente por la estructura física del mismo (Liu and Lee, 2014). Los carbones activados, arcillas, biopolímeros, zeolitas, perlas de sílice y plantas o desechos lignocelulósicos son algunos de los adsorbentes, generalmente con procesos variados de modificación química (Wan Ngah, *et al*; 2011), comúnmente empleados para remover colorantes iónicos, metales pesados, materiales radioactivos entre otros contaminantes orgánicos e inorgánicos generados por diferentes tipos de industrias (Osei Boamah, *et al*; 2015).

Los minerales industriales que se utilizan como secuestrantes de iones son aquellos que presentan una gran capacidad de adsorción y absorción de sustancias líquidas y gaseosas. Esto se debe principalmente a su gran superficie específica y porosidad natural u obtenida por procesos químicos que dejan en la superficie centros activos internos o externos que les confiere la capacidad de intercambiar cationes o aniones. (Rodríguez, 2002).

En la actualidad las arcillas son usadas en numerosas aplicaciones industriales, dependiendo de sus propiedades específicas (Doval *et al.*, 1991; Gonzales, 1990). Las bentonitas tienen propiedades únicas en diversas aplicaciones que la hacen muy valiosas, tales como: lodos de perforación, adsorbentes, cerámicas, pinturas, peletización, alimentos balanceados, cosmética, pinturas, adhesivos, impermeabilización y arenas de moldeo para fundiciones (Molina *et al.*, 2007). Los nuevos métodos y tratamientos de refinamientos han llevado a este mineral a desempeñar un papel importante en áreas como la agricultura o protección ambiental y en otras aplicaciones. Su uso industrial está basado en sus propiedades reológicas y de adsorción (Teague, 1972).

El carbón activado es un material que se caracteriza por poseer una cantidad muy grande de microporos (poros menores a 2 nanómetros de radio). A causa de su alta microporosidad, el carbón puede poseer una superficie de 50 m<sup>2</sup>/g o más si es activo, llegando a valores de más de 2500 m<sup>2</sup>/g., así como la presencia de un amplio espectro de superficie funcional que la hace accesible a diferentes reactivos (Karnib, *et al*; 2014)

El carbón activado se utiliza en la extracción de metales, purificación de agua potable (tanto para la potabilización a nivel público como doméstico), en medicina veterinaria y medicina humana para casos de intoxicación, en el tratamiento de aguas residuales, clarificación de jarabe de azúcar, purificación de glicerina, en máscaras antigás, en filtros de purificación y en controladores de emisiones de automóviles, entre otros muchos usos.

Los procesos de activación se emplean como una alternativa que busca optimizar las propiedades fisicoquímicas de las arcillas como la capacidad de hinchamiento, las propiedades de adsorción, entre otras y ajustarlas a un uso específico. Según estudios, la bentonita tratada con materiales alcalinos mejora su capacidad de hinchamiento; y por ultima la bentonita tratada con ácidos inorgánicos, promueven la disolución de los carbonatos asociados y aumenta de superficie específica y de porosidad. Un tratamiento ácido permite eliminar impurezas y reemplazar los iones interlaminares por iones hidrógeno, mejorando sus propiedades adsorbentes (García *et al*, 2018).

Los métodos de obtención de carbón activado pueden ser agrupados en dos procesos principales alternativos denominados activación física y activación química, respectivamente La activación física, o activación térmica, que comprende dos etapas básicas de procesamiento, carbonización y activación, se produce la descomposición pirolítica del material carbonoso generándose una estructura porosa incipiente. Durante la activación química, las etapas de carbonización y activación se producen en forma simultánea, mediante el tratamiento térmico del precursor luego de su impregnación con un agente químico. Estos compuestos actúan tanto como agentes deshidratantes como oxidantes, produciéndose en la misma etapa la carbonización y la activación. Las propiedades del producto logradas durante el proceso de activación (superficie específica, distribución de tamaño de poros, funcionalidad superficial, etc.), así como el rendimiento del proceso, pueden ser muy diferentes de acuerdo al proceso y a las variables de operación específicas aplicadas (temperatura, tiempo, relación másica/molar del agente activante respecto a la masa del precursor) (Nakagawa *et al*, 2003 and Molina *et al*, 2003)

El objetivo de este trabajo es cuantificar y evaluar la capacidad de adsorción de plomo contenido en soluciones sintéticas; utilizando bentonita y carbón activados.

## **MÉTODOS. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

Se trabajó con una muestra de bentonita identificada M1 proveniente de la provincia de San Juan (Grupo Barreal) y una muestra de carbón obtenido a partir del escobajo de la uva (Deiana *et al*. 2009), M2 de una bodega de la provincia de San Juan. Las muestras se redujeron a una granulometría de -140# (ASTM) en tamizadora vibratorio equipo ZonytestStandart EJR modelo LR 2006.

### **Activación ácida de bentonita**

Se llevó a cabo por lixiviación ácida: Se pesaron 5 gramos de bentonita (proveniente de la provincia de San Juan) y se pusieron en contacto con solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a concentraciones de 5 N y 7 N, a una temperatura de 80°C, durante 2 horas, bajo agitación continúa. Después del ataque ácido la suspensión se filtra y el precipitado se lava con agua destilada hasta pH neutro. Finalmente, la muestra se seca primero al aire y después a 70°C durante 3 horas. Los terrones de arcilla seca se trituran y se tamizan dejando el material a <147 µm (malla#100).

### **Activación acida de carbón**

Se realizó una activación física del carbón en dos etapas básicas de procesamiento, carbonización y activación (Deiana *et al*. 2009). La primera etapa (pirólisis), se llevó a cabo a una temperatura de 880 °C y la segunda etapa se realizó en contacto del carbón restante de la etapa anterior, con un caudal de vapor de agua de 1,7 g/g h (activación),

durante un tiempo de 105 minutos. Durante la primera etapa, se produce la descomposición pirolítica del material carbonoso generándose una estructura porosa incipiente. Durante la activación con vapor de agua, que involucra una reacción de oxidación a elevada temperatura, se produce el incremento de la estructura porosa de la materia prima carbonizada, transformándose en un material con elevado contenido de poros, que le otorgan una elevada área superficial interna al producto.

### Medición de área superficial

El área superficial se determinó para la bentonita natural como activada respectivamente para las dos concentraciones de ácido ensayadas, seleccionando de esta manera la bentonita de mayor área superficial para ser usada posteriormente en los ensayos de adsorción. El área superficial del carbón activado también fue determinada. Para ello, las muestras de bentonita y carbón fueron previamente desgasadas a temperatura constante de 250°C durante 12 horas. La medición se realizó con el Equipo Quantasorb de Quantachrome Corp perteneciente al Instituto de Investigaciones Mineras, Facultad de Ingeniería (UNSJ).

### Ensayos de adsorción

Se realizó ensayos de adsorción mediante un diseño de cribado factorial ANOVA 2<sup>4</sup>, los cuales consistieron en poner en contacto la bentonita y el carbón ambos activados, con soluciones de nitrato de plomo a distintas concentraciones, pH, concentración de adsorbente y tiempo. En total fueron doce corridas del diseño experimental realizado con las muestras en estudio.

A continuación, en la tabla II se detallan los factores tenidos en cuenta en las corridas experimentales hechas:

Tabla II. Factores en las corridas experimentales

Factores	Bajo	Alto	unidades
Tiempo	0	6	Horas
pH	4	6	--
Conc. de biomasa	1	6,0	g/l
Conc Metálica	25	75	ppm

Repuestas	unidades
q bentonita	mg/g
q carbón	mg/g

Donde q = capacidad de adsorción (mg/g)

### Microscopia electrónica

La morfología de las muestras se observó y registró mediante microscopía electrónica de barrido, mientras que el análisis elemental se realizó utilizando un SEM junto con rayos X dispersivos de energía (modelo EVO MA10W CarlZeiss original equipado con un sistema de microanálisis por dispersión de la marca de energía de rayos X (EDX) Bruker, modelo Quantax 200 con un tipo de detector analítico SDD XFlash 6 30).

La finalidad de la aplicación de esta técnica es detectar la presencia del metal en estudio y cuantificación en ambos adsorbentes. Las observaciones se realizaron antes y después de los ensayos de adsorción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Activación ácida de bentonita

A continuación, se detallan en la tabla III los valores de área superficial de la muestra de bentonita activada y sin activar.

Tabla III. Valores de área superficial de bentonitas sin activar y activada con ácido sulfúrico a 5 N y 7 Normal.

Muestra	Área Superficial (m <sup>2</sup> /g)		
	Act. 5 N	Act. 7 N	Sin Activar
Bentonita	359,47	125,42	106,49

Se puede observar a partir de la tabla III el incremento del área superficial como resultado del tratamiento ácido aplicado a diferentes concentraciones, siendo mayor el área expuesta al tratamiento 5 N con respecto al 7 N. Se utilizó como adsorbente la bentonita de mayor área (tratamiento 5N).

### Activación ácida de carbón

A continuación, se detallan en la tabla IV los valores del área superficial del carbón activado.

Tabla IV. Valores de área superficial de carbón activado utilizando vapor de agua a 1,7 g/gh

Muestra	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	Volumen microporo (cm <sup>3</sup> /g)
Carbón	880	105	748	0,28

### Ensayos de adsorción

La Tabla V, muestra los resultados de adsorción de las 12 corridas. De esta forma se observa que la capacidad de adsorción “q” calculada, tanto para la bentonita como para el carbón, ambos activados, resulta mayor en la corrida 5, resultando un valor más alto para el carbón que para la bentonita. La forma de calcular la capacidad de adsorción “q”, ver Ec. (1).

$$q = (C_i - C_f) \times Vol / g_{ad} \quad (1)$$

Dónde: C<sub>i</sub>= concentración metálica inicial (ppm)

C<sub>f</sub> = Concentración metálica final (ppm)

Vol= volumen de solución (l)

G<sub>ad</sub> =gramos de adsorbente (g/l)



Tabla V. Ensayos de adsorción del metal plomo en la bentonita y el carbón activado variando los diferentes factores.

Corrida	pH	Conc. biomasa	Conc. metálica(Ci)	Tiempo	Cf bentonita	Cf carbón	q bentonita	q carbón
Nº		(g)	(ppm)	(horas)	(ppm)	(ppm)	mg/g	mg/g
1	4	1	25	0	18,38	19,72	6,62	5,28
2	6	1	25	8	1,48	0	23,52	25
3	4	6	25	8	2,68	0	3,72	4,17
4	6	6	25	0	10,41	4,84	2,43	3,36
<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>75</b>	<b>8</b>	<b>20,15</b>	<b>1,99</b>	<b>54,85</b>	<b>73,01</b>
6	6	1	75	0	8,39	64,25	66,61	10,75
7	4	6	75	0	9,18	62,68	10,97	2,05
8	6	6	75	8	1,24	0	12,29	12,5
9	5	3,5	50	4	1	11,23	14	11,08
10	5	3,5	50	4	7,13	0,58	12,25	14,12
11	5	3,5	50	4	5,07	0,15	12,84	14,24
12	5	3,5	50	4	0,96	9,1	14,01	11,69

De la observación de la tabla anterior, se puede evidenciar que las capacidades de adsorción de plomo tanto para bentonita y carbón fueron  $q = 54,85 \text{ mg/g}$  y  $q = 73,01 \text{ mg/g}$  respectivamente. Resultando la mayor adsorción para el carbón activado para un  $\text{pH} = 4$ , una concentración de biomasa usada de  $1 \text{ g/l}$ , concentración metálica de plomo de  $75 \text{ ppm}$  y un tiempo de 8 horas. Esto se debió a que el método de obtención adoptado para la obtención de un carbón activado influencia fuertemente las propiedades del producto carbón activado, presentando una mayor área específica comparada con la bentonita en estudio.

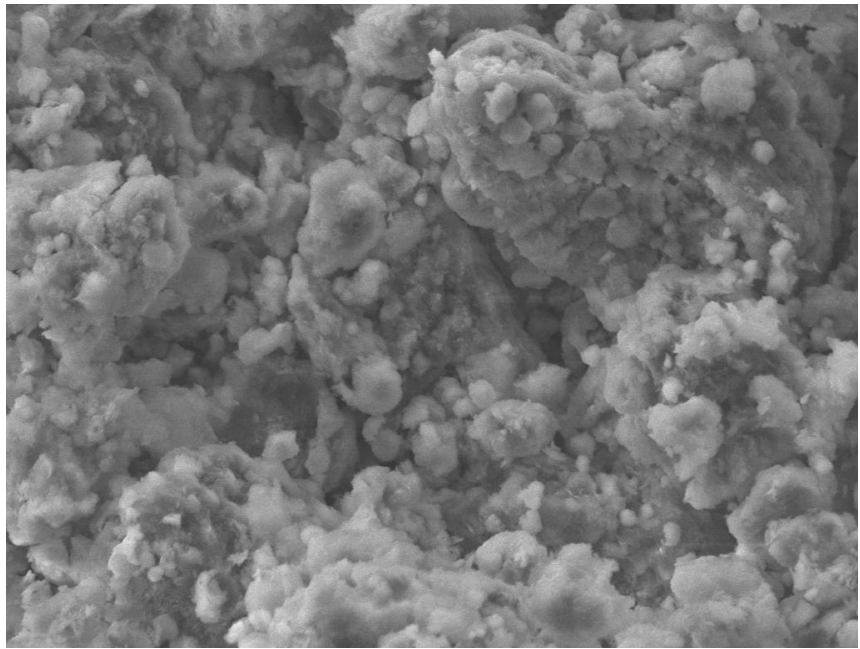
Del resultado estadístico ANOVA que particiona la variabilidad de  $q$  bentonita y carbón activado en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En ambos casos, 5 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

## Microscopia electrónica de barrido SEM

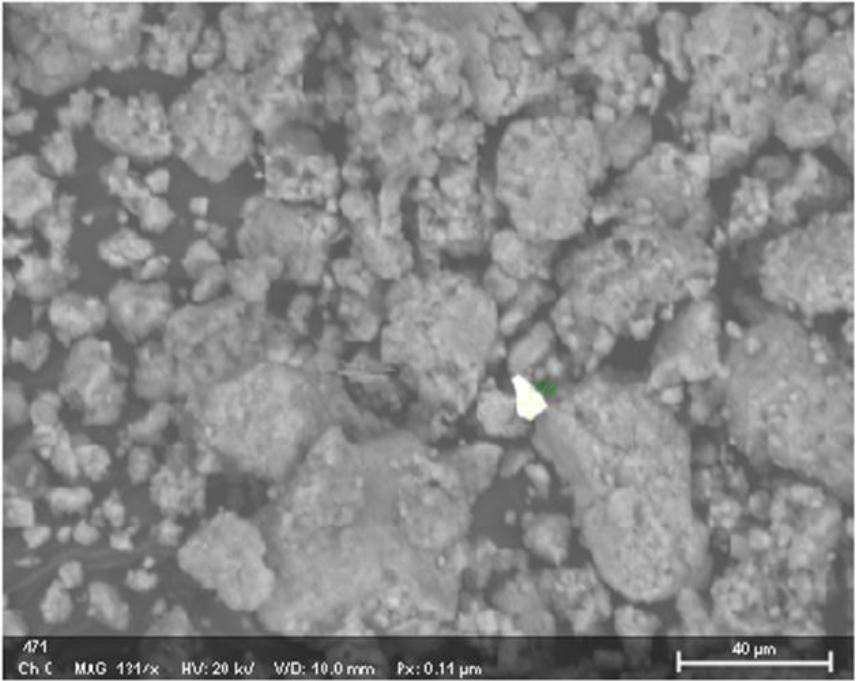
### Bentonita

Se realizó microanálisis químicos usando el detector EDS (Energy Dispersión Spectrometer) sobre el punto de interés encontrado y se determinó su composición, ver Fig. 1 a.b.c.

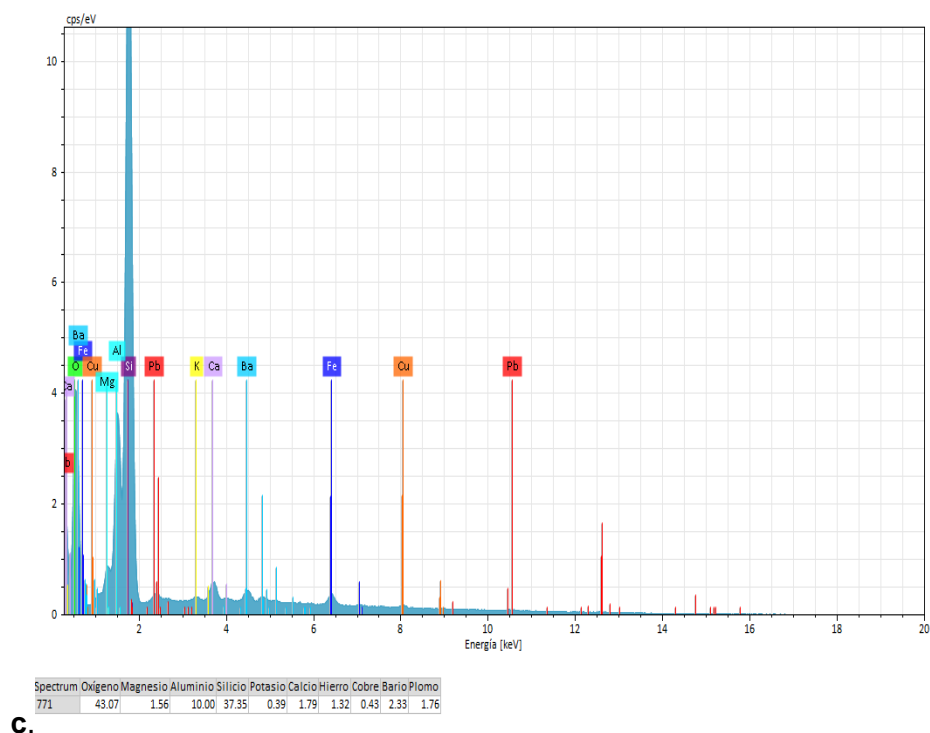
La composición del mismo se puede observar en el espectro que se adjunta en la figura, ver Fig. 1 c.



a.



b.

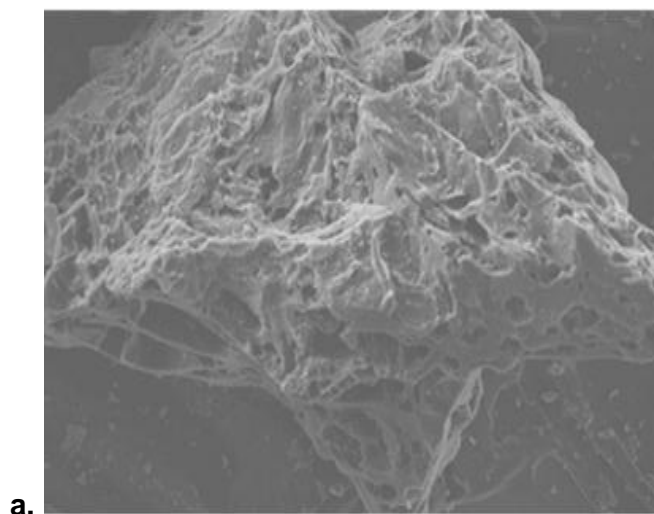


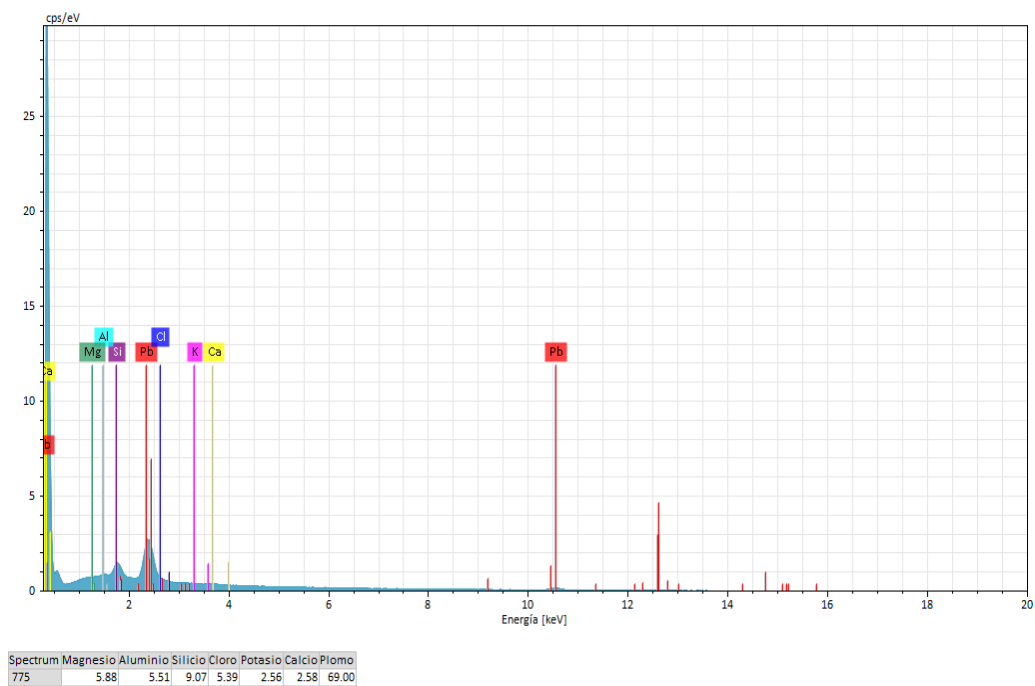
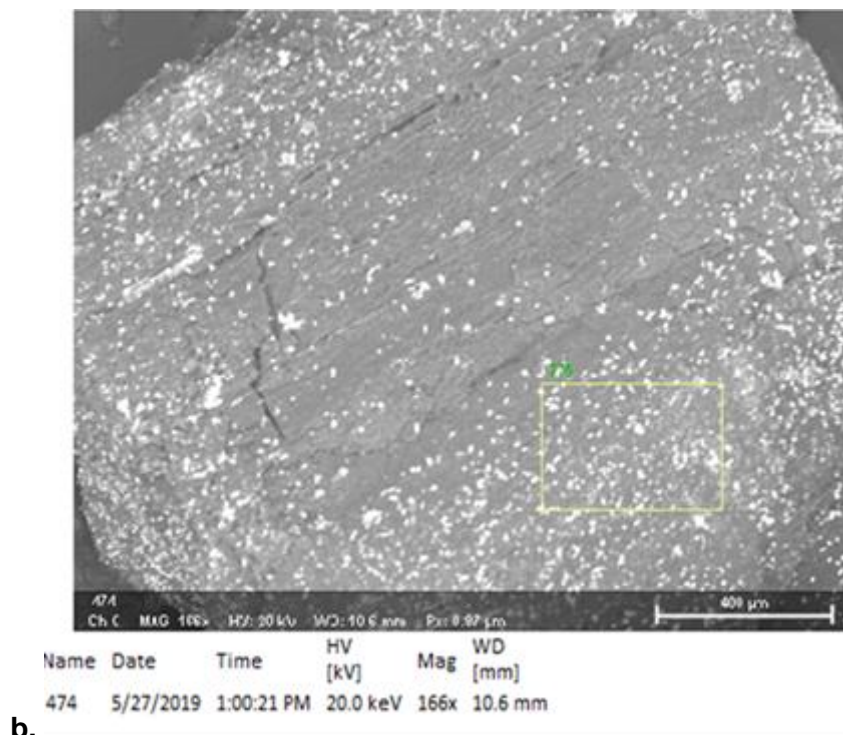
**Figura 1.** Micrografía electrónica de barrido (SEM-EDS) de la bentonita activada. **a.** Bentonita sin plomo. **b.** Bentonita en contacto con plomo. **c.** Espectro obtenido en bentonita con plomo con las cuantificaciones de los elementos expresados en % masa normalizada.

Se logra observar el cambio de la morfología irregular de las partículas de bentonita evidenciada en las figuras 1 a y b. En la Figura 1b, vemos el metal adsorbido en la bentonita activada. En el espectro, se cuantifica el metal (plomo) adsorbido en la bentonita activada.

### Carbón

Se realizó microanálisis químicos usando el detector EDS (Energy Dispersión Spectrometer) sobre un área de interés, determinando su composición, ver Fig. 2 a.b.c. La composición del mismo se puede observar en el espectro que se adjunta en la figura, ver Fig. 2 c.





**Figura 2.** Micrografía electrónica de barrido (SEM-EDS) del carbón activado. **a.** Carbón sin plomo. **b.** Carbón en contacto con plomo. **c.** Espectro obtenido del carbón con plomo con las cuantificaciones de los elementos expresados en % masa normalizada.

Se logra observar el cambio de la morfología de las partículas del carbón activado evidenciada en las figuras 1 a y b. En la Figura 1b, vemos el metal adsorbido en el carbón activado. En el espectro, se cuantifica el metal (plomo) adsorbido en el carbón

activado. Como resultado de la microscopía electrónica, se puede observar fehacientemente la presencia del metal plomo en los dos adsorbentes usados después de los ensayos de adsorción.

## CONCLUSIONES

Se observa que el carbón activado tuvo la mayor capacidad de adsorción,  $q=73,01$  mg/g frente a la bentonita activada que arrojó un valor de  $q=54,85$  mg/g a iguales condiciones de pH, concentración de biomasa y concentración metálica. Esto se debió a que el método de obtención adoptado para la obtención de un carbón activado influencia fuertemente las propiedades del mismo y potenciando sus propiedades adsorbentes excepcionales que permiten su uso en gran cantidad de aplicaciones.

## REFERENCIAS

- Baird, C. Química Ambiental. Editorial Reverté. University of Western Ontario. 622 pp. (2001).
- Deiana, A. C., Sardella, M. F., Silva, H., Amaya, A. and Tancredi, N. Use of grape stalk, a waste of the viticulture industry, to obtain activated carbon. *Journal of Hazardous Materials* 172, 13–19 (2009).
- Domenech, X and Peral, J. Química Ambiental de Sistemas Terrestres. Editorial Reverté. Barcelona, España. 239 pp. (2008).
- Doval, M., García, E., Luque, J., Martín, J. and Rodas, M. In: Lunar, R., Oyarzun, R. (ed.), *Yacimientos Minerales*. Centro de estudios Ramón Arce, Colombia, 582-608. (1991).
- Duarte, E., Olivero, J. and Jaramillo, B. E. “Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosán obtenido de desechos de camarón,” *Sci. Tech.*, vol. XV, no. 42, pp. 290-295, (2009).
- Fu, F and Wang, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*. 92, 407-418. (2011).
- García Romero, E. and Suárez Barrios, M. Las Arcillas: Propiedades y Usos. Publicación de la Univ. Complutense de Madrid (2018).
- González, I., García, J and Martínez, J, *Yacimientos Minerales*. Recursos Minerales de España, Madrid, 96-112. (1990).
- Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H. and Olama, Z. Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite, *Energy Procedia*, Volume 50, 113-120. (2014).
- Kumar, P., Ramalingam, S., Sathiyaselvabala, V., Kirupha, S., Murugesan, A., and Sivanesan, S. Removal of Cd (II) from aqueous solution by agricultural waste cashew nut shell. *Korean J. Chemical. Engineering*. 29, 756-768. (2012).
- Liu, X. and Lee, D. Thermodynamic parameters for adsorption equilibrium of heavy metals and dyes from wastewaters, *Bioresource Technology*. 160, 24-31. (2014).
- Molina, M., Moreno, S. and Fernández, J. Caracterización de las Arcillas Esmeclíticas de la Formación Honda al Noreste del Tolima y su Potencial Aplicación como Catalizadores. *XI Congreso de Geología*, Colombia, 2, 112-121. (2007).
- Molina Sabio, M., Almansa, C. and Rodríguez Reinoso, F. Phosphoric acid activated carbon discs for methane adsorption, *Carbon* 41, 2113-2119, (2003).
- Nakagawa, K., Mukai, S., Suzuki, T., Tamon, H., Gas adsorption on activated carbons from PET mixtures with a metal salt, *Carbon* 41, 823–831, (2003).



- O'Connell, D., Birkinshaw, C. and O'Dwyer, T. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *Bioresource Technology*. 99, 6709 – 6724 (2008).
- Osei Boamah, P., Huang, Y., Hua, M., Zhang, Q., Wu, J., Onumah, J. and Sam Amoah, L. Sorption of heavy metal ions onto carboxylate chitosan derivatives—A mini-review, *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 16, 113-120 (2015).
- Pinzón-Bedoya, M. L. and Cardona Tamayo, A. M. “Influencia del pH en la bioadsorción de Cr (III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo,” *Rev. La Fac. Ciencias Básicas*, vol. 8, no. 1, pp. 21-30, (2010).
- Rodriguez Reinoso, F. Carbons, in *Handbook of Porous Solids*, Vol 3, 1766-1827, Wiley-VCH, (2002).
- Sala, L. F., García, S. I. González, J. C., Frascaroli, M. I., Bellú, S., Mangiameli, F., Blanes, P., Mogetta, M. H., Andreu, V., Atria, A. M. and Salas, J. M. “Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho,” *An. La Real Soc. Española Química*, vol. 106, no. 2, pp. 114-120, (2010).
- Teague, K. H. Southern Bentonite. SME (Society of Mining Engineers). AIME.American Institute of Mining Metallurgical and Petroleum Engineers.72H, 328. (1972).
- Wan Ngah, W., Teong, L and Hanafiah, M. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review, *Carbohydrate Polymers*, 83, 1446 - 1456. (2011).

# ANALISIS MORFOMETRICO DEL NORTE CHICO DE BELÉN

Humana Lucia Verenice<sup>a,b</sup>, Niz Adriana<sup>a,b</sup>, Lamas Cinthia<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Licenciatura en geología, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

<sup>b</sup> Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina.

e-mail: [luvhumana@gmail.com](mailto:luvhumana@gmail.com)

## RESUMEN

*La localidad de Pozo de Piedra pertenece al departamento de Belén, se sitúa a 316 Km de la capital de la provincia de Catamarca, en las coordenadas 27°39'54.0" Latitud S, y 67°08'36.8" Longitud O. El objetivo principal es analizar las características hidrológicas de la cuenca del Norte Chico de Belén mediante el análisis morfométrico, determinando sus parámetros físicos, su comportamiento, el relieve dominante y las condiciones climáticas imperantes de la misma.*

*Se realiza la cartografía de base y cartografía temática, que incluye hidrología superficial, definición de subcuencas principales, mapa dependientes dominantes, DEM y perfiles transversales a los cauces principales a partir del DEM para definir las condiciones generales de la misma e inferir el comportamiento ante diversos fenómenos climáticos y geológicos y las probables amenazas asociados a los procesos naturales y antrópicos que podrían afectar el desarrollo productivo de la zona y la integridad de sus habitantes.*

*Para la elaboración de este trabajo se aplicaron los softwares Google Earth, Global Mapper, ArcGIS. Se concluye que la cuenca es pequeña a intermedia, drena un área 302.8 Km<sup>2</sup>, su forma es redondeada-oval, por lo cual será mayor la posibilidad de captación de agua. La cuenca está asociada a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno. El tipo de red es generalmente detrítica y posee un número de orden 4 lo que significa su mayor jerarquización de la misma. Esta combinación la posiciona como una cuenca altamente vulnerable a amenazas de tipo hídrica, tanto de anegamiento como de procesos de deslizamientos de ladera, lo que se traduce en un riesgo para los habitantes que moran en el piedemonte*

Palabras Claves: Cuenca, Morfometría, Vulnerabilidad.

## INTRODUCCIÓN

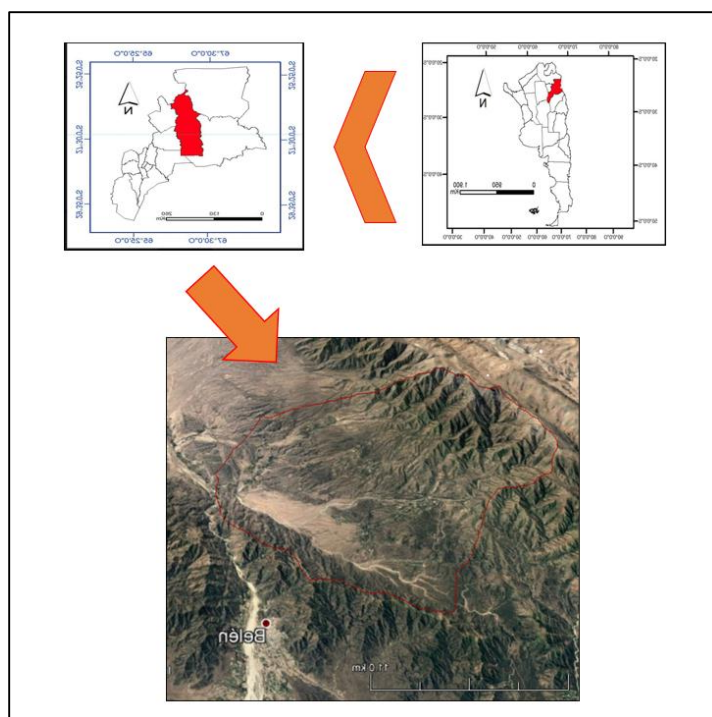
El presente trabajo tiene como finalidad analizar las características hidrológicas de la cuenca del Norte Chico de Belén mediante el análisis morfométrico, determinando sus parámetros físicos, su comportamiento, el relieve dominante y las condiciones climáticas imperantes de

la misma. Esto permite determinar las condiciones generales para predecir su comportamiento ante diversos fenómenos climáticos, geológicos y las probables amenazas asociados a los procesos naturales y antrópicos que podrían afectar el desarrollo productivo de la zona y la integridad de sus habitantes.

### *Área de estudio*

La cuenca del Norte Chico de Belén se ubica al oeste del departamento Belén de la Provincia de Catamarca como lo muestra la Fig. 1, a una altitud media de 1913 msnm, está conformada por una sucesión de cordones con rumbo NS-NO como la Sierras de Las Lajas, Los Colorados y la Sierra de Belén que conforman un hermoso valle. Se localiza en las coordenadas geográficas: latitud sur entre  $27^{\circ}39'54.0''$  y longitud oeste entre  $67^{\circ}0'36.8''$  hacia el oeste de la ciudad de Belén. Perteneciente a una parte de la región hidrológica de la Cuenca Salar de Pipanaco y se compone de arroyos y vertientes que son los afluentes del río principal llamado Agua Clara.

La zona posee un Clima Árido de Sierras y Bolsones con temperatura media anual entre  $16^{\circ}$ - $18^{\circ}$  C. La precipitación media anual alcanza 160 mm, con característica monzónica, se presenta con mayor frecuencia sobre los relieves que entornan el valle como en el cordón de Los Colorados y la Sierra de Belén, siendo poco frecuente en el interior del mismo.



**Fig. 1: Ubicación de la Cuenca**

Desde la perspectiva geológica, la cuenca se enmarca dentro de las Sierras Pampeanas, cuya estructura ha sido caracterizado por Gonzales Bororino, 1950, integrada por complejo de rocas graníticas (Formación de Chango Real, Batolito de Capillita), de edad Precámbrica a Paleozoica inferior. Además, Presenta afloramiento de rocas terciarias (Pleistoceno-Holoceno) pertenecientes

a la formación Corral Quemado y del cuaternario correspondiente a los conglomerados de la puna denominado Punaschotte (Pleistoceno-Holoceno) representado en la parte central de la cuenca (Gerardo E. Bossi-Claudia Muruaga-2009). Representado en la Fig. 2.

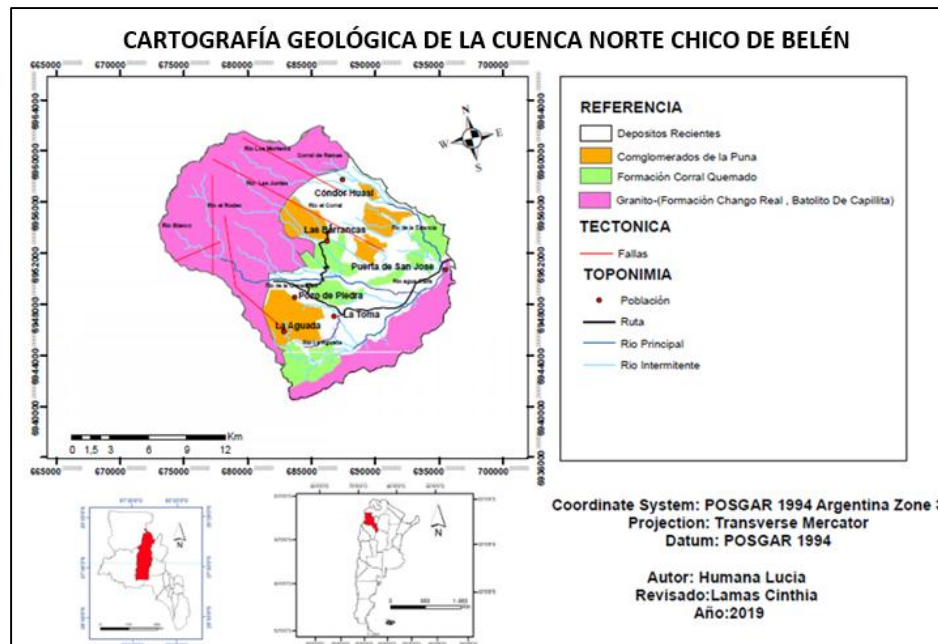


Fig. 2: Cartografía geológica de la cuenca.

## METODOLOGIA

La metodología empleada es fotointerpretación mediante el procesamiento de imágenes satelitales.

La delimitación de la cuenca del Norte de Belén se realizó a través del software; se exportó el archivo como .kmz para ser empleado en el software Global Mapper 20 con el cual se generó el modelo de elevación digital (DEM). Posteriormente, se utilizó el software SIG Arc GIS 10.3 donde se procesó el DEM para la verificación de los límites de la cuenca y de las subcuencas. Se empleó este mismo software para determinar los parámetros que caracterizan a la cuenca:

### 1. Parámetros generales de una cuenca:

Los parámetros generales de una cuenca constituyen la información mínima que se deben obtener para analizar la naturaleza y el comportamiento de una cuenca. Entre ellos se destacan: Área (A) en Km<sup>2</sup>; perímetro (P) en km; Longitud (L) en km, que es la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca; Ancho (W) en Km, expresado

por el coeficiente entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y Desnivel altitudinal que se obtiene de la diferencia entre la máxima y mínima elevación.

El área es un parámetro que tiene una relación directa con el caudal de descarga. Se utiliza la clasificación de Campos Aranda, 1992 (Fig. 3), basada en la dimensión de la cuenca.

#### *2- Parámetros que caracterizan la forma de la cuenca:*

La forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico, cuencas con la misma área, pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas ante una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo, de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes. El índice de compacidad o de Gravelius ( $k_c$ ) adimensional, que relaciona el perímetro de la cuenca ( $P$ ) con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca ( $A$ ); El factor de forma de Horton ( $R_f$ ) adimensional permite medir que tan alargada es la cuenca. Se empleó la Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius (Gaspari et al, 2012).

#### *3-Parámetros de la red hidrográfica:*

Corresponde a la distribución o arreglo geométrico de ríos tributarios que confluyen en un cause principal (Gaspari et al, 2009). Comprende la clasificación de los sistemas de drenaje, la cual se determina bajo el método propuesto por Horton, 1945 y la relación de bifurcación  $R_b$ . mapa de jerarquización.

La densidad de drenaje expresa el diseño y la concentración de afluentes que drenan la cuenca, se calcula efectuando el cociente entre la longitud total de las corrientes de la cuenca y el área total de la misma.

#### *4- Parámetros de relieve:*

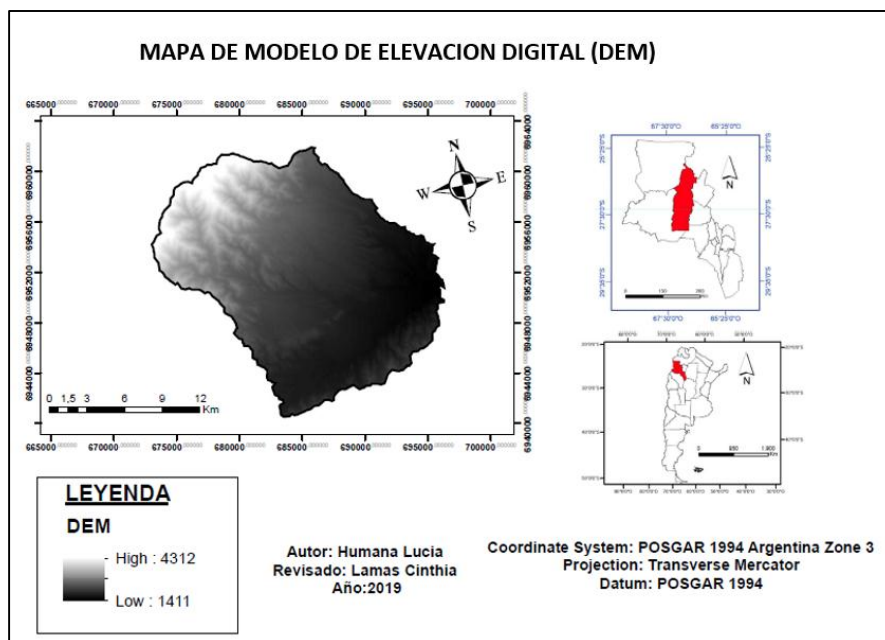
Son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; con carácter general podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores.

Los parámetros de relieve principales son: desnivel altitudinal que se obtiene de la diferencia entre la máxima y mínima elevación; la pendiente media de la cuenca que se calcula por el método de Alvord (Guevara y Cartaya, 1991 y Ruiz, 2001).

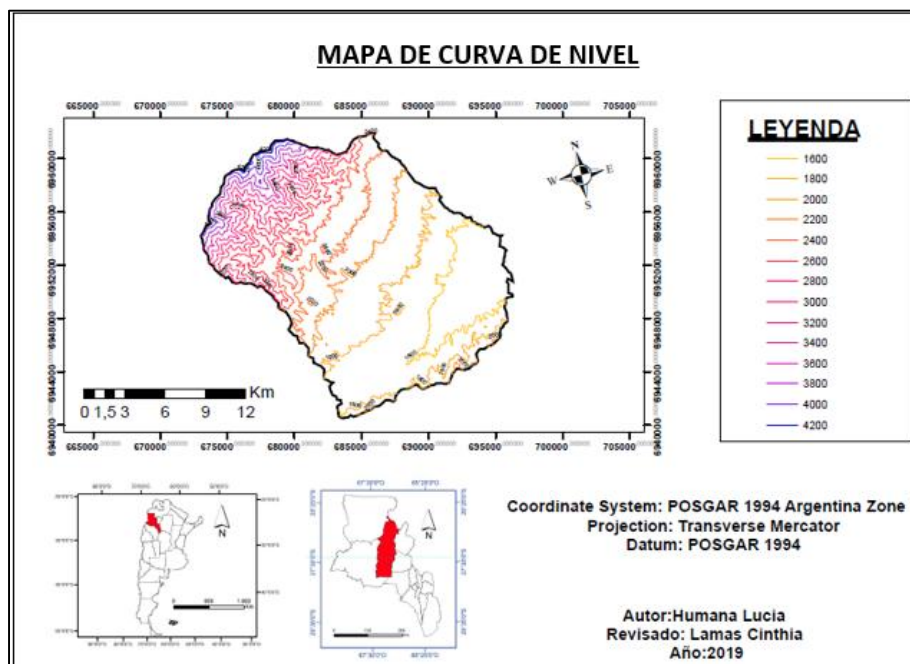
## RESULTADOS

Por medio del procesamiento digital de la información se obtuvo el DEM a escala 1:250.000 que permitió caracterizar las formas del relieve con respecto a los valores de las curvas de nivel. Ver Fig. 3 y 4.



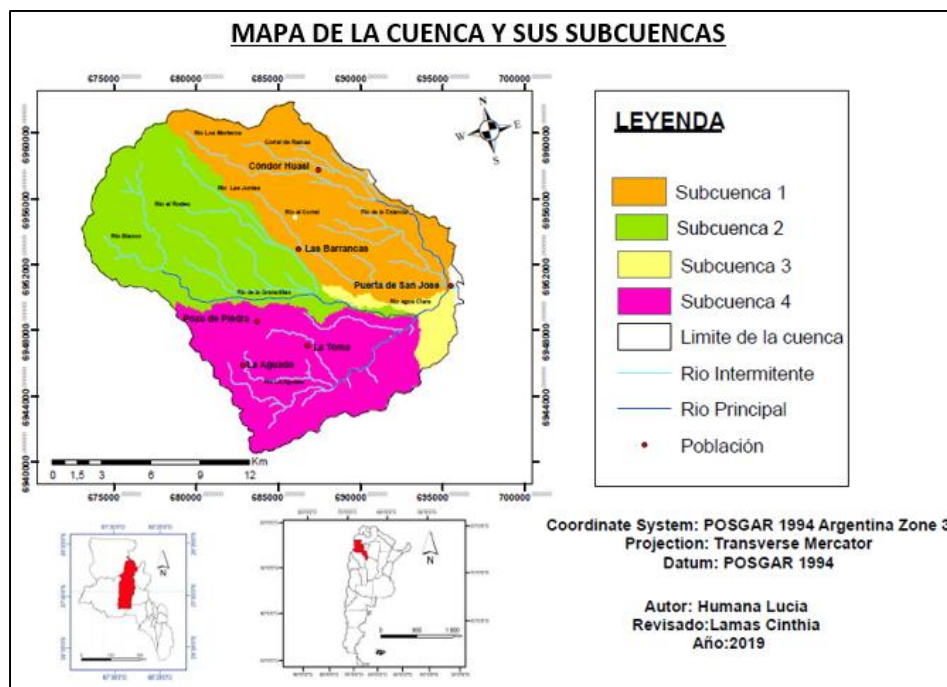


**Fig. 3: Modelo de Elevación Digital (m.s.n.m) DEN. Escala 1.250.000**



**Fig. 4: Mapa de curvas Nivel a una equidistancia de 0.2km. Escala 1:250.000**

Para la delimitación de las subcuencas se consideró a las unidades hidrológicas menores originadas por las divisorias de agua representadas por los ríos Secundarios o tributarios que fluyen el río principal. (Fig. 5)



**Fig. 5: Delimitación de la cuenca del Norte Chico de Belén y sus subcuencas a escala 1:250000.**

Se presentan los parámetros de forma, relieve y red drenaje analizados a nivel de la cuenca (tabla I).

La cuenca del Norte Chico De Belén presenta un área de 302.8 km<sup>2</sup>, perímetro de 70.05 km y factor de forma de Horton de 0.98, a esta cuenca le corresponde un tamaño Intermedia-Pequeña con una forma casi redondeada a oval y ancha, lo que indicaría que posee mayor susceptibilidad a generar crecidas, ya que el tiempo de recorrido del agua a través de la cuenca es corto.

Tabla I: Parámetros de la cuenca del norte chico de Belén

PARÁMETROS GENERALES DE UNA CUENCA		PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA FORMA DE LA CUENCA:		PARAMETROS DE LA RED HIDROGRÁFICA.		PARÁMETROS DE RELIEVE.	
Área de la cuenca	302.8 km <sup>2</sup>	Indice compacidad o Gavelius (k)	1.09	tipo de red	Dendrítica	Máxima elevación	4302 msnm
Perímetro	70.05 km	Factor adimensional de forma de Horton	0.98	Jerarquización de la red fluvial:	orden 4	Mínima elevación	1410 msnm
La longitud	25.18 km			Relación de bifurcación	0.8	Desnivel altitudinal	2892 m
El ancho	12.025 km			Densidad de drenaje	1.05	Pendiente media de la cuenca	28.8%

Los parámetros relativos a la red drenaje representado en la tabla I y Fig. 6 estuvieron en función a la distribución de los arreglos geométricos de la red hidrológica y corresponde a un valor moderada de 1,05 km/km<sup>2</sup>, con una marcada pendiente de 28% (Fig. 8). El número de orden de los cursos de agua para la cuenca correspondió a un valor de 4 (Fig. 7) mayor sea el orden de corriente mayor será la red.

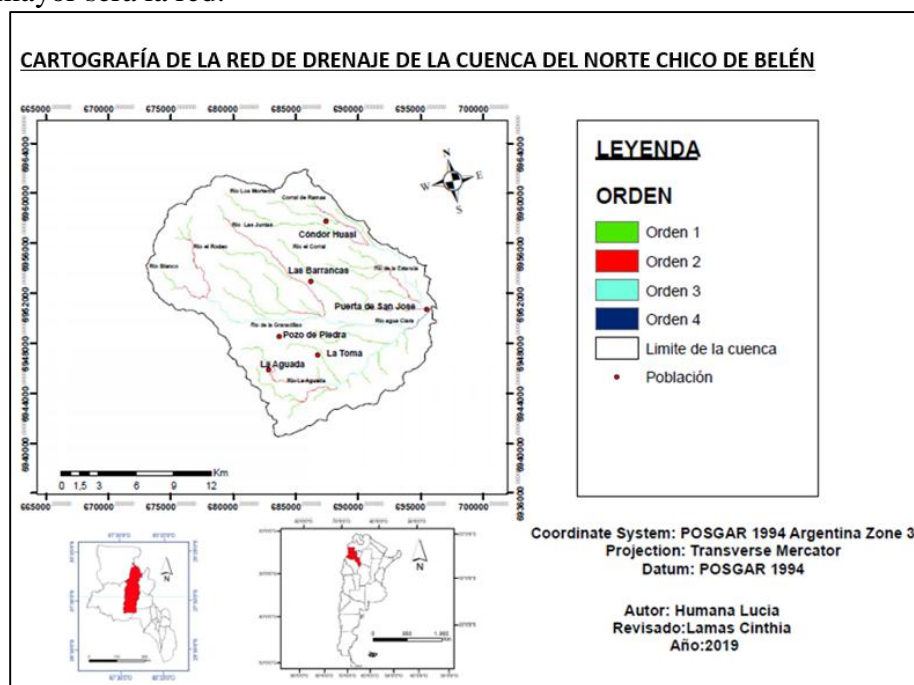
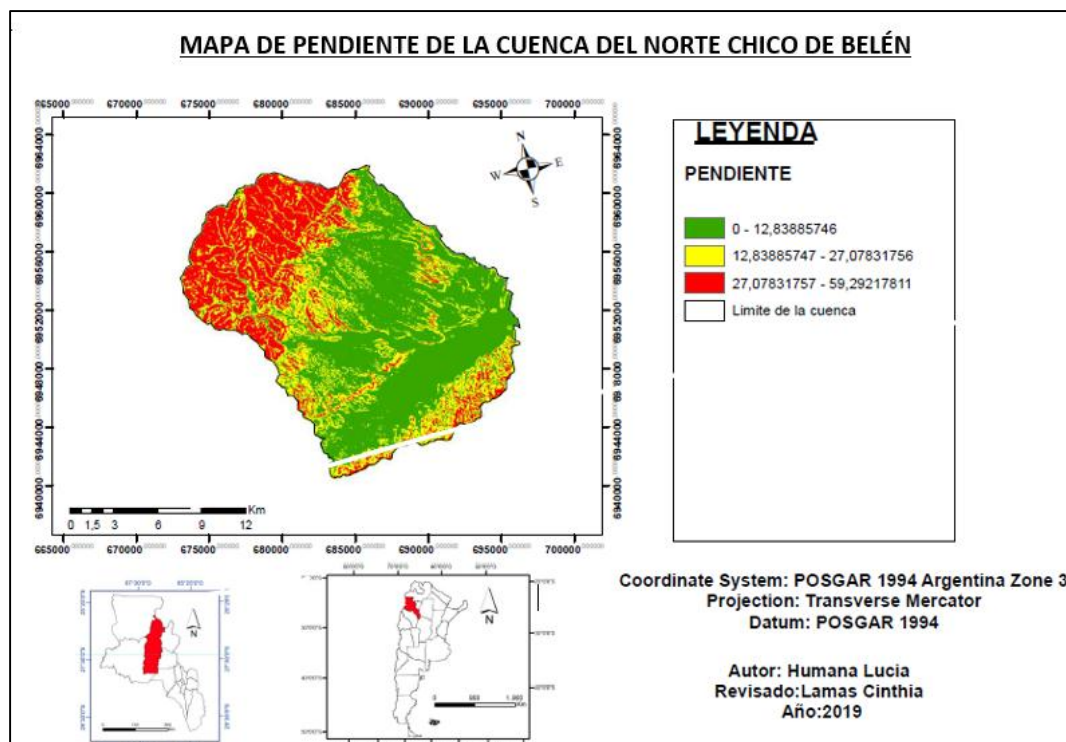


Fig. 6: Análisis de jerarquización de la cuenca

La cuenca del presenta una altitud máxima de 4302 msnm y una altitud mínima de 1410 msnm, con una pendiente media 28.8% lo que representa un relieve ligeramente escarpado en la cuenca.



**Fig. 8: Mapa de pendiente de la cuenca del norte chico de Belén**

## CONCLUSIÓN

- ❖ El uso de (SIG) permitió realizar el análisis morfométrico de la cuenca del Norte Chico de Belén. La determinación de los parámetros de forma, relieve y red de drenaje fue de gran importancia para interpretar el comportamiento hidrológico y comprender su incidencia ante fenómenos especiales, como pueden ser las precipitaciones y crecidas extremas.
- ❖ El tipo de red es dendrítica, el cauce principal presenta un orden de jerarquía de 4 debido a que la densidad de drenaje es baja en relación al tamaño de la cuenca, lo se relaciona con el tamaño de la cuenca y su vez propicia el rápido escurrimiento.
- ❖ Esta combinación la posiciona como una cuenca altamente vulnerable a amenazas de tipo hídrica, tanto de anegamiento como de procesos de deslizamientos de ladera, lo que se traduce en un riesgo para los habitantes que moran en el piedemonte.

## REFERENCIAS

- Bossi, G. y Muruaga, C. Estratigrafía e inversión tectónica del “rift” neógeno en el campo Arenal, Catamarca, NOA Argentina. *Andean Geology* 36, 311-341, (2009)
- Campos Aranda, D. Procesos de ciclo hidrológico. Editorial Univeritara Potosi (1992)
- Gaspari, F., Delgado, M. y Senisterra, G. Simulación espacio temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense, Argentina. *GEOFOCUS Revista internacional de ciencia y tecnología de información geográfica*, 9. 66-82 (2009).
- Gaspari, F., Rodriguez Vagaría A., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M. y Besterio, S. Caracterización morfométrica de la cuenca alta del rio Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Revista electrónica del comité de medio ambiente. AUGMDOMUS* 4, 143-158 (2012).
- González Bonorino, F. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 5, 81-110. (1950).
- Guevara, E. y Cartaya, H. Hidrología: una introducción a la ciencia hidrológica aplicada. Universidad de Carobobo. 358 (1991)
- Horton, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative monitoring. *Bull.Geol.Soc.Am.* 56, 275–370 (1945)
- Ruiz, J. Hidrología; evolución y visión sistémica, la morfometría de cuencas como aplicación. *UNELLEZ*. 298 (2001).



# RECURSOS GEOTURÍSTICOS EN EL VOLCÁN TUZGLE, PUNA ARGENTINA

Ibañez Palacios G. P.<sup>a</sup>, Ahumada A. L.<sup>ab</sup> y Toledo M. A.<sup>ac</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Geología de Cuaternario y Paleoclimas, Fundación Miguel Lillo, ARGENTINA

<sup>b</sup>CONICET, ARGENTINA

<sup>c</sup>Subsecretaría de Asuntos Agrarios y Alimentos, Tucumán, ARGENTINA

e-mail: [gpibanezpalacios@lillo.org.ar](mailto:gpibanezpalacios@lillo.org.ar)

## RESUMEN

*Los volcanes representan el tema geológico por excelencia, debido a que son el nexo entre la superficie terrestre y los ignotos niveles profundos de la corteza. La actividad volcánica constituye uno de los fenómenos naturales más temidos y respetados por la sociedad. A pesar de los potenciales peligros derivados de una erupción volcánica, el hombre valora los aspectos positivos que los volcanes les ofrecen: suelos, materiales para la construcción, agricultura, geotermia, minería y turismo, constituyéndose así en un recurso socioeconómico incuestionable. El objetivo de este trabajo es resaltar la importancia del volcán Tuzgle y sus alrededores, donde la constante acción del viento ha labrado la superficie de las ignimbritas dando lugar al desarrollo de geoformas particulares; para el desarrollo de un proyecto geoturístico en la región. El volcán Tuzgle de 5530 m s.n.m. de elevación, se localiza al SE en el plateau de la Puna (Altiplano salteño – jujeño) dentro del departamento de Susques a los 24°03'S y 66°29'O. Se trata del volcán poligenético Holoceno más oriental de la República Argentina. A partir del análisis preliminar de los recursos y atractivos turísticos del área, se determinó que el Tuzgle debido a su accesibilidad representa una oportunidad de geoturismo aún no explotada, donde la observación de sus diferentes unidades geomorfológicas ayuda a entender su evolución. Por su alto valor agregado derivado de su potencial científico, educacional, cultural, económico y paisajístico, el mismo debe ser preservado mediante el desarrollo de un turismo sustentable, con un perfil de turista integrado y muy respetuoso de los valores intrínsecos del lugar visitado.*

*Palabras Clave:* Volcán Tuzgle, Geoturismo, Puna Argentina.

## INTRODUCCIÓN

El turismo es la actividad que más ha crecido en los últimos años, esto se debe a que la sociedad moderna le da más importancia que en años anteriores al ocio y la recreación. El turismo se compone de un conjunto de actividades que contribuyen mucho para el desarrollo económico local de una región. El geoturismo, es un nuevo y promisorio segmento del turismo, que además de propiciar el desarrollo económico local, se constituye en un recurso interesante para promover la valoración y divulgación del patrimonio geológico.

Este término fue conceptualizado por primera por Hose (1995), quien considera a este segmento como “*los servicios de interpretación y las instalaciones con el fin de permitir a los turistas adquirir el conocimiento y la comprensión de sitios geológicos y geomorfológicos en lugar de un simple examen de la estética*”. Posteriormente Hose

(1997) en su revisión conceptual propia añade la necesidad de garantizar a través del geoturismo la conservación de los sitios geológicos o geomorfológicos.

Geoturismo también es integrar y valorizar las comunidades locales, la diversidad cultural y la conservación de los recursos naturales además de su estética y sus otras características geográficas dirigidas a minimizar los impactos a fin de constituir un turismo alternativo (National Geography Society, 2005).

Para Ruchkys (2007) el geoturismo es aquel segmento del turismo *“que tiene al patrimonio geológico como su principal atractivo y busca su protección por medio de la conservación de sus recursos y de la sensibilización del turismo utilizando para esto la interpretación de este patrimonio, tornándolo accesible al público además de promover su difusión y el desarrollo de las ciencias de la tierra”*.

Sadry (2009) plantea que el geoturismo *“es un tipo de turismo basado en el conocimiento, conservación e interpretación de los atributos abióticos de la naturaleza”*. Esta idea es compartida por Carcavilla et al (2011) quienes agregan que el geoturismo *“debe revelar y descubrir a los visitantes las características particulares de la Tierra”*.

Dowling y Newsome (2010) plantean que el geoturismo es un nicho dentro del turismo de naturaleza que pone el foco en experimentar las características geológicas del planeta de modo que se promueva un entendimiento ambiental y cultural, valoración y conservación; también lo enmarcan dentro del paradigma de la sostenibilidad haciendo hincapié en la importancia de que este tipo de desarrollo sea localmente y económicamente beneficioso, al mismo tiempo que se protege el patrimonio geológico.

Con la actividad geoturística se debe proporcionar al visitante un conocimiento claro de los elementos geológicos que componen el paisaje. Este conocimiento puede ser transmitido a través de recorridos o itinerarios, donde se brindará a los turistas interpretaciones científicas del paisaje en un lenguaje accesible, para esto se recurrirá al auxilio de métodos y técnicas didácticas, que hagan comprensible la esencia de los elementos geológicos observados, favoreciendo de esta manera su valoración y protección.

El geoturismo promueve que tanto la comunidad receptora como los visitantes se involucren en la protección del patrimonio geológico, conservando así para las futuras generaciones recursos que de otra manera desaparecerían.

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.

Lo que está claro es que el patrimonio geológico necesita ser socializado para que pueda ser conservado y protegido, por esta razón los geólogos debemos esforzarnos en hacerlo comprensible y accesible al público en general (Ibañez Palacios et al, 2018).

Los volcanes constituyen el tema geológico por excelencia, debido a que son el nexo entre la superficie terrestre y los ignotos niveles profundos de la corteza. El interés por las manifestaciones de la actividad volcánica ha fascinado y apasionado desde la antigüedad hasta nuestros días a pueblos de todo el mundo. Los volcanes son la cara y cruz de una moneda, ya que pueden ofrecer durante siglos una productividad extrema a las explotaciones agrícolas, para aniquilar todo rastro de vida tras una erupción especialmente devastadora.

El objetivo de esta presentación es resaltar el valioso potencial de la región del volcán Tuzgle para el desarrollo de un proyecto geoturístico. Se trata de determinar qué recursos geoturísticos ofrece esta región volcánica y qué actividades turísticas se podrían llevar a cabo en el territorio para potenciar la actividad económica de la región.

## **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

Este trabajo consistió en 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<sup>TM</sup>. En esta etapa se realizó un listado inicial de los lugares a relevar en la etapa de campo. Para esta selección se tuvieron en cuenta sitios que produjeran el disfrute del público desde el punto de vista paisajístico, cultural o educativo. Durante la etapa de campo se realizó el reconocimiento del área de estudio, la documentación fotográfica y el relevamiento in situ de datos geoturísticos de los sitios seleccionados.

## **CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se enmarca dentro de la región morfoestructural de la Puna Argentina, entre los 23°52'26.64" – 24°09'58.24"S y los 66°40'14.34" – 66°15'16.71"O ver Fig. 1. La Puna es una extensa unidad elevada por encima de los 3400 m s.n.m. con una aridez extrema, se trata de un semidesierto de altura, caracterizado por la presencia de salares y una vegetación escasa y dispersa, que consiste básicamente en pequeños arbustos y gramíneas. La mayoría de las fuentes de agua no son permanentes y se encuentran esparcidas en las quebradas con grandes distancias entre sí.

En la Puna, el clima es frío y seco, presenta una gran amplitud térmica diaria, que puede alcanzar los 30°C, medias anuales inferiores a 8°C y mínimas invernales inferiores a -20°C. La marcha anual de la temperatura media pertenece al denominado tipo "continental", con el máximo en el mes de enero y el mínimo en julio.

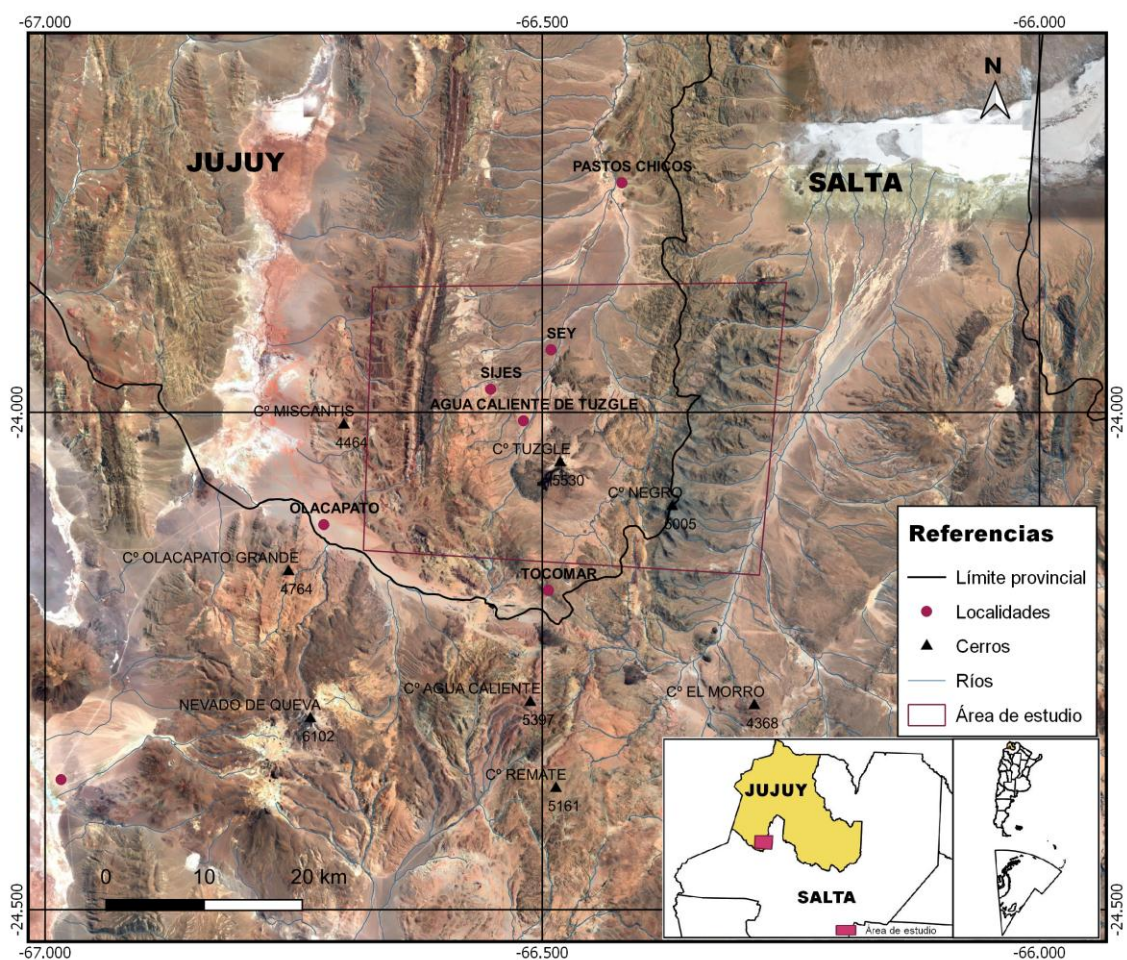
Las precipitaciones son estivales y promedian generalmente los 100 a 200 mm anuales, disminuyen de N a S y de E a O, desde cerca de 350 mm/año a menos de 50 mm/año en la región de los grandes salares.

El balance hídrico regional es negativo para todos los meses del año y durante la ocurrencia de algunas lluvias de verano se generan escurrimientos torrentosos de agua superficial.

En la zona son muy frecuentes las heladas, aun durante los meses más cálidos del verano, potenciadas por el descenso de la temperatura por la altitud y los bajos contenidos de vapor de agua en el aire. La ausencia de vapor de agua, explica las grandes amplitudes térmicas diarias características de éstas regiones del desierto andino.

En la Puna se pueden observar volcanes de varios millones de años con formas relativamente bien conservadas, por la baja tasa erosión debido al clima árido registrado desde el Mioceno superior (Hilley y Strecker, 2005).

En la zona de transición entre la Puna sur y norte (Deruelle, 1991) se desarrolló el volcán Tuzgle, único estratovolcán cuaternario ubicado en el retroarco (Coira y Kay, 1993).



**Figura 1.** Mapa de localización del área de estudio.

Se puede acceder al sector de estudio desde la ciudad de Salta, distante a 280 km, ascendiendo por la quebrada del Toro, a través de la ruta nacional 51. También se puede acceder desde la ciudad de San Salvador de Jujuy, distante a 170 km, por la ruta

nacional 9 hasta la localidad de Purmamarca, desde aquí se asciende por la cuesta de Lipán y por la ruta nacional 52 se llega a Susques, desde esta localidad se transita unos 75 km por la ruta provincial 74 hasta llegar al volcán Tuzgle.

## RECURSOS GEOTURÍSTICOS DE LA REGIÓN

### *Volcán Tuzgle*

El volcán Tuzgle que alcanza una altura de 5530 m s.n.m., está ubicado en el plateau de Puna Central a los 24°03' de latitud S y 66°29' de longitud O, en el departamento de Susques de la provincia de Jujuy, a aproximadamente 275 km al E del frente volcánico activo de los Andes Centrales.

El volcán Tuzgle pertenece al lineamiento volcánico Calama-Olapato-El Toro, es el único estratovolcán cuaternario de retroarco (Coira y Kay, 1993). Está emplazado en la parte central de una depresión tectónica elongada en dirección N – S y se trata del volcán activo más oriental de la República Argentina, en sus laderas se pueden observar importantes flujos de lava, siendo las más jóvenes derramadas sobre los flancos SE y SO. Su actividad volcánica está relacionada con el fallamiento extensional Cuaternario a lo largo del lineamiento de El Toro (Coira y Kay, 1993).

Al ser el Tuzgle un estratovolcán, está formado por la acumulación sucesiva de materiales piroclásticos y coladas lávicas, emitidas desde un mismo sistema magmático y provenientes de erupciones explosivas y efusivas respectivamente.

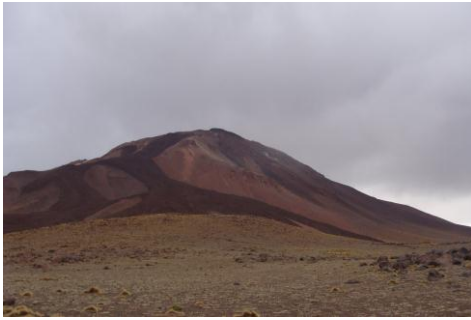
Se trata de un pequeño cono de lava de aproximadamente 1200 m de altura y 6,5 km de diámetro basal, de composición dacítica a andesítica y activo durante el Holoceno (de Silva y Francis, 1991), que fue construido sobre un sustrato formado por rocas sedimentarias (Formación Pastos Chicos) y volcánicas (Formación Trinchera) del Neógeno que alcanzan un espesor de 1500 m. Se trata de un estratovolcán constituido por dos secuencias: a) la más antigua formada por ignimbritas de composición riodacítica, Ignimbrita Tuzgle, de 0,65 Ma (Schwab y Lippolt, 1974) y b) la más reciente de flujos de lava de composición andesítica (Coira y Kay, 1993) ver Fig. 2.

Su forma es cónica, se encuentra excelentemente preservado debido a su baja degradación y en su ladera S se observa el derrame de su colada más joven que llama la atención por su coloración oscura ver Fig. 3.



**Figura 2.** Flanco oriental del volcán Tuzgle donde también se observa el basamento ignimbrito, sobre el cual se emplazó el edificio volcánico de 1200 m de altura.





**Figura 3.** Se observa el contraste de coloración entre el edificio volcánico de composición dacítica (pardo clara) y las lavas de composición andesítica más recientes (pardo oscuro).

### ***Ignimbrita Tuzgle***

Se trata de un manto ignimbrítico que actualmente conforma una altiplanicie que ocupa unos 60 km<sup>2</sup>, constituye la primera manifestación conocida de la secuencia volcánica que edificó el volcán Tuzgle. Se originó hace 0,65 Ma por una erupción explosiva de flujos piroclásticos pumíceos, su espesor máximo es del orden de los 80 m y su composición riodacítica (Coira y Kay, 1993).

Los imponentes y recortados paredones ignimbríticos que se observan al transitar por la quebrada de Aguas Calientes, nos permiten hacernos una idea de la magnitud de ésta erupción ver Fig. 4.



**Figura 4.** Paredones ignimbríticos originados por una erupción explosiva (Ignimbrita Tuzgle), actualmente constituyen una altiplanicie que ocupa unos 60 km<sup>2</sup>.

### ***Mina Betty***

Los gases ricos en azufre liberados por el volcán rellenaron los huecos y microfracturas de las rocas con este elemento, formando cerca de la cumbre del volcán (5200 m s.n.m.) un depósito de azufre, que motivó una explotación a cielo abierto entre 1943 y 1955 ver Fig. 5.



**Figura 5.** Vista del volcán Tuzgle donde se observan en la cima las manifestaciones de azufre (color blanquecino) de la mina Betty, también resaltan los derrames de coladas andesíticas (pardo oscuro).



### ***Campo Geotérmico***

El volcán Tuzgle se asocia a uno de los más importantes campos geotérmicos de la región de aproximadamente 32 km<sup>2</sup>, cuyo potencial se pone de manifiesto a través de aguas termales con temperaturas de 40° a 56°C, que fluyen a lo largo de la quebrada de Aguas Calientes al O del volcán, y también en el flanco S. En las márgenes del río Aguas Calientes se observan depósitos carbonáticos en forma de costras y algas termófilas ver Fig. 6.

Las aguas termales del Tuzgle son del tipo cloruradas alcalinas y resultan de una mezcla entre fluidos profundos a muy alta temperatura, con aguas frías más superficiales. Se estima que las temperaturas del agua en profundidad se encuentran entre 134° y 143°C (CREGEN, 1988), por lo que se trata de un yacimiento geotérmico de alta entalpía capaz de producir energía eléctrica a un costo competitivo, debido a que el costo de la transformación del agua en vapor lo hace la naturaleza.

Además las fuentes termales del Tuzgle también pueden emplearse para el desarrollo de un centro de bañoterapia, con el imponente volcán de fondo.



**Figura 6.** Río Aguas Calientes, con aguas termales que discurren a lo largo de la quebrada del mismo nombre. Se observan los depósitos carbonáticos en sus márgenes y la presencia de algas termófilas. Al fondo la forma casi cónica del imponente volcán Tuzgle.

### **POSIBLES ACTIVIDADES TURÍSTICAS**

La región del volcán Tuzgle ofrece múltiples atractivos y recursos para atraer a los visitantes, entre los más importantes podemos considerar:

- El bello escenario paisajístico de la región, donde además del volcán Tuzgle que se eleva imponente en la depresión Pastos Chicos – Sey, la acción constante del viento ha labrado los paredones de la Ignimbrita Tuzgle generando formas de gran espectacularidad visual.
- La explotación a cielo abierto de azufre, cercana a la cumbre del volcán (mina Betty) que actualmente se encuentra abandonada y a cuyos pies se observan los restos de un caserío.

- La presencia en su cima de ruinas arqueológicas, que indican que el volcán Tuzgle fue uno de los sitios rituales de los Incas, como muchas de las altas montañas del Noroeste Argentino (Ceruti, 1999).
- Las prácticas de deportes de aventura, como el ascenso hasta la cumbre del volcán a través de diferentes rutas y desde allí gozar de la espectacular belleza del paisaje. Además como toda la región está cubierta por rocas y paredones ignimbríticos de diferentes formas y tamaños (la Juguetería), éstas se tornan ideales para que cualquier amante de la escalada pueda probar una ruta inexplorada.
- Dada la calidad de sus aguas termales estas podrían utilizarse para el desarrollo en la región de un centro de bañoterapia o spa.
- Permitir al común de la gente conocer los procesos volcánicos que afectaron a la región desde hace unos 500.000 años hasta el Reciente, y lograr de esta manera a través de la educación la preservación del patrimonio geológico de la región.

## CONCLUSIONES

- Debido a su accesibilidad representa una oportunidad de geoturismo aún no explotada.
- El potencial de los recursos geoturísticos le confiere un valor agregado a la actividad turística en la región del volcán Tuzgle.
- Sería interesante propiciar un tipo de turismo donde se conjuguen aspectos tales como turismo de aventura, geológico, minero y arqueológico, para valorizar la región y fomentar su crecimiento económico.
- Debido al carácter no renovable del patrimonio geológico de la región, lo deseable sería el desarrollo de un turismo sustentable, con pocos visitantes en una misma área y totalmente integrados con los atractivos que les ofrece el volcán, y muy respetuosos de los valores intrínsecos del lugar visitado.
- La zona periférica al volcán Tuzgle tiene mucho potencial en lo que se refiere a energía geotérmica, siendo uno de los prospectos del país con posibilidades de generar energía eléctrica a partir de este recurso.

## REFERENCIAS

- Carcavilla, L., Belmonte, A., Durán, J.J. e Hilario, A. Geoturismo: concepto y perspectivas en España. *Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19.1, 81-94 (2011).
- Ceruti, M.C. *Cumbres Sagradas del Noroeste Argentino*. Editorial de la Universidad de Buenos Aires (EUDEBA), Buenos Aires, 1999.
- CREGEN. *Estudio geotérmico del área Tuzgle-Tocomar-Pompeya*. Centro Regional de Energía Geotérmica del Neuquén, Neuquén, inédito, 1988.
- Coira, B. y Kay, S. Implications of Quaternary volcanism at Cerro Tuzgle for crustal and mantle evolution of the Puna Plateau, Central Andes, Argentina. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 113(1), 40-58 (1993).
- Deruelle, B. Petrology of Quaternary shoshonitic lavas of northwestern Argentina. En: R. Harmon, C. Rapela (Eds.) *Andean magmatism and its tectonic setting. Geological Society of America Special Paper* 265, 201-217 (1991).
- de Silva, S.L. y Francis, P. *Volcanoes of the Central Andes*. Springer Verlag, Berlin, 1991.
- Dowling, R. K. y Newsome, D. *Global Geotourism Perspectives*. Goodfellow Publishers Ltd, Oxford, Reino Unido, 2010.

- Hilley, G. y Strecker, M. Processes of oscillatory basin filling and excavation in a tectonically active orogen: Quebrada del Toro Basin, NW Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 117, 887-901 (2005).
- Hose, T. A. Selling the story of Britain's Stone. *Environmental Interpretation* 10(2), 16-17 (1995).
- Hose, T. A. Geotourism - Selling the earth to Europe. In Marinos, K. y Stournaras, T. *Engineering geology end the Environment*, 2955-2960 (1997).
- Ibañez Palacios, G.P., Ahumada, A.L., Toledo, M.A. y Páez, S.V. Cuantificación del patrimonio geológico de una potencial georuta interpretativa en la sierra de Santa Victoria, Salta, Argentina. *Pasos. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural* 16(3), 583-598 (2018).
- National Geographic Society. *Geotourism principles*. 2005.
- Ruchkys, U. de A. *Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para criação de um geoparque da UNESCO*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- Sadry, B.N. *Fundamentals of geotourism: with special emphasis on Iran*. Samt Organization Publishing, Tehran, Irán, 2009.
- Schwab, K. y Lippolt, H. K-Ar mineral ages and Late Cenozoic history of the Salar de Cauchari Area (Argentine Puna). *International Association Volcanism Geochem Earth Interior Proceedings*, 697-714 (1974).

# ¿EL CARACOL MANZANA ES UN ORGANISMO CENTINELA?

Juárez N. A.<sup>a</sup>, Arribére M.A.<sup>a,b</sup> y Vega I.A.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Laboratorio de Activación Neutrónica, Centro Atómico Bariloche, CNEA, ARGENTINA

<sup>b</sup>Instituto Balseiro, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

<sup>c</sup>Instituto de Fisiología (IHEM-CONICET), Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

e-mail: [natalia.juarez@cab.cnea.gov.ar](mailto:natalia.juarez@cab.cnea.gov.ar)

## RESUMEN

*El caracol manzana (*Pomacea canaliculata*) es un organismo ampliamente distribuido en ambientes acuáticos tropicales y subtropicales con una gran eficiencia para acumular metales y metaloides, aún en ambientes donde el agua tiene concentraciones elementales similares a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud para consumo humano. Por esta razón, ha sido propuesto como un organismo centinela de contaminación de arsénico en agua. Utilizando un radiotrazador de <sup>76</sup>As para evaluar la acumulación elemental en diferentes órganos de *P. canaliculata*, exponiendo al animal a diferentes concentraciones en agua se determinó que al 2° día de exposición muestra una respuesta casi lineal a la concentración de agua, con una relación de 1:10 en glándula digestiva, riñón y de 1:1 para la masa cefalopodal. Los resultados indican que esta especie puede ser utilizada como bioindicador de As en agua.*

**Palabras Clave:** radiotrazador <sup>76</sup>As, bioindicación, *Pomacea canaliculata*

## INTRODUCCIÓN

El caracol manzana (*Pomacea canaliculata*) es un organismo ampliamente distribuido en ambientes acuáticos tropicales y subtropicales, cuyo hábitat natural en la Argentina va desde la cuenca fluvial de la Plata hasta la cuenca Encadenadas del Oeste (latitud sur 37°, Provincia de Buenos Aires, Argentina), (Martín et al, 2001). Posee una gran eficiencia para acumular metales y metaloides, aún en ambientes donde el agua tiene concentraciones elementales similares a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud para consumo humano, 10 µg/L (Vega et al, 2012; Campoy et al, 2018). Por esta razón, ha sido propuesto como un organismo centinela de contaminación de arsénico en agua. En este trabajo se plantea conocer cómo responde a las diferentes concentraciones de un radiotrazador <sup>76</sup>As en agua, evaluando valores cercanos a lo que recomienda la OMS y concentraciones que pueden presentarse en diferentes cuerpos de agua argentinos 1, 100 y 1000 µg/L, (Cora Jofré et al, 2017).

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

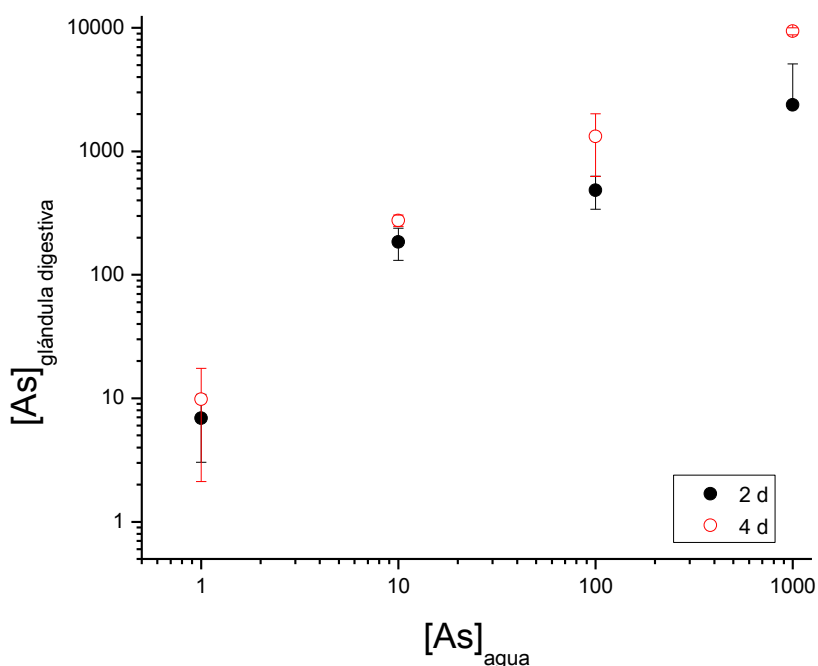
El arsénico tiene un único isótopo estable, <sup>75</sup>As, pudiendo alcanzar una alta actividad específica debido a su alta constante de desintegración ( $T_{1/2} = 1,0942$  d). Para la preparación del radiotrazador de <sup>76</sup>As se utilizó el compuesto sólido, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y la muestra se irradió en el reactor RA-6 del Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica, con un flujo térmico de  $2,3 \times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>s. El compuesto irradiado se disolvió en agua, conformando la solución de radiotrazador de <sup>76</sup>As.

Para el desarrollo experimental se utilizaron cuatro peceras conteniendo 10 L de agua potable en cada una, conteniendo diferentes concentraciones de As (1, 10, 100 y 1000

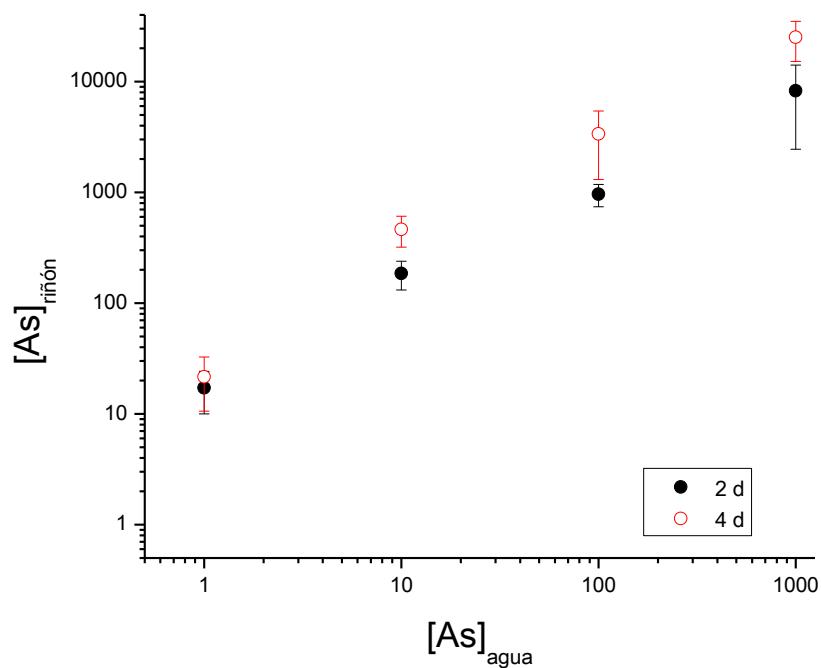
$\mu\text{g/L}$ ). Se colocaron 6 animales por acuario y se dio inicio al período de exposición (tiempo 0). Se disecaron 3 caracoles por pecera a los 2 días y 4 días post exposición. Se midió la actividad de  $^{76}\text{As}$  en glándula digestiva, riñón y masa cefalopodal con un sistema de espectrometría gamma, que consistió en un detector de tipo HPGe de pozo (ORTEC GWL-90-15 HPGe), un espectrómetro DSPEC y software Maestro, obteniendo así el contenido de As en cada tejido. El experimento se detuvo al cuarto día ya que el riñón comienza el proceso de depuración según experiencias previas realizadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

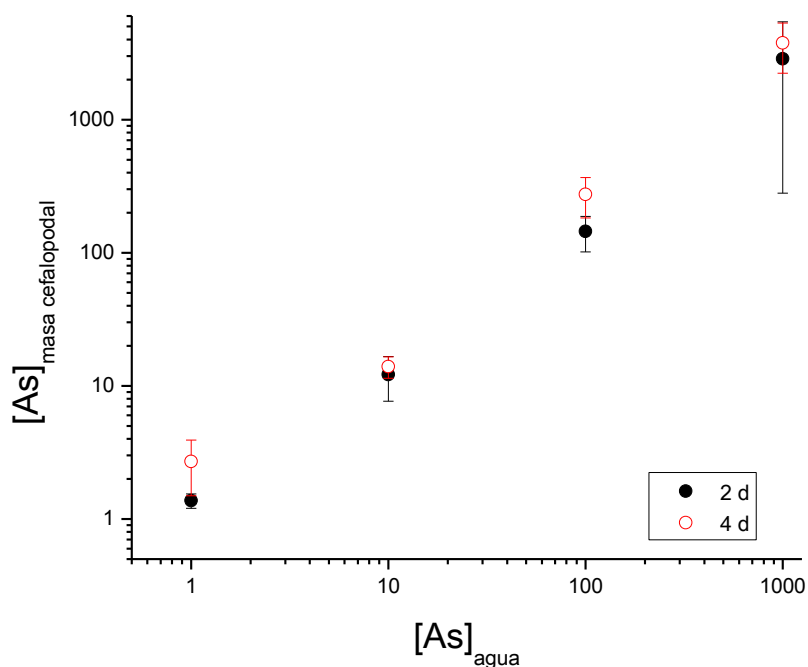
En la Figuras 1, 2 y 3 se muestran las relaciones de las concentraciones de As en agua y las concentraciones alcanzadas en glándula digestiva, riñón y masa cefalopodal respectivamente. Durante el desarrollo de la experiencia se observa una acumulación de As casi lineal en los tres tejidos analizados en un rango de 1 a 1000  $\mu\text{g/L}$  de concentración de As en agua.



**Figura 1.** Concentración de As ( $\mu\text{g/g}$ ) en glándula digestiva obtenida de animales expuestos a diferentes concentraciones de As en agua (1, 10, 100 y 1000  $\mu\text{g/L}$ ). Cada punto en el gráfico es el promedio de la medición y las barras de error se corresponden con la desviación estándar de 3 muestras independientes.



**Figura 2.** Concentración de As ( $\mu\text{g/g}$ ) en riñón obtenido de animales expuestos a concentraciones diferentes de As en agua de (1, 10, 100 y 1000  $\mu\text{g/L}$ ). Cada punto en el gráfico es el promedio de la medición y las barras de error se corresponden con la desviación estándar de 3 muestras independientes.



**Figura 3.** Concentración de As ( $\mu\text{g/g}$ ) en masa cefalopodal obtenida de animales expuestos a diferentes concentraciones de As en agua de (1, 10, 100 y 1000  $\mu\text{g/L}$ ). Cada punto en el gráfico es el promedio de la medición y las barras de error se corresponden con la desviación estándar de 3 muestras independientes.



En general, la concentración tisular media de  $^{76}\text{As}$  al cuarto día fue mayor que la concentración tisular media del segundo día en los órganos analizados. A los cuatro días de exposición, todas las concentraciones han aumentado, y se espera que en la glándula digestiva y la masa cefalopodal sigan acumulándose. La glándula digestiva y el riñón mostraron concentraciones mayores a la masa cefalopodal, es decir, una relación entre la concentración en agua respecto de As acumulado en los órganos medidos de 1:10 versus 1:1, respectivamente. Este resultado concuerda con la preferencia tisular reportada previamente para este animal (Vega et al, 2012).

## CONCLUSIONES

La experiencia diseñada con un radiotrazador de  $^{76}\text{As}$ , permitió evaluar la respuesta del animal en periodos de tiempos muy cortos, obteniendo resultados positivos al 2<sup>do</sup> día de exposición, por lo que, la especie es sensible a la concentración de As en agua. Por otro lado, los resultados casi lineales indican que la acumulación de  $^{76}\text{As}$  en *P. canaliculata* es dependiente de las concentraciones de arsénico disuelto en agua. Estos dos indicios del comportamiento frente a la presencia de As concuerdan con la hipótesis sobre el potencial de esta especie como organismo bioindicador.

## REFERENCIAS

- Campoy-Diaz A. D., Arribére M. A., Ribeiro Guevara S., Vega I. A. Bioindication of mercury, arsenic and uranium in the apple snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae): Bioconcentration and depuration in tissues and symbiotic corpuscles. *Chemosphere* 196, 196-205 (2018)
- Cora Jofré, F., Perez, M.M., Zaldarriaga Heredia, J., Blanco, A., Azcarate, R.V., Bagioni, M., Brambilla, A.C., Larregui, D.N., Rebollo, M.C., Curti, M.I., Murcia, V., Neher, B., Savio, N.A., Kloster, N., Azcarate, S.M., Savio, M.,. Calidad de agua y producción en la zona de Anguil, La Pampa-Un estudio de valor agregado de la UNLPam. In: Primer Congreso Provincial de Vinculación y Transferencia, UNLPam. 3–4 August 2017, Santa Rosa, La Pampa. (2017)
- Martín P.R., Estebenet A.L., Cazzaniga N.J. Factors affecting the distribution of *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) along its southernmost natural limit. *Malacologia* 43, 13-23. (2001)
- Vega I. A., Arribére M. A., Almonacid A. V., Ribeiro Guevara S. and Castro-Vazquez A. Apple snails and their endosymbionts bioconcentrate heavy metals and uranium from contaminated drinking water. *Environ Sci Pollut Res.* 19, 3307–3316. (2012)

# GEOMORFOLOGÍA Y RIESGO GEOLÓGICO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SALADO, CORDILLERA PRINCIPAL, MENDOZA

Kwaterka V. M. <sup>a</sup>, Winocur D. A. <sup>ab</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

<sup>b</sup> Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber (IDEAN)

e-mail: [verokwa@gmail.com](mailto:verokwa@gmail.com)

## RESUMEN

*El presente trabajo tuvo como objetivo principal la caracterización y análisis de la geomorfología de la cuenca alta del río Salado, con especial énfasis en los depósitos generados por procesos de remoción en masa y su riesgo geológico asociado, a lo largo de la ruta provincial N° 222. La zona de estudio se ubica a la latitud 35°10' S entre las longitudes 69° 53' O y 70° 07' O, donde se localizan el paraje de Los Molles y el centro de esquí Las Leñas, cuyas actividades económicas se centran principalmente en el turismo, la ganadería y la agricultura trashumante. La metodología de trabajo consistió en un relevamiento de campo y un análisis multicapa en formato GIS para la confección de la cartografía. Se realizaron mapas geológicos, geomorfológicos y de zonificación del riesgo geológico, este último donde se delimitaron zonas de bajo, medio y alto riesgo. El área de estudio presenta diversos procesos de remoción en masa de gran volumen, que no han sido identificados en trabajos previos. Algunos de estos han sido interpretados como movimientos complejos, deslizamientos rotacionales, deformaciones gravitacionales profundas y avalanchas de rocas, aplicando distintas clasificaciones según el caso. No obstante, los procesos geomorfológicos activos que representan un riesgo geológico importante en la zona de estudio, son procesos de menor escala que fueron definidos como caídas de rocas, flujos de detritos y de barro, además de procesos fluviales y kársticos. Como producto final del estudio se obtuvo un mapa de zonificación del riesgo asociado a diversos procesos a partir del estudio de la inclinación y orientación de las pendientes, la insolación de las laderas, la recurrencia de eventos y otros condicionantes geológicos. Se concluyó que el riesgo más frecuente es la caída de rocas, que ocurren a lo largo de gran parte de la ruta mencionada.*

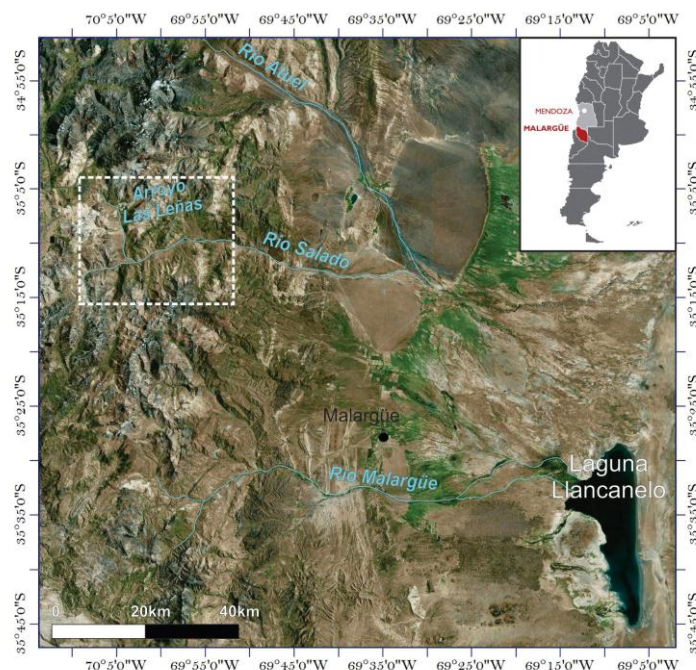
*Palabras Clave:* Geomorfología, Riesgo Geológico, Las Leñas, Ordenamiento Territorial.

## INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se ubica en el departamento de Malargüe y está compuesta por dos valles principales, cuya denominación es dada a partir de los cursos fluviales que los recorren, el río Salado y el arroyo Las Leñas. Sobre la margen norte del río Salado se ubica el paraje de Los Molles cuyo poblamiento se inicia con la instalación del hotel Lahuen - Có y las tradicionales termas El Peralito durante la década de 1930.

El valle de Las Leñas presenta una dirección norte-sur y es en su margen occidental donde se ha construido el centro invernal homónimo, de renombre internacional, que es

visitado por un creciente número de turistas año tras año. El ente de Mendoza registró la cifra de 350.000 visitantes durante julio del 2017, alcanzando alrededor de 400.000 en los años 2018 y 2019 durante el invierno. Por esto, sumado a la intensa actividad agrícola y ganadera trashumante que se desarrolla desde hace décadas, el análisis del riesgo geológico reviste particular importancia en la zona de estudio.



**Figura 1:** Ubicación de la zona de estudio.

Desde el punto de vista geológico, la zona donde se enmarca el estudio se ubica dentro de la Faja Plegada y Corrida de Malargüe en el ámbito de la provincia geológica de Cordillera Principal (Mendoza). Los afloramientos están constituidos por el basamento ígneo del Grupo Choiyoi, el relleno sedimentario mesozoico de la Cuenca Neuquina, de los cuales exponen los Grupos Cuyo, Lotena, Mendoza y los depósitos sinorogénicos del Grupo Neuquén. Estas secuencias se encuentran intruídas por los cuerpos hipabisales miocenos de la Formación Huincán, y el desarrollo de volcanismo basáltico cuaternario de la provincia volcánica de Payenia.

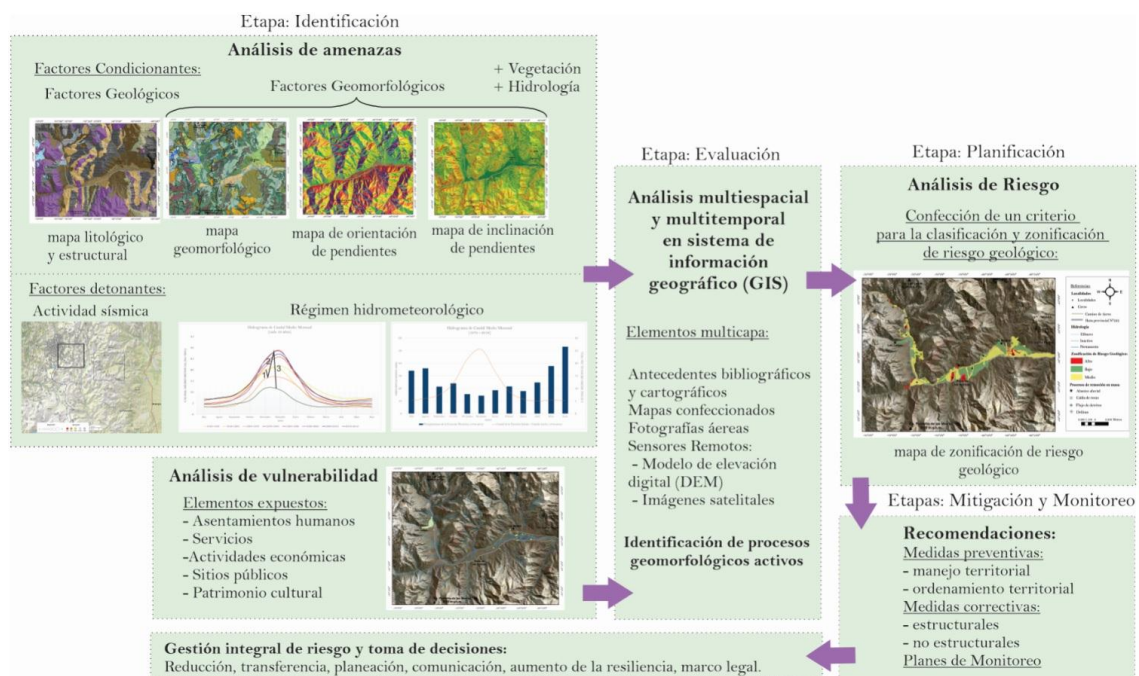
Si bien se ha realizado un estudio de los procesos de remoción en masa y su peligrosidad asociada en estos valles (Espizúa, L.E. y Bengochea, J.D., 1995), este trabajo constituye el primer análisis de zonificación del riesgo geológico que considera todos los procesos geomorfológicos activos que actúan en la región y el riesgo geológico que ellos implican para el territorio poblado que abarca el paraje de Los Molles, el centro de esquí Las Leñas y la ruta provincial N° 222.

La manera en que se caracterizan los movimientos de remoción en masa varía según el enfoque y los objetivos principales del estudio (Picarelli et al., 2005). La experiencia acumulada en varios países reconoce la gran utilidad que prestan los mapas de zonificación de riesgo geológico para el ordenamiento territorial y la gestión de emergencias (Cascini et al., 2005). El mapeo de la amenaza por movimientos en masa es una ciencia que requiere la consideración de muchas variables. La metodología a

emplear depende del tipo de problemática, y por lo tanto, no es práctico establecer un procedimiento único o una metodología estándar que sea aplicable a todos los tipos de problemas (Hung, 2004).

Sumado a ello, la complejidad de los procesos de remoción en masa demanda tanto una caracterización espacial como temporal del paisaje, considerando el objetivo principal de la evaluación y el análisis de riesgo para la gestión de emergencias o el ordenamiento territorial (Andino, 2007).

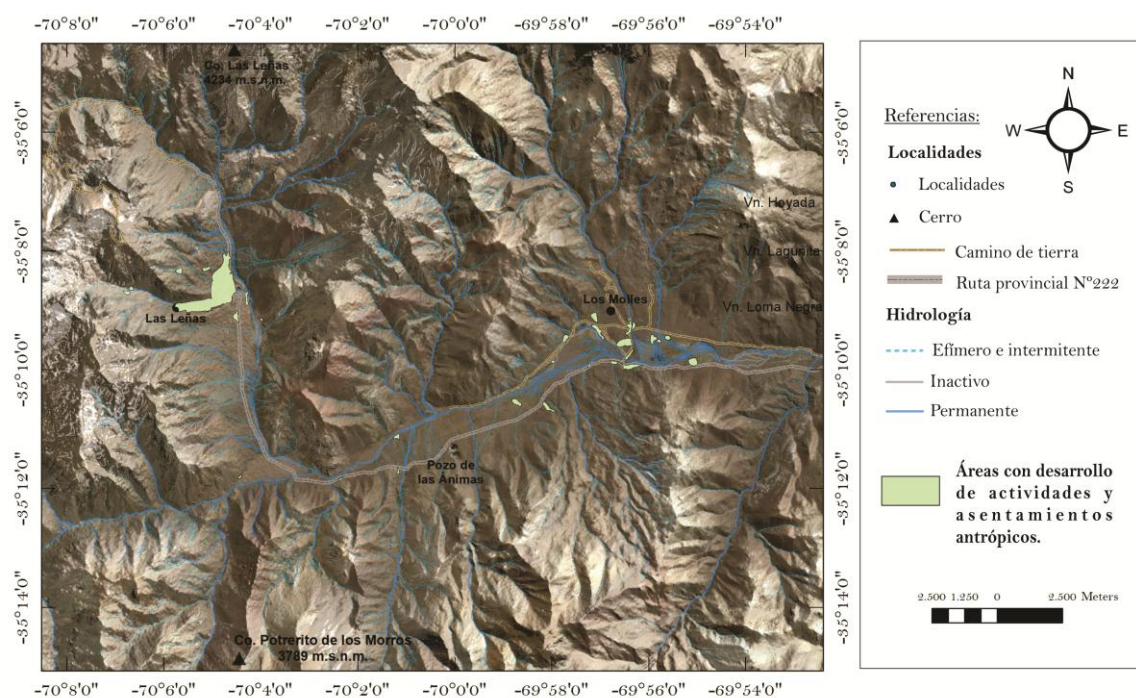
A fin de poder realizar la predicción y zonificación de los procesos geomorfológicos activos que podrían resultar en una amenaza para los habitantes o la infraestructura del lugar, se utilizó una metodología de análisis acorde a las condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas y topográficas de la región. Similares metodologías han sido aplicadas por diversos autores en regiones cercanas a la de estudio que han sido afectadas por procesos activos y que poseen condiciones y desencadenantes similares (Moreiras, 2005; Moreiras et al. 2017; Winocur et al., 2017). La metodología consta de 5 pasos principales (ver Fig. 2). En primer lugar, la identificación del peligro basado en el estudio de los antecedentes de la zona, y la elaboración de mapas, entre los cuales el geomorfológico facilita la identificación de los procesos activos y su peligrosidad. Posteriormente se procede al análisis multiespacial y multitemporal de las distintas variables condicionantes, factores detonantes y su sinergia; en la etapa de planificación se propone la zonificación del riesgo, que devendrá en propuestas de mitigación compuestas por medidas preventivas y/o correctivas, para finalmente proponer un plan de monitoreo y alerta temprana (ver Fig. 2).



**Figura 2:** Esquema de flujo del análisis del riesgo geológico utilizado para el presente trabajo.



En un inicio se buscó identificar y caracterizar los factores condicionantes basados en controles geológicos, caracterizados por los litológicos y estructurales; los geomorfológicos mediante el estudio de los procesos actuantes y el reconocimiento de sus geoformas asociadas, la recurrencia de eventos, la inclinación y orientación de laderas; el régimen hidrológico y los posibles disparadores climáticos (precipitaciones), geológicos (sismos) y antrópicos. También fue necesaria la localización de los elementos en riesgo, que corresponden al tendido del suministro eléctrico, vías de comunicación, zonas construidas y con desarrollo de actividades económicas asociadas al turismo, agricultura y ganadería (ver Fig. 3). Se concentran en el pueblo de Los Molles, el centro de Esquí Las Leñas, y caseríos aislados que se encuentran distribuidos heterogéneamente a lo largo de la ruta provincial N° 222, que por sí misma es uno de los elementos en riesgo principales, ya que atraviesa toda la zona de estudio y es el único camino de comunicación entre Las Leñas y Los Molles con Malargüe o San Rafael.



**Figura 3:** Mapa de elementos antrópicos en riesgo de la zona de estudio.

Luego se prosiguió con la etapa de evaluación que consistió en el análisis multicapa en sistema de información geográfica para los distintos factores mencionados y plasmados en los mapas de análisis. Se buscaron relaciones entre estos factores y el desarrollo de procesos geomorfológicos, obteniendo conclusiones relevantes para el análisis del riesgo. A partir de la evaluación se definieron los principales procesos geomorfológicos activos que representan una amenaza para el seguro desarrollo de la población local y su infraestructura, la actividad turística y el correcto funcionamiento de los servicios existentes en el área de estudio.

En el marco de la etapa de planificación, se procedió a clasificar y zonificar el territorio involucrado en bajo, medio y alto riesgo geológico en relación a cada uno de los procesos geomorfológicos activos actuantes, considerando las litologías adyacentes, la inclinación y orientación de laderas y el grado de fracturación de la roca.

La última etapa de la planificación incluye la mitigación y monitoreo, que consta de la proposición de planes de manejo y ordenamiento territorial, planes de contingencia y medidas de protección basado en la zonificación realizada. Se sugirió la implementación de medidas de mitigación, preventivas y correctivas, estructurales y no estructurales particulares para cada zona que fue considerada relevante según su clasificación.

## **METODOLOGÍA**

La metodología de trabajo consistió en la búsqueda de antecedentes de eventos o procesos geomorfológicos acaecidos en la zona de estudio para poder establecer su recurrencia. El reconocimiento en el campo y la descripción de las geoformas existentes fueron de vital importancia para el desarrollo del presente trabajo. Se caracterizaron los depósitos de remoción en masa según su fábrica, dispersión y tamaño de clastos, en complemento a la clasificación del grado de actividad y a la determinación de su antigüedad basada en la presencia o ausencia de vegetación, lavaje de materiales finos, y del grado de suavizamiento de las estructuras características de cada geoforma. Además, se tomaron datos sobre la geología de la zona para así poder cartografiar los factores litológicos y estructurales que presentan gran relevancia para este tipo de estudios.

En el trabajo de gabinete se procesaron los datos obtenidos para así poder derivar en un análisis integral de los condicionantes y disparadores de eventos de remoción en masa de la zona. El estudio multiespacial y multitemporal de la zona se basó en imágenes satelitales Landsat-8 Bing y ESRI y modelos de elevación digital de imágenes Alos Palsar, empleando el software ArcGIS 10.3, y a partir del cual se esgrimieron los siguientes mapas: geológico, litológico, geomorfológico, inclinación y orientación de pendientes, cuyo análisis confluyó en la zonificación del riesgo geológico que también fue cartografiada.

En cuanto a los disparadores, se hizo una recopilación de datos sísmicos local y regional adquiridos del INPRES y del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), para así poder caracterizar la actividad sísmica del área de trabajo. Con el objeto de analizar los disparadores climáticos, se elaboraron distintos hidrogramas para determinar el régimen hidrológico de la zona y sus variaciones a lo largo de las últimas décadas. Los datos de caudal, precipitaciones y altura E.A.N. utilizados para los hidrogramas fueron obtenidos de la Base de Datos Hidrológica Integrada de la Secretaría de Infraestructura y Políticas Hídricas de la Nación de las siguientes estaciones:

- Estación Hidrometeorológica 1415 - Salado – Cañada Ancha: caudal medio mensual del río Salado entre el 01/07/1940 y 30/06/2018.
- Estación Hidrometeorológica 1426 – Pincheira: caudal medio mensual del río Malargüe entre el 01/07/1968 y 30/06/2019, y precipitaciones diarias en el valle asociado entre el 01/02/1976 y 30/06/2019.
- Estación Hidrometeorológica 9160 – Las Leñas: altura E.A.N. en Snow Pillow entre el 01/06/2015 y 31/12/2018.

La zonificación del riesgo geológico requirió de la confección de un criterio de clasificación de riesgo en tres categorías: alto, medio y bajo para cada uno de los

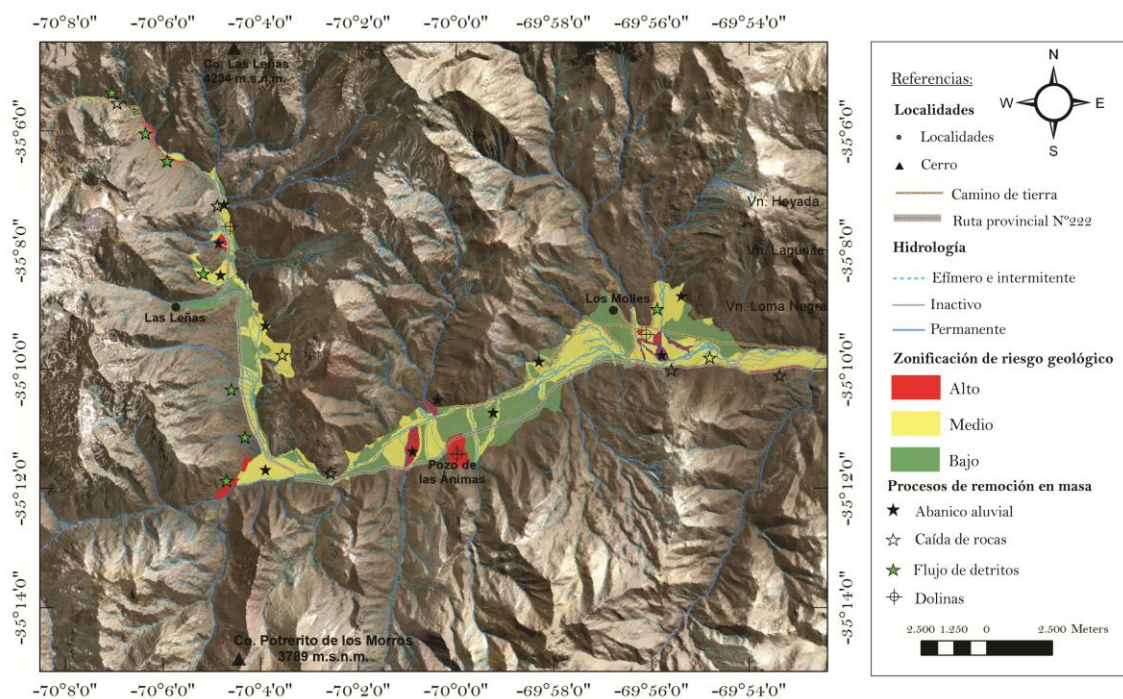


procesos geomorfológicos, y la posterior aplicación de ésta en la zona de estudio, que derivó en el mapa de zonificación de riesgo geológico y que servirá para el mejor entendimiento y fácil lectura de los organismos gubernamentales y la población local.

Por último, se hicieron recomendaciones de mitigación mediante medidas no estructurales, entre las cuales se contemplaron el monitoreo de variables meteorológicas, hidrológicas y geomorfológicas en las cuencas, e implementación de sistemas de alerta temprana, planes de ordenamiento territorial y de contingencia (García y López, 2005). Las medidas estructurales poseen una gran variedad de formatos que dependen de la naturaleza del proceso geomorfológico que se desea mitigar.

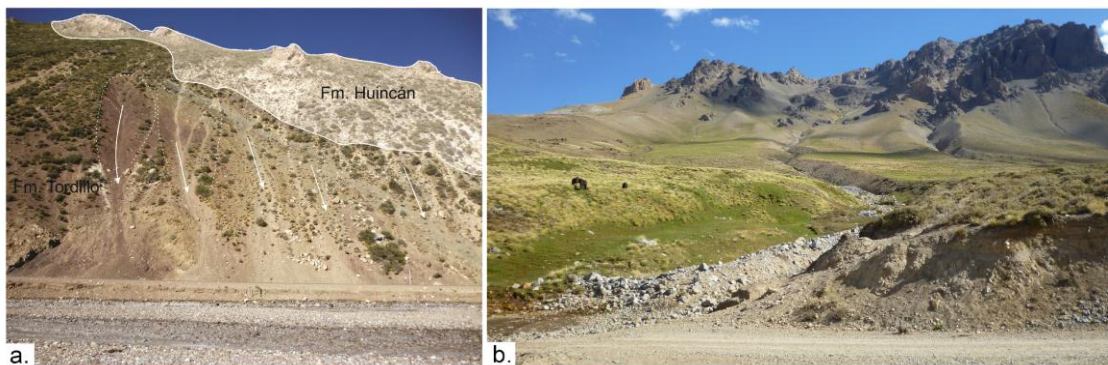
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo se identificó que los procesos geomorfológicos activos y cuyo desarrollo y/o recurrencia en el tiempo imprimen una amenaza en la zona de estudio son los procesos de remoción en masa, fluviales y kársticos. El resultado final de este análisis integral se encuentra cartografiado en el mapa de zonificación de riesgo geológico (ver Fig. 4.)



**Figura 4:** Mapa de zonificación del riesgo geológico.

Los procesos de remoción en masa representan la principal amenaza para el desarrollo de actividades humanas y para la infraestructura existente en la zona, siendo los procesos más activos las caídas de rocas y flujos de detritos. Éstos fueron clasificados y zonificados como riesgo geológico alto y medio, teniendo en cuenta los análisis mencionados en la metodología, debido a que, en numerosas oportunidades, se desarrollan sobre la ruta provincial N° 222 y otros caminos transitados (ver Fig. 5).



**Figura 5:** a. Caída de rocas en la ruta provincial N° 222 adyacente al anticlinal Los Blancos. b. Flujos de detritos en el camino que comunica los valles de Las Leñas y Valle Hermoso.

Se ha identificado una estrecha relación entre ciertos procesos de remoción en masa, las litologías asociadas e inclinación de las pendientes. Los flujos de detritos están vinculados a los afloramientos de las rocas ígneas del Grupo Choiyoi y Formación Huincán, donde se han identificado gran cantidad de abanicos coluviales con canales activos y cuyas zonas de arranque se localizan en laderas con pendientes mayores a 30° de inclinación. Estos procesos representan un riesgo inminente a lo largo del camino que comunica el valle de Las Leñas con el Valle Hermoso, que es frecuentemente transitado por visitantes en los meses de verano y recurrentemente afectado por estos procesos que obstruyen dicho trayecto.

Los taludes y caídas de roca están estrechamente vinculados a los afloramientos de los intrusivos hipabisales de la Formación Huincán, que se encuentran localmente expuestos a la vera de la ruta provincial N° 222 en los anticlinales de Los Morros y Los Blancos. El destacamento de Gendarmaría Nacional - Sección Valle Hermoso del Escuadrón 29-Malargüe se ubica próxima a la confluencia del arroyo Las Leñas y el río Salado, dentro del cono de sombras del talud adyacente que también sufre frecuentes caídas de rocas, y que se encuentra zonificado como riesgo geológico intermedio. Por su parte, en las inmediaciones del anticlinal Los Blancos, los afloramientos de filones capa de la Formación Huincán constituyen un alto riesgo geológico a las construcciones edilicias del hotel termal El Peralito – Lahuen – Có.

Según Cotecchia y Melidoro (1974) los sismos son los eventos disparadores más importantes para el inicio de los movimientos de remoción en masa, junto a disparadores climáticos representados por fuertes tormentas que pueden convertirse en importantes factores desencadenantes.

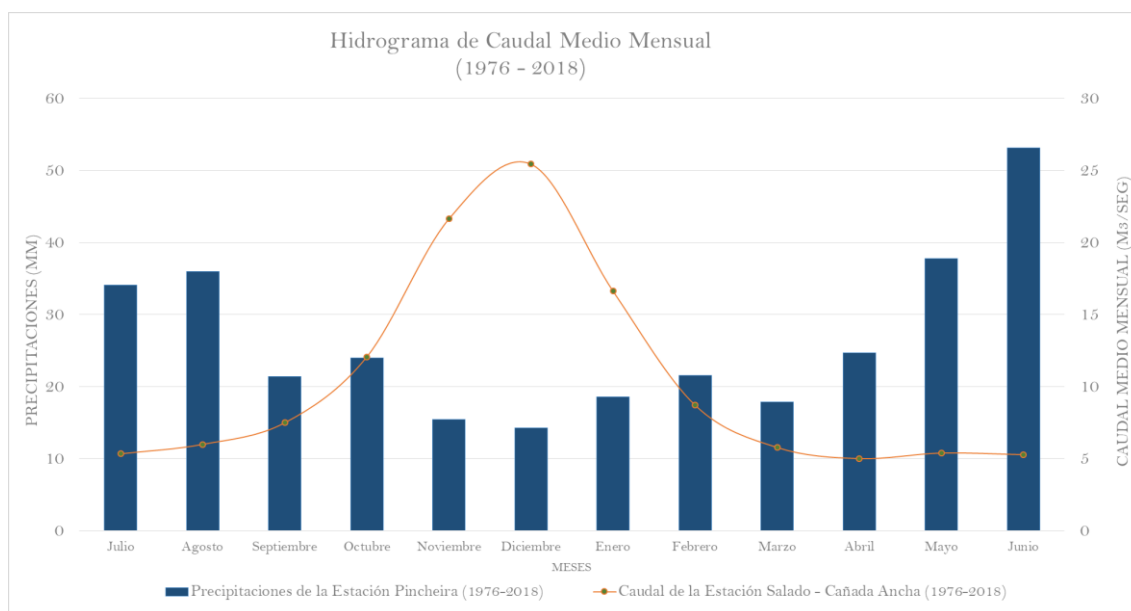
Las caídas y deslizamientos de rocas y detritos pueden ser gatillados por eventos sísmicos con magnitudes superiores a 4, y las caídas de bloques requieren magnitudes mayores a 4,5; y para flujos de tierra se debe alcanzar una magnitud sísmica de 5 (Keefer, 1984).

La zona de estudio presenta una actividad sísmica moderada según el mapa de zonificación de actividad sísmica del INPRES. Se han registrado doce sismos con epicentro en la zona de estudio que presentaron magnitudes mayores a 2,9 desde el año 1980. Fue en este año que aconteció el sismo de mayor magnitud registrado en la zona,

de profundidad intermedia (150 kilómetros) y una magnitud de 5,3. Luego, se registraron 6 sismos con magnitudes mayores a 4, los cuales abarcan un espectro de profundidad entre 2 a 170 kilómetros. Debido a la ausencia de registros de eventos de remoción en masa en la región, resultó imposible establecer la correlación entre estos procesos y los eventos sísmicos.

Por otra parte, la ocurrencia de flujos de detritos también está propiciada por las precipitaciones estivales y el deshielo de los mantos de nieve y glaciares en las zonas altas de la cordillera, pues saturan los sedimentos y aumentan la presión poral del detrito en las zonas de arranque (Winocur et al. 2017; Moreiras et al. 2017).

A partir de los datos de precipitaciones pluviales y néveas obtenidos de la Base de Datos Hidrológica Integrada de la Secretaría de Infraestructura y Políticas Hídricas de la Nación, se distinguen que valores máximos se desarrollan en los meses de invierno. Esta información se corresponde con Rivera (2017), quien afirma que al norte de los aproximadamente 35° de latitud, donde las altitudes promedio de los Andes superan los 3500 metros, se desarrolla un régimen pluvial mediterráneo. A partir de la construcción de los hidrogramas correspondientes a la cuenca alta del río Salado, se comprueba que el caudal medio mensual presenta un ascenso de septiembre a febrero, alcanzando su máximo caudal en el mes de diciembre, y presentando un descenso conspicuo durante los meses de invierno. De este análisis se extrae que el caudal está primordialmente influenciado por el deshielo de la nieve acumulada en los meses de invierno, siendo las precipitaciones un factor secundario para la alimentación de los cursos fluviales de los valles involucrados en el estudio.



**Figura 6:** Hidrograma de caudal medio mensual de la Estación Salado - Cañada Ancha y precipitaciones de la Estación Pincheira entre los años 1976-2018.

Se elaboraron hidrogramas donde se evidenciaron las variaciones de caudal por décadas, a partir de los cuales se concluyó que la cuenca fue afectada por una notable disminución de las precipitaciones durante la última década transcurrida (2010-2019).

Esta observación fue confirmada por el departamento general de irrigación de Mendoza quién declaró el estado de emergencia hídrica en Mendoza en el 2010 y que se extendió hasta el 2015. Dicho período de escasez de precipitaciones tuvo graves consecuencias en las actividades económicas regionales, especialmente en la turística y agrícola (Agosta, 2010; Villatoro, 2015; Romanello, 2015; Montaña, 2016). Aunque la disminución de precipitaciones níveas podría haber devenido en un descenso del aporte de aguas de deshielo al material detrítico e inhibir así la saturación del espacio poral, también podría haber generado un perjuicio sobre el crecimiento de la vegetación cuya función de anclaje sobre materiales desagregados, movilizados o suelos es fundamental para la estabilidad de las laderas.

Los procesos fluviales representan un menor grado de amenaza en relación a los de remoción en masa, sin embargo, revisten cierta importancia debido al dinamismo que se observa en los canales de abanicos aluviales, terrazas y planicies aluviales, pues presentan recurrentes procesos de avulsión. Estos procesos se dan por la colmatación de los canales activos que, al superar cierta cota, continúan su desarrollo en canales paralelos. Estas geoformas se modifican rápidamente, en especial en épocas de altos caudales, donde los procesos de avulsión y activación de nuevos canales son más frecuentes. Para delimitar las zonas de riesgo geológico alto y medio en procesos fluviales, es necesario implementar un análisis multitemporal debido a la dinámica natural de estos procesos. De esta manera se han registrado zonas pobladas que fueron inundadas en períodos de altos caudales, pero que no han sido afectados en los años más secos. Asimismo, se han reconocido edificaciones ocupando áreas que fueron clasificadas con alto riesgo geológico, pues se encuentran construidas sobre abanicos aluviales con una elevada dinámica de avulsión y activación de canales.

Los procesos kársticos se forman por el colapso de los depósitos cuaternarios debido a la disolución de las litologías subyacentes, y representan un riesgo puntual y menor en las zonas inmediatamente contiguas a las dolinas. Estos procesos también presentan una relación específica con ciertas litologías que son las evaporitas del Grupo Lotena, y las secuencias carbonáticas de los Grupos Cuyo y Mendoza.

Dado que se trata de procesos lentos, resulta sencillo determinar el área de influencia de los mismos; no sucede así con la predicción de los nuevos lugares donde se formarán dolinas, puesto que no se cuenta con información del movimiento de aguas ni la distribución espacial de los materiales susceptibles a la disolución en el subsuelo.

## **CONCLUSIONES**

El presente trabajo da a conocer el primer análisis de zonificación del riesgo geológico de la zona que abarca desde la laguna de la Niña Encantada, el paraje de Los Molles, el centro de esquí Las Leñas y la ruta provincial N° 222. A partir de la etapa de evaluación se determinó que los procesos geomorfológicos activos, que representan una amenaza para los elementos antrópicos locales son los procesos de remoción en masa, fluviales y kársticos, ordenados según su importancia.

Los procesos de caídas de rocas afectan dos zonas puntuales de la ruta provincial N° 222, el Destacamento de Gendarmería Nacional - Sección Valle Hermoso y el trayecto

de la ruta adyacente a las termas El Peralito y el hotel Lahuen-Có. Los flujos de detritos afectan fundamentalmente el camino de tierra que une los valles turísticos de Valle Hermoso y el valle de Las Leñas. Los procesos fluviales asociados a abanicos y terrazas aluviales afectan algunas construcciones del poblado de Los Molles, de las cuales muchas se encuentran ubicadas en zonas susceptibles a sufrir inundaciones.

Los sitios conflictivos están determinados por las zonas clasificadas con riesgo medio a alto que fueron construidas y/o donde se desarrollan actividades humanas. Éstos fueron analizados y evaluados puntualmente, y es sobre estos sitios que se propusieron una serie de medidas preventivas y correctivas estructurales para minimizar o evitar daños económicos y pérdidas humanas en la zona de estudio.

A modo de conclusión, se han propuesto una serie de estrategias de mitigación y monitoreo entre los cuales se incluyen tanto medidas preventivas como correctivas a fin de contribuir a la planificación y ordenamiento territorial de los valles del río Salado y el valle de Las Leñas en relación a la actividad humana que en ellos se desenvuelve.

A razón de la falta de información sobre precipitaciones de la cuenca alta del río Salado, se sugiere la instalación de una estación pluviométrica en Los Molles y otra en Las Leñas, para tener un conocimiento más acabado de las características meteorológicas e hidrológicas de la cuenca, en vista del creciente número de turistas que visita la zona anualmente. Estos datos son de vital importancia para entender la relación existente entre el clima y el desarrollo de flujos de detritos, y poder conocer el umbral de las precipitaciones y la relación climática existente necesaria para gatillar estos eventos. De esta manera se podría generar a futuro un sistema de alerta temprana local cuando las precipitaciones alcancen valores extremos que puedan desencadenar tanto procesos fluviales como de remoción en masa.

Asimismo, se recomienda que se lleve un registro de los eventos geológicos problemáticos para la población local, como el caso de la recurrencia de inundaciones, flujos de detritos, caída de rocas, para así poder relacionar estos episodios con los eventos disparadores y alcanzar un mejor entendimiento de estos fenómenos y mejorar la predicción de los mismos. En complemento, se puede realizar mediante encuestas a los pobladores más antiguos de la zona, una base de datos de eventos históricos sucedidos, en donde se indique la fecha del evento desarrollado, los daños ocasionados, la condición climática del momento, entre otras variables.

Se propone el diseño de un plan de contingencia preventivo para el caso en que las localidades de Los Molles y Las Leñas quedasen incomunicadas del resto de las ciudades mendocinas debido a la obstrucción de la ruta provincial N° 222 por caída de rocas o deslizamientos.

Se recomienda la construcción de un refugio en un sitio seguro de Los Molles para albergar habitantes cuyas viviendas o infraestructura local fueran afectadas por inundaciones de los ríos o arroyos principales, o por activación de canales de abanicos y terrazas aluviales de zonas construidas. El mismo debe contar con un generador eléctrico, agua potable, alimentos no perecederos, pañales e insumos básicos para que



también puedan ser utilizados por los turistas que eventualmente se encuentren visitando la región.

Se sugiere la realización de un plan de capacitación y concientización sobre los procesos geomorfológicos activos en los valles y su riesgo geológico asociado dirigido a las autoridades responsables del ordenamiento territorial, gendarmería nacional, policía, lugareños y operadores turísticos.

En vista del aumento y expansión de los loteos en la localidad de Los Molles que aparentemente no poseen planificación ni ordenamiento alguno, se recomienda que se considere la zonificación y los procesos geomorfológicos analizados en el presente trabajo y se opte por la ocupación de zonas clasificadas como riesgo geológico bajo.

Dentro de las medidas correctivas estructurales, se recomienda realizar un mantenimiento de los canales de desagüe construidos por debajo de la ruta provincial N° 222, que en algunos casos presentan grandes bloques que podrían obstruir dichos desagües (ver Fig. 7). La implementación de mallas de contención o gunitados de las laderas que sufren desarrollo de taludes y caídas de rocas, especialmente en la zona donde se ubican el destacamento de Gendarmería Nacional - Sección Valle Hermoso y donde se ubica el hotel termal El Peralito – Lahuen-Có. También se propone la construcción de barreras protectoras, paredes de retención o mallas flexibles en los canales más activos de los abanicos coluviales que se desarrollan en el trayecto que comunica el valle de Las Leñas con Valle Hermoso.



**Figura 7: a. y b.** Zonas de desagüe de la ruta provincial N° 222 ocupados por grandes bloques.

## REFERENCIAS

- Agosta, E. A., & Cavagnaro, M. Variaciones interanuales de la precipitación de verano y el rendimiento del cultivo de la vid en Mendoza. *Geoacta*, 35(2), 1-11 (2010).
- Andino, P. M. Geociencias para las Comunidades Andinas. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería. *Publicación Geológica Multinacional*, 4 (2007).
- Cascini, L., Bonnard, C., Corominas, J., Jibson, R., & Montero-Olarte, J. Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. In *Landslide risk management* (pp. 209-246). CRC Press (2005).



- Cotecchia, V., & Melidoro, G. Some principal geological aspects of the landslides of southern Italy. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 9(1), 23-32 (1974).
- García-Martínez, R., & López, J. L. Debris flows of December 1999 in Venezuela. In *Debris-flow hazards and related phenomena* (pp. 519-538). Springer, Berlin, Heidelberg (2005).
- Espizúa, L.E. & J.D. Bengochea. Predicción de zonas de riesgo de remoción en masa en los valles de los ríos Grande, Salado y Malargüe. *Proyecto 69. Ministerio de Medio Ambiente Urbanismo y Vivienda de la Provincia de Mendoza* Inédito (1995).
- Hungr, O., & Evans, S. G. Entrainment of debris in rock avalanches: an analysis of a long run-out mechanism. *Geological Society of America Bulletin*, 116(9-10), 1240-1252 (2004).
- Keefer, D. K. Landslides caused by earthquakes. *Geological Society of America Bulletin*, 95(4), 406-421 (1984).
- Montaña, E., Diaz, H. P., & Hurlbert, M. Development, local livelihoods, and vulnerabilities to global environmental change in the South American Dry Andes. *Regional environmental change*, 16(8), 2215-2228 (2016).
- Moreiras, S. M. Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza valley, Argentina. *Geomorphology*, 66(1-4), 345-357 (2005).
- Moreiras, S. M., & Dal Pont, I. P. V. Climate Change Driving Greater Slope Instability in the Central Andes. In *Workshop on World Landslide Forum* (pp. 191-197). Springer, Cham (2017).
- Picarelli, L., Oboni, F., Evans, S. G., Mostyn, G., & Fell, R. Hazard characterization and quantification. In *Landslide risk management* (pp. 37-72). CRC Press (2005).
- Rivera, J., Penalba, O., Villalba, R., & Araneo, D. Spatio-temporal patterns of the 2010–2015 extreme hydrological drought across the Central Andes, Argentina. *Water*, 9(9), 652 (2017).
- Romanello, C. Por la sequía, el turismo en el dique Ullum es cada vez menor. *Diario Los Andes*, 19 (2015).
- Villatoro, G. Cortocircuitos por la creciente crisis hídrica del río Atuel. *Diario Uno*, 25 (2015).
- Winocur, D., Benítez, A. y Espíndola, A., Caracterización de los eventos de remoción en masa ocurridos en enero y febrero de 2016 en la Ruta Nacional N° 7, entre Uspallata y el Paso Internacional Cristo Redentor, Mendoza. *XX Congreso Geológico Argentino* (2017).

# **PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y TERRITORIAL EN LA LAGUNA DE LOS CISNES PERITO MORENO, SANTA CRUZ**

Muriete J.O.<sup>a</sup>, Contreras N.<sup>a</sup>, y Avila J.S.<sup>a</sup>, Barbieri, Nazaria R<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Tecnicatura Superior en Geología, Instituto Superior de Enseñanza Técnica- Sede Perito Moreno, Santa Cruz, Argentina*

<sup>b</sup> *Docente en el Instituto Superior de Enseñanza Técnica- Sede Perito Moreno, Santa Cruz.*

*e-mail: jmuriete@gmail.com*

## **RESUMEN**

La cuenca hidrográfica Laguna de los Cisnes, se encuentra ubicada dentro de la localidad de Perito Moreno, en el Noroeste de la Provincia de Santa Cruz, dista a unos 937 km aproximadamente de la capital Río Gallegos, en la ubicación S 46° 35' 47.76" /O 70° 55' 40.033". Dicha laguna es un espejo lacustre que se ubica a 429 msnm, es producto del incremento de caudal del Río Fénix y el Río Deseado, Y DE un afluyente subterráneo en sus orígenes. A través del tiempo, la acción antrópica de relleno ha reducido sus dimensiones, en el año 2007 cubría un área de 14.3ha actualmente abarca un área de 4.3ha.... El entorno de la laguna y sus desembocaduras naturales se encuentran en la actualidad ocupadas por la urbanización. Lo cual ha afectado el hábitat natural de Cisnes de cuello negro, Flamencos y Macá Tobianos, fauna característica de esta zona. En la actualidad la laguna se encuentra evaporada, los principales cursos de agua que la alimentaban se han visto afectados por obra de la naturaleza y del hombre. El objetivo de este trabajo es determinar cuáles son las causas que afectaron a la Laguna de los Cisnes, y proponer medidas de preservación de este ecosistema en partícula.

*Palabras Clave:* Laguna, Urbanización, Problemática.

## **INTRODUCCION**

Dicha laguna es un espejo lacustre que se ubica a 429 msnm, es producto del incremento del caudal del Río Fénix y el Río Deseado, y de un afluyente subterráneo en sus orígenes. A través del tiempo, la acción antrópica de relleno ha reducido sus dimensiones, en el año 2007 cubría un área de 14.3 has, actualmente abarca un área de 4.3 has. El entorno de la laguna y sus desembocaduras naturales se encuentran en la actualidad ocupados por la urbanización. Lo cual ha afectado el hábitat natural de Cisnes de cuello negro, flamencos y Macá Tobiano, fauna característica de la zona. En la actualidad la laguna se encuentra evaporada, los principales cursos de agua se han visto afectados por obra de la naturaleza y del hombre. El objetivo de este trabajo es determinar cuáles son las causas que afectaron a la Laguna de los Cisnes, proponer medidas de preservación de este ecosistema en particular.

### *Ubicación del AREA DE ESTUDIO*

La cuenca hidrográfica Laguna de los Cisnes, se encuentra ubicada dentro de la localidad de Perito Moreno, al Noroeste de la Provincia de Santa Cruz, dista a unos 937 km aproximadamente, de la capital Río Gallegos, en la ubicación S46° 35' 47,76''/ O 70° 55' 40,033''. Ver fig. 1.

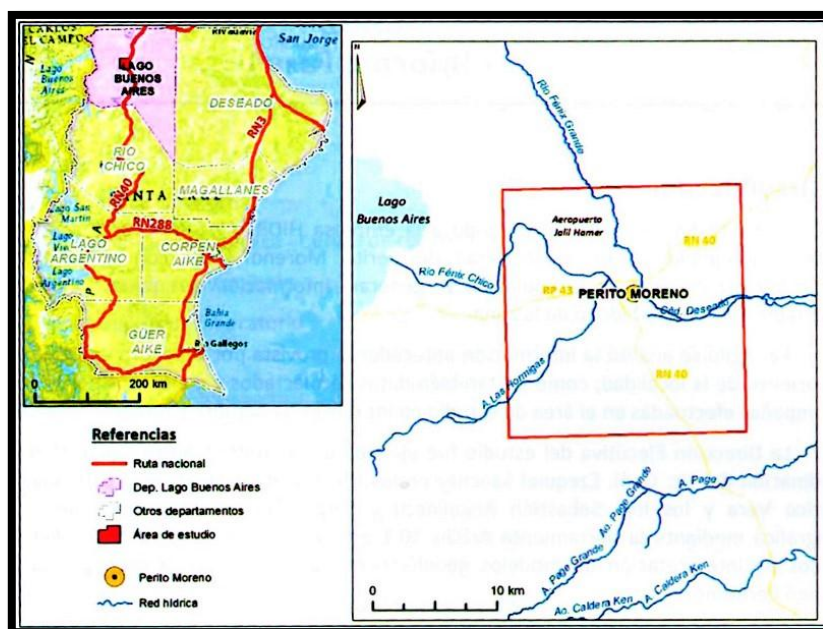


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

**Desarrollo Experimental- MARCO GEOLOGICO**

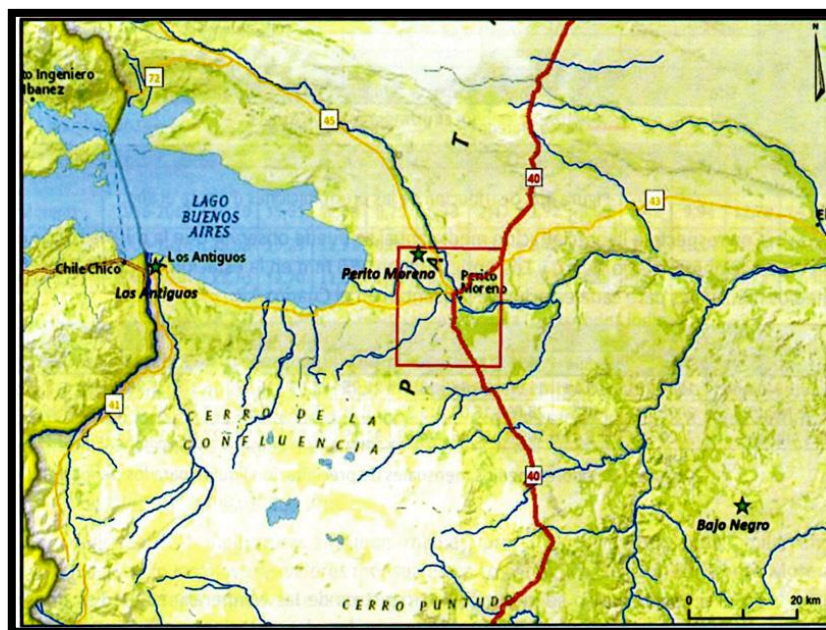
***CLIMA:***

La zona de estudio presenta un clima árido frío, que según la clasificación de Koppen, se denomina BWK. A continuación, se presenta un breve análisis de las principales variables climáticas del área de estudio y de las adyacencias.

En la tabla I y en la figura 2, donde se detalla su ubicación, altura sobre el nivel del mar, los parámetros utilizados y la fuente de información de la estación meteorológica en el área de trabajo.

**Tabla I.** Estación meteorológica.

<u><i>Nombre</i></u>	<u><i>Longitud</i></u>	<u><i>Latitud</i></u>	<u><i>Altura</i></u> <u><i>(msnm)</i></u>	<u><i>Parámetro</i></u>	<u><i>Fuente</i></u>	<u><i>Distancia</i></u> <u><i>a</i></u> <u><i>Perito</i></u> <u><i>Moreno</i></u>
<i>Perito Moreno</i>	<i>71°01'12"</i>	<i>46°31'12"</i>	<i>429</i>	<i>Temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, Humedad relativa.</i>	<i>SMN</i>	<i>0 km</i>



*Figura 2. Ubicación de la estación meteorológica analizada.*

### **Precipitaciones:**

Se puede observar cierta estacionalidad en la distribución de las precipitaciones para la estación de Perito Moreno, observándose una mayor concentración en el periodo Mayo-Agosto.

Con respecto a la precipitación media anual se puede observar que la misma ronda en 150 mm, en la estación de Perito Moreno. Los valores medios mensuales para dicha estación se presentan en la tabla II.

*Tabla II. Valores medios mensuales de precipitación líquida para los períodos indicados.*

Estación	Período	Precipitación (mm)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Perito Moreno	1956 - 2016	5,14	11,9	10,98	13,14	21,35	22,09	16,57	15,13	12,28	8,46	8,76	4,58	<b>150,4</b>

### **Temperatura media**

En la tabla III se observan los registros de temperaturas medias mensuales de la estación de estudio.

*Tabla III. Temperatura media mensual para los periodos indicados.*

<b><u>Estación</u></b>	<b><u>Período</u></b>	<b><u>Ene</u></b>	<b><u>Feb</u></b>	<b><u>Mar</u></b>	<b><u>Abr</u></b>	<b><u>May</u></b>	<b><u>Jun</u></b>	<b><u>Jul</u></b>	<b><u>Ago</u></b>	<b><u>Sep</u></b>	<b><u>Oct</u></b>	<b><u>Nov</u></b>	<b><u>Dic</u></b>	<b><u>Anual</u></b>
Perito Moreno	1956 - 2013	16,1	15,61	12,68	8,71	5,23	2,47	1,92	3,6	6,49	9,94	12,79	14,82	<b>9,2</b>

En la estación de Perito Moreno, las temperaturas medias mensuales varían entre 1,9°C en el mes de julio y 16, 1° C en el mes de enero. El periodo más cálido con temperaturas medias mensuales del orden de los 15° C corresponde a los meses de diciembre a febrero. Los meses de junio a agosto (trimestre más frío) presentan temperaturas medias mensuales entre 1,9°C y 3,6°C.

### **Humedad**

En particular la estación Perito Moreno (tabla IV), registra una humedad relativa media anual del 60,1 5 con los menores valores en diciembre y enero (del orden del 46%) y los valores más altos en junio (77,26%).

*Tabla IV. Humedad relativa media mensual para los periodos indicados.*

Estación	Período	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Perito Moreno	1956 - 2016	46,4	50,14	55,69	63,27	72,49	77,26	76,45	70,86	61,91	52,36	48,42	46,02	<b>60,1</b>

### **Evapotranspiración.**

En el área de estudio no se dispone de lisímetros o tanques evaporímetros que permitan disponer de valores de evapotranspiración real, sin embargo, se calculó una evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) mediante el programa Cropwat, desarrollado por la FAO (1990). Este software calcula la evapotranspiración para una especie vegetal de referencia, bajo condiciones climáticas similares a las de la región, sin restricciones de agua.

Los datos requeridos son los promedios mensuales de temperatura (°C), Humedad (%), Intensidad del viento (Km/h) Heliofanía (horas/día) y Radiación (MJ/m<sup>2</sup>/día). Todos los datos mencionados fueron extraídos de la estación Perito Moreno, para el periodo 1956-2016, ver tabla V.

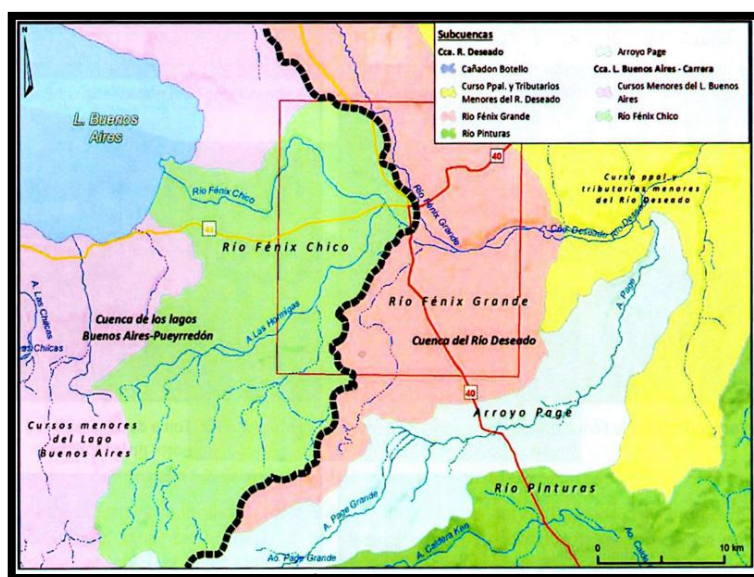
**Tabla V.** Datos extraídos de la Estación Perito Moreno.

	Tem m Min	Tem p Max	Humeda d	Viento	Insolació n	Radiación	Eto	Eto
Mes	° C	° C	%	km/dí a	Horas	MJ/m2/dí a	mm/dí a	mm/me s
Enero	8,9	20,2	46	800	8,3	22,3	6,43	199,33
Febrero	8,2	20	50	771	8,6	20,4	5,81	162,68
Marzo	6	16,8	56	678	7,6	15,5	4,15	128,65
Abril	3	12,8	63	650	6,1	10	2,67	80,1
Mayo	0,3	9,1	72	511	4,8	6,1	1,46	45,26
Junio	-2	6,2	77	455	3,8	4,4	0,92	27,6
Julio	-2,5	6	76	461	3,9	4,9	0,98	30,38
Agosto	-1,2	8,2	71	537	4,9	7,7	1,53	47,43
Septiembr e	0,7	11	62	641	5,8	12,1	2,6	78
Octubre	3,3	14,1	52	795	7,1	17,3	4,15	128,65
Noviembre	5,8	16,5	48	800	8,1	21,5	5,27	158,1
Diciembre	7,7	18,4	46	800	8,7	23,5	6,05	187,55
Suma								<b>1273,73</b>
Promedio	3,2	13,3	60	657	6,5	13,8	3,5	

### **Hidrología**

El área de estudio se encuentra dentro de las cuencas del Río Deseado hacia el este y del Lago Buenos Aires hacia el oeste. La primera, de vertiente Atlántica, está representada por el Río Fénix Grande, que aguas debajo de Perito Moreno pasa a denominarse Río Deseado. La segunda presenta vertiente pacífica y recibe como afluentes de la zona de estudio al Río Fénix Chico. Este último recibe el aporte del Arroyo Las Hormigas (actualmente seco) en la propia zona de la localidad de Perito Moreno. La figura 3 muestra la hidrología del área de estudio.





*Figura 3. Hidrología del área de estudio.*

### **Cuenca del Lago Buenos Aires**

El Lago Buenos Aires, se ubican a una cota de 217 msnm y presenta una superficie de 1850 km<sup>2</sup>, de los cuales 841 km<sup>2</sup> pertenecen al territorio nacional, (ver fig. 4). Los principales afluentes de este lago se encuentran en su margen sur, correspondiendo al Río Jeinimeni y Los Antiguos. En menor medida podemos mencionar a los arroyos Pedregoso, Las Chilcas y Pierrestegui, que desembocan en la margen sur, los arroyos Pallavicini y Victoria, que alcanzan las aguas del lago en su margen norte, y el río Fénix Chico, que desagua en la margen este del lago.



*Figura 4. Lago Buenos Aires.*

El río Fénix Chico corresponde al único curso en el área de estudio perteneciente a esta cuenca. El cual presenta un carácter permanente y tiene sus nacientes en la zona Noroeste de la localidad, donde se encuentran al menos tres manantiales que lo alimentan. Desde allí corre hacia el oeste, presentando a lo largo de su curso otros manantiales perennes que actúan como afluentes menores en ambas márgenes. Por último, sus aguas desembocan en el Lago Buenos Aires, presentando una longitud final aproximada de 20

km. Este curso posee una captación utilizada para abastecer la red de agua potable, y a lo largo de su recorrido es aprovechado por otras estancias de la zona para consumo humano, ganadero y riego. (Ver fig. 5).



*Figura 5. Aprovechamiento del Río Fenix Chico en Ea. Los Manantiales*

Uno de sus afluentes naturales corresponde al Arroyo Las Hormigas, cuya naciente se encuentra cercana a la Ea. Dorita a unos 35 km de Perito Moreno (ver fig. 6). El mismo corresponde a un curso perenne que surge de manantiales y que presenta un caudal relativamente constante durante todo el año. Antiguamente este curso llegaba mediante una canalización a la Laguna de los Cisnes y de ella corría hacia el Fenix Chico. Desde 1960 este arroyo se encuentra canalizado parcialmente a unos 500 m del casco de la estancia antes mencionada, donde se generó un salto de agua de 4 m. que alimenta una usina que le da electricidad a la estancia (ver fig. 6a y 6b). Desde allí corre hacia las estancias La Elida y La Agustina, desapareciendo en la Ea. Aluhé, a unos 12 km de la localidad, por lo que actualmente no alcanza a Perito Moreno, exceptuando casos excepcionales donde debido a las crecidas alcanza a fluir hasta el Río Fenix Chico por un valle al oeste de Perito Moreno.



*Figura 6. Arroyo Las Hormigas.*



**Figura 6a.** Se observa la canalización del Arroyo las Hormigas y el salto de 4m (línea amarilla) que alimenta la usina.



**Figura 6b.** Turbina que genera electricidad a la Ea. Dorita.

Se puede observar que este curso habría estado conectado con la Laguna de los Cisnes, evidenciado esto por la presencia de meandros abandonados que conforman pequeñas lagunas o estancamientos hacia el centro oeste de la localidad. Gran parte de este antiguo cauce fue rellenado para construir viviendas o caminos (Ver fig. 7).



**Figura 7.** Zonas rellenadas con material de lomadas morrenicas y con viviendas construidas.



Esta laguna se ubica en el límite suroeste del pueblo y se encuentra con poco volumen de agua en su interior y gran cantidad de plantas juncáceas. Se observó que uno de los canales del sistema de riego proveniente del Río Fénix Grande desemboca en la laguna, pero el mismo se encontraba tapado parcialmente (se desconoce si esto se debe a que no se estaba utilizando la red de canales o a que este canal en particular fue abandonado). Al igual que lo que ocurre con el curso del Río del Fénix Chico, gran parte del terreno que ocupaba anteriormente la laguna se encuentra relleno con material extraído de las lomadas morrenicas que rodean la localidad, constituido principalmente por gravas de matriz arenosa. (Ver fig. 8 y 9)



*Figura 8. Laguna de los Cisnes.*



*Figura 9. Litología de las lomadas morrenicas explotadas para rellenar terrenos.*

## RESULTADOS - LAGUNA DE LOS CISNES- PERITO MORENO

La laguna de los cisnes era un espejo lacustre (ver fig. 10), que se ubica dentro del ejido urbano de la localidad de Perito Moreno, al noroeste de la provincia de Santa Cruz. Abarcaba alrededor de 14,5 Ha, con una flora específica de la zona con forestación de pinos, sauces y álamos en su alrededor acompañado de un circuito turístico en el que se apreciaba la fauna silvestre compuesta por cisnes de cuello negro, flamencos, gallaretas, cauquen, patos, maca tobianos, entre otras especies (ver fig. 11 a 15). El mismo se alimentaba del Arroyo Las Hormigas y desembocaba en el Río Deseado.



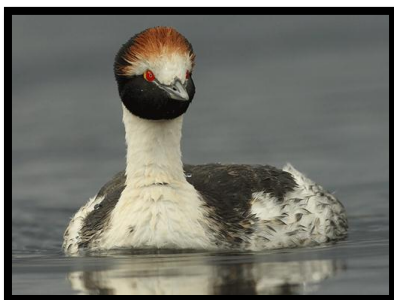
**Figura 10.** El polígono rojo nos marca el área de la Laguna de los Cisnes.



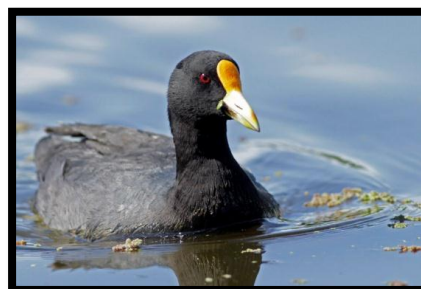
**Figura 11.** Flamenco Austral



**Figura 12.** Cisne de Cuello Negro



**Figura 13.** Maca Tobiano



**Figura 14.** Gallareta



**Figura 15.** Cauquen.

En la actualidad (ver fig. 16), se apreciaba un humedal compuesto por juncos, en época de verano; actualmente el gobierno local llevó a cabo su limpieza total, eliminando el juncal, que abarca aproximadamente 4.15 Ha. Hoy no se observa recurso hídrico en la misma y tampoco vegetación, por lo que la fauna que se observaba en temporadas hoy no elige este espacio como hábitat. No posee ingresos de agua ni salida ante un eventual ingreso.



**Figura 16.** Área que abarca actualmente la laguna.

¿Qué paso?

La laguna era alimentada por el afluente del Arroyo Las Hormigas, curso que fue desviado y modificado para alimentar campos que trabajan la ganadería en su mayoría. Al modificar el curso se desabasteció el ingreso de agua a dicha laguna. Para suplir la falta del recurso hídrico se construyeron 6 KM de canales provenientes desde la zona alta del Río Fénix Grande, administrando los caudales mediante compuertas, pero estos cuentan con ingresos a diversos campos y chacras que dejan sin recurso no solo el cauce natural del Río Fénix aguas abajo, sino que también es insuficiente para abastecer a la Laguna de Los Cisnes.

En cuanto a la reducción de hectáreas (ver fig. 17) que se abarcaban estas son el resultante de la decisión del gobierno local en rellenar y urbanizar lo que antes comprendía la zona alta de la Laguna de Los Cisnes. La misma característica se da en su descarga natural hoy rellenada y urbanizada en su totalidad, no habiendo una descarga natural disponible en la actualidad, por lo que cada vez que esta cuenta con el recurso hídrico el agua permanece estancada.





**Figura 17.** En rojo se muestra el área abarcada en el año 1994 y en celeste se observa Laguna de los Cisnes en la actualidad.

## CONCLUSIÓN

La alternativa para poder mitigar dicho daño e impacto ambiental es el devolver parte del curso natural del Arroyo Las Hormigas a su cauce original con la finalidad que alimente la laguna, controlando el desarrollo y caudal del mismo, dado a que hoy gran parte de su geomorfología fue alterada y urbanizada. Así también debe de pensarse un sistema de desagote y rebalse de la misma.

En cuanto a la alimentación de la laguna por los canales provenientes del Rio Fénix, un mayor control y manejo de las compuertas y desvíos.

En cuanto a los niveles de resiliencia que se pueden observar en la actualidad son bajos alcanzando los nulos, al eliminar el hábitat casi por completo y observarse que las comunidades han emigrado a las lagunas aledañas sobre la meseta del lago Buenos Aires. Creemos que aportando las medidas de mitigación a la Laguna de Los Cisnes estos niveles pueden ir en un aumento paulatino hasta alcanzar un 30% de lo que fue en algún momento, generando un ecosistema habitable para las comunidades de aves y organismos que alguna vez se observaban en dicho espacio. Es una cuestión de trabajo arduo pero el cual vale la pena recuperar por las condiciones del ambiente, la belleza del espacio y la cultura de la localidad, recuperando un patrimonio natural histórico y escénico.

Debemos aceptar como comunidad social que estos espacios nos los brinda la naturaleza y que debido a las perturbaciones que generamos este fue impactado negativamente, por lo que es nuestra responsabilidad brindar las herramientas para remediar el daño causado.

## REFERENCIAS

Informe Fase I. Estudio hidrológico en la localidad de Perito Moreno, departamento Lago Buenos Aires, provincia de Santa Cruz. HIDROAR S.A. SERVICIOS HIDROLOGICOS Y AMBIENTALES, ENERO 2018.

# CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLOGICO-HIDROLOGICA DE LA CUENCA EL POTRERILLO Y SU IMPACTO EN EL BARRIO VALLE CHICO, CATAMARCA- ARGENTINA

Ortiz Grau M. V.<sup>ab</sup> y Niz A.<sup>ab</sup>

<sup>a</sup>Licenciatura en Geología, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

<sup>b</sup>Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: [vickyortiz1619@gmail.com](mailto:vickyortiz1619@gmail.com)

## RESUMEN

*El área de estudio pertenece a la cuenca El Potrerillo que se ubica al sur de la cuenca de El Tala y al oeste de San Fernando del Valle de Catamarca, aproximadamente a 7 km desde la desembocadura de la cuenca hasta el centro de la ciudad en línea recta, y a 5 km del Barrio Valle Chico. La cuenca, corresponde a un área vulnerable no solo por su litología fácilmente erosionable, sino también, por sus crecidas espontaneas debidas a precipitaciones estivales. Con respecto a sus características geomorfológicas, el área cumbral muestra evidencias de procesos de deslizamientos de laderas, favorecido por el relieve abrupto; en la sección media y baja de la cuenca, se adicionan los procesos debidos a la acción antrópica, son comunes los incendios generados por el hombre en el periodo previo a la primavera y espontáneos en el verano, debido a la predominancia de suelos desnudos y calores intensos. La caracterización geomorfo-hidrológica de la cuenca permite correlacionar los eventos naturales y la intervención antrópica, y definir la vulnerabilidad de la cuenca para contribuir a la prevención del riesgo en el Barrio Valle Chico y para la planificación a la hora de definir la instauración de nuevos módulos habitacionales.*

*Palabras Clave:* deslizamientos, crecidas, riesgos, cauces.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca El Potrerillo ubicada en la Sierra de Ambato, corresponde a la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales. La misma se encuentra emplazada hacia el SW de San Fernando Valle de Catamarca, capital de la provincia homónima. Esta cuenca drena sus aguas hacia el río Ongoli, el cual atraviesa la parte SW de la Ciudad con rumbo aproximado N-S.

Corresponde a un área potencialmente susceptible ocasionado por crecidas espontaneas y temporales, en las subcuencas mayores. Y debido a la particular características topográficas de la zona alta de la cuenca se potencian los procesos de deslizamiento de laderas, y microdeslizamientos.

Las áreas cumbrales se encuentran cubiertas por depósitos loesoides, los que son fácilmente erosionables en épocas estivales y evidencian deslizamientos lineales de menor magnitud. En las áreas medias y baja de la cuenca se encuentran fuertemente fracturadas, mostrando dos juegos principales de fracturas NNO-SSE y SW-NE, las cuales comandan el drenaje.

En referencia a su pendiente esta disminuye considerablemente hacia el SE, siendo las zonas de mayor pendiente las que corresponden a los nacimientos de los arroyos, de gran importancia ya que tienen su escorrentía a favor de la pendiente topográfica del terreno, factor importante en cuanto al transporte de sedimentos.

La geomorfología de la zona está dominada por procesos fluviales a lo largo de toda la zona, eólicos y de remoción en las zonas cumbres.

El área de estudio forma parte de la denominada región de Clima Árido de Sierras y Bolsones, que ocupa la mayor parte de la provincia. Allí se presentan escasas lluvias, aire seco y fuertes vientos del NE, E y SE tanto en primavera como en verano. La precipitación media anual varía entre los 500 y 700 mm en el Este (en algunos sectores las precipitaciones superan los 1000 mm), pero con marcada disminución hacia el O (Puna Cordillerana con menos de 150 mm). Las temperaturas medias anuales son de 25°C en el E y Centro de la provincia, registrándose marcas de hasta 45°C en el verano.

#### UBICACION Y VIAS DE ACCESO

El área de estudio se encuentra ubicada bajo las coordenadas 28°26'37.93"S 65°53'27.31"O y 28°31'5.29"S 65°52'13.47"O, en la ladera oriental de la Sierra de Ambato, al SW de San Fernando del Valle de Catamarca siendo parte de la gran cuenca del Rio del Valle. Aproximadamente a 7 km desde la desembocadura de la cuenca hasta el centro de la ciudad en línea recta, y a 5 km del Barrio Valle Chico.

Se accede a la zona a través de la Ruta Provincial N°4 hasta llegar a las inmediaciones de la zona de El Calvario, que se encuentra en el kilómetro 5 a partir de este punto se accede por calle secundaria del barrio residencial La Estancita, desde allí se comienza a caminar en dirección SW hasta la zona de estudio. “Ver Fig 1”

La cuenca limita hacia el Norte con la cuenca del arroyo El Potrero, al NE con la desembocadura de la cuenca de El Tala. Hacia el Este con la ciudad de San Fernando Valle de Catamarca, al SE con las instalaciones del Barrio Valle Chico. En la sección occidental limita con la cuenca de Los Ángeles.

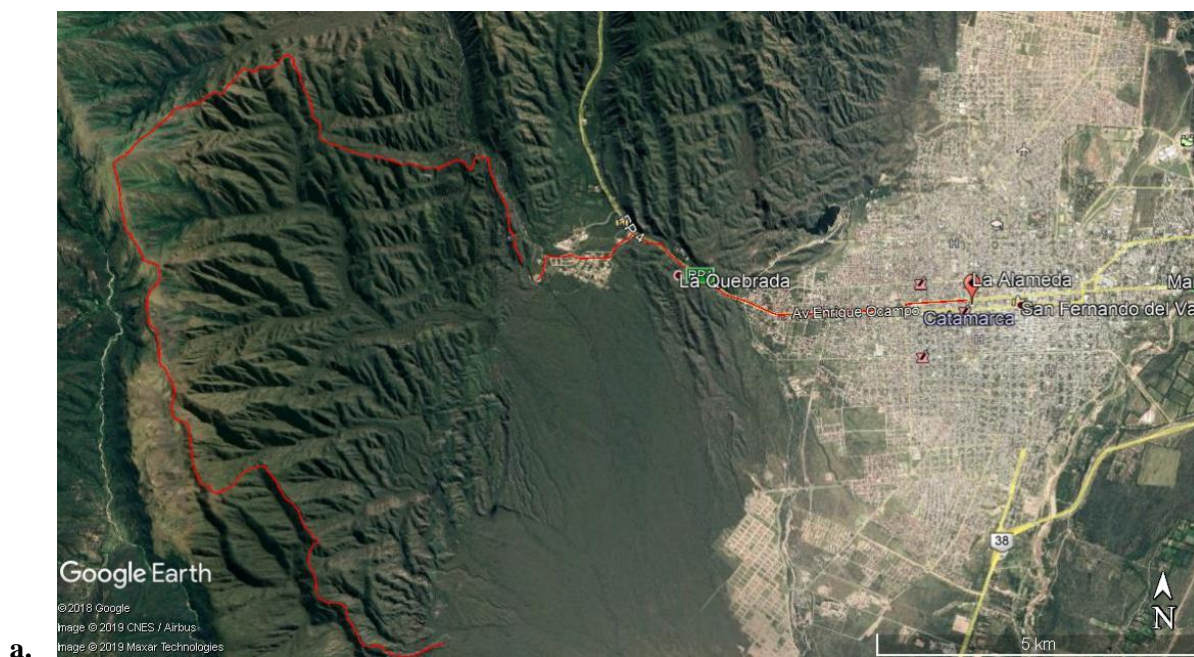


Fig. 1.a.- Imagen de ubicación y vías de acceso

#### MARCO GEOLOGICO

##### GEOLOGIA REGIONAL

El área de estudio se encuentra emplazada dentro de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales, y posee características morfoestructurales propias. Con respecto a los sistemas orográficos y a las provincias geológicas limitan, al N con las Sierras Subandinas, Cordillera



Oriental y Puna, al E con la Llanura Chaco-bonaerense, hacia el SW con la Sistema de Famatina, Cordillera Frontal y Precordillera. El basamento constituye las provincias de Tucumán, Catamarca, La Rioja y el sector oriental de San Juan y occidental de San Luis corresponde a un orógeno eopaleozoico (Ramos 1988) caracterizado por metamorfitas y migmatitas con una edad de metamorfismo ordovícica, que alojan una serie de granitoides calcoalcalinos. La estructura ha sido caracterizada por Gonzales Bonorino (1950) quien las considero como un sistema de montañas en bloque con rumbo N-S limitada por fallas inversas de tipo listricas, es decir, horizontalizándose en profundidad. Se caracterizan por presentar estrechos valles y amplios bolsones alternando con bloques o cordones elevados.

## GEOMORFOLOGIA

Las características geomorfológicas están controladas principalmente por las manifestaciones estructurales de las provincias geológicas, para el caso del área que abarca la cuenca estudiada corresponde:

Provincia geomorfológica de las Sierras Pampeanas Noroccidentales: Denominación acuñada por Stelzner (1.873), englobando así una serie de sierras formadas por esquistos metamórficos o cristalinos que sobresalían de las pampas adyacentes. La morfología actual es el resultado del levantamiento a lo largo de fallas inversas de alto ángulo, generadas por la orogenia andina durante el Terciario superior, en las que, las laderas occidentales muestran pendientes bastante más abruptas que las laderas orientales. “Ver Fig 2”.

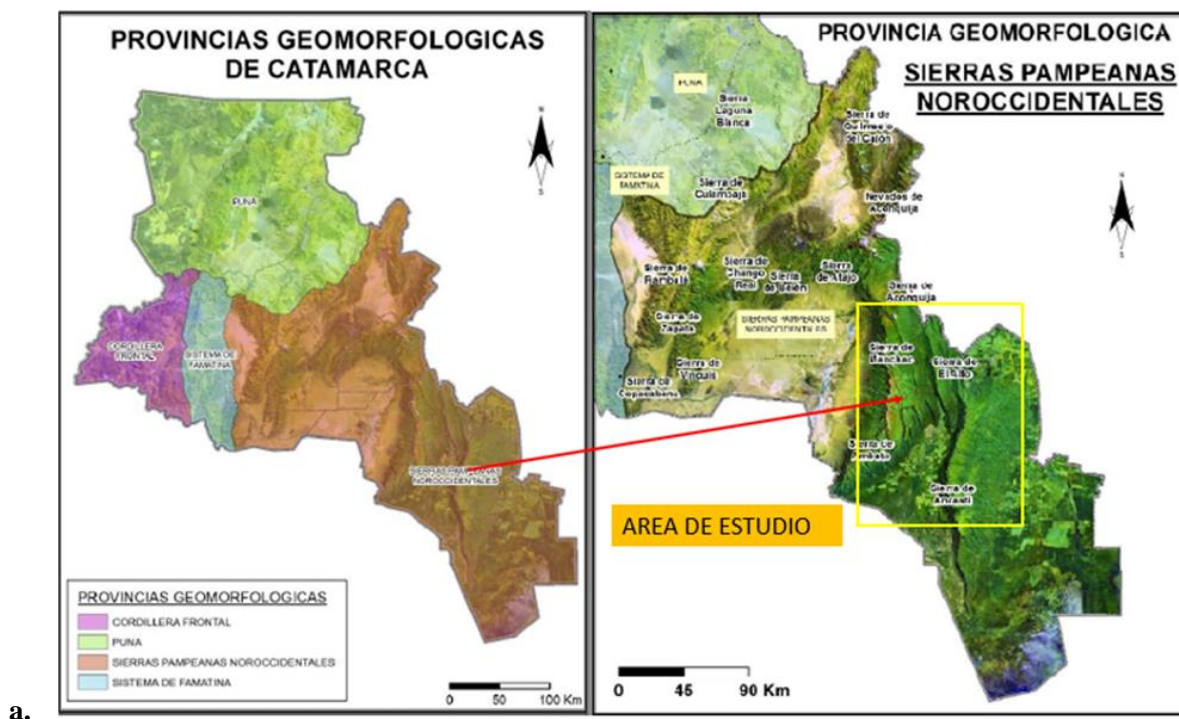


Fig 2.a. - Provincia geomorfológica abarcando el área de la cuenca el Potrerillo. Tomado de: (Niz. A, Savio M, 2017)

## OBJETIVOS

Determinar los límites de la cuenca y las características geomorfológicas-hidrológicas de la cuenca El Potrerillo, a partir de la interpretación de imágenes satelitales para definir los diversos procesos que actuaron y actúan en el modelado de su relieve, generando la cartografía temática base a escala de detalle, a modo de establecer de qué forma los procesos naturales y antropicos pueden generar o potenciar la vulnerabilidad en la cuenca y a partir de allí, elaborar un informe final en el cual se incluyan las problemáticas del Barrio Valle Chico para poder prevenir esto en futuras instalaciones de módulos habitacionales.

## METODOLOGIA

En tareas de gabinete se procedió a la recolección de antecedentes e información referida a la problemática planteada en el área de trabajo como así también, de cuencas vecinas que nos brinden información para poder determinar los procesos geoambientales dominantes y las características regionales del área de nuestra cuenca de estudio, consultando además informes técnicos, investigaciones, cartas y hojas geológicas obtenidas en múltiples instituciones como el instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCODEG) de la Facultad de Tecnología y Ciencias, y sitios web como SEGEMAR, USGS, Atlas Catamarca, otros.

Se efectuó el procesamiento de imágenes satelitales utilizando como software predeterminado ArcGIS 10.3 y complementándolo con otros softwares para un análisis más detallado, como software libre SASplanet de donde se descargó la imagen de alta resolución de la cuenca, Google Earth Pro para la delimitación precisa de los límites de la cuenca, como así también para una vista general a lo largo del tiempo sobre el área de estudio, Global Mapper para la extracción del DEM posteriormente utilizado en ArcGIS para determinar drenaje y dirección, curvas de nivel, y otras funciones. Estos softwares fueron utilizados y ejecutados en forma conjunta para los procesamiento sobre las imágenes satelitales y la generación de la cartografía base y final del área de estudio.

Se elaboraron mapas temáticos geológicos, geomorfológicos e hídricos a escala 1:70000, para representar el comportamiento de cada uno de los sectores de la cuenca, entendiendo que la litología, la geomorfología del área y la dinámica fluvial actúan en conjunto para definir el modelado del relieve, y analizar la vulnerabilidad que la cuenca de estudio genera para la población adyacente a su desembocadura.

## RESULTADOS

### Carta Geológica

La cuenca de estudio se ubica en la ladera oriental de la Sierra de Ambato, y a su vez esta sierra enmarca el limite Oeste de una extensa depresión tectónica en la que se dispone el Valle Central. El área está incluida en una faja de rumbo N-S y a su vez está integrada por bloques independientes de gran altitud producto de fallamientos de tipo inverso con rumbo aproximado NNO-SSE, que levantan y basculan hacia el Este. Los bloques que constituyen al área poseen una morfología asimétrica de origen netamente estructural presentando una ladera occidental empinada (escarpe de falla) y una ladera oriental con pendiente un poco más suave, pero, aun así, de relieve abrupto, producto de la disectación de ríos y torrentes. Con base en la interpretación de la HOJA GEOLOGICA SAN FERNANDO VALLE DE CATAMARCA 2966 II, se identificaron las siguientes unidades geológicas: “Ver Fig.3”

#### **Precámbrico Sup.**

- Formación La Cébila (González Bonorino, 1951), esquistos bandeados a filitas bandeadas. Distinguidas por la foliación propia de la roca con rumbo N-S.

#### **Ordovícico**

- Formación El Portezuelo, gneis bandeados, migmatitas y esquistos inyectados.

#### **Pleistoceno**

- Formación Concepción, denominación propuesta por Fidalgo (en Nulo, 1981) para referirse a sedimentos agrupados en el primer nivel de Piedemonte, unidad que se extiende de O-E, compuestos por fanglomerados, con rodados de gran tamaño grava mediana a gruesa, compuestos por esquistos, migmatitas y rocas graníticas



## Holoceno

- Formación Coneta, se desarrolla a partir de la desembocadura de los principales cursos de aguas, compuesto por fanglomerados en la parte media y apical de las geoformas, su parte distal corresponden a arenas finas limosas y limos arenosos.

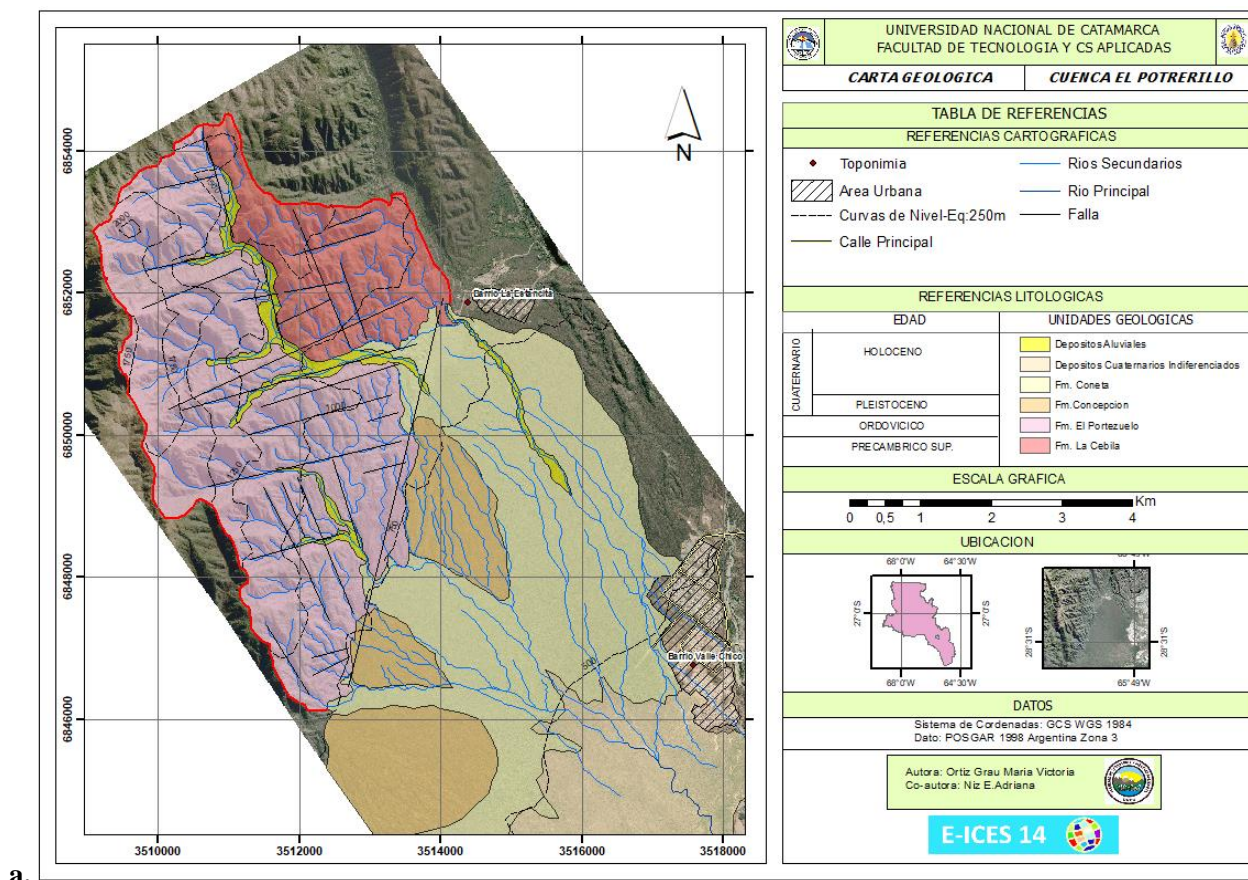


Fig.3.a.- Carta Geológica de la cuenca El Potrerillo

## Carta Geomorfológica

### AREA MONTANA

En lo que hace referencia al área montana se puede observar una diferencia abrupta en la topografía, de modo que en la parte alta de la cuenca las laderas obsecuentes o solana tienen una pendiente menos abrupta que el lado consecuente o umbría sin embargo al presentar el lado obsecuente una mayor longitud es más propensa a ser erosionada por los procesos fluviales y/o eólicos propios del área. Sumado a esto se han identificado en la zona cumbral depósitos de sedimentos finos fácilmente erosionables que corresponden al Fm. Paclin formada por depósitos loesoides (definida por Merea Llanos 1981) cuya disposición preferencial es en las laderas consecuentes. También se han identificado múltiples deslizamientos lineales en las laderas obsecuentes y cicatrices de deslizamientos.

En la parte media de la cuenca se evidencia una falla que pone en contacto 2 unidades anteriormente mencionadas Fm La Cébila y Fm El Portezuelo, en la cual se forman estrechos valles aplanados que son cubiertos por material cuaternario tanto de origen fluvial como eólico transportado desde las áreas cumbrales y sector medio de la cuenca.

Hacia la parte baja del área montana (SE) el relieve disminuye considerablemente, y es afectado en amplio sentido por la tectónica actual. “Ver Fig. 4”

## TECTONICA

Es evidenciable lineamientos con rumbo N-S que son los que corresponden a los planos de estratificación de los esquistos y filitas bandeadas de la unidad geológica correspondiente, como así también a los planos de falla inversa que levantaron los bloques característica que presentan las Sierras Pampeanas Noroccidentales, al producirse un levantamiento producto de fallas inversas se generan fallas de alivio que son perpendiculares a las falla principal que levanto y posteriormente basculo los bloques, las cuales son claramente identificadas y afectan en mayor medida a la zona media y baja de la cuenca generando un control estructural en el drenaje.

## AREA PEDEMONTANA

La geomorfología de la zona está dominada por procesos fluviales. En el área de estudio se evidencia la característica geomorfológica típica de Sierras Pampeanas Noroccidentales, el cual define 2 o 3 niveles de pie de monte, en el caso que nos compete corresponde a 2 niveles el primero que es evidenciado por un relieve sobresaliente sobre su nivel de base (Fm Coneta) y la dirección de los causes dentro de los paleoconos los cuales se diferencian de los actuales. Y el segundo nivel de pie de monte corresponde al actual, que está conformado por conos y abanicos activos que se extienden varios kilómetros desde el quiebre de pendiente hasta las cercanías del rio Ongoli.

## NEOTECTONICA

Hace referencia a la reactivación de antiguas fallas o lineamientos que afectan a sedimentos cuaternarios. En el área de trabajo son escasas las evidencias de neotectónica, por lo general están afectando a los sedimentos de la Fm. Concepción.

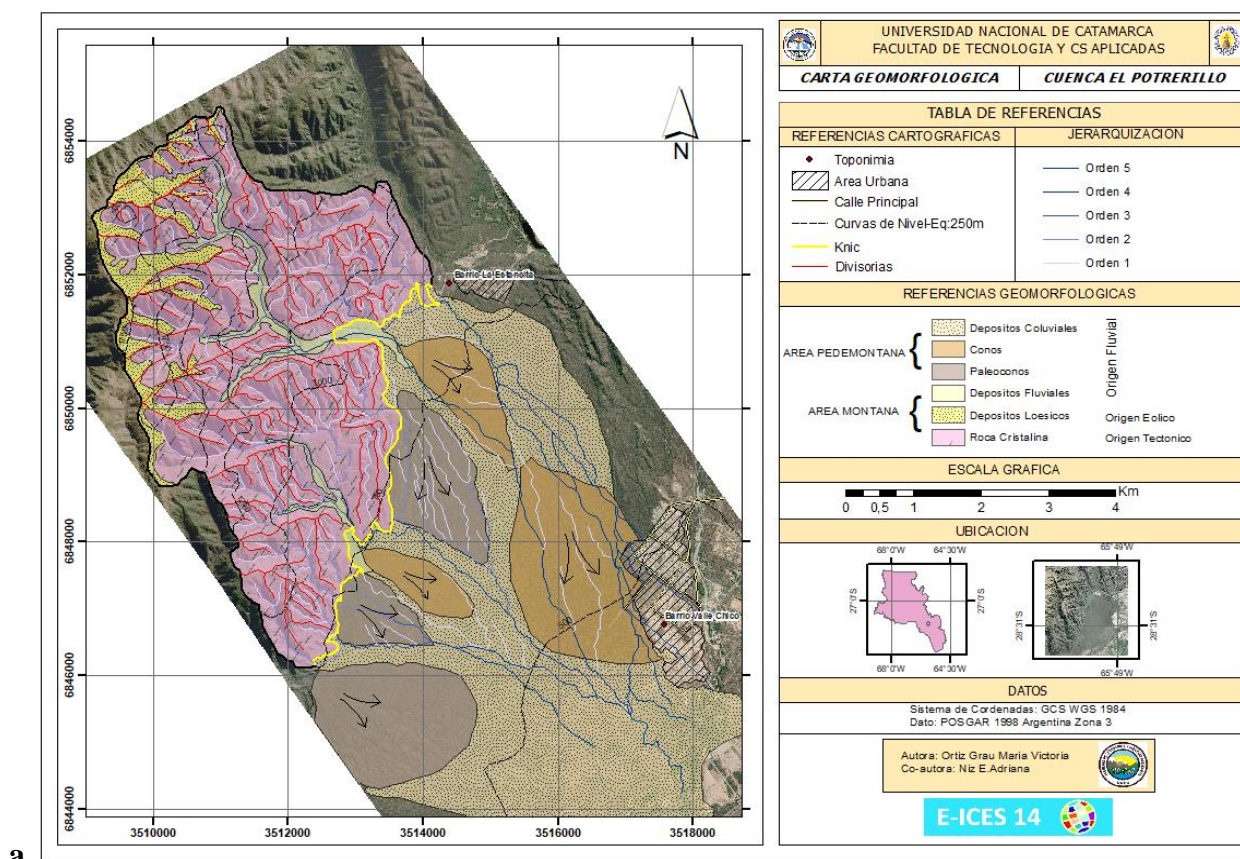


Fig.4.a.- Carta Geomorfológica de la cuenca El Potrillo

### Carta Hidrológica

Los principales aportes que recibe la cuenca es mediante las precipitaciones en épocas estivales y temporales, definiendo así un drenaje de tipo efímero. “Ver Fig.5”

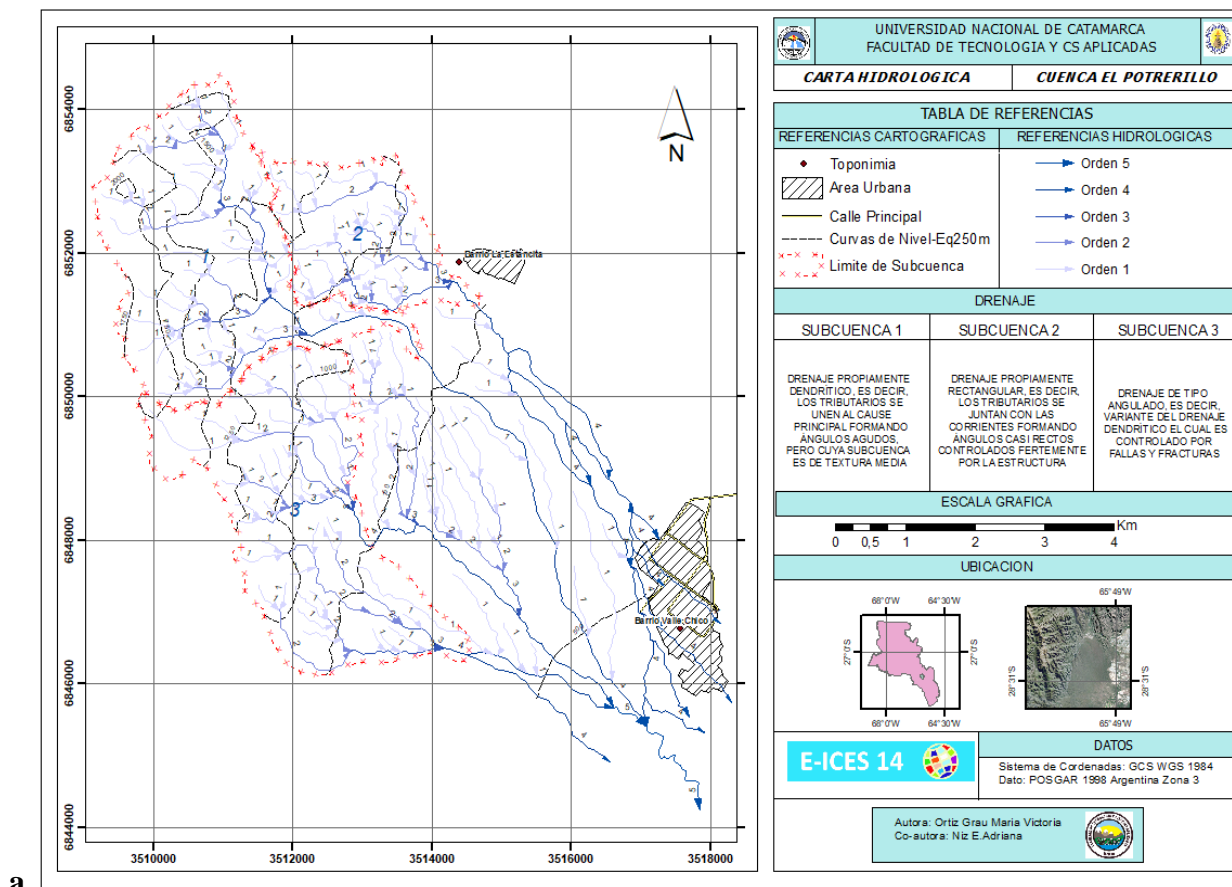
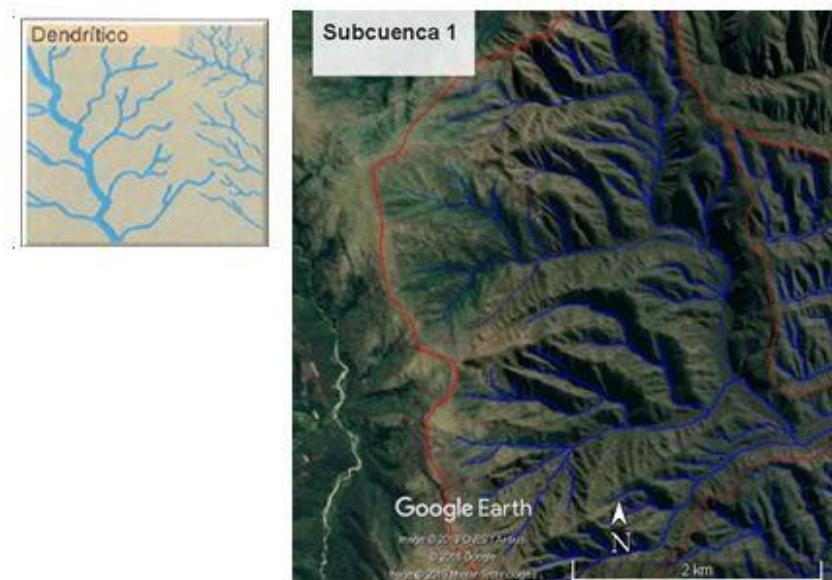


Fig.5.a.- Carta Hidrológica de la cuenca El Potrillo

Dentro de la cuenca principal que hace a nuestra área de estudio se han distinguido 3 subcuencas en el área montana con sistemas de drenaje muy particulares. Empleando la clasificación de Way (1978), la cual se basa en la densidad de corriente, textura y forma, resultando así:

La **subcuenca 1** presenta un drenaje propiamente dendrítico, es decir, los tributarios se unen al cause principal formando ángulos agudos, pero cuya subcuenca es de textura media, evidenciando niveles intermedios de escorrentía y permeabilidad dando una característica morfología propia al terreno, se trata de una corriente consecuente. “Ver Fig.6”

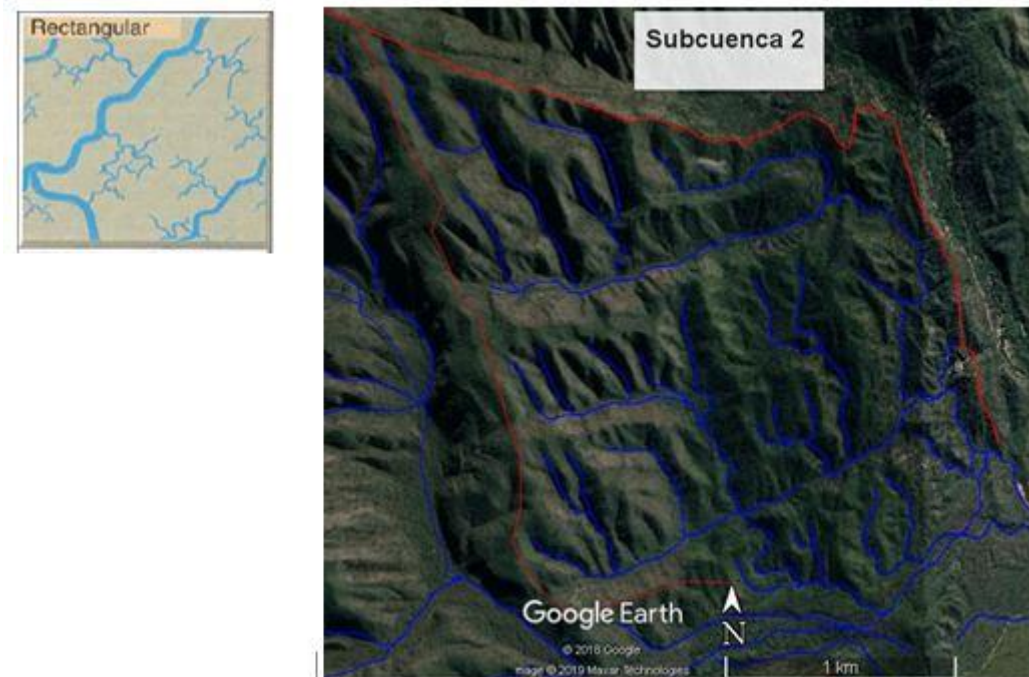




a.

Fig.6.a.- Subcuenca 1 con drenaje dendrítico

La **subcuenca 2** ubicada en la parte media-baja al NE de la cuenca principal presenta un drenaje propiamente rectangular, es decir, los tributarios se juntan con las corrientes formando ángulos casi rectos dando lugar a formas rectangulares controladas fuertemente por la estructura, tratándose de corrientes subsecuentes. “Ver Fig.7”

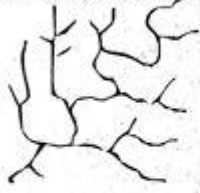


a.

Fig.7.a.- Subcuenca 2 con drenaje rectangular.

La **subcuenca 3** hacia la parte SW de la cuenca principal presenta un drenaje de tipo angulado, es decir, variante del drenaje dendrítico el cual es controlado por fallas y fracturas. “Ver Fig 8”

Cuencas de drenaje angulado



a.



Fig.8.a.- Subcuenca 3 con drenaje angulado.

Hacia el área pedemontana cada uno de los colectores principales que salen de cada subcuenca, lo hacen con una jerarquía de 4, drenando en sentido de la pendiente definiendo un drenaje paralelo. Se observa una profundización de los cauces en la dirección en que drena el colector de la cuenca 1 y 2. En las inmediaciones del río Ongoli estos cauces se unen formando así una jerarquía de orden 5, el cual posteriormente se une al río antes mencionado. “Ver Fig.9”



a.

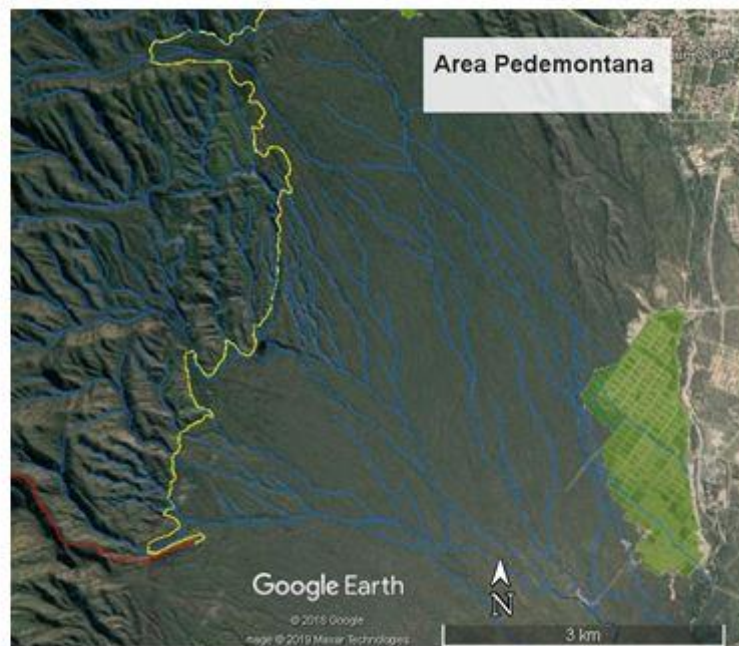


Fig.9.a.- Área pedemontana con drenaje paralelo.

### Vulnerabilidad Urbana

Hacia la zona baja de la cuenca, en su desembocadura, ubicado al SE se encuentra instaurado una geoforma antrópica, lo que corresponde al Barrio Valle Chico, o conocido como ciudad satélite. Estos módulos habitacionales presentan una amenaza natural y antrópica, generando un riesgo para la zona urbana. Desde el punto de vista natural el barrio está ubicado en el lóbulo Este de un cono activo originado por el colector principal de la subcuenca 2, el mismo presenta una jerarquía de orden 4 (según Horton). Estos cauces al llegar al barrio atraviesan la zona media y baja, por las



avenidas principales. Lo mencionado anteriormente se puede observar en una imagen correspondiente al año 2013 cuando la zona no presentaba intervención antrópica. “Ver Fig.10”

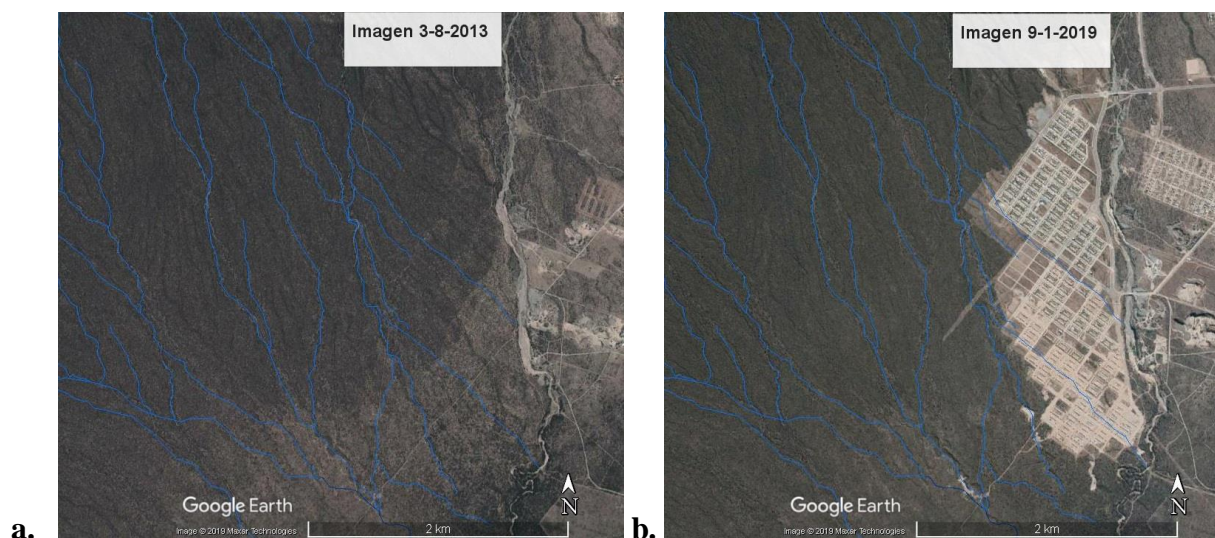


Fig.10.a. Zona de instalación del barrio en el año 2013 b. Zona de instalación del barrio en el año 2019.

Desde el punto de vista antrópico, no se tomaron los recaudos necesarios con respecto a la dinámica natural, para la planificación territorial del barrio. Por el contrario, las inversiones mayores estaban destinadas a infraestructuras como rutas y caminos para evitar el aislamiento o lejanía del barrio.

En ella es posible evidenciar zonas de desmotes extendidas un par de metros desde los módulos límites del barrio, en los cuales son evidentes los causes que lo componen, sin presentar hasta la actualidad actividades de forestación. El barrio ha sido construido de forma general siguiendo la pendiente y nivelado de forma local para la instalación de cada casa. Las calles principales que definen los módulos coinciden con los antiguos lechos de río de la geoforma anteriormente mencionada, en donde el principal problema es que no cuenta con un diseño de desagüe apropiado a las condiciones naturales torrenciales que presenta.

## CONCLUSIONES

Luego de lo expuesto en el trabajo se pudo observar que la morfología de la cuenca está controlada y dominada por procesos fluviales que se evidencian desde la zonas altas de la cuenca hasta la parte más baja, cuya susceptibilidad aumenta debido a las precipitaciones en épocas estivales, que no solo acarrear material fino de origen eólico dispuesto en la zona cumbral, sino también material grueso producto de la meteorización y deslizamientos durante las épocas secas, para posteriormente transportarlo y depositarlo en el fondo de los ríos, llegando a construir geoformas típicas de piedemonte, como paleoconos de edad pleistocena representando el primer nivel de piedemonte y conos de edad holocena constituyendo el segundo pie de monte. Este último es el que genera vulnerabilidad hacia el área urbana Valle Chico, que presenta un mal ordenamiento territorial y en donde no se tomaron medidas de prevención ante los eventos naturales ordinarios y extraordinarios a la hora de definir los módulos habitacionales ya instalados, evidenciando además mala nivelación en los terrenos, desordenada distribución de los canales de desagüe, inutilización de suelos por deforestación, y otros.

Se recomienda continuar con las investigaciones de forma más detallada realizando un análisis morfométrico para poder cuantificar el sistema de drenaje, como así también mapas de pendiente, vulnerabilidad y susceptibilidad que definan el riesgo en la población, y de esta forma planificar un óptimo ordenamiento territorial para las futuras ampliaciones de los módulos habitacionales.

## REFERENCIAS

Caminos, L. F. (s.f.).(2006).Programa Nacional de Cartas Geologicas de la RepublicaArgentina 1:250000. Hoja geológica San Fernando valle de Catamarca 2966-II

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).

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.

## BIBLIOGRAFIA

Roberto Caminos- Geología Argentina - Buenos Aires 1999

## TRABAJOS CONSULTADOS

Caracterización Geomorfológica y evaluación del riesgo Geoambiental de la subcuenca arroyo El Potrero –cuenca del río El Tala – Catamarca- Camila Irene Acuña Leiva UNCA 2019

## SITIOS WEB

<http://www.atlas.catamarca.gov.ar/>

<https://sigam.segemar.gov.ar/>

<https://www.usgs.gov/>

# FASES DE CONSTRUCCION Y CINEMATICA DE PLIEGUES POR DESPEGUE A PARTIR DE UN MODELO ANALOGO

Plotek B. L.<sup>a</sup>, Guzmán C.G.<sup>a</sup> y Cristallini E. O.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Modelado Geológico (LaMoGe), Instituto de Estudios Andinos Pablo Groeber, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires-CONICET., ARGENTINA

<sup>b</sup> CONICET - LaTe Andes S.A., ARGENTINA

e-mail: [berenice@gl.fcen.uba.ar](mailto:berenice@gl.fcen.uba.ar)

## RESUMEN

*Con el objetivo de analizar los campos de velocidad de partículas en pliegues de despegue, se llevó a cabo el seguimiento de la trayectoria de las mismas con el programa PIVlab<sup>TM</sup> (Particle Image Velocimetry tool for MATLAB) en fotografías seriadas obtenidas de un modelo análogo. El modelo experimental fue realizado en caja cerrada con sobrecarga presionada con el propósito de simular un aumento de la carga litostática y se utilizaron parafinas que simulaban los estratos frágiles del anticlinal. A partir de las imágenes obtenidas, se consiguen los vectores que marcan el movimiento del material a medida que se conforma la estructura. Mediante esta experiencia se busca delimitar las diferentes etapas de construcción de un pliegue por despegue. Este tipo particular, a diferencia de los pliegues por propagación o flexión de falla, carece actualmente de modelos cinemáticos. El propósito del presente trabajo consiste en comenzar a definir las diferentes etapas de formación del anticlinal y plantear como va evolucionando el campo cinemático, representado por los vectores de velocidad que se observan en las fotografías.*

*Palabras Clave:* Anticlinal, Modelo estructural y Vectores cinemáticos.

## INTRODUCCION

Los pliegues de despegue se originan en la terminación de una falla como los pliegues por propagación de falla, pero se producen por arriba de un estrato que actúa como detachment o despegue, de allí el nombre. Por debajo de la estructura, el desplazamiento a lo largo del detachment tiende a cero en la dirección del limbo frontal (Jamison, 1987). Se debe notar que en este caso el corrimiento se desarrolla paralelo a la estratificación de las capas. Los pliegues por despegue son caóticos y no poseen un ordenamiento claro que bien ha sido esquematizado en los pliegues relacionados a fallas como el de propagación o el de flexión (Epard y Groshong, 1995). Otra característica de los pliegues por despegue son los notables cambios de espesor, como lo señala Chamberlin en su trabajo de 1910 sobre la geología de los Apalaches, siendo este el primer autor en definir estos tipos particulares de estructuras (Chamberlin, 1910).

A lo largo del desarrollo de la geología estructural se pueden encontrar modelos elaborados por diversos autores tanto para los pliegues por propagación como de flexión de falla. Los modelos más clásicos se basan en la existencia de relaciones geométricas delimitadas dentro de la estructura por medio de la acción de bandas kink (Suppe y Hook, 1990; Suppe, 1983). También existen modelos que se basan en la existencia de una zona triangular de cizalla a medida que se va conformando el anticlinal, conocida como Trishear (Allmendinger, 1998). Sin embargo, para los pliegues por despegue todavía no se han definido modelos cinemáticos.

En la bibliografía existen números modelos geométricos. Entre ellos se destacan dos. En el modelo de ángulos constantes el crecimiento del pliegue se genera por la migración de las bandas kink. De acuerdo con esto, el pliegue mantiene el ángulo de los limbos pero el largo de los mismos varía a medida que la deformación se incrementa (Mitchell y Woodward, 1988). El segundo modelo plantea la situación inversa. El pliegue crece por el aumento del ángulo de los limbos mientras que el largo de los flancos se mantiene constante (Poblet y Mc Klay, 1996).

El propósito del presente trabajo consiste en , a partir de un modelo análogo realizado con parafina simulando los estratos frágiles por arriba de un material dúctil, comenzar a definir las diferentes etapas de formación del anticlinal y plantear como va evolucionando el campo cinemático, representado por los vectores de velocidad que se observan en las fotografías. Para obtener los mismos, se utiliza el software PIVlab-MATLAB (Thielicke y Stamhuis, 2014). Este programa permite obtener la distribución de la velocidad a lo largo de todo el experimento a partir de una serie de fotografías.

## **METODOLOGIA DE TRABAJO:**

El modelo análogo se lleva adelante utilizando una silicona, que tiene como función representar el material dúctil que actúa como detachment. En la naturaleza, suele tratarse de evaporitas o bien pelitas. Por arriba, se colocan láminas de parafina que se comportan de forma frágil, como los estratos situados por encima del nivel de despegue. A estas capas de parafina se les induce una leve curvatura para favorecer el plegamiento por despegue. Si dicha curvatura no se realiza, el material tiende a plegarse inmediatamente al lado del pistón móvil. Luego, la caja se cierra a presión, ocupando el espacio restante con arcillas para simular la carga de la litósfera. El pistón móvil situado a la derecha llevará adelante la compresión de todo el sistema. En este acortamiento, se espera obtener un pliegue por despegue. Se obtienen imágenes a ambos lados, perpendiculares a la caja. Las mismas se procesan con el software Infarview<sup>TM</sup> para obtener fotografías seriadas, eliminar secciones que no participan del análisis y efectos no deseados producidos por la lente. Para poder conseguir los vectores que muestran la migración de las partículas a lo largo de la deformación y conocer el campo cinemático se utiliza el programa PIVlab-MATLAB, que trabaja mediante la comparación de píxeles en la serie de imágenes procesadas (Thielicke y Stamhuis, 2014). Posteriormente, se busca analizar los resultados obtenidos para lograr identificar sucesivas fases en la construcción de los pliegues de despegue.

## **RESULTADOS**

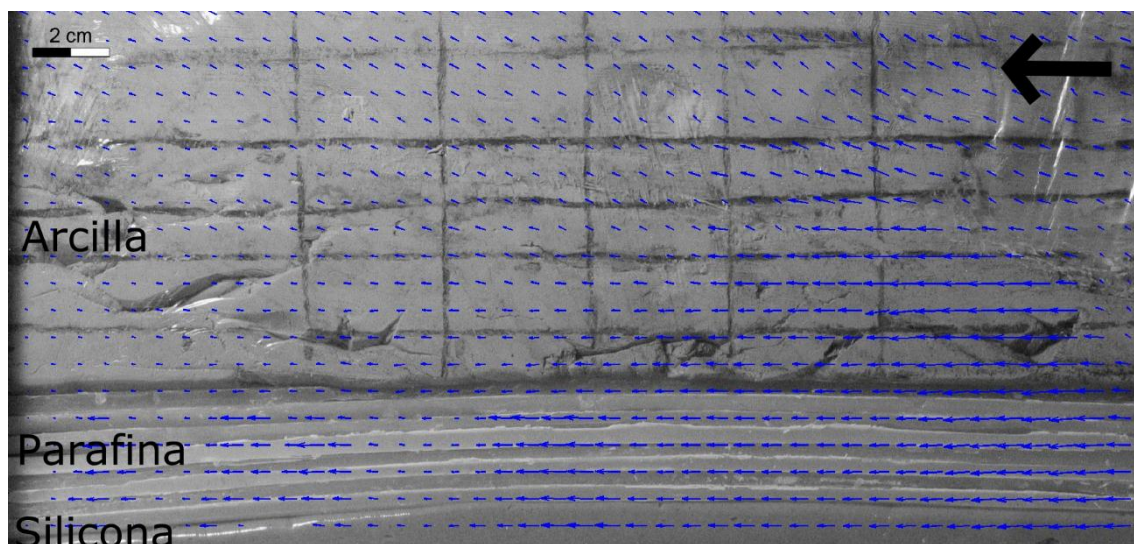
En las primeras etapas del modelado análogo, luego del inicio de la deformación, se puede observar que el material se mueve en la dirección del esfuerzo aplicado (ver Fig. 1). La componente horizontal del vector de velocidad,  $V_x$ , domina. Solamente los sectores superiores de la arcilla exhiben vectores con una componente vertical,  $V_y$ .

La trayectoria de los mismos muestra que todo el sistema se mueve hacia la izquierda. La curvatura apreciada en los bancos de parafina es previa al inicio del experimento ya que



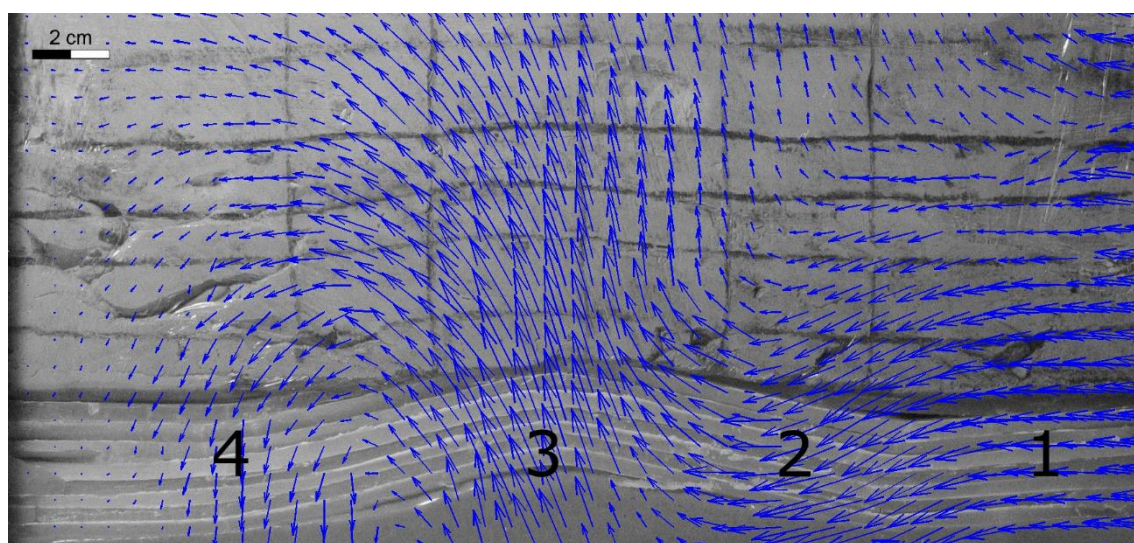
sin este modelado no se logra inducir la generación de un pliegue por despegue, produciéndose el fracturamiento de la parafina en las proximidades del contacto con el pistón móvil.

Debido al dominio de la componente horizontal del vector de velocidad en todo el modelo se denomina a esta etapa, fase 1.



**Figura 1:** Vectores cinemáticos al inicio del experimento con un marcado dominio de la componente horizontal del vector velocidad,  $V_x$ . Se indican los materiales utilizados y el sentido impuesto por el pistón móvil.

En momentos posteriores, ocurre la rotación del campo cinemático, y se comienzan a conformar los flancos del anticlinal, a su vez que se configura la zona de la cresta del pliegue. Ya en este momento pueden diferenciarse 4 zonas principales en base al campo cinemático (ver Fig.2). Este cambio en la cinemática marca el inicio de la fase 2.

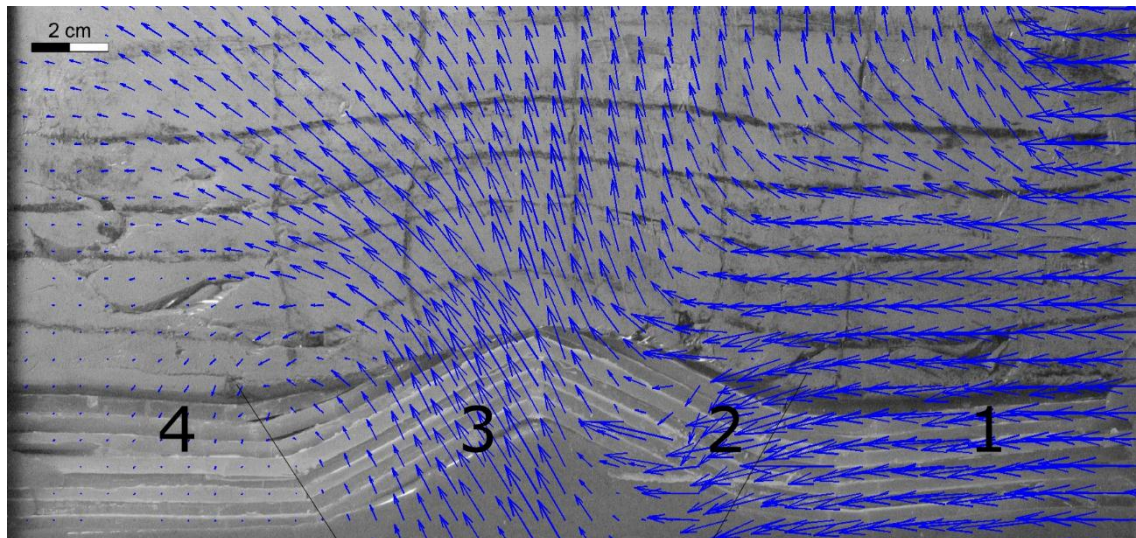


**Figura 2:** Inicio de la fase 2. Se puede apreciar el levantamiento de la zona de la charnela y la conformación de los incipientes flancos del anticlinal. Se encuentran marcados 4 dominios en base a la componente dominante de los vectores de velocidad definidos.



La primera de ellas cercana al pistón móvil muestra vectores de velocidad dominados por la componente horizontal,  $V_x$ , que indican el sentido del movimiento del material en la dirección impuesta por el motor. A su lado, en la zona 2 ocurre la rotación del campo cinemático, provocando la migración de las partículas que conforman el limbo dorsal de la estructura. Puntualmente la componente vertical del vector de velocidad,  $V_y$ , comienza a ser observada delimitando el movimiento en el eje vertical y provocando la aparición de una estructura sinclinal aledaña al flanco. En la zona 3, el sector central de las capas de parafina conforma un endomamiento, por lo que se levanta la charnela del anticlinal. En este sector la rotación se puede visualizar fácilmente y hay un marcado dominio de la componente vertical del vector velocidad,  $V_y$ , mientras que la componente horizontal del vector velocidad,  $V_x$ , tiende alcanzar valores bajos. Hacia el sector 4, se empieza a conformar el limbo frontal del pliegue por despegue y domina el movimiento en el eje vertical (ver Fig. 2). En este sector más alejado del pistón móvil, el movimiento es menor y los vectores pierden magnitud.

La misma configuración descrita previamente se mantiene a lo largo del avance de la deformación, pero las zonas ya se encuentran mejor delimitadas entre sí. Tanto el limbo dorsal como frontal se van conformando con el aumento del ángulo de inclinación de los bancos de parafina. A medida que ocurre el levantamiento de la zona de la charnela y el pliegue crece en altura, el material dúctil situado por debajo migra hacia el núcleo para rellenar los espacios que de otra forma quedarían vacíos. El anticlinal que se estructura es simétrico, y sus flancos pueden ser delimitados por superficies axiales. Se propone que esto ocurre hacia el final de la fase 2 (ver Fig.3).

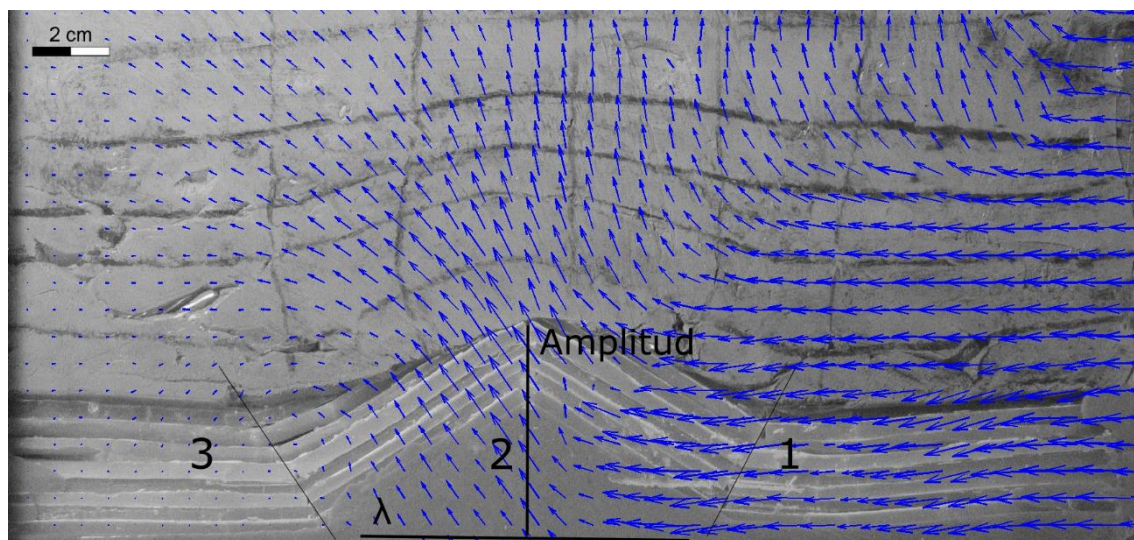


**Figura 3:** Final de la fase 2, donde ambos limbos del pliegue ya se encuentran conformados y delimitados por superficies axiales.

Se observa en la zona 1 el movimiento de las partículas en el sentido impuesto por el motor, con un marcado dominio de la componente horizontal del vector velocidad,  $V_x$  (ver Fig. 3). Hacia esta etapa, el límite entre este sector y el limbo dorsal del pliegue se encuentra delimitado por una banda tipo kink. Por delante de este límite, se encuentra bien determinado el flanco, y los vectores allí presentes muestran el movimiento realizado por las partículas, con la componente vertical  $V_y$  que señala el descenso y la componente horizontal  $V_x$  que muestra la progradación hacia delante del material durante la evolución estructural. De esta forma, sigue evolucionando al pie la estructura sinclinal. El anticlinal

por su parte sigue ganando altura en la zona de su charnela (ver Fig. 3). En este sector central la componente vertical del vector velocidad alcanza su máximo valor. A su vez, el campo cinemático que señala el movimiento de las partículas del limbo frontal también exhibe vectores oblicuos. El límite entre el limbo frontal y la zona donde ya no se observa movimiento, como en el caso del limbo anterior, también presenta una banda tipo kink (ver Fig. 3).

El pliegue continúa su evolución, creciendo tanto en longitud de onda como en amplitud a lo largo de esta nueva fase 3. Finalmente, se pueden apreciar 3 regiones bien delimitadas (ver Fig. 4).



**Figura 4:** Fotografía del experimento donde se puede observar el pliegue por despegue conformado, simétrico con ambos flancos bien delimitados por las superficies axiales. Se identifican a su vez 3 zonas principales donde los vectores poseen una componente dominante.

En la zona 1 cercana al pistón, domina la componente horizontal de acuerdo con el empuje impuesto por el mismo. La zona 3, distante, casi no registra movimiento. En la zona 2, ocurre levantamiento de la charnela. Es posible observar la rotación del campo cinemático donde la componente vertical del vector velocidad,  $V_y$  aumenta.  $\lambda$  hace referencia a la longitud de onda del anticlinal.

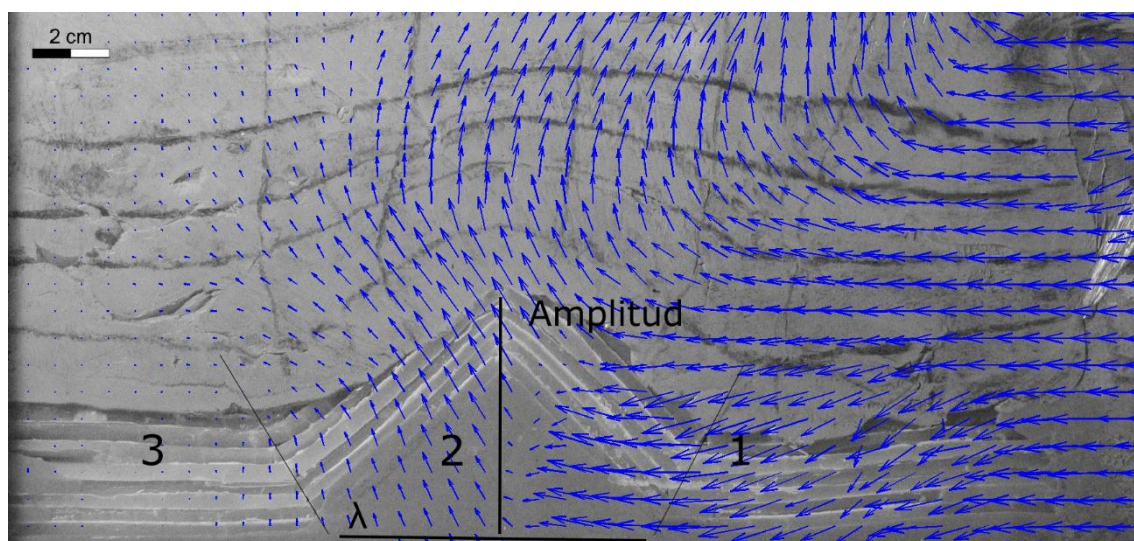
La primera de ellas corresponde a la zona 1 donde el movimiento tiende a ser mayor por la cercanía con el pistón móvil. El dominio de la componente  $V_x$  del vector velocidad es muy marcado. La superficie axial marca el inicio del limbo dorsal, donde las partículas ascienden y avanzan aumentando la inclinación del flanco, dentro de la zona 2. La componente vertical  $V_y$  aumenta y ya se sigue visualizando la rotación en sentido horario del campo cinemático (ver Fig.4). Hacia el sector central del experimento se encuentra la charnela del anticlinal claramente definida. La zona 3, por su parte abarca la base del limbo frontal y el sector donde ya no se registra migración del material.

El pliegue conformado es simétrico. Hacia el final de la fase 3, la longitud de onda va a decrecer a medida que la amplitud aumenta durante la evolución de la estructura (ver Fig. 5). El pliegue por despegue crece por el aumento de su amplitud y ambos limbos se observan bien delimitados con altos ángulos de inclinación.

El sector cercano al frente de deformación se representa como la zona 1. El campo cinemático en este sector muestra el dominio de la componente horizontal del vector velocidad, al igual que en todos los casos previos. A diferencia del estadio anterior (ver



Fig.4), el sinclinal al pie del limbo dorsal se puede observar y los vectores de la fotografía muestran su conformación y desarrollo (ver Fig.5).



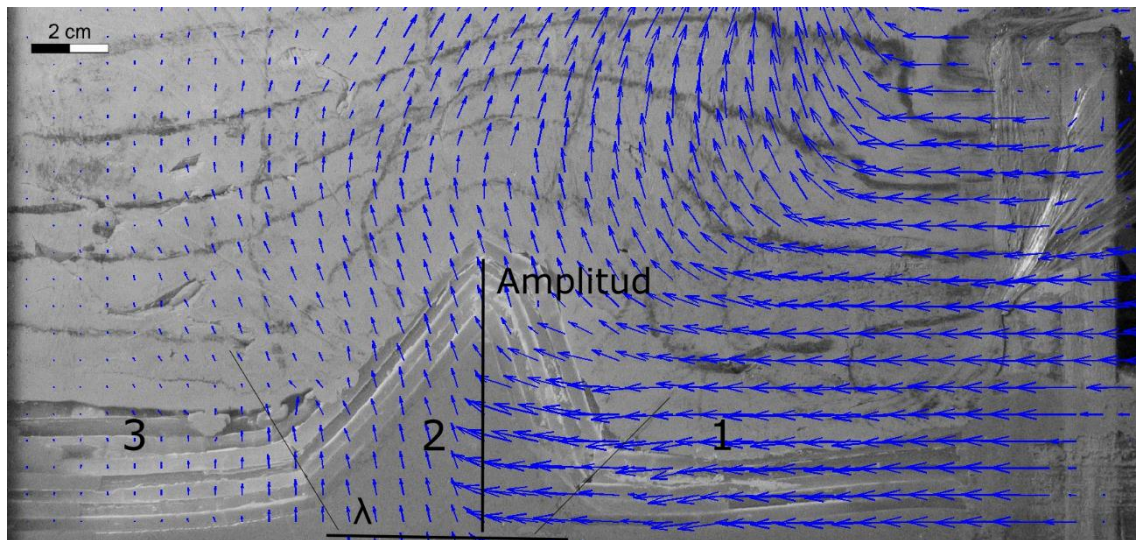
**Figura 5:** Fotografía del experimento donde se puede observar al pliegue por despegue conformado, simétrico y con ambos flancos exhibiendo altos ángulos de inclinación con sus superficies axiales definidas. En esta etapa, el pliegue crece en amplitud, ganando altura la charnela, mientras que disminuye su longitud de onda ( $\lambda$ ) por la compresión.

Los vectores de las partículas que conforman el limbo dorsal, por su parte, registran una menor componente vertical y una componente horizontal mayor responsable del traslado del material hacia delante. La zona 2 se encuentra caracterizada por el aumento de la amplitud a medida que la silicona invade el núcleo del pliegue. La charnela se desarrolla y la componente vertical del vector velocidad  $V_y$  es casi ortogonal al nivel de despegue de la estructura. Finalmente, en el sector 3 los vectores de velocidad decrecen indicando menor movimiento por estar más alejada del pistón móvil (ver Fig. 5).

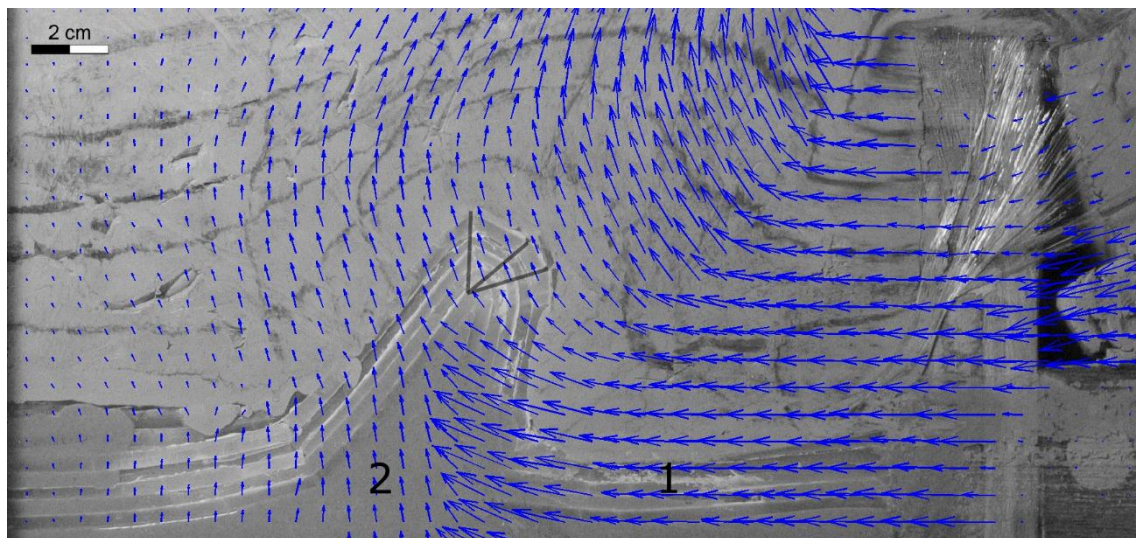
A medida que la deformación avanza, la estructura anticlinal conformada pierde su simetría. Esto marca el inicio de la fase 4, que a su vez es la última (ver Fig.6).

El limbo dorsal, cercano al frente de deformación se torna más inclinado y la parafina se quiebra en su base producto del empuje. Al respecto del campo cinemático se aprecia el pasaje gradual desde el dominio de la componente horizontal del vector velocidad a la componente vertical. La rotación es completa, desde la zona 1 donde el campo cinemático se encuentra marcado por  $V_x$  y solamente se registra movimiento en el eje horizontal a la zona 3. En la misma, el campo cinemático es dominado por  $V_y$  y únicamente se presenta movimiento en el eje vertical (ver Fig. 6).

A medida que la longitud de onda del pliegue disminuye y el mismo se torna estrecho, el material dúctil no puede seguir desplazándose al interior y ocurren fracturas en el flanco dorsal donde la presión es mayor. Por las fracturas de los bancos que integran el limbo dorsal, se extruye material dúctil hacia la periferia. Hacia el final de la experiencia, la amplitud alcanza su valor máximo y la longitud de onda el valor mínimo. La zona de la charnela vuelca en sentido contrario al esfuerzo aplicado, provocando la aparición de fracturas radiales en la parafina (ver Fig.7). El pasaje entre ambos dominios del campo cinemático ya no es gradual, por el contrario, se da en una rotación abrupta si se la compara con las fases previas. Debido a esto, solamente se definen dos zonas (ver Fig.7).



**Figura 6:** Etapa 4 del desarrollo del pliegue de despegue. En el sector cercano al pistón domina la componente  $V_x$ . Hacia el sector central ocurre una rotación del campo cinemático y aparece la componente vertical que levanta la charnela. El pliegue se va tornando más estrecho.  $V_y$  es la componente dominante en la zona 3.



**Figura 7:** Fase final del desarrollo del pliegue de despegue. El limbo dorsal se fractura, el material dúctil se extruye por las fracturas y la charnela se vuelca a medida que ocurren fracturas radiales en la parafina. Solamente se pueden delimitar dos zonas en base al campo cinemático. La zona 1 dominada por la componente horizontal del vector velocidad y la zona dos dominada por la componente vertical del vector velocidad.

## DISCUSION:

De acuerdo con las características observadas a lo largo del experimento, el tipo de pliegue por despegue obtenido se aproxima muy bien al modelo de rotación progresiva, donde la longitud de los flancos se mantiene relativamente constante pero el ángulo de



inclinación de los mismos crece a medida que avanza la deformación (Poblet y Mc Klay, 1996). Este modelo es válido para una capa homogénea competente que se pliega por arriba de un nivel que actúa de décollement, donde el plegamiento en la capa superior se asemeja a un pliegue tipo kink. Esta descripción se acerca bien al caso desarrollado en el modelo análogo, donde las capas de parafina son la unidad competente situada por encima de la silicona que funciona como nivel de despegue. En cuanto al anticlinal desarrollado en los bancos frágiles, es simétrico y es posible delimitar en las imágenes la ubicación de las superficies axiales que provocan la estructuración.

Los ángulos interlimbo, por su parte, no se mantienen constantes ya que se puede observar como aumenta progresivamente la inclinación de los ambos flancos.

Al respecto, llama la atención que sea el limbo dorsal el que posee mayor inclinación al punto tal que se vuelca hacia el final de la experiencia. En los modelos teóricos encontrados (Epard y Groshong 1995; Poblet y Mc Klay, 1996), el limbo frontal suele ser el de mayor inclinación. Se propone que este evento se encuentra relacionado con los factores experimentales que intervienen en la generación del modelo, es decir, la presión que ejerce el pistón móvil sobre el flanco dorsal. Por estar situado tan cerca, es mucho mayor a la que sufre el limbo frontal y como resultado se fractura en la base favoreciendo que se vuelque.

## CONCLUSIONES

Se definen 4 fases de construcción de la estructura a partir del modelado análogo y el análisis vectorial.

En resumen, la etapa 1 se caracteriza por la progradación del material en la dirección del esfuerzo aplicado. Domina en todo el experimento la componente horizontal del vector velocidad,  $V_x$ . No se aprecia movimiento en el eje vertical. El pliegue se va generando a medida que aumenta la compresión.

En la fase 2, se configura la zona de la cresta del pliegue y ambos flancos se construyen y son simétricos. Ya en este momento pueden diferenciarse 4 zonas principales en base al campo cinemático. Se observa la rotación del mismo, donde la componente vertical del vector velocidad  $V_y$  aparece progresivamente provocando el levantamiento de la charnela del anticlinal.

Hacia la zona 1 domina la componente horizontal del vector velocidad,  $V_x$ , en el sentido impuesto por el pistón móvil. En la zona central, por su parte, aparece la componente vertical  $V_y$ . A su vez se configuran los sinclinales al pie de los flancos y es posible visualizar el movimiento en ambos sectores. En el área más alejada del pistón móvil, el desplazamiento es menor y los vectores pierden magnitud tendiendo a cero.

En la etapa 3 la estructura crece tanto en longitud de onda como en amplitud. Se conserva la simetría del anticlinal y los limbos aumentan el ángulo de inclinación, encontrándose bien definidas ambas superficies axiales responsables de la configuración.

El material dúctil continúa migrando hacia el núcleo del anticlinal, rellenando el espacio que provoca el alzamiento de la parafina que actúa como material competente. Se sigue visualizando la rotación del campo cinemático, que pasa de estar fuertemente dominado por la componente horizontal  $V_x$  a la componente vertical,  $V_y$ .

Hacia finales de esta etapa, la longitud de onda del pliegue comienza a disminuir mientras que continua el aumento de la amplitud de este.

A medida que la deformación avanza, la estructura anticlinal conformada pierde su simetría, ya que el limbo dorsal presenta mayor ángulo de inclinación que el frontal. Esto marca el inicio de la fase 4.



Se producen fracturas radiales en la charnela del pliegue a medida que la misma se vuelca en sentido opuesto al esfuerzo compresivo aplicado. El material dúctil se extruye hacia la periferia por fracturas situadas en la base del limbo dorsal.

Este tipo de pliegue corresponde al modelo de rotación progresiva donde la longitud de los flancos se mantiene relativamente constante pero el ángulo de inclinación de estos crece a medida que avanza la deformación.

La experiencia demuestra que la técnica del modelo análogo es útil para comenzar a estudiar el campo cinemático que presentan los pliegues por despegue.

## **BIBLIOGRAFIA:**

- Allmendinger, R.W. Inverse and forward numerical modeling of trishear fault-propagation folds. *Tectonics* 17, 640-656 (1998).
- Chamberlin, R.T. The Appalachian folds of central Pennsylvania. *J. Geol.* 18, 228-251 (1910).
- Epard, J. L y Groshong, R.L. Kinematic model of detachment folding including limb rotation, fixed hinges and layer-parallel strain. *Tectonophysics* 247, 85-103 (1995).
- Jamison, W. R. Geometric analysis of fold development in overthrust terranes. *J. Struct. Geol.* 9, 207-219 (1987).
- Mitchell, M. M., and Woodward, N.B. Kink detachment fold in the southwest Montana fold and thrust belt. *Geology* 16, 162-165 (1988).
- Poblet, J., and K. McClay. Geometry and kinematics of single-layer detachment folds, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 80, 1085-1109 (1996).
- Suppe, J. y Hook, S.C. A forward modelling strategy for balanced cross sections. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 74, 521-531 (1990).
- Suppe, J. Geometry and kinematics of fault-bend folding, *Am. J. Sci.* 283,684-721 (1983).
- Thielicke, W. y Stamhuis, E. J. PIVlab - Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB. *Journal of Open Research Software*, 2, e30. (2014)

# **CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE UN MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA. CIUDAD DE PLOTTIER. NEUQUÉN- ARGENTINA**

Porco, Vanesa Alejandra, Cogliati, Marisa Gloria,

*Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue,  
ARGENTINA*

*e-mail: vanesa.porco@fatu.uncoma.edu.ar*

## **RESUMEN**

*Cuando en una región la proporción de población en las ciudades, crece más rápidamente, esta progresión induce a un desequilibrio entre la relación sociedad–naturaleza, perdiendo su estabilidad interna, manifestándose a través de desajustes ambientales como la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) que se descargan en basurales a cielo abierto. La localidad de Plottier (Neuquén-Argentina), ha presentado un incremento demográfico del 51% entre los años 1991 y 2001 y un 68% para el año 2010. Esta expansión, provocó el origen de nuevos barrios y loteos en todo el ejido municipal distribuidos en sentido oeste–este, debido a la limitante topográfica y, el incremento de los RSU, que se depositan en un sitio de disposición final a cielo abierto, sin ningún control técnico sanitario y operativo y son tratados mediante la incineración. Esta práctica provoca la liberación de contaminantes hacia la atmósfera, donde se mezclan, reaccionan y diluyen de acuerdo al comportamiento de la capa de mezcla.*

*Este trabajo plantea el estudio de las características de la pluma de humo y la eficacia de la atmósfera inferior para diluir y dispersar los contaminantes mediante el modelo híbrido lagrangiano, HYSPLIT calculado para el 2018. Los resultados presentaron variación estacional con aumento de las situaciones de atmósfera estable en invierno y mayor frecuencia de estabilidad neutra en todo el año. Si bien la concentración estimada no superó en el período, los límites permitidos, la pluma afectó los barrios adyacentes al basural y algunas localidades cercanas, según la situación del transporte atmosférico variando según la dinámica atmosférica que permite que la pluma se extienda horizontalmente por varios kilómetros.*

*Palabras Clave:* RSU, contaminación, Hysplit, Modelo de dispersión, Plottier.

## **INTRODUCCIÓN**

La proporción de población que vive en las ciudades, crece más rápidamente cuando en una región tiene lugar un proceso de urbanización (Erbiti, 2007). Esta progresión, según Montenegro (1982), induce a un desequilibrio entre la relación sociedad–naturaleza, perdiendo así su estabilidad interna, manifestándose en el ambiente (Reboratti, 1999), a través de desajustes provocando diversos efectos; uno de ellos es la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) que, en algunas ocasiones, se descargan en basurales a

cielo abierto con la consecuente contaminación del medio (Montenegro, 1982). En este sentido los datos arrojados por los censos nacionales de población y vivienda<sup>1</sup>, son de relevancia, ya que expresan el incremento urbano en general, experimentado por las ciudades de nuestro país (Prieto. et al., 2011). Particularmente, la localidad de Plottier (Neuquén), presentó un incremento del 51% entre los años 1991 y 2001 y para el 2010 fue del 68%. La expansión provocó un doble efecto, por un lado, se originaron nuevos barrios y loteos en el ejido municipal, con una distribución espacial en sentido oeste–este, a causa de la limitante topográfica. Por otro y, consecuentemente, el incremento de los RSU, ya que, debido a la concentración de actividades económicas y el número de habitante, las ciudades se tornan los principales centros de producción de residuos (Bernache Pérez, 2012).

La basura es un problema en incremento en las economías modernas. El volumen de basura se incrementa, con el crecimiento de los problemas para su disposición final. La generación de grandes cantidades de basura es un síntoma de un ineficiente uso de recursos. Los contaminantes son emitidos debido a la evaporación de gases o generados a partir de incendios autogenerados o generados en los vertederos (Sivertsen, 2006).

En Plottier, los RSU generados y transportados, se depositan en un basural a cielo abierto, sin control técnico sanitario y operativo (SEDESOL, 2001) situado a una distancia de pocos kilómetros del original casco urbano, en una cava que limita con el frente de barda del sector nordeste, con una superficie que abarca aproximadamente 12 has.

A pesar de que se ha suscripto un convenio con el municipio vecino de Neuquén, con el fin de trasladar el 20% de basura de un total de 60 tn. diarias que se generan en Plottier, hacía el Complejo Ambiental Neuquén<sup>2</sup>, aún persisten los transportes de desechos hacía el lugar, siendo posteriormente tratados mediante la práctica de la incineración, método de tratamiento, que produce la reducción del volumen de los residuos, con alto contenido orgánico, por combustión, generando material sólido, esencialmente inorgánico, inerte, y productos gaseosos contaminantes (como por ejemplo CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) y material particulado (PM), que se emiten hacía las capas de la atmosfera (Casquero Vera, 2016). Por lo cual, se considera pertinente realizar un estudio de contaminación atmosférica provocada por el basural.

Los contaminantes liberados a la atmósfera se mezclan, reaccionan y diluyen en un espesor definido de atmósfera, llamado capa de mezcla, que típicamente va de unos pocos cientos de metros de altura hasta dos o tres kilómetros. La altura de la capa de mezcla, determina en parte la eficacia de la atmósfera inferior para diluir y dispersar los contaminantes (Cogliati, 2010). El espesor de capa de mezcla varía en un mismo día, desde un valor mínimo en las primeras horas de la mañana, hasta un valor máximo, poco antes de que se ponga el sol. Los espesores mínimo y máximo cambian de un día a otro, con las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosférica y con la tasa de

---

<sup>1</sup> Censo Nacional de población y vivienda INDEC 1991, 2001 y 2010

<sup>2</sup> Diario Rio Negro 16/05/2018

insolación recibida (Trejo Vázquez, 2011). El análisis de problemas de contaminación a escala regional o local y la formulación de modelos y estrategias de protección ambiental de una zona, requieren etapas de estudio, uno de ellos y de particular relevancia es el efecto de la dispersión geográfica del material resultante de la incineración. Por tal razón, en esta etapa preliminar se considera necesario recurrir a un modelo de dispersión de partículas con el fin de detectar los efectos de la calidad del aire en la zona. Hysplit (versión online) es un modelo de dispersión de contaminantes híbrido lagrangiano, que permitirá realizar el análisis y obtener resultados en archivos de diversos formatos.

La problemática de los contaminantes atmosféricos en entornos urbanos, ha sido analizada por diversos autores en diversos países del mundo:

Casquero Vera, et. al., (2016) presentaron un diagnóstico de la situación de la calidad del aire en Granada (España) a lo largo de los años 2010 – 2015, mediante el análisis de niveles de O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y material particulado (PM<sub>10</sub>) medidos en tres estaciones.

Pineda Martínez, et al. (2014) estudiaron la contaminación atmosférica en áreas urbanas de México, en relación a la evolución espacial y temporal de las concentraciones del material particulado entre mayo de 2003 y abril de 2004. Los resultados indicaron patrones de circulación estacionales preferenciales: vientos del suroeste en invierno y vientos del sureste en verano. Los altos valores de concentración de material particulado estuvieron estrechamente vinculados con características locales de la circulación atmosférica.

Las incineraciones a cielo abierto tanto de basura como de pastizales han sido estudiadas por su impacto en la exposición a contaminantes de las poblaciones. En algunas áreas urbanas especialmente en países en vías de desarrollo la contribución a la exposición a material particulado se encuentra entre un 30 y un 50% dependiendo de las condiciones climáticas (Sivertsen, 2006).

Niveles de emisiones para los distintos contaminantes utilizados frecuentemente en incineraciones de residuos sólidos urbanos fueron calculados en laboratorio por Park, Kim y Jo (2013) para estimar las contribuciones en Seúl, identificando según relevamientos que los materiales nocivos más frecuentes eran PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, metales pesados e hidrocarburos aromáticos.

En Argentina, Gassmann y Mazzeo (2000) estudiaron el potencial de contaminación del aire en Argentina, que puede determinarse a partir de dos parámetros atmosféricos: altura de capa de mezcla y viento de transporte para estimar las áreas con ventilación atmosférica alta o deficiente.

En el área cercana a la zona en estudio, Paez (2017) evaluó la calidad de aire en una actividad minera a cielo abierto de explotación de cantera de yeso próximas a la localidad de General Roca (Río Negro) a partir de un modelo de dispersión, Cogliati (2010) presentó un estudio con el fin de desarrollar un diagnóstico sobre la planificación de un nuevo asentamiento habitacional próxima a un parque industrial en la localidad de

Neuquén (Argentina), pero no se plantearon estudios anteriores de contaminación debido a la incineración de residuos sólidos urbanos.

En este trabajo se plantea el estudio de los efectos de la incineración de RSU en el sitio de disposición final a cielo abierto de la localidad de Plottier, provincia de Neuquén (Argentina) mediante la implementación de un modelo de dispersión atmosférica, para 2018.

### Características del área de estudio

El área de estudio se encuentra al noreste de la ciudad de Plottier, Neuquén, Argentina, ocupando la cava una superficie de aproximadamente 27 m<sup>2</sup> ( $\approx$  3 ha), limitando con el frente de barda (borde de la meseta) hacia el norte, el este y el oeste como lo muestra la Figura 1.

En este sector, se congregan distintos usos de suelo, que rodean el sitio de disposición final, combinando uso industrial, rural y residencial, con nuevos asentamientos habitacionales. La ubicación del basurero a cielo abierto se encuentra a menos de 4.0 km del casco urbano de la ciudad, y menos de 1 km de nuevos asentamientos residenciales. La disposición geográfica se consideró previamente sin tener en cuenta el crecimiento acelerado de la ciudad a lo largo de los últimos años.

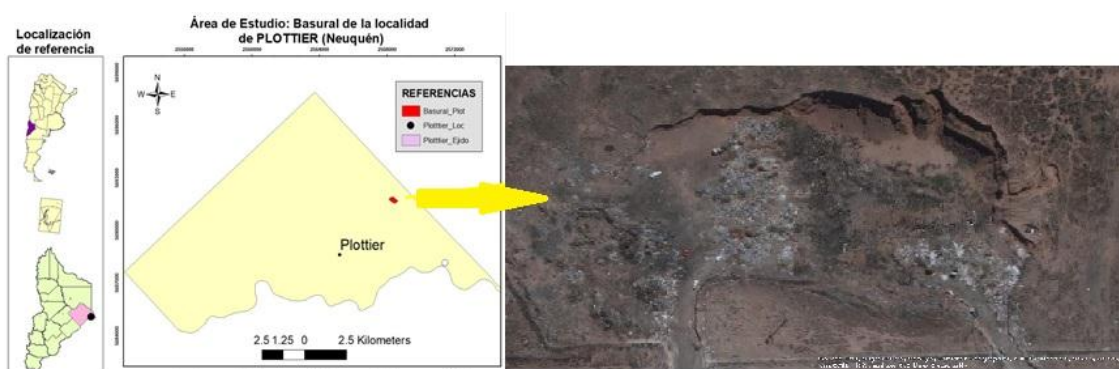


Figura 1, localización de sector de estudio. El sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU), de Plottier (Neuquén, Argentina) se localiza en 38° 55' 16" S., 68° 12' 49" W, En la figura de la derecha. Fuente: elaboración de propia.

El área se emplaza sobre una antigua terraza de erosión a una altura que oscila entre los 360 m y los 270 m snm., perteneciente litológicamente al grupo Neuquén, Formación Plottier (Capua. et al. 2011)

El suelo, se encuentra desprovisto de vegetación, con predominancia fitogeográfica del monte, con especies arbustivas y xerófilas, con particularidades propias de ambientes áridos, con especies de *Larrea cuneifolia*, *Larrea divaricata* (Jarilla), *Atriplex lampa* (Zampa) y *Prosopis alpataco* (Alpataco). Esta vegetación, ha sido reemplazada, sobre el piso del valle, por cultivos frutícolas de explotaciones intensivas y desarrolladas gracias al aporte de agua de riego, creando un enorme oasis entre las mesetas de fisonomía árida que limitan su extensión (Capua. et al. 2011).

Las condiciones climáticas, presentan estrés hídrico con precipitaciones mínimas próximas a 200mm anuales y las precipitaciones extraordinarias son de tipo convectivas



en la época estival (SMN).<sup>3</sup> Esta zona se encuentra expuesta a fuertes vientos durante todo el año, con una dirección predominante de Oeste-Sudoeste. Estos efectos eólicos, además de la baja humedad del aire, producen tormentas de polvo característicos del norte de la Patagonia (Lässig, et al, 1999).

## MÉTODOS

La concentración de contaminantes y las trayectorias tridimensionales se obtuvieron a partir del modelo de dispersión Hysplit (*HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*)<sup>4</sup>. Los datos utilizados fueron del GDAS (Global Data Assimilation System) de la National Weather Service's National Centers for Environmental Prediction (NCEP) en el periodo 2009-2019. Este es un modelo híbrido que realiza el cálculo de advección y difusión en un marco lagrangiano, mientras que para la concentración de elementos utiliza el marco euleriano (Ramírez Hernández 2014; Draxler & Hess (1997). Las emisiones a la atmósfera, desde una quema de basura al nivel del suelo, son afectadas por diversas variables incluyendo viento, temperatura ambiente, composición y contenido de humedad, así como compactación de la pila de residuos.

En general bajas temperaturas incrementan las emisiones de material particulado, monóxido de carbono, hidrocarburos y suprime las emisiones de óxidos de nitrógeno, (Siverstsen, 2006).

Las quemas a cielo abierto son sin ningún tipo de control, por lo que promueven la formación de dioxinas, material particulado e hidrocarburos aromáticos policíclicos, indistintamente del tipo de residuos incinerados.

Un estudio típico estimó que unas 400000 tn de basura /año emiten 200 ng dioxinas/kg de basura (Cooper y otros, 1992)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En el presente trabajo se analizó el año 2018. En particular se seleccionaron situaciones con diferencias en el comportamiento de la capa de mezcla atmosférica centrando el análisis en época estival e invernal donde la capa de mezcla presenta la máxima y la mínima altura de capa de mezcla.

Las condiciones atmosféricas del período analizado presentaron para el mes de enero viento predominante de los sectores SW y N como lo muestra la figura 2 a, y en julio (Figura 2 b.) se mantuvo del SW pero con un máximo relativo de frecuencias del NE. La zona se encuentra ubicada cercana a la latitud de los oestes, por lo que el aire sigue el comportamiento del flujo del aire en latitudes medias.

---

<sup>3</sup> Servicios meteorológico Nacional

<sup>4</sup> laboratorio de Recursos Atmosféricos (Air Resources Laboratory – ARL) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Atmospheric and Oceanic Administration – NOAA).

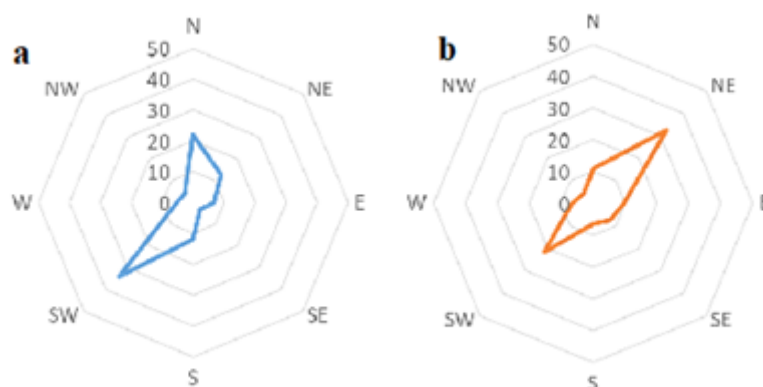


Figura 2 a.: Distribución de frecuencia de direcciones de viento en enero (izq), b. julio (der) de 2018.

Las precipitaciones, en enero de 2018 fueron escasas (Figura 3), con un máximo en julio, como se muestra en la Figura 3, presentando el 18 de julio de 2018 precipitación en forma de nieve y lluvia por lo que se puede asumir que esos días el depósito se vio favorecido, pero debe considerarse que de haber subsistido el humo la incineración debió ser mucho menos eficiente.

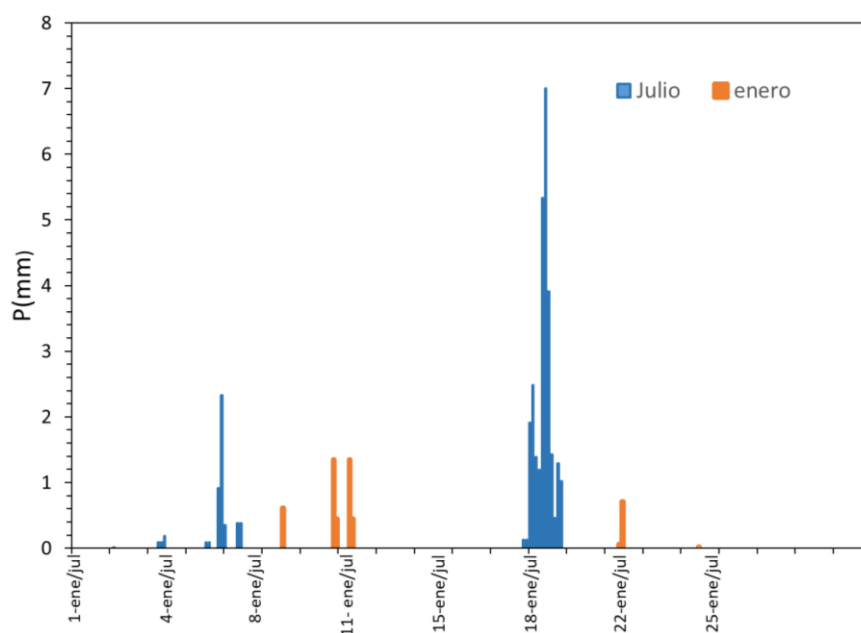


Figura 3: Precipitaciones (P,mm) correspondientes al mes de enero (naranja) y julio (azul) de 2018.

La altura de la capa límite presentó variabilidad estacional, siendo climáticamente el área en estudio una de las áreas con menor cantidad de días con mala ventilación (Gassman y Mazzeo, 1999). En el período analizado la altura de la capa límite tuvo un valor medio de 409.3 m en invierno y de 1304.2 m en verano. Analizando la asociación de la capa de mezcla con la velocidad del viento vemos que en general el viento más intenso se asoció a mayores alturas de capa de mezcla, mostrando una mayor dispersión de los datos en la época estival (ver figura 4).

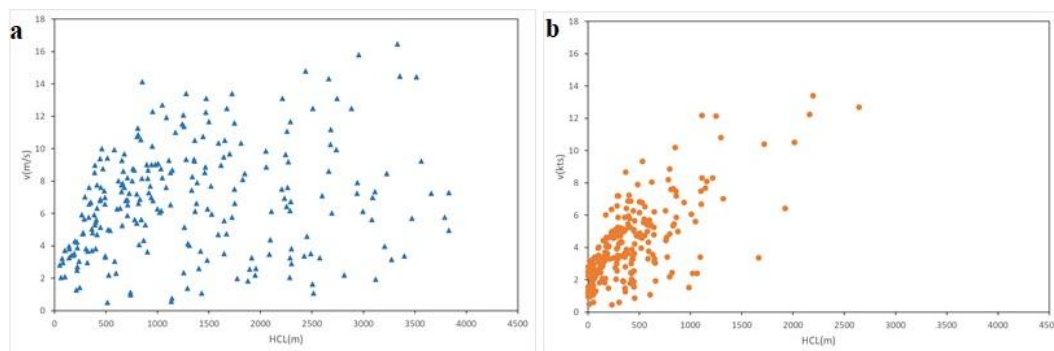


Figura 4. a) Altura de la capa limite vs viento en enero (izq.) y b) julio (der).

Para ejemplificar el comportamiento de la pluma se presentan varios días con diferencias de transporte.

Las situaciones analizadas muestran que siguiendo las condiciones atmosféricas la pluma de emisión proveniente del basural toma direcciones a sotavento del mismo.

En particular el 18 de enero la pluma se dirigió hacia el sector NE. La mayor concentración se ubicó 4,3 km al NE en área de meseta con  $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , afectando áreas con uso de suelo industrial y rural. El área de influencia con menores valores de concentración se extendió hasta las localidades vecinas de Centenario y, Cinco Saltos (ver Figura 5 a.) Según los resultados de modelación, en la figura 5 b.) se muestran las partículas y su distribución en altura, a 6 h de iniciada la incineración y a 12 hs del inicio. Las partículas alcanzaron los 400 m, aumentando el área afectada a medida que se incrementó el tiempo de emisión, con una estimación de la deposición total de  $78 \mu\text{g}/\text{m}^2$ , considerando material particulado PM2.5 emitido a nivel del suelo.

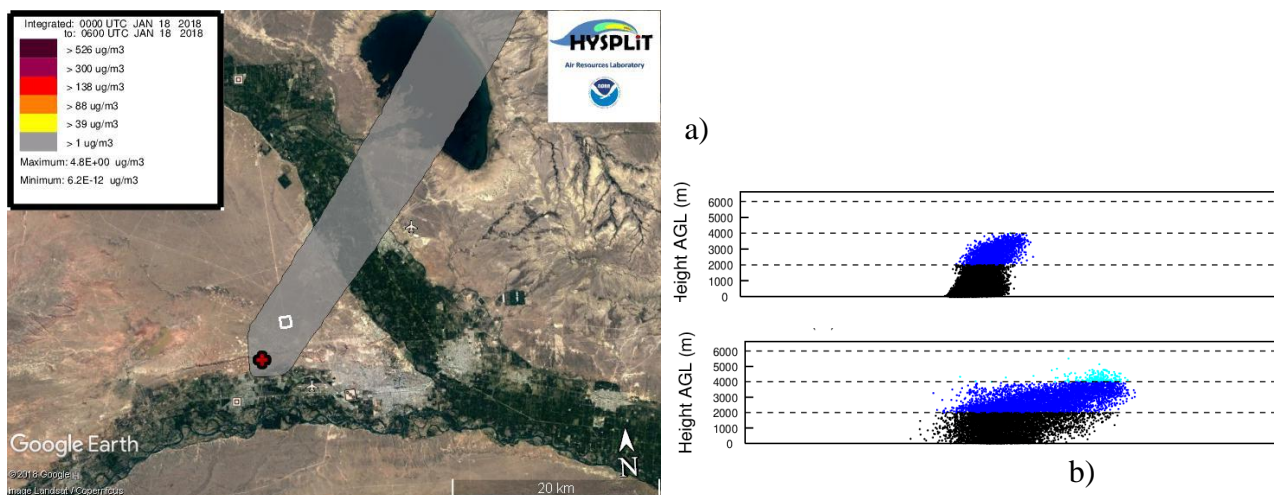


Figura 5. a) Pluma de humo del basural 18 de enero de 2018, que afecta a las localidades de Plottier y Cinco Saltos (izq.) y b) dispersión en altura de partículas a 6 hs y a 12 hs (der. arriba y abajo). Calculados con Hysplit y datos de GDAL. Concentración máxima en recuadro blanco.

La pluma es influenciada por las características meteorológicas, por lo que el área afectada varía en función del transporte y la estabilidad atmosférica.

El día 19 de enero de 2018, la pluma de emisión tuvo una dirección hacia N, NNW, aunque su extensión influenció los barrios aledaños y gran parte de la localidad de Neuquén. La mayor concentración se registró a 2.85 km al NW, afectando sectores

industrial, rural y los nuevos barrios residenciales, con un valor máximo de  $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ver figura 6 a). La dispersión de partículas alcanzó grandes alturas, alcanzando 2500m las primeras 6 hs y 3000m hasta las 12 hs, aumentando el área de influencia a medida que aumenta el tiempo de emisión.

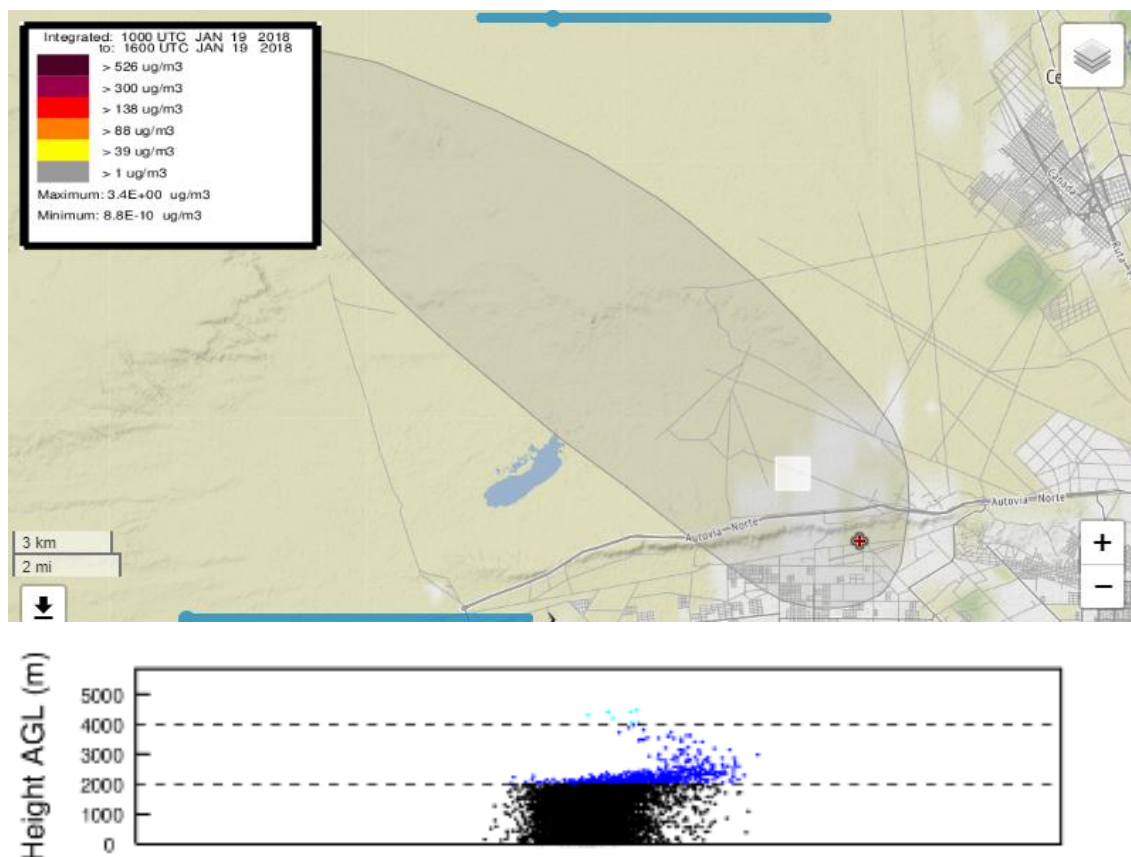


Figura 6. A) Pluma de humo del basural 19 de enero 2018, que afecta a la localidad de Plottier, y zona de la meseta hacia el NW (izq.) recuadro blanco zona de máxima concentración, b) corte transversal de las partículas en la vertical a 6 hs del inicio.

La situación meteorológica del 20 de enero se asoció con viento desde el sector E, con el consiguiente giro en la dirección predominante de la pluma, hacia el sector W. En este caso, la mayor concentración abarcó, desde el foco de emisión, un perímetro de 30 ha., afectando en los usos de suelo industrial, rural, en zonas de chacras y los nuevos barrios residenciales, con un máximo valor de concentración  $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con la mayor concentración a 3.9 km a sotavento (Figura 7a) alcanzando 3000 a 4000 m de altura (Figura 7 b.) y un gran área de cobertura, ocupando una gran área del valle del río Limay cercano al área de estudio. Las partículas, se dispersaron además alcanzando un área más ancha en cercanía de la fuente.

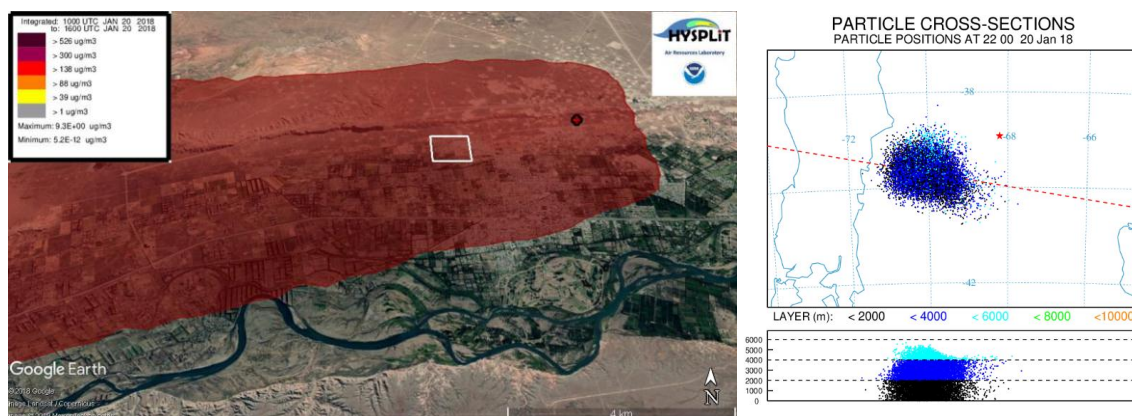


Figura 7. a) Pluma de humo del basural 20 de enero, que afecta a las localidades de Plottier, paraje China Muerta y Senillosa (izq.) y b) dispersión en altura de partículas (der.).

La Figura 8 muestra la situación del 21 de julio de 2018 posterior a los días con precipitación nívea y lluvia, los niveles en altura que alcanza la pluma son mucho menores (2000 m), comportamiento que se repite para el invierno, como muestra la figura 8.

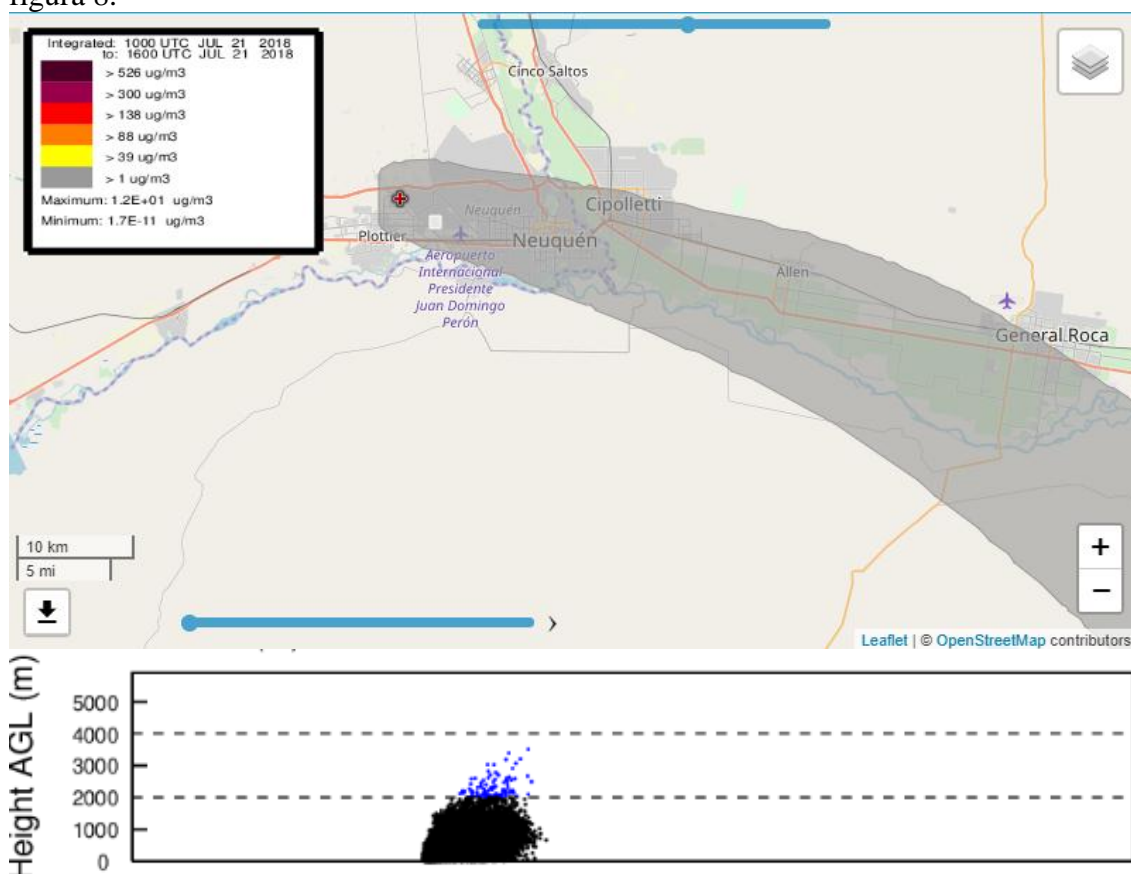


Figura 8. a) Pluma de humo del basural 21 de julio, que afecta a las localidades del Alto Valle (arriba) y b) distribución de partículas en altura (abajo) a 6 hs del inicio.

Para el presente trabajo se consideró doce horas de incineración a partir de las 10 hs y a partir de los valores de la literatura se consideraron las emisiones horarias como se



representan en la Figura 9, teniendo en cuenta que el fuego se enciende a las 10 hs hasta aproximadamente las 19 hs. Considerando un fuego con mayor porcentaje de material orgánico la emisión de material particulado se mantiene aproximadamente constante durante la incineración con valores ascendentes de CO<sub>2</sub> y CO hasta el momento de la extinción.

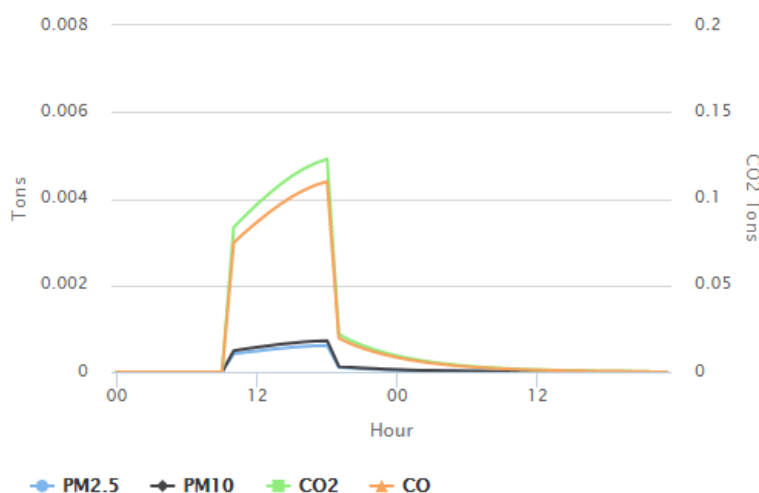


Figura 9: Emisiones horarias consideradas en el modelo a partir de valores de la literatura y el horario de incineración (<https://playground.airfire.org/home.php>).

Los contaminantes liberados a la atmósfera se mezclan, reaccionan y diluyen en un espesor definido de atmósfera, llamado capa de mezcla. En este sentido Gassman y Mazzeo (1999) indican que la capa límite presenta variabilidad estacional, presentando además en Neuquén, la menor cantidad de días con mala ventilación de todo el país. En el período analizado la capa de mezcla presentó un valor medio de 409.3 m en invierno y de 1304.2 m en verano indicando una mayor eficacia de la atmósfera inferior para diluir y dispersar los contaminantes en el verano. Dado que los espesores mínimo y máximo cambian de un día a otro, con las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosférica y con la tasa de insolación recibida, asimismo es necesario ampliar el análisis considerando una mayor cantidad de casos.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se abordaron las características de la pluma de humo y la eficacia de la atmósfera inferior para diluir y dispersar los contaminantes mediante el modelo híbrido lagrangiano, HYSPLIT calculado para el año 2018. A partir de este año se toma conciencia en la región de la importancia del tratamiento adecuado de la basura domiciliar y se plantea la necesidad de tomar medidas para disminuir los vertederos a cielo abierto y las incineraciones. Este primer trabajo se planteó para realizar un diagnóstico de distintas situaciones atmosféricas y la afectación del área debido al humo para distintas situaciones de transporte meteorológico haciendo hincapié en la variación estacional.

El comportamiento de la pluma presentó variación estacional con aumento de las situaciones de atmósfera estable en invierno y mayor frecuencia de estabilidad neutra en todo el año. Si bien la concentración estimada no superaría los límites permitidos, la

pluma afectó los barrios adyacentes al basural y algunas localidades cercanas, y los valores máximos a nivel del suelo se localizaron entre 2 y 5 km del basural con presencia de partículas en la vertical que alcanzaron alturas entre 400 y 4000 m afectando zonas con uso de suelo, urbano, industrial rural y residencial alcanzando hasta 30 has.

#### Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la Dra. Ana Cecilia Dufilho en la aplicación de ArcGis para el manejo de los datos vectoriales.

#### REFERENCIAS

- Bernache Pérez, G. (2012). Riesgo de Contaminación por Disposición Final de Residuos. un Estudio de la Región Centro Occidente de México. *Revista Interna. Contaminación Ambiental*, 28(1), 97–105. Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social, CIESA-
- Capua, O. Jurio, E. (2011). Componentes y Dinámica Natural del Ambiente-ciudad de Neuquén. *Boletín geográfico. Año XXXII N°33 - 2011, pp 55 - 68. Departamento Geografía. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. ISSN 0326-1735*
- Casquero Vera, J. A. Titos Vela, G. Alados Arboleda, L. (2016). Diagnóstico de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Granada. Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía. Universidad de Granada. En [https://www.granada.org/inet/agenda21.nsf/cff91acc5fede7f9c125727500305ef9/0aae130c836640acc1257f88002dc457/\\$FILE/Diagnostico%20Calidad%20Aire.pdf](https://www.granada.org/inet/agenda21.nsf/cff91acc5fede7f9c125727500305ef9/0aae130c836640acc1257f88002dc457/$FILE/Diagnostico%20Calidad%20Aire.pdf)
- Cogliati, M. (2010). Calidad del Aire en Áreas de Nuevos Asentamientos Habitacionales en Neuquén, *Boletín Geográfico*. 32. pp.11-20. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén.
- Draxler, R. Hess, G.D. (1997). DESCRIPTION OF THE HYSPLIT\_4 MODELING SYSTEM. NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224. Revisado 2010
- Erbiti, C. (2007). Transformaciones del Sistema Urbano Argentino a Fines del Siglo XX: Desafíos para la Gestión del TERRITORIO, 1–21. IV Seminario Ordenamiento Territorial. Ordenamiento Territorial y Problemática Urbana. Centro de Estudios Sociales de América Latina (CESAL) Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Gassmann, M. Mazzeo, N (2000). Air Pollution Potential: Regional Study in Argentina Department of Atmospheric Sciences. Faculty of Sciences. University of Buenos Aires. Piso 2—Pabellón II—Ciudad Universitaria.(1428) Buenos Aires, Argentina.
- Kanchan Kumari, Sunil Kumar, R. Vineel, Ankur Khare & Rakesh Kumar (2017): Emission from Open Burning of Municipal Solid Waste in India, *Environmental Technology*, DOI: 10.1080/09593330.2017.1351489.
- Lässig, J.L. Cogliati, M.G. Bastanski, M.A. Palese C. (1999). Wind characteristics in Neuquén, North Patagonia, Argentina. *Journal of Wind Engineering. and Industrial Aerodynamics* 79 (1999) 183–199. ELSEVIER.
- LEY 13592. (2010). Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. El Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires, Sancionan con Fuerza de Ley.

- Montenegro, R. (1982). La ciudad como ecosistema: relaciones entre la ecología y el planeamiento ambiental. pp 115-130. En Gallopin, G. Medio Ambiente y Urbanización. 1982.
- Paez, P. A. (2017). Estudio de Calidad del Aire en Canteras a Cielo Abierto en General Roca, Argentina. BOLETÍN GEOGRÁFICO, (39), 53–71. Facultad de Humanidades. Departamento de Geografía. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6232750>
- Park, YK, Kim, WR, Jo, YM (2013) Release of Harmful Air Pollutants from Open Burning of Domestic Municipal Solid Wastes in a Metropolitan Area of Korea. Aerosol and Air Quality Research, 13: 1365–1372, 2013. doi: 10.4209/aaqr.2012.10.0272
- Pineda Martínez, L. Carbajal, N. Campos Ramos, A. Aragón-Piña, A. García, A. (2014). Dispersion of atmospheric coarse particulate matter in the San Luis Potosí. Mexico, urban area. En [https://www.researchgate.net/publication/261771772\\_Dispersion\\_of\\_atmospheric\\_coarse\\_particulate\\_matter\\_in\\_the\\_San\\_Luis\\_Potosi\\_Mexico\\_urban\\_area](https://www.researchgate.net/publication/261771772_Dispersion_of_atmospheric_coarse_particulate_matter_in_the_San_Luis_Potosi_Mexico_urban_area)
- Prieto, M. B.; Schroeder, R.; Formiga, N. (2011) Ciudades Intermedias: Dinámica y Perspectivas. El Caso de Bahía Blanca – Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, vol. 2, julio-diciembre, pp. 1-17. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
- R. W. Gerstle & D.A. Kemnitz (1967) Atmospheric Emissions from Open Burning, Journal of the Air Pollution Control Association, 17:5, 324-327, DOI: 10.1080/00022470.1967.10468988.
- Ramírez Hernández, O. 2014. Origen de masas de aire en cuatro ciudades de Colombia mediante el modelo. HYSPLIT. En <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/935>
- Reboratti, C. (1999). *Ambiente y Sociedad. Conceptos y Relaciones*. En [http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/231/Reboratti\\_AMBIENTE\\_SOCIEDAD.pdf](http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/231/Reboratti_AMBIENTE_SOCIEDAD.pdf)
- SEDESOL. (2001). Problemática del Tiradero a Cielo Abierto. en *Manual Técnico-Administrativo para el Servicio de Limpia Municipio* (PP. 33–41). En: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd61/tecnadmvo/indice.pdf>
- Sivertsen, B. (2006) Air pollution impacts from open air burning. Waste Management and the Environment III WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 92, 449-456 doi:10.2495/WM060471
- Trejo Vázquez, R. Villagómez Parra, L. . (2011). Método Propuesto para Estimar la Altura de Capa de Mezcla en la Atmósfera, con Ayuda de la Aviación. *Conciencia Tecnológica*, (44) pp. 36-40. Departamento de Ingenierías, Universidad del Valle de México, Campus Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México.

### Otras fuentes de Consulta

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC)

Diario Rio Negro Digital: <https://www.rionegro.com.ar/neuquen-se-hara-cargo-de-la-basura-de-plottier-y-cipolletti-GK4963190>

# AMENAZA, EXPOSICIÓN Y PELIGRO, DIMENSIONES DEL RIESGO, MEDIANTE EL USO DE GIS. BARRIO RINCÓN DE EMILIO (NEUQUÉN-ARGENTINA)

Porco, Vanesa Alejandra,

Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue,  
ARGENTINA

e-mail: [vanesa.alejandra.porco@gmail.com](mailto:vanesa.alejandra.porco@gmail.com)

## RESUMEN

*Un apresurado dinamismo socioeconómico caracteriza a la región de la confluencia neuquina, traducido en un constante avance de la planta urbana hacia zonas no aptas para tal fin, lo que resulta en la edificación de asentamientos habitacionales que no consideran la dinámica físico-natural en la planificación urbana. Los cambios en los usos de suelo muestran en la actualidad, un ejido municipal desbordado por la demanda residencial, generando que la mayoría de esos asentamientos, se construyan en sectores asociados a zonas de laderas de fuertes pendientes, cursos pluviales y zonas inundables en cercanías a las riberas. Este es un crecimiento acelerado y sin planificación de las ciudades en general de nuestro país, y de la capital neuquina en particular que ha experimentado una actividad urbana que se refleja en el ordenamiento territorial de la capital neuquina, desde los años 80 a la actualidad. En este marco, es que se aborda la temática del Riesgo y, específicamente el objetivo de estudio es identificar las dimensiones amenaza, exposición y peligro en el barrio Rincón de Emilio de la ciudad de Neuquén. Los resultados obtenidos implicaron una línea de tiempo retrospectiva con respecto al incremento de viviendas construidas entre los años 2003 al 2018 en Google Earth, junto a los datos proporcionados por el Censo Nacional de Población 2010. Se requirió el uso de un GIS, para generar la cartografía referida a la amenaza hidrometeorológica (pluvial o fluvial) relacionada con los datos de pendientes topográficas, confeccionado en función de un modelo digital del terreno (MDT), en cuanto a la exposición se ponderó desde muy alta a muy baja y por último, se obtuvo un mapa de afectación de la amenaza sobre los habitantes del sector.*

**Palabras claves:** Amenaza, Exposición, Peligro, Riesgo, GIS.

## INTRODUCCIÓN

Un apresurado dinamismo socioeconómico caracteriza a la región de la confluencia neuquina, que se traduce en el constante avance de la planta urbana hacia áreas no aptas para tal fin, generando cambios en los usos de suelo. Este crecimiento acelerado y sin planificación de las ciudades en general, y de la capital neuquina en particular, a lo largo de los años, ha experimentado una actividad urbana que se refleja en el actual ordenamiento territorial (Castro Correa, et al. 2008). Esto es, un ejido municipal desbordado por la demanda de uso de suelo residencial, arrojando como resultado la localización de asentamientos habitacionales que no consideran las condiciones de la dinámica físico-natural del área generando, que esos asentamientos, se construyan en sectores asociados a zonas de laderas de fuertes pendientes, cursos de agua temporarios

o permanentes y zonas inundables en cercanías a las riberas. Este es un escenario que demuestra la importancia del abordaje relacionado a las amenazas naturales generando situaciones de riesgo (Capua, et al. 2011). Lavell (2005) expresa que la amenaza solamente asume tal característica, cuando se establece una relación con un conjunto humano vulnerable, en otras circunstancias, reviste solamente la característica de un fenómeno físico (Lavell, 2005).

Desde esta perspectiva, se considera al Barrio Rincón de Emilio, localizado sobre la planicie de inundación del río Neuquén, como ejemplo de asentamientos, que vía la excepción al código urbano, involucra aspectos de interés para el análisis ante amenazas hidrometeorológica (pluvial o fluvial) que provoquen inundaciones, ya que las limitantes topográficas (meseta al W y cauce del río Neuquén al E) son de relevancia para su tratamiento. Por tal razón es interesante estudiarlo desde la perspectiva de la Gestión del Riesgo.

Lavell (2005) señala que el riesgo es el concepto fundamental en el análisis de un problema y no, el desastre como tal. El riesgo es dinámico: es un proceso, sin embargo, el desastre es un producto. La construcción social histórica de la ciudad de Neuquén no involucró al riesgo, el tratamiento comenzó muy recientemente a escala local y provincial con la implementación de políticas y acciones desde organismos públicos estatales. Los elementos fundamentales para el abordaje del riesgo son la planificación y el ordenamiento territorial, ambos definidos como instrumentos técnicos administrativos que orientan la localización y el desarrollo de asentamientos humanos, como así también, de actividades económicas, identificando potencialidades y limitaciones con criterios ambientales, económicos y sociales con la finalidad de garantizar una adecuada calidad de vida de la población (Viand, 2017), que en un conjunto integrado de elementos dichas transformaciones van definiendo las tendencias de crecimiento de los asentamientos, y por lo tanto la configuración de los territorios, a la vez que redefinen las condiciones y restricciones ambientales del área (Jurio, et. al. 2016).

En este marco, es que se aborda la temática del Riesgo y, específicamente el objetivo de estudio es identificar las dimensiones amenaza, exposición y peligro en el barrio Rincón de Emilio de la ciudad de Neuquén, Argentina. Los resultados implicaron una realizar una mirada retrospectiva en el tiempo, que permitió observar el crecimiento de la planta urbana entre los años 2003 al 2018 en Google Earth, junto a los datos proporcionados por el Censo Nacional de Población 2010. Para el procesamiento de los datos se requirió el uso de un Sistema de Información Geográfica (GIS).

### **Área de Estudio**

Sobre el nordeste de la capital neuquina, emplazado sobre la margen derecha del río Neuquén se encuentra el barrio Rincón de Emilio (figura 1), ocupa una superficie aproximada de 47 ha., siendo un tipo de asentamiento en continua expansión. Según datos del último censo de población y vivienda (2010)<sup>1</sup> habita en el lugar una población total 2023 habitantes. Los que se distribuyen en un total de 616 hogares, limitados por la costa del río Neuquén (al este) y por el frente de barda al oeste.

---

<sup>1</sup> Datos extraídos de la Dirección Provincial de Estadísticas y Censos de Neuquén



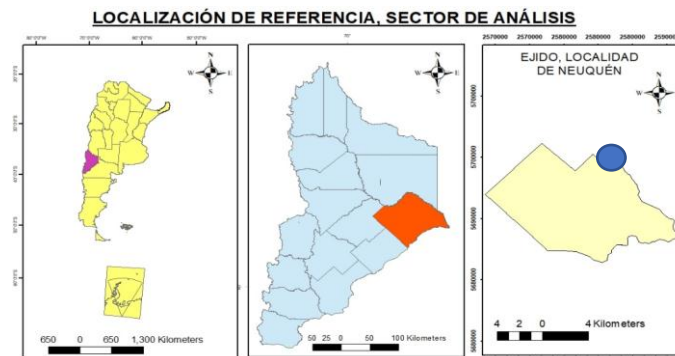


Figura N° 1. Localización de referencia del barrio Rincón de Emilio con respecto a la provincia de Neuquén (der) geográficamente sus coordenadas son: 38°55'81"S, 68° 3' 81"O

La topografía imperante hacia el E de la capital neuquina es descrita por Capua (2011) e indica que existen dos unidades ambientales que conforman el paisaje del lugar. Por un lado, se encuentran las superficies elevadas, las mesetas (también conocidas como Bardas), que se corresponden con antiguas terrazas fluviales de erosión y, por otro, el resultado del proceso de profundización, elaborado por el río Neuquén, el valle.

Las primeras, las bardas se caracterizan por una superficie plana y un escalón o desnivel que desciende hacia los valles fluviales. La litología se corresponde con el denominado “Grupo Neuquén” del Cretácico Superior y se conforma por rocas sedimentarias, es decir, estratos compuestos por sedimentitas clásticas (areniscas y pelitas) de colores rojizos depositados en un ambiente fluvial (Figura 2 a). Suprayacen a este grupo depósitos de grava, denominados rodados patagónicos, correspondiente a un estrato compacto y resistente, se compone por gravas de vulcanitas predominantemente básicas en matriz arenosa (Figura 2 b). La exposición a la acción del viento y al impacto de la gota de lluvia sobre este suelo es susceptible a los procesos erosivos, debido a la carencia de una cubierta vegetal.

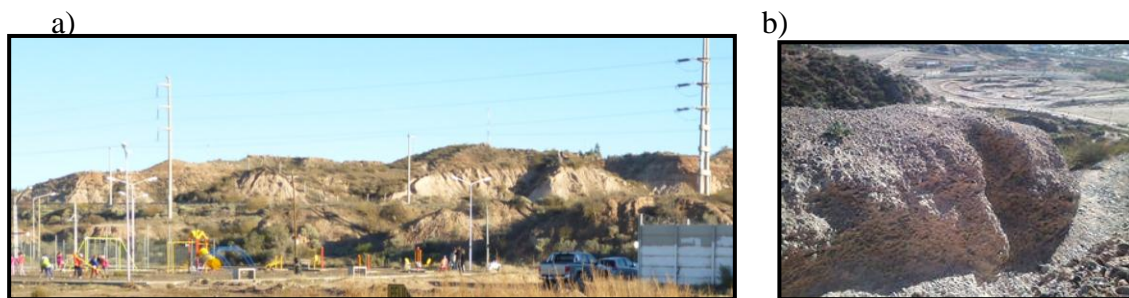


Figura 2: a) Meseta del sector de estudio con vegetación xerófila y los estratos expuestos. b) Escarpa de la meseta, mostrando los rodados cementados con carbonato cálcico.

La vegetación existente es del tipo xerófila, es decir, espaciada y achaparrada que se adapta a las condiciones climáticas de la región con precipitaciones escasas y torrenciales (pp 200 mm anuales), provocando que el frente de barda se encuentre disectado.

Los sedimentos resultantes se movilizan a partir del frente de barda y a lo largo de la pendiente para posteriormente depositarse en el piso de los valles, que terminan siendo

receptores de los detritos transportados desde las laderas que definen el frente mesetiforme.

Una segunda unidad geomorfológica es la planicie de inundación, la cual representa, una superficie aluvial adyacente al curso del río, se encuentra sujeta a inundaciones recurrentes. Esta planicie o llanura de inundación es el resultado de la depositación de materiales movilizados por la corriente fluvial y, es la que acopia y minimiza las variaciones que el caudal experimenta. Por ello, según González Díaz (1986) “juega un rol imprescindible para el mantenimiento del equilibrio y ajuste del sistema fluvial como respuesta a la diversas cantidades de agua y sedimentos acarreados” a causa de las diversas erogaciones del caudal (Capua 2011).

## MÉTODO

El relevamiento de campo fue la primera instancia de aproximación, se realizó una visita posterior a un día de lluvias intensas en la cual se corroboró:

- ⇒ Sectores de acceso, factibilidad y dificultad de movilidad vehicular y peatonal.
- ⇒ Escurrimiento superficial del tránsito de sedimentos a lo largo de los sectores de pendientes topográficas, desde la superficie de la meseta hasta la planicie de inundación.
- ⇒ Se observó las zonas anegadas dentro del barrio y la existencia de obras pluvioaluvionales que permitan el escurrimiento del agua precipitada.

El segundo relevamiento de campo, en días sin precipitaciones, implicó:

- ⇒ Identificación de lotes habitados y baldíos.
- ⇒ Mediciones respecto al perímetro del barrio, sectores de pendientes topográficas, mediciones sobre las distancias entre el caudal del río Neuquén y las edificaciones, etc.
- ⇒ Observación de la calidad y condición de las edificaciones.

Esto permitió corroborar con Google Earth, software libre, mediante la utilización de herramientas como la línea del tiempo, y realizar un análisis retrospectivo sobre el crecimiento urbano en el sector de estudio, superponer polígonos a las imágenes satelitales, elaboración de perfiles topográficos etc. Los resultados obtenidos se vincularon con los censos de población 2001 y 2010. Datos que luego fueron procesados en un sistema de información geográfica, con el objeto de obtener un mapa del crecimiento de la planta urbana, exposición y afectación ante amenazas hidrometeorológicas.

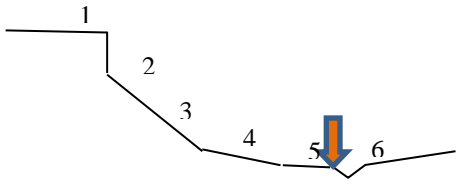
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados según los criterios de análisis, se han ponderados desde tres perspectivas: **zonas de origen, zonas afectadas y causas.**

Según las zonas de origen, es decir, donde se considera el elemento desencadenante del proceso, el análisis de la amenaza en el barrio Rincón de Emilio, implica criterios de estudio, que en palabras de Renda (2017), se contemplan la identificación, estudios y evaluación de amenaza(s) para determinar su potencialidad, origen, características,

comportamiento y posibilidad de que se transforme en un evento destructor y la planificación de medidas y acciones destinadas a mitigar sus posibles efectos negativos para las actividades humanas, económicas o ambientales.

Siguiendo esta línea se identificó la amenaza por inundaciones, ya sean de tipo pluvial y fluvial. La primera de ellas, está asociada principalmente a la manifestación de precipitaciones torrenciales que pueden tener mayores consecuencias según el grado de intervención antrópica que presente el lugar (Pérez. 2010), esto es asociando las características topográficas ya mencionadas en apartados anteriores. En lo que respecta al origen de la amenaza por precipitaciones o de tipo pluvial, en la región de la confluencia de la provincia, el régimen de precipitaciones varía entre los 180 y 200 mm anuales (Cogliati, et. al. 2018) y las de mayor relevancia e impacto son las de tipo convectivas (es decir, aquellas de corta duración e intensas). Al respecto, se destaca el elemento desencadenante del proceso asociado al frente de barda, zona de marcada peligrosidad y que se define por los sectores de pendientes de las mesetas como el escalón topográfico, la ladera y el pedimento (Porco. 2017), como podrá observarse en la figura 3, en donde se demuestra un perfil ideal de las forma que adquiere la geoforma (o forma del terreno).



#### REFERENCIAS

- 1-Superficie de la Meseta.
- 2-Escarpa/Escalón Topográfico.
- 3-Ladera/Talud.
- 4-Pedemonte/Piedemonte.
- 5-Planicie de Inundación/Bajada
- 6-Cauce río Neuquén.
- Localización del B°. R. Emilio

Figura 3: Perfil topográfico ideal de los distintos sectores de pendientes topográficas del sector de estudio

Estas diferencias de terreno o pendientes topográficas, pueden variar de mínima inclinación (0-5%) a un máximo de 15 o > de 20%, en la tabla I se ponderó los valores para el cálculo de pendientes, implementando un modelo digital del terreno (MDT)

Tabla I: Ponderación de las pendientes topográficas del ejido neuquino	
Pendiente en %	Pendiente según intensidad
0-5	muy suave
5-10	suave
10-15	moderada
15>20	Pronunciada

En la figura 4 pueden observarse los resultados obtenido mediante el procesamiento de un MDT para obtener los porcentajes de la inclinación de las pendientes junto a los valores mencionados en la tabla I. Esto arrojó que el área se encuentra sobre pendientes muy suaves (0-5%), correspondiendo al sector de la planicie de inundación. Para las pendientes más pronunciadas se obtuvo un porcentaje de 5-10%, ladera de la meseta (suaves). La particularidad en este caso, es la susceptibilidad de la roca a los procesos de erosión, junto a una escasa vegetación, que provocan la movilización, el transporte y el depósito del material detrítico por las cárcavas (cañadones),

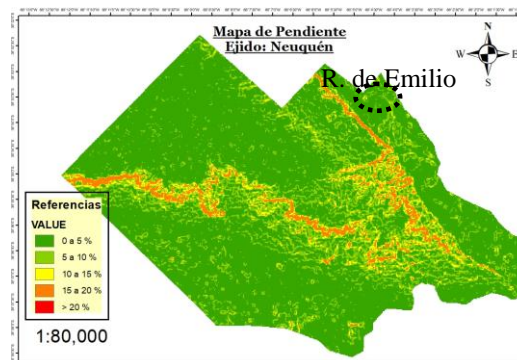


Figura 4: Pendientes topográficas del ejido neuquino. El área de estudio (hacia el NNE de la localidad) muestra pendientes de 0 a 10 %.

El relevamiento fotográfico que se obtuvo en las visitas al terreno muestra en la figura 5, el efecto de los agentes erosivos sobre el terreno



Figura 5: a (Izq) proceso de salinización y cárcavamiento de la ladera de la meseta, en un día posterior a las precipitaciones convectivas, características de la zona. En b (centro) se observan detritos que están en tránsito por una porción del terreno disectado. La figura c muestra el sector anegado, sobre la planicie de inundación.

Asimismo, la progresiva antropización de la planicie de inundación del río, se relaciona con la zona afectada, es decir, al área susceptible de sufrir los efectos, asociado consecuentemente con la variación de régimen del volumen del caudal, que sufren los ríos a causa de las máximas y mínimas erogaciones por temporadas, implicando que los períodos de estiajes de la corriente ofrezca posibilidades de aprovechar el suelo en diversos tipos de usos, como el urbano (Pérez. 2010), siendo estas las principales acciones demográficas que provocan el segundo tipo de amenaza, la fluvial. Considerando los aspectos físicos naturales expuestos con anterioridad a la peligrosidad que existe en el área del barrio Rincón de Emilio.

El perfil topográfico de la figura 6 resulta ilustrativo al respecto y señala los puntos en donde se asienta el barrio indicando el punto más bajo, cercano al cauce del río Neuquén y en el extremo contrario la cercanía al frente de barda, con intensa actividad antrópica que ha generado que el material suelto se encuentre propenso a ser movilizado por algún evento hídrico.



Figura 6: Perfil topográfico (Google Earth.) Zona de Planicie de Inundación en la margen derecha del río Neuquén, sobre la misma se encuentra Rincón de Emilio.

Un segundo criterios de análisis se considera las zonas afectadas. En períodos de estiaje, y por efectos del cambio de régimen que sufren los ríos como consecuencia de la existencia de las represas, dejan al descubierto grandes áreas “secas”, que son ocupadas por el hombre para diversos usos rurales y urbanos. En este último caso, es de donde se analiza la amenaza, el relevamiento realizado en el barrio dio como resultado un 80% de ocupación, la figura 7, muestra el incremento urbano, en el lapso considerado para este estudio desde el 2003-2018. La expansión ha sido constante, con períodos de máxima ocupación entre 2003 y 2006, actualmente la extensión del barrio ha dejado un porcentaje reducido de lotes baldíos, ver figura 7.

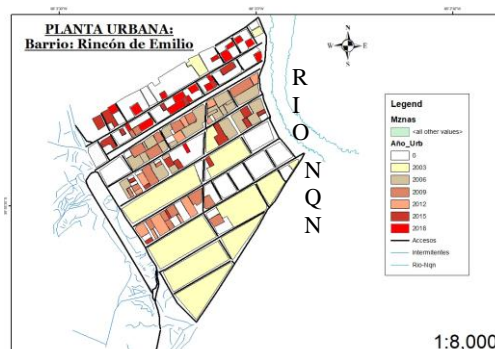


Figura 7: Planta urbana de Rincón de Emilio (Neuquén) desde el 2003 hasta el 2018, los valores ponderados en 0 (cero) indican terrenos baldíos a la actualidad.

No obstante, existen períodos en los cuales la erogación es máxima, provocando el anegamiento de la planicie. Al respecto, no se ha elaborado una defensa contra la respuesta del volumen del caudal como forma de protección ante un evento de crecidas del caudal del río, solamente existe un terraplén de 1 m de alto, el cual consta de sedimentos sueltos y colonizado por vegetación de tipo caducifolias (Figura 8).

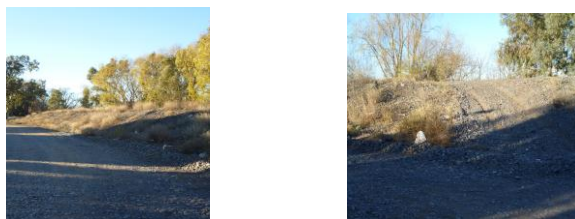


Figura 8: Terraplén, defensa de contención compuesta por grava y arena colonizada por vegetación, ante crecidas del caudal del río Neuquén en el B° R. de Emilio, fotografía tomada desde distintos sectores.

La Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC) describe en su página oficial con respecto al río Neuquén, que el régimen hidrológico natural, de rasgo pluvionival, se caracteriza por poseer doble onda de crecida. La primera de ellas ocurre en época



invernal, cuando se produce del 80 al 90 % del total de las precipitaciones que anualmente se contabilizan en la cuenca. Una parte importante de ellas, en forma de nieve, se acumula en la parte alta de la cuenca. La porción que precipita en forma de lluvia en la parte media y baja, es la que produce la onda invernal, caracterizada por poseer un pico de gran magnitud con relación al volumen que transporta. La segunda onda de crecida, más moderada que la invernal, es habitual hacia fines de la primavera. Tiene origen fundamental en la fusión de la nieve acumulada. Los estiajes son habituales en el comienzo del otoño.

El tercer criterio de análisis, hace mención a las causas, cuáles son las acciones que provocan el problema. Los asentamientos sobre la zona de la planicie de inundación están representados por viviendas de buena a muy buena calidad, con terrenos amplios, de elevado valor de cambio y con poca cantidad de personas viviendo en ellos. La figura 9, extraída desde la página oficial de la Dirección Provincial de Estadísticas y Censos de Neuquén, indica que para el año 2010 la calidad de las construcciones edilicias se clasifica como satisfactoria en un total de 560 hogares, donde la mayoría de los habitantes son propietarios de la vivienda y sólo del terreno (476).<sup>2</sup>

Barrios	Calidad constructiva de la vivienda	Régimen de tenencia							Total
		Propietario de la vivienda y del terreno	Propietario sólo de la vivienda	Inquilino	Ocupante por préstamo	Ocupante por trabajo	Otra Situación	No Corresponde	
Rincón de Emilio	Satisfactoria	432	4	113	9	0	2	0	560
Rincón de Emilio	Básica	42	1	7	2	0	0	0	52
Rincón de Emilio	Insuficiente	2	0	1	1	0	0	0	4
Rincón de Emilio	No Corresponde	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		476	5	121	12	0	2	0	616

Figura 9: Características de los hogares particulares según el régimen de tenencia y la calidad constructiva de la vivienda, censo nacional de población y vivienda 2010. B. Rincón de Emilio, Neuquén

Fuente: <https://www.estadisticaneuquen.gob.ar/barrios/index.html>

En estos casos, el análisis se enfoca en una elevada exposición –debido a la calidad y valor de las viviendas– y una baja vulnerabilidad social –debido al poder adquisitivo de las personas y al poco número de habitantes del lugar. Estas zonas coinciden con barrios como “Rincón de Emilio”.

En este marco, los resultados que se obtuvieron, mediante el análisis de las estadísticas del Censo Nacional de Población y Vivienda es el tipo de exposición de los residentes del lugar. Asimismo, se pudo verificar en las visitas al terreno que la calidad de la infraestructura de las viviendas es de buena calidad, con terrenos de amplias dimensiones, lo que recae en el valor de cambio de la propiedad. Según los datos del Censo Nacional 2010<sup>3</sup>, las viviendas se encuentran habitadas por una cantidad reducida de personas, lo cual indicaría un elevado grado de exposición ante las amenazas hidrometeorológicas. Según la figura 10, existen sectores en el barrio que se encuentran muy expuestos a la amenaza(s), se consideraron aquellas viviendas que se encuentran

<sup>2</sup> Datos extraídos de la Dirección Provincial de Estadísticas y Censos de Neuquén

<sup>3</sup> <https://www.estadisticaneuquen.gob.ar/barrios/>

más próximas al frente de barda, en donde los cursos de agua intermitentes afectan el sector oeste del barrio, en ese sector la exposición es de muy alta a alta. De igual manera, en el área cercana a la costa del río la exposición también se ha considerado con la valoración de alta y muy alta, siendo los sectores más expuestos. No obstante, esta situación, en el la figura también se muestran aquellas áreas dentro del barrio que poseen una valoración, en cuanto a la exposición, entre moderada y muy baja.

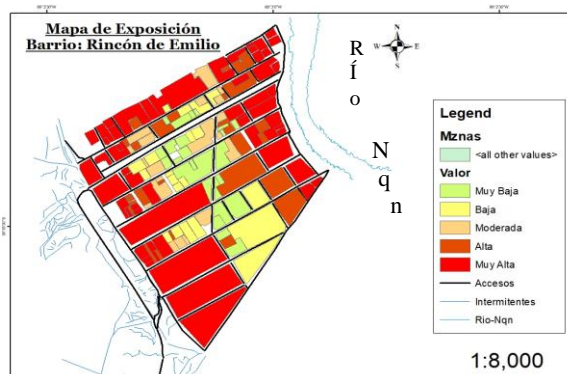


Figura 10: Mapa de exposicion del barrio Rincon de Emilio. Los valores representados con color verde indican muy baja exposición, en el extremo opuesto, los de color rojo, y los que mayor ocupación tienen en superficie, poseen una exposición muy elevada.

Es importante destacar, que la valoración que la figura 10 muestra es considerando la escala de análisis local.

Por último, luego del análisis que precede, se obtuvo como resultado un mapa de afectación (figura 11) en relación a la amenaza hidrometeorológica, esto es las zonas que se encuentran comprometidas a los efectos de producirse un evento de precipitaciones intensas (como las ocurridas en el año 2014) o en su defecto por erogaciones máximas que perturben el volumen del caudal.

La zona (1) se corresponde con el sector de la costa del río afectando a las viviendas más cercanas considerándose un área de afectación fluvial alta.

La zona (2) en donde se encuentra el pedimento en donde el escurrimiento superficial toma contacto con la planicie de inundación provocando que los elementos detríticos (sedimentos), que contienen las corrientes intermitentes de los cursos de agua, se depositen y acumulen, estimando que la afectación de tipo pluvial es muy alta; y,

La zona (3) en donde la afectación es de tipo fluvial y pluvial se ha valorado como muy alta.

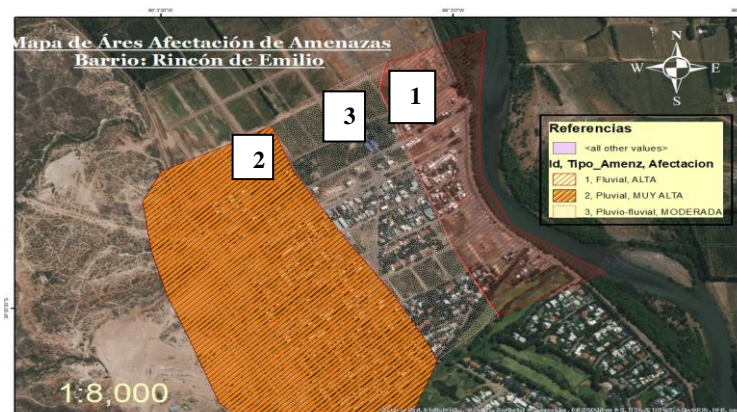


Figura 11: Mapa de afectación de amenazas hidrometeorológicas en Rincón de Emilio. Los polígonos marcados en la figura muestran la afectación indicando que la (1) de tipo fluvial es alta, la (2) de tipo pluvial es muy alta y la (3) pluvio-fluvial, moderada.

Desde una perspectiva socioeconómica se puede afirmar, junto con los autores utilizados en el presente trabajo, que la población que reside en el sector de estudio, debido a las posibilidades de acceso a la tenencia de la tierra, condiciones seguridad social, bienestar personal, capitalización económica de bienes materiales, nivel adquisitivo, entre otras características, se encuentran en la necesidad de construir sus viviendas en un área que consideran apta para cumplir con el sueño de la casa propia, en algunos casos, en otros, el deseo de invertir en el mercado inmobiliario. No obstante, en ambos casos mediante la promoción y la factibilidad de acceso a la permanencia y residencia en el lugar mediante las normativas que permiten la edificación en sectores no aptos para los fines urbanos.

En este sentido, el rol del Estado a escala local es fundamental y debe ser decisivo en la regulación de la ocupación del territorio. Para ello deberá articular los intereses, demandas y concepciones de los diferentes grupos sociales. Tarea fundamental a fin de lograr el crecimiento armónico del área y evitar la generación de situaciones conflictivas.

## **Conclusión**

Las ciudades han sido y siguen siendo en la actualidad un escenario de riesgo. Por tal razón, en este trabajo se ha puesto énfasis en los fenómenos físicos-naturales detonantes y en los impactos que se presentan ante eventos de amenazas. La mitigación del riesgo se relaciona íntimamente con las políticas de obras públicas y por ende con el ordenamiento territorial que los gobiernos realizan para una mejor calidad de vida de la población.

A estos efectos, se consideró el análisis de las dimensiones amenaza, exposición y peligrosidad que se presentan en el área de estudio, lo que requiere de una especial atención, ya que los resultados señalaron que existe una amenaza de tipo hidrometeorológica, y la localización de asentamientos habitacionales en zonas adyacentes a pendientes fuertes, con vegetación escasa y una alta susceptibilidad a la erosión hídrica perjudicarían a los residentes ante inundación de tipo pluvial, debido a que las lluvias torrenciales son predominantes en esta región. Asimismo, el asentamiento de la población sobre la planicie de inundación del río Neuquén, se ve afectada por la probabilidad de las inundaciones de la corriente sobre el área ya urbanizada.

En lo que respecta al estudio de la exposición, y considerando los datos del Censo Nacional de Población, junto al análisis de variables como calidad de la vivienda, condición socioeconómica, bienes materiales y la distribución espacial de la población

involucrada, arrojaron resultados que se pudieron observar en la cartografía resultante, indicando en el sector valores de elevada exposición.

Desde una perspectiva socioeconómica se puede afirmar que la población que reside en el sector de estudio, debido a las posibilidades de acceso a la tenencia de la tierra, condiciones seguridad social, bienestar personal, capitalización económica de bienes materiales, nivel adquisitivo, entre otras características, se encuentran en la necesidad de construir sus viviendas en un área que consideran apta para cumplir con el sueño de la casa propia, en algunos casos, en otros, el deseo de invertir en el mercado inmobiliario. No obstante, en ambos casos mediante la promoción y la factibilidad de acceso a la permanencia y residencia en el lugar mediante las normativas que permiten la edificación en sectores no aptos para los fines urbanos.

En este sentido, el rol del Estado a escala local es fundamental y debe ser decisivo en la regulación de la ocupación del territorio. Para ello deberá articular los intereses, demandas y concepciones de los diferentes grupos sociales. Tarea fundamental a fin de lograr el crecimiento armónico del área y evitar la generación de situaciones conflictivas (Jurio, et al. 2016).

Las herramientas que la tecnología actual brinda fueron utilizadas para el desarrollo de esta investigación. Los softwares que permitan el análisis de imágenes satelitales son de gran utilidad a la hora de un abordaje de las presentes características. Google Earth, de uso público y acceso gratuito permitió cotejar la información relevada y desarrollar una retrospectiva de las condiciones de expansión del barrio. Asimismo, el procesamiento de la información en los sistemas de información geográfica generan las herramientas con las cuales se puede visualizar mediante la generación cartográfica se realiza un análisis de suma importancia a la hora de realizar aportes para la toma de decisiones en el campo de las políticas de ordenamiento territorial.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Capua, O. Jurio, E. 2011. Componentes y Dinámica Natural del Ambiente –Ciudad de Neuquén. Boletín geográfico. Año XXXII N°33 -, pp 55 - 68. Departamento Geografía. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. ISSN 0326-173555

Castro Correa, C. Ortiz Véliz, J. Delgado, J. Jiménez, V. Quiroga, S. Sosa, E. Valenzuela, M. Sarmiento, J. 2008. Aproximación Metodológica a una Articulación entre Gestión del Riesgo, Gestión Ambiental y Ordenamiento Territorial. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Geograficando. Vol 4. N° 4. 159-177. ISSN 1850-1885.

Cogliati, M.G., Ostertag, G., Caso, M., Finessi, F.G. & Groch, D. (2018). Análisis del balance hídrico medio mensual en la provincia del Neuquén (Argentina). Boletín geográfico, 40(2), 26-44.

Grey de Cerdán, Amalia. 1998. Evaluación y Reducción de la Vulnerabilidad: un Enfoque Indispensable para la Gestión Territorial. Estudios Geográficos, Vol 59 Num 230. En:

[https://www.researchgate.net/publication/326360453\\_Evaluacion\\_y\\_reduccion\\_de\\_la\\_vulnerabilidad\\_un\\_enfoque\\_indispensable\\_para\\_la\\_gestion\\_territorial/fulltext/5](https://www.researchgate.net/publication/326360453_Evaluacion_y_reduccion_de_la_vulnerabilidad_un_enfoque_indispensable_para_la_gestion_territorial/fulltext/5)

[b4801eb0f7e9b4637d1cf20/326360453 Evaluacion y reduccion de la vulnerabilidad un enfoque indispensable para la gestion territorial.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.repositorio.cepal.org/es/publicaciones/b4801eb0f7e9b4637d1cf20/326360453-Evaluacion-y-reduccion-de-la-vulnerabilidad-un-enfoque-indispensable-para-la-gestion-territorial.pdf?origin=publication_detail)

- Herzer, Hilda. 2011. Construcción del Riesgo, Desastre y Gestión Ambiental Urbana: Perspectiva en Debate. Revista virtual Redesma. Octubre 2011. Vol 5 (2). Instituto de Investigación Gino Germani. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Jurio, E. Capelletti, V. Torrens, C. 2016. Construcción del Riesgo Ambiental en la Cuenca Superior del Río Aluminé-Provincia de Neuquén. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Humanidades. Departamento de Geografía.
- Lavell, Allan. 2005. Los conceptos, estudios y práctica en torno al tema de los riesgos y desastres en América Latina: Evolución y cambio, 1980-2004: el rol de la red, sus miembros y sus instituciones de apoyo. La gobernabilidad en América Latina. Balance reciente y tendencias a futuro. FLACSO. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Secretaría General.
- Pérez, German. 2010. Teoría Social del Riesgo y Cartografía Aplicada a la Ciudad de Neuquén. Boletín geográfico N° 32. pp.115-124. Departamento Geografía. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. ISSN 2313-903X (Electrónico)
- Porco, Vanesa. 2017. Crecimiento Urbano en la Periferia de la ciudad de Neuquén: zonas de inestabilidad en ladera y pedimento. Ambiente y Salud en un Área Periurbana de Neuquén. Condiciones del hábitat en asentamientos cercanos al área natural protegida “Parque de los Dinosaurios” Silvia Roca y Ana Manacorda compiladoras. Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud. Isbn 978-987-604-479-0. pp.235-259
- Renda, E. Rozas Garay, M. Moscardini, O. Torchia, N. 2017. Manual para la elaboración de Mapas de Riesgo. Buenos Aires. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. Argentina. Ministerio de Seguridad de la Nación. ISBN 978-987-1560-75-2
- Viand, Jesica. 2017. El Desafío Del Ordenamiento Urbano Con Enfoque En Reducción De Riesgos De Desastres. Una Revisión Del Caso De La Ciudad De Santa Fe (Argentina). Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA), Instituto de Geografía, Universidad de Buenos Aires, Argentina

## Otras fuentes

Dirección Provincial de Estadísticas y Censos:

<https://www.estadisticaneuquen.gob.ar/barrios/index.html>

Autoridad Interjurisdiccional de cuenca –AIC

<http://www.aic.gov.ar/sitio/home>

## Diarios locales

## Rio Negro

La Mañana de Neuquén



# DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL ARROYO EL TIGRE

Rumiz M.<sup>a</sup>, Jaymes G.<sup>a</sup>, Silva A.<sup>b</sup>, Tagliani M.<sup>a</sup>, Davite G.<sup>c</sup>, Cané A.<sup>b</sup>, Nader, G.<sup>d</sup>,  
Sánchez Proaño P.<sup>d</sup>, Folguera L.<sup>d</sup>, Solanes V.<sup>d</sup>, Gautier E.<sup>d</sup>, Ronconi L.<sup>d</sup>, Gutiérrez C.<sup>a</sup>,  
Bronca M.<sup>a</sup>, Olate M.<sup>a</sup>, Llorens I.<sup>a</sup>, Dieguez S.<sup>a</sup>, Cicerone, D.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Gerencia de Producción de Materias Primas, GASNyA, Comisión Nacional de Energía Atómica, ARGENTINA.*

<sup>b</sup>*Gerencia Proyecto de Remediación de la Minería del Uranio, GASNyA, Comisión Nacional de Energía Atómica, ARGENTINA.*

<sup>c</sup>*Gerencia de Gestión Ambiental, GASNyA, Comisión Nacional de Energía Atómica, ARGENTINA.*

<sup>d</sup>*Gerencia de Química, GASNyA, Comisión Nacional de Energía Atómica, ARGENTINA.*

e-mail: [rumiz@cnea.gov.ar](mailto:rumiz@cnea.gov.ar)

## RESUMEN

*En este trabajo se presentan las acciones que se están llevando a cabo para desarrollar el modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca del Arroyo El Tigre, donde se ubica el Sitio San Rafael (Complejo Minero Fabril San Rafael) de la Comisión Nacional de Energía Atómica, actualmente abocado a tareas de remediación ambiental, en el marco del Proyecto Nacional ARG/7/008 "Uso de Técnicas Isotópicas para la Mejora de la Gestión del Recurso Agua Subterránea". El complejo desarrolló actividades asociadas a la minería e industrialización del mineral de uranio entre fines de la década del 70' y del 90'. Desde entonces se han realizado modificaciones para adecuar las condiciones del sitio a uno en estado no operativo, de modo de propender a minimizar las interacciones de los remanentes de las actividades con el entorno. Se ha conformado un equipo de trabajo inter y multidisciplinario para trabajar en 7 ejes temáticos: geología, hidrología, hidroquímica, isotopía, modelado, laboratorios y gestión del proyecto. Al presente se ha desarrollado el modelo conceptual fuente-receptor del sitio; y, planteado los posibles modelos hidrogeológicos conceptuales y sus correspondientes hipótesis para su validación con fuentes de datos secundarias (estudios previos) y primarias (campañas geológicas, de monitoreo de parámetros físicoquímicos e hidrológicos de aguas superficiales y subterráneas, así como de caracterización isotópica de las mismas). Se espera, a partir de la obtención del modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca del Arroyo El Tigre, mejorar la gestión de los recursos hídricos en el Sitio San Rafael, contribuyendo al diseño e implementación del Proyecto de Ingeniería de Remediación del sitio.*

*Palabras Clave:* Modelo Conceptual Hidrogeológico, Cuenca Arroyo El Tigre, San Rafael, Mendoza, Isótopos

## INTRODUCCIÓN

El Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR), es un sitio de la Comisión Nacional de Energía Atómica, ubicado próximo a la localidad de 25 de Mayo en el departamento San Rafael de la provincia de Mendoza (ver fig.1). El complejo se desarrolla

principalmente sobre la cuenca del Arroyo El Tigre que es un afluente del Río Diamante. Esta cuenca se emplaza dentro de un conjunto de serranías denominada Sierra Pintada, pertenecientes a la unidad geológica del Bloque de San Rafael. Sus límites naturales son hacia el O y S la Pampa del Diamante, al N la cuenca del arroyo Pedernera y al E el Río Diamante. En la parte baja de la cuenca se emplaza el Sitio San Rafael, Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR), perteneciente a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el cual realizó tareas de extracción y tratamiento del mineral de uranio desde el 1975. La explotación del mismo se hizo a cielo abierto a través de cuatro canteras y su concentración a través de pilas de lixiviación o *heap leaching* con solución de ácido sulfúrico, para luego recuperar el uranio en la planta de tratamiento con un sistema de resinas de intercambio. La actividad minera extractiva se realizó hasta el año 1995 y la planta operó hasta el año 1999, habiéndose recuperado 1012 toneladas de uranio y convirtiéndose en la mayor explotación uranífera del país. Actualmente, el sitio se encuentra acondicionado para un estado no operativo, el cual consta de un monitoreo ambiental, el mantenimiento de las instalaciones y la realización de trabajos destinados a la puesta a punto de las mismas, en vista del futuro tratamiento de los pasivos ambientales allí presentes. Recientemente, la CNEA obtuvo la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) otorgada por la Dirección de Protección Ambiental de la Provincia de Mendoza, para llevar a cabo las acciones de la primera fase de remediación, la cual comprende los pasivos: agua de cantera y residuos sólidos.

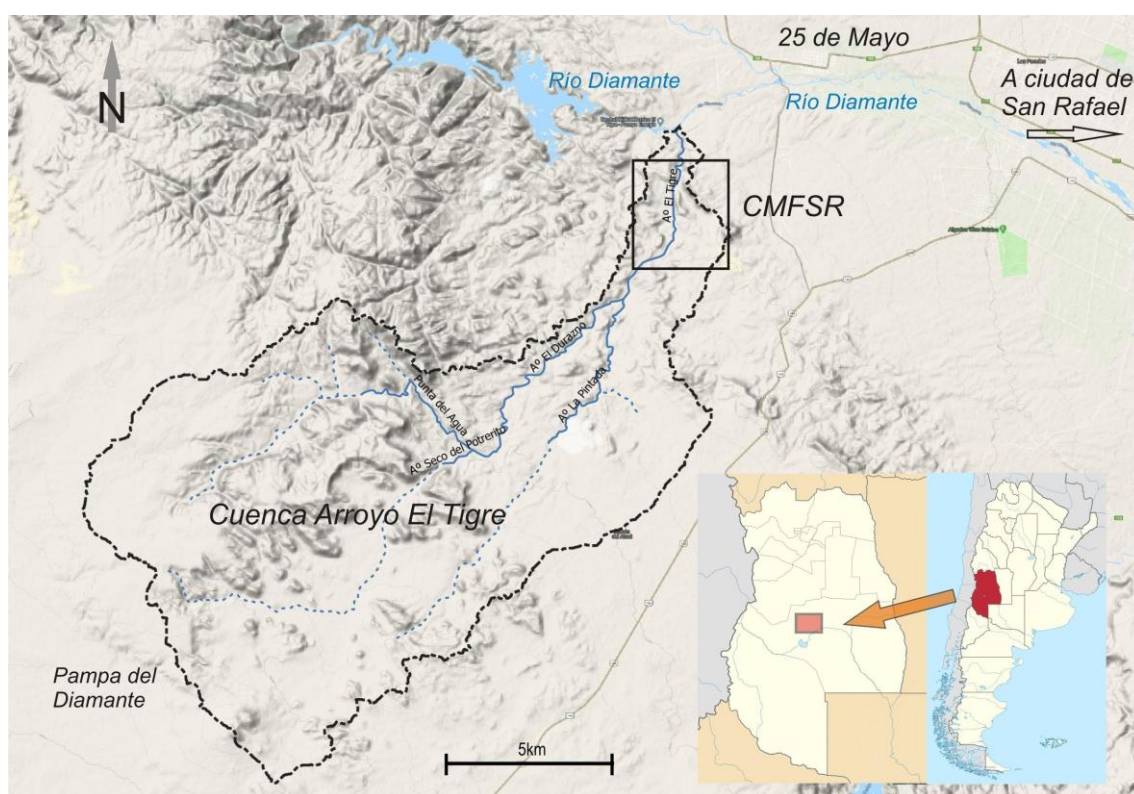


Figura 1 - Ubicación de la cuenca del Arroyo El Tigre y del Complejo Minero Fabril San Rafael.

Con el objetivo de mejorar la gestión del recurso agua se partió de la elaboración de un modelo conceptual del Sitio (MCS) del tipo fuente-receptor (F-R) (ver fig. 2). Esta herramienta de gestión ambiental es una representación escrita o gráfica de un sitio

sujeto a remediación ambiental (IRAM, 2016). Su elaboración requirió identificar las fuentes de contaminación (canteras, colas de mineral, áreas de diques, mineral marginal, escombreras de estériles y manifestaciones de uranio) y los procesos que determinan la liberación de contaminantes (por ejemplo lixiviación); el tipo de contaminantes (metales, acidez, nutrientes, material particulado, radón); las rutas de migración a través de los distintos factores ambientales (aire, agua superficial y subterránea, suelos, ecosistemas, medio socioeconómico y cultural), y, la identificación de los receptores ambientales (por ejemplo, atributos del paisaje, población, ganado).

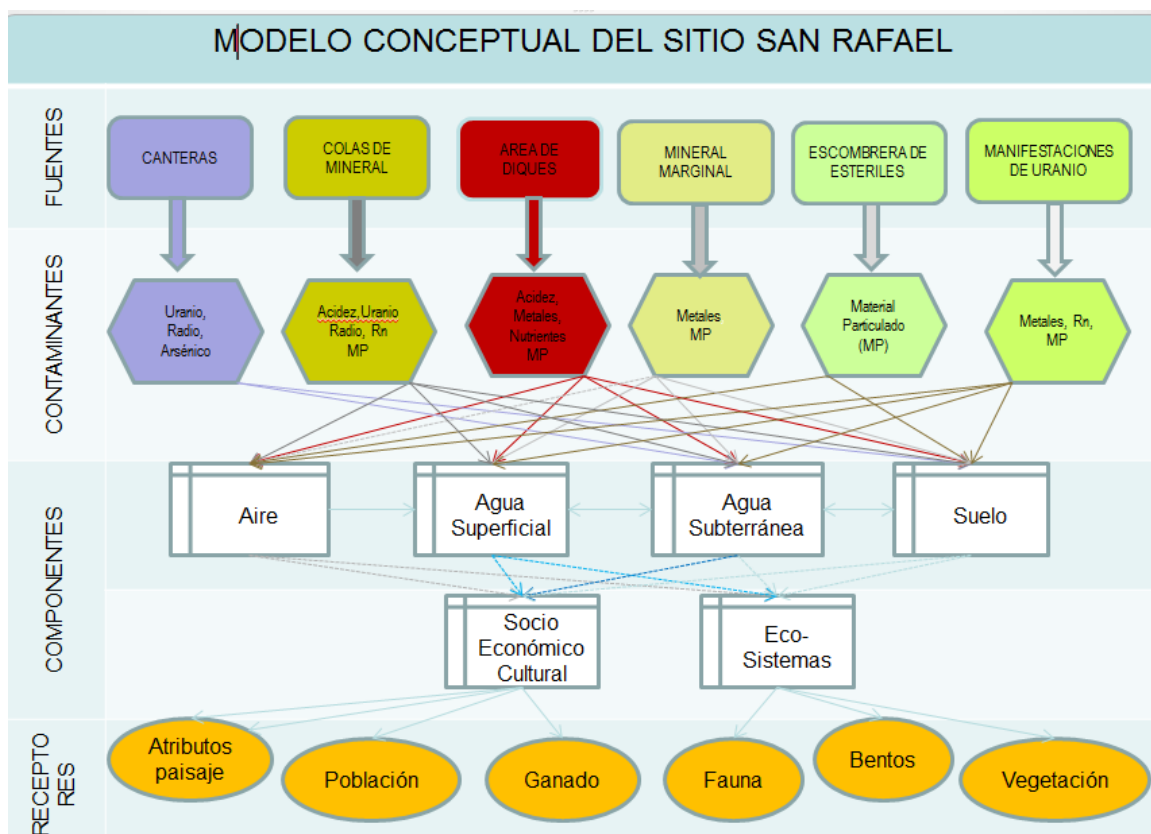


Figura 2: Modelo Conceptual del Sitio San Rafael. Fuente: Diéguez *et al.*, 2018

Luego de elaborado el mismo se decidió refinar el factor ambiental agua (superficial y subterránea), impactado por los residuos generados en la etapa de operación del CMFSR, a partir de la elaboración de un modelo conceptual hidrogeológico regional y local; con el propósito de contribuir al diseño e implementación del proyecto de remediación de los pasivos ambientales mineros.

En este trabajo se presenta la organización, las hipótesis de trabajo y las acciones necesarias para el desarrollo del modelo conceptual hidrogeológico (MCH) del sitio San Rafael.

## **MÉTODO**

### **Organización**

El desarrollo del modelo conceptual hidrogeológico del Sitio San Rafael requiere del trabajo interdisciplinario y coordinado de más de 30 profesionales y técnicos; como así también un cuerpo de 8 revisores de destacada trayectoria. El trabajo se organiza en siete ejes temáticos: geología estructural, hidrología, laboratorios, hidroquímica, isotopía, modelado y coordinación.

### **Hipótesis de Trabajo**

Con el propósito de obtener la información necesaria para la definición del modelo conceptual hidrogeológico, se definen nueve hipótesis. Estas se estructuran en función de verificar las áreas de carga y de descarga del agua subterránea y los flujos del agua subterránea y su interacción con las actividades desarrolladas en el CMFSR.

#### **HIPÓTESIS DE RECARGA**

Hipótesis 1: Área de recarga en la Cordillera de Los Andes.

Hipótesis 2: Área de recarga en la cabecera de la cuenca del A° El Tigre.

Hipótesis 3: Área de recarga en la cuenca del A° El Tigre.

Hipótesis 4: Área de recarga en la Cordillera de Los Andes y en la cuenca del A° El Tigre.

#### **HIPÓTESIS DE DESCARGA**

Hipótesis 1: Descarga del agua subterránea exclusivamente a través del A° El Tigre.

Hipótesis 2: Descarga parcial del agua subterránea a través del A° El Tigre.

#### **HIPÓTESIS DE FLUJOS LOCALES**

Hipótesis 1: Conexiones entre las canteras Tigre III y Gaucho I-II, y el A° El Tigre.

Hipótesis 2: Conexiones entre las canteras Tigre I, La Terraza y el A° El Tigre.

Hipótesis 3: Recarga local y conexión de flujos de agua subterránea entre zonas de las cuencas del A° Pavón, A° Gendarmería y A° El Toscal.

En función de estas hipótesis se estructuran diversos modelos conceptuales hidrogeológicos hipotéticos, tales como los que se presentan en la figura 4.

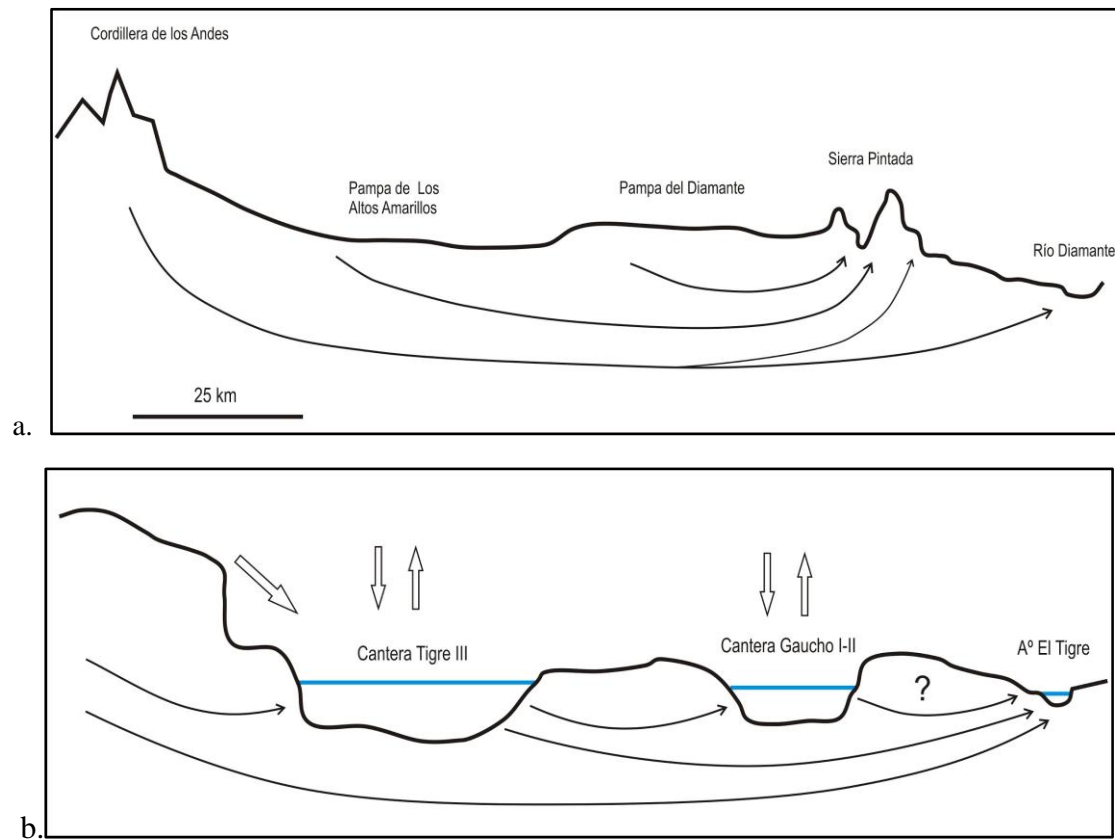


Figura 4: Modelos Hidrogeológico Conceptuales Hipotéticos a. Áreas de carga y descarga del acuífero, b. Interconexión entre canteras y A° El Tigre. Fuente: Rumiz et al. (2019)

## Ejes Temáticos

Para validar cada una de las hipótesis se plantea la necesidad de caracterizar las propiedades hidráulicas de los acuíferos; los niveles piezométricos, los flujos de aguas subterráneas y su relación con los componentes del ciclo hidrológico; la signature química e isotópica de los distintos cuerpos de agua; las zonas de recarga, tránsito y descarga; y, la interacción del agua subterránea con los pasivos de la minería del uranio.

El trabajo se organiza en función de ejes temáticos definidos, en los cuales se desarrollan productos a partir de actividades que se detallan a continuación.

## Geología Estructural

El medio geológico ejerce una fuerte influencia en el control de los procesos hidrogeológicos de una cuenca. En el área de estudio existe un predominio de rocas ígneas y volcanoclásticas de edades carboníferas y pérmicas sobre un basamento metamórfico de edad ordovícico (Rodríguez y Valdiviezo, 1984) correctamente descritas por la CNEA durante la exploración y posterior producción de uranio. Estas rocas se encuentran fuertemente afectadas por la deformación producto de diferentes ciclos diastróficos desde el carbonífero hasta el ciclo ándico (Japas et al. 2008). En este eje temático se describe la geología estructural a partir de la cual se evalúa la factibilidad del desarrollo de acuíferos, vertientes y cursos de agua, así como las



características químicas que la litología y la estructura podrán transferir al agua en contacto con la misma.

Los productos a desarrollar por esta área son: el mapa geológico-estructural del área de influencia de la cuenca del A° El Tigre; el mapa geológico-estructural de detalle área de pasivos CMFSR; la caracterización del sistema de fracturación frágil; los cortes geológicos esquemáticos y de detalle en sectores de interés hidrogeológico; la representación 3D del sistema de fracturas, fallas y diaclasas (block diagrama esquemático).

Las actividades planificadas para alcanzar estos productos incluyen, entre otras: un estudio del patrón de fracturamiento principal regional, familias de fracturas mediante imágenes satelitales estándar y procesadas y fotografías aéreas y en campo; la definición de la cinemática de la deformación involucrada en el desarrollo del fracturamiento; el estudio del patrón de fracturamiento local en detalle, en cada litología presente (rumbo, buzamiento, continuidad, espaciamiento, rugosidad, apertura, frecuencia, rellenos, etc.), fallamiento y producto cataclástico asociado; definición de fábrica de las areniscas y tobas (mineralogía, textura, alteraciones, efectos de la deformación, tipo de deformación); estudio familias de diaclasas y su grado de desarrollo (rumbo, buzamiento, continuidad, espaciamiento, rugosidad, apertura, frecuencia); estudio de microestructuras mediante microscopio óptico en secciones delgadas de muestras orientadas; construcción de block diagrama esquematizado con información geológica-estructural.

## **Hidrología**

Esta área de trabajo describe la circulación del agua en el sitio San Rafael. Los estudios previos desarrollados por el Instituto Nacional del Agua, muestran que la característica del acuífero desarrollado en el área de estudio es la de un medio fracturado (Salvioli et al., 1984; Rodríguez et al., 2016). Para el desarrollo de este trabajo se cuenta una base de datos hidrológica e hidrometeorológica que provienen de las mediciones sistemáticas de niveles de agua en los piezómetros y canteras del sitio, del registro del caudal del arroyo y de la estación meteorológica que allí se encuentra.

Los productos a desarrollar por esta área de trabajo incluyen la elaboración de: mapas piezométricos con información integrada tanto a nivel regional como local; un mapa de las posibles áreas de recarga; el mapa de valores estimados de coeficientes de permeabilidad del terreno; el análisis de la respuesta de los niveles piezométricos a través de mediciones en continuo; el balance hidrometeorológico en cada una de las canteras; el balance hídrico a nivel regional y local; la estimación del tiempo de residencia del agua subterránea.

Las actividades planificadas para alcanzar estos productos son entre otras: revisión de series históricas y nuevos datos hidrológicos que surjan de las campañas de mediciones de nivel de agua en el CMFSR tanto en piezómetros, canteras y arroyos y ríos; realización de campaña de caracterización y perfilado de piezómetros; medición de niveles y análisis de respuesta en piezómetros y cantera en función de las mediciones realizadas (continuas y periódicas); realización de ensayos para la definición de parámetros hidráulicos; estimación del tiempo de residencia del agua subterránea en el

sitio; realización de un balance hidrometeorológico en cada una de las canteras y a nivel local y regional en función de las hipótesis planteadas; el análisis e interpretación de información y elaboración de mapas; la elaboración de informes y mapas con resultados; y, la verificación o rechazo de los parámetros hidrológicos asociadas a cada hipótesis.

### **Hidroquímica**

Este eje temático permite evaluar los tipos de agua a partir de la medición de parámetros fisicoquímicos que contribuyen a: identificar aguas fuente; evaluar procesos de conexión entre el agua subterránea y los cursos y cuerpos de agua superficiales; caracterizar el impacto ambiental de actividades mineras desarrolladas en el sitio, incluyendo su progresión espacial y temporal sobre el recurso hídrico. Existen estudios previos de calidad del agua realizados por la gerencia de Producción de Materias Primas de la CNEA y el Instituto Nacional del Agua.

Los productos a desarrollar por este eje temático incluyen la elaboración de Diagramas de Piper y Stiff, matrices de correlación, análisis de componentes principales, mapas de isolíneas de concentración de aniones, cationes, conductividad eléctrica y pH, y distribución espacial de uranio en el sitio.

Las actividades planificadas para alcanzar estos productos son: el diseño e implementación de campañas de muestreo de aguas superficiales y subterráneas en las que se realizarán determinaciones *in situ* (pH, conductividad eléctrica, potencial redox y temperatura) y en laboratorio (nitratos, sulfatos, cloruros, fluoruros, silicatos y alcalinidad total y por bicarbonatos, amonio, calcio, magnesio, sodio, potasio, aluminio, arsénico, hierro, manganeso, radio y uranio); análisis estadístico de los resultados; análisis de mezclas de aguas e identificación de trazadores de contaminación de origen minero; y, mapeo de los resultados; entre otras.

### **Isotopía Hidrológica**

Este eje temático se propone contribuir a la identificación del área de recarga del acuífero; la “edad” y el tiempo de residencia del agua subterránea; las interconexiones entre el agua subterránea y los cursos de agua superficiales; y, la relación entre el agua subterránea y los pasivos de la minería del uranio a partir la caracterización de la línea meteórica local; la determinación de los procesos relevantes de fraccionamiento isotópico (evaporación; precipitación; temperatura; altura; entre otros).

Algunas de las actividades planificadas para alcanzar estos productos son: diseño e implementación de campañas de monitoreo de agua de lluvia, superficial y subterránea, dentro y en el entorno del CMFSR; el análisis de los datos de isótopos  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  y  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ .

### **Modelado:**

Este eje temático desarrolla un modelo matemático de circulación del agua en el sitio San Rafael a partir del Modelo Hidrológico Conceptual el que constituirá la base sobre la cual se podrá simular la respuesta hidrológica del sistema, ante distintos escenarios.

Para esto se prevé el desarrollo de las siguientes tareas, definición del alcance y geometría del modelo; diseño de segmentación; definición de condiciones de borde; carga de inputs del modelo: cálculos de recarga, estimación de parámetro hidrodinámicos, niveles piezométricos iniciales; y calibración del modelo.

## **Laboratorio**

Durante el desarrollo de este proyecto se trabajará con los laboratorios de la CNEA para la determinación de parámetros convencionales y con laboratorios externos a esta institución, para la determinación de parámetros isotópicos.

La ejecución del proyecto permitirá el fortalecimiento de las capacidades del laboratorio químico del Complejo Minero Fabril San Rafael y se instalará un laboratorio con capacidad para la determinación de isótopos estables en el Centro Atómico Constituyentes.

## **Coordinación**

Esta área de trabajo es la responsable de la articulación entre los distintos ejes temáticos; el seguimiento de la planificación consensuada; la comunicación interna y externa de los resultados del proyecto; y, la articulación con el Organismo Internacional de Energía Atómica y el Instituto de Hidrología de Llanuras a través de la Gerencia de Relaciones Institucionales.

A medida que cada eje temático produzca nueva información ambiental, se analizará e interpretará en forma iterativa en pos de la construcción del modelo hidrogeológico conceptual del sitio.

## **CONCLUSIÓN**

El diseño y validación del modelo conceptual hidrogeológico del sitio San Rafael utilizando isótopos naturales requiere de: un equipo interdisciplinario; una organización; y, una adecuada planificación que permita discutir los resultados en el contexto de las características geológicas, hidrológicas e hidroquímicas del sitio.

## **REFERENCIAS**

- Diéguez, S., Rumiz, M., Jaymes G. “Documento Maco- Sitio San Rafael”. Comisión Nacional de Energía Atómica. San Rafael (2018).
- IRAM - Instituto Argentino de Normalización y Certificación “Norma Argentina IRAM 29598:2016. Calidad de ambiental. Desarrollo de modelos conceptuales para sitios contaminados”. (2016)
- Japas M., Salvarredi J., Kleiman L. “Control Estructural en la Distribución de las Mineralizaciones de Uranio del ciclo Choiyoi, Bloque de San Rafael, Mendoza”. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (2): 204 – 212. (2008).

Rodríguez A., Poblete M., García E., Ferrés C. “Recopilación, Revisión, Actualización y Análisis de la Información Hidrogeológica, Hidrológica e Hidroquímica. Área del Complejo Minero Fabril San Rafael y de la Planicie Sanrafaelina”. Convenio Instituto Nacional del Agua - Comisión Nacional de Energía Atómica. Acta Complementaria N° 7. Informe Técnico - IT 358. (2016).

Rodríguez, E. J. y Valdiviezo, A. “Informe sobre los resultados de la investigación geológica semiregional (perfiles y plano geológico) en el área de las manifestaciones nucleares de Sierra Pintada.” CNEA (informe inédito), 44 p., Buenos Aires. (1970).

Rumiz M., Jaymes G., Silva A., Cané, A., Nader, G., Gutiérrez C., Olate M., Folguera, L., Avato, A., Davite M., Sánchez Proaño P., Solanes V., Toriggia I. “Proyecto ARG/7/008. Hipótesis de Trabajo”. Comisión Nacional de Energía Atómica. (2019).

# EVALUACIÓN DE UN TRAMO DE LA RUTA PROVINCIAL N° 7 AFECTADA POR PROCESOS PERIGLACIALES EN EL NW ARGENTINO

Saccone Paolo F.<sup>a,c</sup>, Ahumada Ana L.<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Geología del Cuaternario y Paleoclimas, Fundación Miguel Lillo, Tucumán  
ARGENTINA

<sup>b</sup>CONICET

<sup>c</sup>Facultad de Cs. Naturales- UNT,

e-mail: [pfsaccone@lillo.org.ar](mailto:pfsaccone@lillo.org.ar)

## Resumen

*La relación entre las obras civiles y los procesos dominantes en los ambientes criogénicos en el hemisferio sur y más específicamente en los entornos de alta montaña, recién en las últimas décadas comenzó a adquirir relevancia. Las características geomorfológicas y climáticas de los cordones montañosos del NW argentino permiten definir ambientes periglaciales por encima de los 4000 msnm. El acceso a las comunidades de altura se realiza por los faldeos montañosos que poseen menor pendiente, como es el caso de la ruta provincial n° 7 en la sierra de Santa Victoria, la cual vincula el pueblo homónimo, con la ciudad de la Quiaca. Esta comunidad, una de las más septentrionales de nuestro país sólo tiene acceso a través de la mencionada ruta, la cual posee las características de material consolidado sin asfaltar. A lo largo del tramo (comprendido entre el abra de Lizoite a 4500 m.snm aprox. y el punto de coordenadas geográficas S 22°13'6.40" y W 65°10'7.20" a 4458 m.snm), la vía de comunicación se ve afectada por procesos geológicos diversos, que influyen de manera significativa en la funcionalidad y buen estado de la misma. Para la elaboración de este trabajo se interpretaron imágenes satelitales en búsqueda de indicadores de la problemática, durante las tareas de gabinete y se llevaron a cabo dos campañas en las cuales, se pudo desestimar y en otros corroborar y dimensionar lo observado en gabinete. Con esto se logró identificar y relevar de manera preliminar seis sitios geocriológicamente importantes sobre la traza del camino. Se destacan: Glaciares de Escombros, Morenas Glaciares, Taludes Detríticos y Lóbulos de Gelifluxión. Con este trabajo de base se inicia el proceso de investigación, en cual con seguridad devendrá en estudios más detallados, donde se abordará de manera intrínseca cada sitio inventariado.*

**Palabras Claves:** Rutas, Ambiente Periglacial, Vulnerabilidad Geológica.

## Introducción

El conocimiento del vínculo existente entre las obras civiles y los procesos dominantes en los ambientes criogénicos en el hemisferio norte, en territorios como Alaska y en grandes extensiones como la estepa rusa llevan más de cien años de desarrollo. En el hemisferio sur y más específicamente en los entornos de alta montaña, recién en las últimas décadas esta temática comenzó a adquirir relevancia. En muchos casos fue por intereses del orden privado, en otros, por requerimientos de obras públicas, por proyectos internacionales etc... A partir del conocimiento sobre la existencia de ambientes periglaciales en el NOA y de la identificación de permafrost tipo insular a partir de los 4000 msnm, surgen nuevos interrogantes, uno de ellos y de gran importancia, se debe a que antiguamente y aún hoy el acceso a las comunidades de



altura se realiza por los faldeos montañosos que poseen menor pendiente. Tal es el caso de la sierra de Santa Victoria que posee distintos poblados en sus sectores septentrionales y centrales. Al recorrer dichos caminos en su mayoría enripiados / consolidados, se observa un dinamismo casi permanente lo cual no sólo genera inconvenientes a la hora a de su mantenimiento por parte de las autoridades pertinentes, sino también una serie de interrogantes producto de su deterioro o modificación casi indefectible, en pos de encontrar soluciones.

### **Ubicación Y Características Generales Del Área De Estudio**

La provincia Geológica de Cordillera Oriental está constituida por diferentes serranías, la sierra de Santa Victoria, donde se realizó este estudio, es la cadena montañosa más septentrional de este sistema morfoestructural que se extiende hasta el país vecino de Bolivia. Dicha sierra configura el límite interprovincial entre Jujuy y Salta, “ver Fig. 1”. Con el mismo estilo estructural que caracteriza a la provincia a la cual pertenece, presenta un basamento fallado y plegado, desplazado hacia el este sobre las Sierras Subandinas. Presenta una disposición meridional en su tramo septentrional variando este rumbo a nor- nordeste /sur – sudoeste en su tramo austral. La sierra de Santa Victoria presenta cotas superiores a los 5000 m s.n.m., como por ejemplo el Cerro Fundición con 5050 ms.n. m. Las rocas cristalinas de edad Precámbrica / Eocámbrica pertenecen a la Formación Puncoviscana (S.L.). Suprayacentes están las areniscas Cámbricas del Grupo Mesón; le suceden las lutitas y areniscas Ordovícicas del Grupo Santa Victoria las que son cubiertas por acumulaciones clásticas del Pleistoceno Superior y Holoceno.

Respecto al clima, tomado de Ahumada *et al*, 2015, los datos más cercanos provienen de la Estación Meteorológica de la Quiaca dependiente del Servicio Meteorológico Nacional, ubicada a 3459 ms.n.m. Los valores de las precipitaciones son de 322 mm/año y la temperatura media anual del aire es de 9.4°C, promedio período 1908 – 1990, (Bianchi y Yañez, 1992). Esta localidad, registra poca variación climática estacional pero con una amplitud térmica diaria muy marcada. Los días son cálidos con temperaturas máxima media anual de 19 a 20°C y las noches son frías con temperaturas mínima media anual de 0 a -2°C (Minetti, 2005). Teniendo en cuenta el gradiente altitudinal de 0.8°C/ 100 m (ajustado por Kull *et al.*, 2003) y en base a los datos de la Estación Meteorológica arriba citada, calculamos por extrapolación, la temperatura media anual del aire para una altura promedio de 4400 ms.n.m., que resultó de unos 1,9°C aproximadamente y para los 4600 ms.n.m. de 0,3°C aproximadamente.



Figura 1: Ubicación del área de estudio

### **Objetivo**

El objetivo de este trabajo fue el de identificar y relevar de manera preliminar, sitios geológicamente vulnerables, sobre la ruta provincial nº 7 a lo largo del tramo (comprendido entre el abra de Lizoite y el punto de coordenadas geográficas S 22°13'6.40" y w 65°10'7.20"). En este sector, la traza del camino se ve afectada por procesos geológicos diversos, q afectan de manera significativa la funcionalidad y buen estado de la misma. De esta manera se buscó acceder un estudio de base para trabajos posteriores, donde puedan diferenciarse los que son netamente geocriogénicos de los restantes, (evaluando cada caso en particular como lo amerita el contexto local, si se debe a la presencia de permafrost, congelamiento estacional, o ciclos diarios de congelamiento y descongelamiento). Con esto además de marcar otro antecedente en la región, se pretende por medio de la geología aplicada, brindar nuevas herramientas a los organismos responsables de las obras viales, como así también proporcionar tanto a los pobladores de la región como a la comunidad geológica en general, el conocimiento de lo que es posible (factible) o no de realizar en lo referido a construcciones y demás obras civiles.

### **Metodología**

Durante las tareas de gabinete se seleccionó, mediante el empleo de imágenes satelitales, la ruta más representativa de la problemática en la zona, considerando para esto la relación entre el tránsito humano y las interferencias geológicas presentes en el camino. También se confeccionó una planilla de campo, con una secuencia de ítems geológicos pensados para evaluar cada sitio de interés; agilizando con esto la toma de datos en cada una de las paradas. Como tareas de campo y cuyo principal objetivo, fue el de corroborar o desestimar, los procesos observados e inferidos por medio del uso de imágenes satelitales en gabinete; se realizaron dos campañas en los (años 2017 y 2018). Este proceso debe realizarse siempre y de manera indefectible dado que los fenómenos geocriológicos deben monitorearse con periodicidad y corroborarse in situ, debido a su dinamismo casi permanente.

### **Resultados**

Para un total de seis sitios inventariados, comprendidos dentro de un rango altitudinal que va desde los 4281 hasta los 4536 msnm, aproximadamente, se han identificado cuatro geoformas que afectan notablemente la traza del camino. El grado de vulnerabilidad y/o deterioro, que presenta la ruta en cada uno de estos sectores, es lo que ha permitido seleccionarlos como los más representativos. En muchos casos, sería posible ampliar su descripción por medio de una clasificación cualitativa, sin embargo, ya que no es el objetivo de este trabajo, el dimensionar la magnitud de dichos procesos, aquí sólo se presentan los puntos catalogados como los más vulnerables para el tramo en cuestión.

Punto nº1: ubicado a 17.78 km viniendo desde el abra de Lizoite rumbo al pueblo de Santa Victoria, aproximadamente a 4458 ms.n.m. En este sitio la traza del camino corta perpendicularmente a una morena glaciaria. Esta geoforma constituye parte de un sistema geomorfológico más complejo, ya que está asociada a otras geoformas contiguas. Hacia el frente y sobre su flanco occidental, la misma está liberando agua y presenta vegetación del tipo turberas, vinculada a este sistema hidrológico.

Punto nº2: ubicado a 18.18 km, viniendo desde el Abra de Lizoite rumbo al pueblo de Santa Victoria, aproximadamente a 4438 ms.n.m., en este sitio la traza del camino corta

el frente de un Glaciar de Escombros (conocido como G.E. el Negro), “ver Fig. 2”. Dicho glaciar está constituido a partir de una serie de prótalus, y a su vez también formaría parte del mismo sistema crio-geomorfológico, junto con la morena citada en el punto 1.



Figura 2: Evolución del trazado de la ruta a través del tiempo. El camino actual corta en un sector a la geoforma.

Punto n°3: ubicado a 12.71 km, viniendo desde el Abra de Lizoite rumbo al pueblo de Santa Victoria, a 4458 ms.n.m. En este sitio la traza del camino corta nuevamente a un Glaciar de Escombros complejo (conocido como G.E. Ricardo). Dicho glaciar además de tener sectores tanto activos como inactivos, con evidencia de degradación, presenta un frente activo el cual ha sido cortado por el actual camino. Sumado a esto, la corriente de agua que surge de él, y la turbera asociada a una de sus márgenes la aporta al sitio en cuestión la degradación ocasionada por el tránsito de animales. El elevado nivel de degradación que presenta el camino aquí, está preservado por un precario pavimento de bloques. (Ver Ahumada *et al.* 2011)

Punto n°4: ubicado a 12.44 km, viniendo desde el Abra de Lizoite rumbo al pueblo de Santa Victoria, a 4444 ms.n.m. Se trata de un talud detrítico con pendiente muy pronunciada “ver Foto1”. El punto inventariado corresponde, al sector de la ruta que exhibe mayor deterioro y por ende el representativo de la problemática. Sin embargo aquí es conveniente emplear el término zona, debido a que la longitud total del frente del talud por sobre el cual, esta labrada la traza de la actual ruta, supera los 100 metros de longitud y presenta casi en su totalidad deslizamientos de detritos. Cabe señalar que la pendiente dominante supera los 40°.



Foto 1: El trazado actual de la ruta corta al talud detrítico.



Punto n°5: ubicado a 10.31 km, viniendo desde el Abra de Lizoite rumbo al pueblo de Santa Victoria, a 4441 ms.n.m. Este tramo del camino esta labrado sobre un sector de ladera, con moderada pendiente, “ver Fig. 3”. A diferencia de los otros sitios inventariados, presenta una aparente menor degradación. Sin embargo el desarrollo de gelifluxión, más específicamente en lóbulos, es un importante proceso que aquí está condicionando el movimiento y por ende estabilidad de laderas en la zona.



Figura 3: Laderas con Gelifluxión

Punto n° 6: ubicado a 5.58 km, viniendo desde el Abra de Lizoite rumbo al pueblo de Santa Victoria, a 4272 ms.n.m. Nuevamente la ladera exhibe un talud detrítico de elevada pendiente. Este sitio además de presentar una inexorable susceptibilidad, dado que el camino corta prácticamente al manto de detritos; también muestra vegetación tipo turberas y pequeños cursos de agua, a escasos metros abajo del camino, lo que podría estar indicando mayor complejidad para el sitio en cuestión.

### **Conclusiones**

Durante las tareas de gabinete en las cuales se hicieron interpretaciones de imágenes satelitales temporalmente contrastantes, se pudo observar como cambió la traza del camino varias veces, lo cual es totalmente congruente con la problemática corroborada en el campo. Por esto, los fenómenos y procesos periglaciales necesitan un abordaje particular en donde, no sólo deben tratarse todos y cada uno de los sucesos de manera independiente, sino también recurrir a estudios en detalle para obtener respuestas concretas y aportar soluciones factibles de desarrollar y viables en el tiempo. Si bien es cierto, mitigar con efectos contrarrestantes de la naturaleza, en respuesta a un desequilibrio antrópico, es un gran desafío; pero conocer de manera intrínseca los procesos actuantes para esta zona, puede proveer verdaderas herramientas para un futuro no tan azaroso o dicho de otra forma disminuir la incertidumbre asociada a estas proyecciones.

### **Recomendaciones**

Existen factores de suma importancia, que no se plantean en este trabajo. Uno de ellos es el cambio climático, cuyo efecto a corto, mediano y largo plazo, incide de manera directa sobre los procesos geodinámicos externos, en ambientes geocriogénicos. Por ejemplo algunos sectores montañosos con presencia de hielo y o ciclos de congelamiento – descongelamiento del suelo, se ven afectados permanentemente a

partir de la variación de la temperatura del aire, los cambios en las precipitaciones y radiación solar. El conocimiento de la interacción de estos factores con el suelo, avanza día a día, por lo tanto sería muy conveniente considerar a futuro, el monitoreo de estos, en áreas donde esté previsto proyectar obras civiles.

### **Referencias**

- Ahumada et al, 2015. *Observaciones geomorfológicas en glaciares de escombros de los Andes tropicales de Argentina*.
- Ahumada et al, 2011. *CAMINOS DE ALTA MONTAÑA EN UN AMBIENTE DE CRIÓSFERA PUNEÑA. CIENCIAS DE LA CRIÓSFERA XVIII Congreso Geológico Argentino, Mayo 2011, Neuquén*.
- Bianchi, A.R. y Yañez, C.E. 1992. *Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino. Segunda edición. INTA, Salta, Argentina*.
- Kull, C. et al, 2003. *Evidence of an LGM cooling in NW Argentina (22° S) derived from a glacier climate model. Quaternary International, 108: 3-11*.
- Minetti, J.L. 2005. *El clima del Noroeste Argentino. Laboratorio Climatológico Sudamericano. Fundación Carl C. von Cullenius, Tucumán, 350 pp*.



# LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES APLICADA A INCENDIOS FORESTALES EN ÁREA DE RECREACIÓN Y TURISMO

Salvador C. E.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Turismo, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina

e-mail: [krmen437@gmail.com](mailto:krmen437@gmail.com)

## RESUMEN

*En el escenario de incendios forestales que se desarrollan en una zona de recreación y turismo, surgen nuevas condiciones de riesgo que son potenciadas por diversos grados de vulnerabilidad, exponiendo la seguridad de turistas y residentes. Incorporar la gestión del riesgo de desastres, en la agenda del desarrollo turístico sustentable, permite generar estrategias que reduzcan los efectos negativos de los incendios forestales sobre la seguridad de las personas. El objetivo es determinar y analizar las dimensiones de la vulnerabilidad global ante la ocurrencia de estos eventos en el área de estudio (Puerto Patriada, Chubut), a fin de aplicar la gestión del riesgo de desastres desde un enfoque de procesos. En la metodología se utilizaron estrategias cualitativas y cuantitativas. Se realizaron relevamientos y observación directa en campo, lo que permitió diagnosticar el área. Además se entrevistó a personas claves (prestadores turísticos de campings, pobladores, y referentes institucionales) y se encuestó a visitantes del área. Esto posibilitó conocer las experiencias de los primeros en incendios forestales ocurridos en el lugar y el nivel de información de los segundos ante incidentes de tal magnitud. Los resultados arrojaron que existen dimensiones de la vulnerabilidad global sobre las que se debe actuar de manera prospectiva. Por ejemplo, ante la ocurrencia de un evento tal como incendios forestales, había desconocimiento generalizado por parte de los visitantes, de cómo actuar de manera correcta ante el mismo, así como de la existencia de protocolos de acción para tal incidente. Como consideración final, se propone una serie de estrategias que se desprenden del análisis y aplicación de la gestión del riesgo de desastres, en relación a las actividades turísticas y recreativas que se desarrollan en el área.*

*Palabras Clave:* seguridad turística, amenaza, vulnerabilidad, escenario de riesgo, Puerto Patriada.

## INTRODUCCIÓN

Puerto Patriada se ubica dentro de los límites de la Reserva Forestal de Usos Múltiples Lago Epuyén, en el Noroeste de la Provincia de Chubut. La belleza escénica de los paisajes del bosque Andino Patagónico, sumado a la calidad de las aguas del lago Epuyén, atrae a turistas de diversos puntos del país y visitantes de localidades cercanas.

Por otra parte, en las últimas décadas, el área de estudio experimentó un alarmante incremento en la frecuencia de incendios forestales. En este sentido, la temporada de incendios forestales en la provincia de Chubut se caracteriza por su estacionalidad, donde su

mayor grado de ocurrencia coincide con la sequía estival (Strobl y Zacconi, 2015). Período que concuerda con la temporada turística.

Considerando que el visitante se encuentra enfocado en el descanso y disfrute de su tiempo libre, además de la posibilidad de que desconozca los riesgos que representan los incendios forestales, ocasiona que no esté alerta a incidentes de este tipo. De la misma forma, la falta de información puntual sobre cómo proceder ante un incendio forestal, puede llevarlo a tomar decisiones impulsadas por el pánico. Lo cual lleva a la primera hipótesis de trabajo, que plantea que en el escenario de desastre ocasionado por incendios forestales, surgen nuevas condiciones del riesgo derivado por la falta de gestión prospectiva, exponiendo la seguridad de turistas y población en general.

Aunque ningún destino turístico está exento de sufrir un desastre, son muy pocos los que desarrollaron planes de gestión de desastres (Faulkner, 2001). Además, en una situación de desastre, los turistas son más vulnerables que los pobladores locales, ya sea por su dependencia o por estar menos familiarizados con los riesgos locales (Muñiz y Brea, 2011).

En este sentido, la seguridad turística comprende la protección de la vida, salud, integridad física, psicológica y económica tanto de visitantes como de prestadores de servicios y población local (Grünwald, 2016). Es por ello que es responsabilidad de los organismos de turismo, fomentar y participar activamente en el desarrollo de estrategias para el manejo de desastres en áreas turísticas, a fin de minimizar daños, acelerar la recuperación y por sobre todo, garantizar la seguridad de las personas.

Una herramienta útil para lograr este fin es la implementación de la gestión del riesgo de desastres. Entendiendo a ésta como un proceso social cuya finalidad es la previsión, reducción y control de factores de riesgo en una sociedad (Narváez et al, 2009). Esto conduce a la segunda hipótesis de trabajo, la cual plantea que incorporar la gestión del riesgo de desastres en la agenda local, relacionada con la actividad turística en Puerto Patriada, permite desarrollar estrategias que reduzcan los efectos de los incendios forestales sobre la seguridad de turistas y población en general.

En relación a la problemática expuesta, el riesgo (R) se compone de dos dimensiones: la amenaza (A) o peligro y la vulnerabilidad (V) ante esa amenaza. Generalmente se emplea una expresión matemática que permite visualizar la relación entre estas dimensiones “ver Ec. (1)”.

$$(1) R = A \times V$$

Esto significa que si bien el riesgo nunca desaparece, se puede actuar sobre sus componentes para reducirlo a un nivel mínimo y que no se materialice en desastre.

Por consiguiente, el objetivo de esta investigación es determinar y analizar las dimensiones de la vulnerabilidad global en Puerto Patriada, ante la ocurrencia de incendios forestales, para aplicar la gestión del riesgo de desastres desde un enfoque de procesos que permita fortalecer la seguridad turística.

## METODOLOGÍA

El trabajo es de corte exploratorio y descriptivo. Se emplearon estrategias cualitativas y cuantitativas, en un diseño flexible que permitió adecuar y fortalecer la investigación.

Dentro de las tareas de campo se relevó el área de estudio en diversos períodos, entre los años 2016 y 2018. Se incluyó el camino de acceso, campings, sendero a laguna Los Alerces, la costa del lago Epuyén en Puerto Patriada, y cortafuegos abiertos por los combatientes de incendios forestales que los visitantes podrían tomar como *nuevos* senderos.

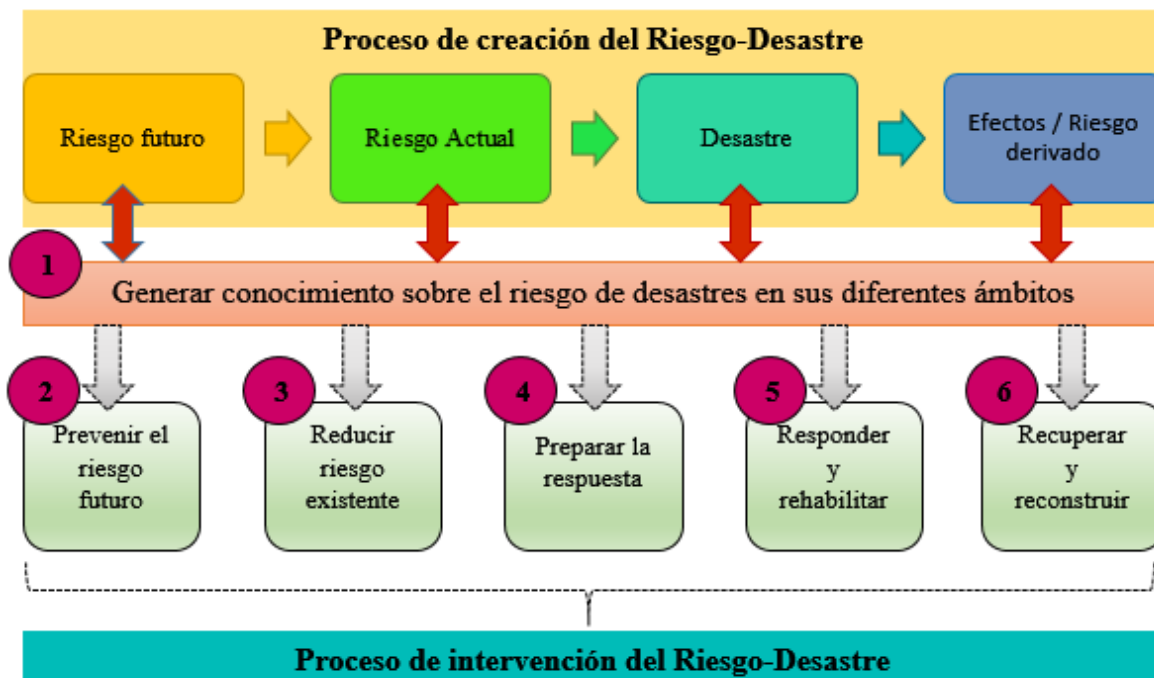
También se realizaron entrevistas semiestructuradas a informantes claves, las que se desarrollaron en Puerto Patriada, El Hoyo, Las Golondrinas y Comodoro Rivadavia. Las mismas se enfocaron en conocer las experiencias y observaciones de prestadores del servicio de campings, en los incendios forestales que ocurrieron en la zona en los años 2012 y 2015. Además, una pobladora de la zona describió el comportamiento propio y de otros visitantes que se hallaban en Puerto Patriada cuando se dio la alarma de incendio forestal en el año 2015. Asimismo, a través de las entrevistas se identificó el rol que cumplen los diferentes organismos intervinientes.

Entre fines de 2016 y marzo de 2017 se efectuaron 240 encuestas de método combinado, de múltiple choice y preguntas abiertas, en los campings de Puerto Patriada y a orillas del lago Epuyén. La estrategia adoptada consistió en recorrer los campings y la costa del lago, dejando que cada grupo de personas eligiera a un integrante adulto, en representación para responder las preguntas.

El cuestionario se dividió en dos bloques temáticos. La primera parte se orientó a conocer características sociodemográficas de los visitantes (rango de edad, lugar de procedencia, entre otras), las motivaciones para elegir el lugar, tiempo de estadía y las actividades recreativas que planeaban realizar.

La segunda parte buscó obtener apreciaciones sobre el acceso y la seguridad del entorno. Para ello se empleó una escala de tipo Likert de cinco puntos. También se indagó si habían recibido información o folletería respecto a cómo actuar ante un incendio forestal, si tenían conocimientos previos sobre el tema, si alguna vez participaron de simulacros de respuesta ante emergencias, entre otras consultas. Para cerrar la encuesta, se les formuló una pregunta abierta acerca de recomendaciones que consideraban necesarias para fortalecer la seguridad del visitante.

Finalmente, para la sección de propuestas, se siguió el enfoque de procesos que proponen Narváez et al (2009) “ver Fig. 1”. En este sentido, cabe señalar que existen dos tipos de procesos relacionados con el riesgo de desastres. El primero tiene que ver con la generación o construcción del riesgo mientras que el segundo está relacionado a las formas de intervenirlo.



**Fig. 1.** Esquema del proceso Riesgo - Desastre. Fuente: Adaptado de Narváez et al, 2009.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### El turismo en Puerto Patriada

Puerto Patriada se ubica en un entorno de bosque Andino Patagónico y las actividades turísticas y recreativas que allí se desarrollan están ligadas a la naturaleza y aire libre. En este sentido, la oferta incluye actividades acuáticas<sup>1</sup> en el lago Epuyén, por ejemplo pesca deportiva, kayakismo, stand up paddle y navegación a vela. Además, la belleza paisajística y la calidad de las aguas del lago, son el marco ideal para el acampe, natación, contemplación, cabalgatas, senderismo y ciclismo de montaña.

El segmento de visitantes tiene un amplio rango de edad y número de integrantes, ya que los grupos están conformados por familias, amigos o parejas. Donde el 59 % de los encuestados visitaban el lugar por primera vez. La procedencia de los mismos es predominantemente nacional, oriundos de provincias como Chubut (51 %), Buenos Aires (25 %), Neuquén (13 %), Río Negro (6 %), Santa Cruz (3 %) y Córdoba (1%).

El tiempo de permanencia en el lugar va desde la visita por algunas horas, hasta pernoctar por más de quince días. La mayoría de quienes pernoctan deciden hacerlo en carpas, aunque también se observan, en menor medida, casillas rodantes, motorhomes y tráilers de arrastre tipo carpa automática. También existe la posibilidad de alojarse en el complejo de cabañas que se encuentra habilitado en el lugar.

<sup>1</sup> Por Ordenanza Municipal Nro 867/08 del Honorable Concejo Deliberante de la Municipalidad de Epuyén, la navegación a motor está prohibida en todo el lago Epuyén, a fin de preservar la pristinidad de sus aguas.

Estos resultados indican que ante una emergencia, se debe considerar la presencia de niños o ancianos, los que requerirán de mayor cuidado y atención en el caso de una evacuación. Esto se debe a que las reacciones ante el peligro inminente son variables de acuerdo a la edad, experiencias de vida y a las condiciones físicas de cada sujeto.

Por otra parte, un segmento importante concurre al lugar por primera vez y no está familiarizado con éste. En el mismo sentido, al proceder de diversos lugares geográficos, no todos tienen conocimientos ni experiencia ante el desarrollo de incendios forestales. Lo cual puede llevarlos a minimizar el peligro.

Finalmente, el tipo de elemento empleado para pernoctar (carpa, tráiler, etc.) influye al momento de dirigir a las personas hacia un punto de encuentro o realizar una evacuación. Por una parte, al aferrarse a las pertenencias materiales intentando salvaguardarlas, empleando tiempo que es esencial al momento de poner a resguardo la integridad física y por ende, la vida. Por otra parte, determinados vehículos de arrastre pueden entorpecer la circulación por el camino de ripio, con curvas y pendientes, en caso de tener que desalojar de manera urgente la zona.

### **Información brindada a los visitantes sobre el procedimiento ante incendios forestales**

Las encuestas indicaron que los visitantes de Puerto Patriada no recibieron información o folletería referida a la forma de proceder ante un incendio forestal en el lugar o en las cercanías. Al preguntarles si sabían a quién acudir o llamar en caso de incendio, el 39 % respondió afirmativamente, mientras que el 61 % restante dijo desconocerlo.

En el caso de la respuesta afirmativa se les pidió que indicaran a quién acudirían o llamarían. Se registró discrepancia en las respuestas. Desde dirigirse a la base de la brigada de incendios que se encuentra en el lugar, llamar al 103, al 107 o a Defensa Civil, acudir al encargado del camping, hasta recurrir a la casilla de informes turísticos ubicada en Puerto Patriada.

Por otra parte, haber participado o tener conocimiento sobre simulacros de respuesta ante emergencias, genera confianza en el individuo permitiendo un mejor dominio personal y de la situación, actuando de manera calmada y reduciendo el bloqueo físico y mental. Las encuestas mostraron que el 37 % participó en algún simulacro de respuesta, mientras que el 63 % restante nunca lo había hecho y no tenía conocimientos de cómo proceder.

En base a estos resultados, cabe señalar que durante una situación crítica el miedo genera distintos comportamientos en las personas que pueden transformarse en pánico colectivo (Ulloa, 2011). En este sentido, la psicóloga especialista en urgencias, emergencias y catástrofes, María Acinas (2006), indica que informar a las personas sobre las características del riesgo, disminuirá la probabilidad de que éstas lo malinterpreten y tomen decisiones incorrectas.

Por ejemplo, la desesperación y el caos generalizado pueden empujarlos a querer alejarse del peligro de las llamas y el humo, apurándose a salir al camino sin considerar que en esos



momentos las unidades de emergencias y de combate del fuego podrían estar dirigiéndose hacia el lugar. Pensando en las características del camino de acceso, esto sin lugar a dudas ocasionaría nuevos escenarios de riesgo para todos los involucrados.

En otras palabras, informar de manera concisa y fehaciente, lleva tranquilidad a las personas impidiendo que entren en pánico por la incertidumbre y generen nuevos escenarios de riesgo para su integridad o del resto. Esto también es válido para la divulgación de protocolos de acción o planes de emergencia, haciéndole saber a los visitantes de la existencia de estos procedimientos y que los mismos están a cargo de organismos y personas capacitadas para tal fin.

Además, si bien son profusas las campañas de sensibilización en materia de prevención de incendios forestales, no ocurre lo mismo con la divulgación de recomendaciones cuando el riesgo ya se ha materializado. Esto deja abierta una brecha de incertidumbre ocasionando que las personas actúen impulsadas por el pánico, desoyendo las indicaciones del personal interviniente, conformando nuevas situaciones de peligro. En la gestión del riesgo de desastres, si bien es necesario informar a la población, también lo es formarla. Desde el área de turismo se puede colaborar activamente en este aspecto, a través de las oficinas de informe, cartelera y folletería que se le brinda al turista.

### **La vulnerabilidad ante incendios forestales en Puerto Patriada**

Si bien en el área de estudio se presentan diferentes escenarios de riesgo con factores de amenaza como inundaciones, remoción en masa, sismos e incendios forestales, el presente trabajo se centró en estos últimos. En este sentido, durante los incendios del año 2015, las llamas llegaron próximas a la zona de campings de Puerto Patriada.

De acuerdo a los relevamientos, entrevistas y encuestas realizadas, se obtuvo que existen diversas dimensiones de la vulnerabilidad global<sup>2</sup> ante la ocurrencia de incendios forestales en la zona.

La dimensión correspondiente a la vulnerabilidad natural del área de estudio está dada por las características de la vegetación invasora de crecimiento rápido que proliferó en el lugar, reemplazando a la vegetación nativa. Esto produjo zonas con importante número de especímenes por metro cuadrado, generando la acumulación de material combustible.

La dimensión de la vulnerabilidad física está representada por las características topográficas del área, las que influyen en el desarrollo y propagación del fuego así como en la previsibilidad del mismo. El relieve del área puede modificar la dirección y velocidad de los vientos locales y del humo del incendio. Las columnas de aire que ascienden y descienden por las pendientes de montañas y cerros que rodean a Puerto Patriada, colaboran en la aceleración o desaceleración de los incendios. Otro aspecto a considerar es el camino de acceso al lugar, que en caso de verse afectado por el fuego o el humo, las vías de escape

---

<sup>2</sup> Para Wilches-Chaux la vulnerabilidad global es la interacción entre factores y características (internas y externas), que confluyen sobre una comunidad particular bloqueándola e incapacitándola para responder de manera adecuada ante la presencia de un riesgo, con el consecuente desastre (Wilches-Chaux, 1993).

restantes serían a través del lago Epuyén por medio de embarcaciones o a través de las montañas con la ayuda de guías o baqueanos.

En cuanto a la dimensión de la vulnerabilidad social, existe una fuerte unión y colaboración entre los prestadores de servicios turísticos, pobladores y combatientes de incendios forestales, ante una emergencia declarada.

Por su parte, la dimensión de la vulnerabilidad política tanto a nivel provincial como nacional, queda en evidencia que ante el requerimiento de material y apoyo logístico las respuestas son tardías. Además las pérdidas anuales de superficie de bosques nativos no movilizan al sector político a tomar una postura más crítica al respecto. Lo mismo sucede con la sanción de leyes que posteriormente no se implementan o controlan su cumplimiento. Esta dimensión también hace referencia a la incapacidad de una comunidad para emplear el conocimiento y recursos locales al momento de implementar soluciones. En este sentido, algunos sectores, presentes en el área de estudio, no se sienten incluidos ni consultados al momento de la toma de decisiones por parte del poder político.

La dimensión de la vulnerabilidad técnica o tecnológica, está relacionada con la escasez y el estado de materiales y tecnología adecuada para el combate y prevención de incendios forestales. Aquí también entra en juego la escasa cobertura de telefonía móvil que afecta para dar aviso del avistaje de columnas de humo, de fuego o de la partida o regreso de senderistas.

En el aspecto relacionado con la vulnerabilidad cultural, existe un alto nivel de cooperación y solidaridad en la comunidad local, lo que posibilita el accionar conjunto ante cualquier emergencia. Esta dimensión también hace referencia a la manera de reaccionar de cada individuo ante un desastre. Las encuestas arrojaron que el 49 % de los encuestados se autoevacuaría ante la presencia de incendios en la zona, 17 % buscaría al responsable del camping para consultarle cómo proceder, 16 % esperaría indicaciones en el lugar, 3 % adoptaría otras medidas (por ejemplo intentar apagar el fuego si fuera de pequeñas dimensiones) y el 1 % restante no sabría qué hacer.

La vulnerabilidad ecológica en Puerto Patriada está ligada a las vulnerabilidades natural y física ya mencionadas. Las secuelas de los sucesivos incendios forestales debilitaron el ecosistema en la zona. La pérdida de vegetación puede ocasionar, en el corto a mediano plazo, la erosión del suelo con el correspondiente incremento de la sedimentación de ríos y cuerpos de agua afectando la regulación de cuencas hídricas (Grosfeld, 2015). Antes del año 2015, la recuperación y restauración de áreas degradadas en la Provincia de Chubut se realizaba a modo de ensayo en pequeñas superficies. Sin embargo, luego de los incendios forestales de la temporada 2014-2015, la Subsecretaría de Bosques de la provincia de Chubut y la Municipalidad de El Hoyo implementaron un programa de restauración de bosque nativo, en áreas afectadas de la Reserva Forestal de Usos Múltiples Lago Epuyén.

Por su parte, el análisis de la dimensión correspondiente a la vulnerabilidad institucional demostró que existe coordinación entre los diferentes organismos intervinientes ante incendios forestales. Cada organismo tiene protocolos de acción que se entrelazan y complementan con el de otras instituciones. De igual manera, existe consenso para realizar periódicamente actividades en conjunto que fortalecen la coordinación y respuesta ante

emergencias. Sin embargo, algunos entrevistados dejaron entrever la posibilidad de ser más operativos y menos burocráticos, con canales de comunicaciones más ágiles al momento de tomar decisiones. En cuanto a los medios radiales de comunicación en la zona, no existe un protocolo específico para trabajar en conjunto, ante la necesidad de mantener informada a la sociedad en una emergencia.

Lo anteriormente expuesto indica que existen dimensiones de la vulnerabilidad sobre las que se debe actuar prospectivamente para minimizar el riesgo. Es sabido que el riesgo no desaparece, sino que es una condición siempre latente. Sin embargo, puede reducirse si se consideran las amenazas y vulnerabilidades como factores que lo componen y que tienen características dinámicas, cambiantes e interdependientes (Narváez et al, 2009).

Si bien el ambiente presenta eventos físicos que pueden ser generados por la naturaleza, es la acción humana la que los transforma en amenazas reales. He aquí dos enfoques para la construcción social del riesgo. En uno, entra en juego lo que cada sociedad percibe y asume como riesgoso o no, es decir, lo que admite como un riesgo aceptable a través de una construcción histórica, colectiva y cultural. En el otro, la construcción de contextos frágiles asociados a las dimensiones de la vulnerabilidad hace que el medio físico se convierta en amenaza y generador de riesgos.

Para finalizar, si bien el presente estudio se basa en un estudio de caso, puede tomarse como punto de partida para otros lugares turísticos de montaña, donde exista la amenaza de incendios forestales. De igual manera, las propuestas que se hacen en el próximo apartado son generales y por ende son aplicables a otros destinos turísticos o recreativos que compartan las características descritas en esta investigación.

## **PROPUESTAS**

En base a la aplicación de la gestión del riesgo de desastres desde un enfoque de procesos como aporte a la seguridad turística, se elaboraron las siguientes propuestas.

- Generar conocimiento sobre el riesgo de desastres difundiendo recomendaciones para proceder de manera segura ante un incendio forestal. Algunas de estas indicaciones pueden ser: si hay humo y se torna denso protegerse las vías respiratorias con un trapo húmedo, alejarse de estructuras peligrosas, no intentar atravesar un frente de fuego, no intentar huir atravesando caminos afectados por el fuego o humo, nunca tratar de huir del fuego subiendo una montaña ya que el fuego tiende a subir por las laderas y avanza más rápido de lo que las personas creen, nunca esconderse en cuevas o pozos ya que el oxígeno se consume rápido.  
Desde el área de turismo, se puede informar por medio de cartelería, folletería o página web, sobre cómo proceder y a quien acudir. También sobre la existencia de protocolos de emergencia y que éstos son coordinados y ejecutados por organismos competentes en el tema, motivo por el cual deben seguir las indicaciones del personal a cargo.  
Por otra parte se deben señalar puntos de encuentro en lugares apropiados de Puerto Patriada que permitan concentrar a los visitantes en caso de emergencias.

En cuanto a los medios de comunicación, es vital su participación a través de la difusión de consejos o cuidados ante un incendio forestal.

- Prevenir el riesgo futuro realizando campañas de sensibilización de senderistas para que informen cuando comiencen y finalicen su recorrido. Para ello se debe contar con un registro de senderistas tal como los que existen en el Parque Nacional Nahuel Huapi y el Parque Nacional Lanín. Esto permitirá saber a ciencia cierta si algún senderista no regresó al momento de declararse un incendio y organizar patrullas de búsqueda y rescate.

Además se debe controlar el estado del señalamiento de senderos habilitados y desalentar el uso de aquellos no habilitados que usualmente son tentadores para los turistas más audaces.

- Reducir el riesgo existente, coordinando con los organismos correspondientes la señalización vial del camino de acceso y la implementación de dispositivos de protección como guarda rails, áreas de descanso o de emergencia, entre otros. Asimismo, analizar la posibilidad de implementar charlas informativas y simulacros de respuesta, en conjunto con otros organismos intervinientes ante emergencias, donde se invite a participar a los visitantes de Puerto Patriada.
- A fin de preparar la respuesta, es primordial contar con información certera desde organismos oficiales la que debe estar disponible para la consulta de los usuarios. Esto permite que las personas se informen y conozcan los riesgos que pueden darse en el lugar, además de fortalecer la cultura de la prevención.
- Responder y rehabilitar se refiere a la respuesta y asistencia a la población cuando el desastre ocurre, así como la prevención para que no se produzcan nuevas condiciones de riesgo (riesgo derivado).

Luego de una crisis las necesidades más comunes suelen ser: información correcta y fácil de comprender sobre lo sucedido, saber de sus seres queridos si se hubiesen separado como consecuencia del evento, conocer los servicios disponibles (de salud, de comunicación, de apoyo psicológico, etc.), refugios o alojamientos, y necesidades básicas como agua, alimentos, condiciones higiénicas, etc.

En el caso de los turistas, en esta etapa se trata de contar con toda la información que éstos van a requerir. Ya sea sobre el estado y evolución de la situación, así como el asesoramiento sobre lugares alternativos en el caso de que el área ya no sea segura para que continúen su estadía allí. En otras palabras, conocer que áreas y servicios fueron afectados y que opciones existen.

- Recuperar y reconstruir se refiere a restablecer las condiciones que permitan el desarrollo económico y social de la comunidad afectada, reduciendo el riesgo a un nivel menor al que existían con anterioridad al incidente. No sólo se trata de recuperar la infraestructura y los servicios, también significa desarrollar políticas específicas que permitan el acceso a líneas de créditos para los sectores afectados, y contar con el asesoramiento técnico y científico correspondiente. En este sentido, las políticas de desarrollo turístico y la gestión del riesgo de desastres deben ir juntos.

## CONCLUSIONES

Lo expuesto a lo largo de este trabajo permite concluir que las actividades turísticas que se desarrollan en Puerto Patriada están estrechamente relacionadas con el entorno natural que

brinda el bosque Andino Patagónico y el lago Epuyén. Y la composición del segmento de los visitantes tiene un amplio rango de edad, con procedencias de diferentes provincias del país.

Al diagnosticar el escenario de riesgo se identificaron diversas amenazas en el área de estudio. Sin embargo, dado que la zona sufrió de severos incendios forestales a lo largo de los años, y que en una ocasión el fuego estuvo próximo a los campings, se decidió profundizar en el estudio de este tipo de amenazas. Esto permitió definir que existen diversas dimensiones de la vulnerabilidad que ante la ocurrencia de incendios forestales en Puerto Patriada incrementarían el riesgo. Al actuar sobre estas vulnerabilidades, de modo que disminuyan, se reduce la probabilidad de que los incendios forestales, se transformen en desastre.

Se confirmó además, que la falta de gestión prospectiva posibilita que en el escenario ocasionado por los incendios forestales, se originen nuevas condiciones del riesgo derivado exponiendo la seguridad de turistas y población en general.

Por tanto, adoptar un enfoque por procesos como forma de intervención del riesgo-desastre, posibilita hallar estrategias que conducen al fortalecimiento de la seguridad turística en el área de estudio. Algunas de estas estrategias desde el área de turismo, son las que se presentaron como propuestas.

## REFERENCIAS

Acinas, M. Información a la población en situaciones de emergencia y riesgo colectivo. En *Intervención psicosocial*, 2007. Vol. 16 Núm. 3 pp.303-321. (2006).

Faulkner, B. Estrategias para la Gestión de Desastres en el Turismo: Prerrequisitos e ingredientes. (2001).

Grosfeld, J. Principales valores de la conservación. En *Programa Integral de Manejo y Restauración de las Grandes Áreas Afectadas por los Incendios Forestales de la Temporada 2014-2015 en la Provincia de Chubut*. Subsecretaría de Bosques, CIEFAP, e INTA. (2015).

Grünewald, L. (Comp.) Municipio, Turismo & Seguridad. Fundación Turismo para Todos. Edición Digital. OEA. (2010).

Muñiz, D., y Brea, J. Gestión proactiva de crisis en el turismo: una experiencia de estudio en Galicia. En *Pasos Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*. Vol. 9 Núm. 2. pp. 279-289 (2011).

Narváez, L., Lavell, A., y Pérez Ortega, G. La Gestión del Riesgo de Desastres. Un enfoque basado en procesos. (2009).

Strobl, V., y Zacconi, G. Eficiencia en la asignación de recursos de combate en base al grado de peligro de incendios: Análisis comparativo de dos casos. (2015).

Ulloa, F. Manual de gestión del riesgo de desastre para comunicadores sociales. Organización de las Naciones Unidas para la Educación de la ciencia y la cultura. Representación en Perú. (2011).

Wilches-Chaux, G. La vulnerabilidad global. En Andrew Maskrey (Comp.), *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. pp. 11-44 (1993).



# Contribución al conocimiento de la distribución de los Murciélagos (Chiroptera) de la provincia de Mendoza, Argentina.

Scarso E.<sup>a</sup> y Bender J. B.<sup>b</sup>

<sup>a</sup>FCEN, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, ARGENTINA

<sup>b</sup>Colección de vertebrados, IADIZA CCT CONICET Mendoza, ARGENTINA

e-mail: [coleccion.vertebrados.iadiza@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:coleccion.vertebrados.iadiza@mendoza-conicet.gob.ar)

## RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el estado del conocimiento sobre los murciélagos de la provincia de Mendoza, Argentina. Se actualiza mediante el análisis de 253 registros provenientes de los ejemplares de la colección Mastozoológica del Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas y de una revisión bibliográfica junto con datos de repositorios digitales. En Mendoza se registran 29 puntos de colecta ubicados en 7 departamentos; *Capital, General Alvear, Lavalle, Godoy Cruz, Luján de Cuyo, Malargüe, y Santa Rosa*, detectando la presencia de los géneros *Tadarida, Myotis, Histiotus, Eptesicus* y *Lasiurus*, pertenecientes a las familias Molossidae y Vespertilionidae, como también datos morfológicos y de historia natural. Además, se analiza la probable presencia en la provincia de otras especies dado su proximidad geográfica. Se incorpora a la mastofauna de la provincia a *Eptesicus ulapesensis*, por referencia bibliográfica reciente y re-análisis de la colección. Los estudios previos sobre murciélagos de Mendoza han sido escasos, siendo necesario incrementar muestreos que permitan cubrir vacíos de información para alcanzar una mayor precisión en el conocimiento sobre la ecología, diversidad y los patrones de distribución de las especies de la provincia.

*Palabras clave:* Chiroptera, distribución de murciélagos, Colecciones biológicas, Mendoza.

## INTRODUCCIÓN

El orden Chiroptera, incluye aproximadamente 1133 especies (Simmons y Conway, 2003; Simmons, 2005; Reeder et al., 2007). En la actualidad para Sudamérica se reconocen nueve familias, 74 géneros y aproximadamente 250 especies de murciélagos (Gardner, 2007). Se distribuyen principalmente en las zonas tropicales y el número decrece con la latitud (Jones, 2002) probablemente por el descenso paulatino de la temperatura y de la cantidad de recursos. Específicamente en Argentina están representadas 4 familias: Noctilionidae, Phyllostomidae, Vespertilionidae y Molossidae. Desde 1993, para el país se han producido algunos cambios taxonómicos y de distribución en la diversidad de especies; esto ha llevado a la publicación de una nueva clave, donde se han registrado cuatro familias, 27 géneros y 61 especies (Barquez et al., 2009). Los murciélagos se distribuyen por todo el mundo, con excepción del Ártico y la Antártica, pero se localizan principalmente en el neotrópico (Mickleburgh et al. 2002). A nivel altitudinal se ha encontrado una relación inversa entre la diversidad, el rango de distribución y la abundancia con respecto al incremento en altitud (Rhabek 1995, Brown

& Lomolino 1998). Entre las razones a las que se les atribuye esta disminución en la diversidad con la altitud están la temperatura y la disponibilidad de los recursos, los cuales pueden influir de forma independiente o asociada (Graham 1983). Comprender las distribuciones geográficas de las especies es uno de los objetivos principales de la ecología (Humpries et al. 2002).

El objetivo de este trabajo es presentar un análisis de distribución actualizado para las especies de murciélagos de la provincia de Mendoza.

## **MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **Área de estudio**

Mendoza es una de las 23 provincias que hay en la República Argentina, y con 148.827 km<sup>2</sup> de superficie es la séptima más extensa del país. Está situada entre los paralelos 31° 58' y 37° 33' S y los meridianos 66° 30' y 70° 36' W, limitando al norte con San Juan, al este con San Luis, al sureste con la provincia de La Pampa, al sur con Neuquén y al oeste limita por medio de la divisoria de agua de la Cordillera de los Andes con Chile. La provincia se encuentra dentro de la zona templada argentina, caracterizada por un gran dinamismo atmosférico; primavera y otoño son las estaciones más cortas del año climático, por lo cual el paso del invierno al verano y viceversa, es muy brusco. Los grandes acontecimientos los constituyen siempre las granizadas, las heladas extemporáneas y el viento Zonda (Capitanelli, 1967).

La provincia es atravesada por las ecorregiones de Altos Andes, Estepa patagónica y Monte de Llanuras y Mesetas (Morello, 2012). La primera integra las altas cumbres de los cordones montañosos de los Andes por encima de los 4000 metros de altitud. El clima es seco y frío, con vientos fuertes y con precipitaciones en forma de nieve o granizo en cualquier época del año, aunque las cumbres más altas presentan nieves permanentes. Las temperaturas medias mensuales están por debajo de cero grados durante más de la mitad del año, existiendo una gran amplitud térmica, y además la heliofanía es alta. En cuanto a la Estepa patagónica, se encuentran serranías y lomadas paralelas a la Cordillera, separadas por pequeñas llanuras. Tiene característica de semidesierto, el clima es frío, seco; la precipitación media anual inferior a 250 mm va en aumento hacia la Cordillera, además dominan los vientos del Oeste otorgando aridez. El Este de la provincia está afectada por la Ecorregión de Monte de Llanuras y Mesetas; es la zona de mayor aridez del país, afectando significativamente a la vegetación, la cual está dominada por *Larrea* sp. (jarillas).

### **Toma de datos y métodos de recolección**

Se trabajó primariamente con las muestras de quirópteros de la colección de Mastozoología (CMI) del Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas (IADIZA, CONICET) recolectados entre 1962 a 2019, con especial atención en los ejemplares de origen mendocino. Se realizó la búsqueda de registro de especies de quirópteros en la provincia mediante la revisión de trabajos publicados y de bases de datos disponible en línea como Global Biodiversity Information Facility (GBIF: <http://data.gbif.org>). Además, se incluyeron datos con registros fotográficos de las plataformas web iNaturalist (<http://inaturalist.org>) y EcoRegistros (<http://www.ecoregistros.org>).

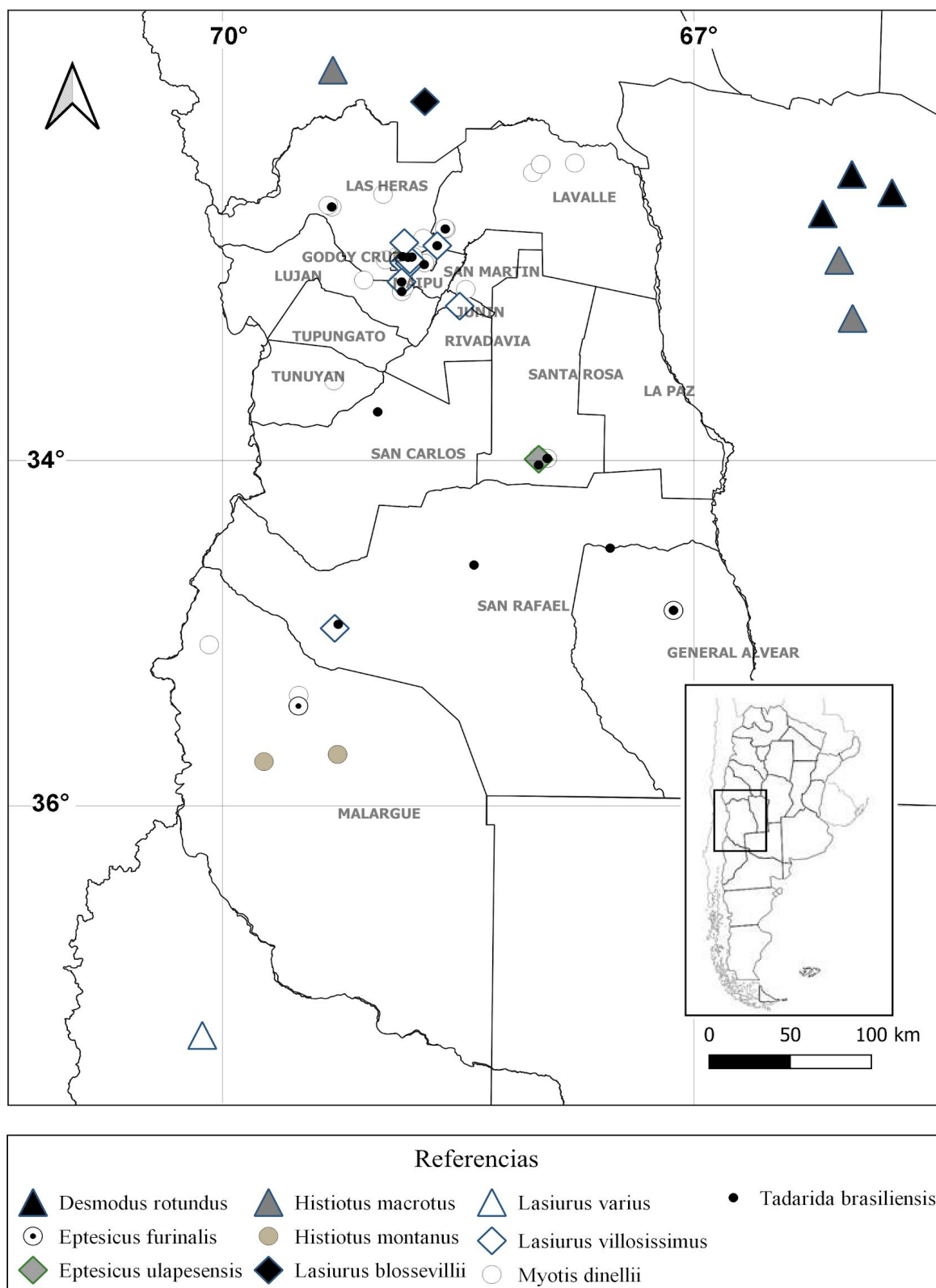
En la CMI se realizaron diferentes tareas entre ellas la revisión taxonómica, el recambio de etiquetas, la reorganización de ejemplares y etiquetado de bandejas, el conteo, la georreferenciación de los individuos, la digitalización de los datos y el ingreso de nuevos registros, tanto de nuevas colectas, así como ejemplares antiguos recuperados cuyos datos debieron ser corroborados en los cuadernos e información de su respectivo colector. Para la digitalización de datos se utilizaron planillas de cálculos y para la georeferenciación se llevó a cabo por el método punto-radio.

Tomando como base las revisiones bibliográficas y el análisis de datos de la colección es importante aclarar que se establecieron cambios sistemáticos para diversos taxones, actualizando el nombre de especies en toda la planilla de datos correspondientes. Los cambios ocurren principalmente en los géneros *Myotis* y *Lasiurus*. *M. dinellii* y *M. levis* pasaron de ser subespecies a especies plenas por estudios de características morfológicas y zonas de simpatria descritas recientemente (Acosta et al., 2013, y Miranda et al., 2013). Sobre el género *Lasiurus* seguimos a Baird et al., (2015) quienes realizaron un estudio reciente basado en datos moleculares que apoyan la separación de *L. borealis* y *L. varius*, a pesar de ello algunos autores siguen considerando a *L. varius* como una subespecie de *L. borealis* (e.g. Galaz & Yáñez, 2006; Iriarte, 2008; Canals & Cattán, 2008; Galaz et al., 2009). Con respecto a *L. cinereus*, de acuerdo con Shump & Shump (2009) se describe una subespecie, *Lasiurus cinereus villosissimus*, en Sudamérica, por lo que algunos autores utilizan *L. cinereus*, y otros *L. villosissimus* indistintamente. En el presente trabajo seguimos a Teta et al. (2018) donde menciona que las evidencias moleculares sugieren que *Lasiurus* (*Aeorestes*) *villosissimus* sería el nombre que le corresponde a las poblaciones sudamericanas antes referidas como *Lasiurus cinereus* (Beauvois, 1796).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtiene como resultado que para la provincia de Mendoza existen, al menos, 6 especies de quirópteros pertenecientes a dos familias: Molossidae (*Tadarida brasiliensis*) y Vespertilionidae (*Myotis dinellii*, *Lasiurus villosissimus*, *Histiotus montanus*, *Eptesicus ulapesensis* y *Eptesicus furinalis*). Se obtuvieron un total de 231 registros en 29 localidades de la provincia de Mendoza (ver Fig. 1). A su vez, por el análisis de 22 registros de las provincias de San Juan, San Luis, y Neuquén se detectaron 4 especies con posible presencia en Mendoza por existir registros notablemente cerca de los límites de provincia. Estas especies son : *Desmodus rotundus* (Phyllostomidae), *Histiotus macrotus*, *Lasiurus blossevilli* y *Lasiurus varius* (Vespertilionidae).

Se describen a continuación, las especies de quirópteros que cuentan con registros en Mendoza, y los registros de las especies con posible presencia según Barquez et al. 1999, comentarios particulares y detalles de distribución geográfica:



**Figura 1.** Distribución geográfica de los registros analizados de las especies detectadas en Mendoza.

## Especies con presencia en Mendoza:

### FAMILIA VESPERTILIONIDAE

*Eptesicus ulapesensis* (Sánchez, Montani, Tomasco, Díaz & Barquez, 2019)

**Localidad Tipo:** Ulapes, departamento General San Martín, La Rioja, Argentina.

**Características generales:** se distingue por el marrón-amarillento a dorado de su pelaje, el cual presenta marcado contraste entre las porciones dorsal y ventral. El pelaje en el dorso es relativamente corto, alrededor de 6 mm. El antebrazo es grande, siendo mayor a 41 mm.

**Comentarios:** Se cita en la publicación de Sánchez (2019) un ejemplar colectado por Elio Massoia en 1973 actualmente depositado en la Las colecciones científicas de la Fundación Azara, Buenos Aires.

**Distribución en Mendoza:** Ñacuñán, Departamento de Santa Rosa (Sanchez et al. 2019: -34.05 -67.96666667).

*Eptesicus furinalis* (d'Orbigny y Gervais, 1847)

Murciélago pardo común

**Localidad Tipo:** Argentina Corrientes.

**Características generales:** Tamaño mediano (AB=36-42 mm); coloración variable, marrón oscura con pelos dorsales apenas bi-coloreados, o marrón claro con bases oscuras, algunos ejemplares amarillentos; vientre con pelos de bases oscuras y puntas marrón amarillenta; pelos sobre la base del uropatagio.

**Distribución en Mendoza:** Departamento de General Alvear (IADIZA:CMI: -34.914 -67.046), Departamento de Godoy Cruz (IADIZA:CMI: -32.9 -68.9), Departamento de Malargüe (MACN-Ma, Gbif. -35.482171 -69.582498), Departamento de Santa Rosa (Barquez et al. 1999: -34.05 -67.96666667).

*Lasiurus villosissimus* (E. Geoffroy Saint-Hilaire, 1806)

Murciélago escarchado grande

**Localidad Tipo:** Asunción, Paraguay.

**Características generales:** Tamaño grande (AB=50-56 mm); coloración escarchada amarillenta, pelos dorsales de cuatro colores con el extremo blanco; hocico corto; orejas cortas y redondeadas; lado dorsal del uropatagio densamente cubierto de pelos pero sin superar el borde; alas largas puntiagudas y oscuras, tonos rojizos o blanquecinos bordeando el antebrazo y las falanges; articulación del brazo y antebrazo y base del pulgar con un mechón de pelos.



**Comentarios:** Citado en el libro de Barquez (1999) como *Lasiurus cinereus villosissimus*. Los ejemplares nombrados como *L. cinereus* se interpretaron como *L. villosissimus*.

**Distribución en Mendoza:** Departamento Capital (Barquez et al. 1999: -32.9 -68.83 (1)), Departamento de Godoy Cruz (Barquez et al. 1999: -32.91666667 -68.86666667 (1); Fornes and Massoia 1967: -32.92 -68.83, Departamento de Junín (ROM:Mammals, Gbif: -33.166667 -68.5 (1)), Departamento de Las Heras (ROM:Mammals, Gbif: -32.8 -68.866667 (1)), Departamento de Lavalle (IADIZA:CMI: -32.817 -68.65 (1)), Departamento de Luján de Cuyo (MACN-Ma, Gbif: -33.027734 -68.884155 (1)), Departamento de San Rafael (Barquez et al. 1999: -35.03333333 -69.33333333 (1)).

*Histiotus montanus* (Philippi and Landbeck, 1861)

Murciélago orejón chico

**Localidad Tipo:** Chile, Cordillera de Santiago.

**Características generales:** Tamaño mediano (AB=42-49 mm); coloración variable, con pelos bicolor, puntas muy claras y bases muy oscuras fuertemente contrastando; orejas menores de 30 mm, sin banda de unión o muy leve; membranas alares pálidas.

**Comentarios:** Citado en el libro de Barquez (1999) como *Histiotus montanus montanus*.

**Distribución en Mendoza:** Departamento Capital (IADIZA:CMI: -32.88 -68.874812 (1)) Barquez et al. 1999: -32.9 -68.83333333 (1)), Departamento de Guaymallén (-32.90435 -68.823116 (1)), Departamento Malargüe (IADIZA:CMI: -35.76333 -69.31722 (1), -35.8025 -69.82 (1)).

*Myotis dinellii* (Thomas, 1902)

Murcielaguito amarillento

**Localidad Tipo:** Tucumán, Argentina.

**Características generales:** Tamaño pequeño (AB=34-38 mm); menor que *M. levis*; coloración dorsal pardo amarillento con fuerte contraste entre la base y la punta de los pelos; punta de los pelos amarillentas; orejas estrechas y más pequeñas y menos redondeadas que en *M. chiloensis*; uropatagio con el margen pálido.

**Comentarios:** *M. levis* y *M. dinellii* tienen una historia sistemática compleja ya que fueron descritas como especies plenas, luego consideradas subespecies y posteriormente elevadas de nuevo a la categoría de especie (Barquez, 2006; Miranda et al., 2013). En este trabajo todos los ejemplares de *Myotis* de Mendoza fueron considerados como *Myotis dinellii* de acuerdo con la nueva taxonomía propuesta por Acosta et al., (2013), y Miranda et al., (2013) y considerando la distribución de las especies proporcionadas por Barquez (1999).

**Distribución en Mendoza:** Departamento Capital (IADIZA:CMI: -32.883 -68.883 (2), -32.867 -68.85 (1), -32.895 -68.875 (1); Barquez et al. 1999: -32.9 -68.83333333 (2); LaVal 1973: -32.9 -68.83 (1); ROM, Gbif: -32.879611 -68.912971 (1)), Departamento de Godoy

Cruz (ROM: -32.933333 -68.866667 (2), -32.916667 -68.733333 (1)), Departamento de General Alvear (IADIZA:CMI: -34.914 -67.046 (1)), Departamento de Las Heras (Barquez et al. 1999: -32.83333333 -68.86666667 (1); iNaturalist: -32.774776 -68.742676 (1); iNaturalist, Gbif: -32.520333 -69.006917 (1); MVZ:Mamm, Gbif: -32.88 -68.81 (2); Roig 1965: -33.07 -68.46 (1), -32.9 -68.99 (1)), Departamento de Lavalley (Barquez et al. 1999: -32.71666667 -68.6 (1), -32.33333333 -67.75 (1)); IADIZA:CMI: -32.817 -68.65 (2), -32.721 -68.594 (1); iNaturalist: -33.02644 -68.904592 (1); Mares et al. 1995: -32.39083333 -68.025 (1); OMNH, Gbif: -32.342322 -67.973026 (1)), Departamento de Luján de Cuyo (Barquez et al. 1999: -33.01666667 -69.13333333 (1); IADIZA:CMI: -33.007 -68.872 (1); iNaturalist: -33.056667 -68.867226 (1); ROM, Gbif: -33.083333 -68.883333 (1)), Departamento de Malargüe (Barquez et al. 1999: -35.42 -69.58 (1); IADIZA:CMI: -35.76333 -69.31722 (2), -35.123 -70.184 (1); MACN, Gbif: -35.482171 -69.582498 (4)), Departamento de Santa Rosa (IADIZA:CMI: -34.044862 -67.909503 (30), -34.046 -67.956 (5); MACN, Gbif: -34.045582 -67.953678 (1); Mares et al. 1996: -34.044862 -67.909503 (1); OMNH, Gbif: -34.045642 -67.953723 (1); ROM, Gbif: -34.033334 -67.966668 (1); UWBM, Gbif: -34.033333 -67.966667 (1)), Departamento de Tunuyán (MSB:Mamm, Gbif: -33.6003 -69.3332 (1)), y Departamento de Uspallata (Barquez et al. 1999: -32.58333333 -69.36666667 (1); MACN, Gbif: -32.59295 -69.343746 (4)).

## FAMILIA MOLLOSIDAE

*Tadarida brasiliensis* (I. Geoffroy St.- Hilaire, 1824)

Moloso común

**Localidad Tipo:** Curitiba, Paraná, Brasil.

**Características generales:** Tamaño mediano (AB=41-46 mm); coloración dorsal variable, generalmente grisácea; orejas grandes, cercanas, pero separadas; labio superior con arrugas; alas largas y angostas, típicas del vuelo veloz y de largas distancias; incisivos superiores convergentes en las puntas. Puede confundirse con *Nyctinomops laticaudatus*, pero este último tiene las orejas unidas.

**Comentarios:** Las especies que figuraban con *Tadarida brasiliensis brasiliensis* fueron interpretadas como *T. brasiliensis*.

**Distribución en Mendoza:** Departamento Capital (IADIZA:CMI: -32.88333333 -68.81666667 (25), -32.885 -68.842 (1); iNaturalist: -32.880680 -68.877237 (1)), Departamento de General Alvear (MVZ:Mamm, Gbif: -34.56 -67.48 (1); IADIZA:CMI: -34.914 -67.046 (1)), Departamento de Guaymallén (IADIZA:CMI: -32.926552 -68.735331 (1)), Departamento de Lavalley (IADIZA:CMI: -32.817 -68.65 (3), MACN-Ma, Gbif: -32.720197 -68.597011 (26)), Departamento de Luján de Cuyo (ROM: -33.083333 -68.883333 (1); MACN-Ma, Gbif: -33.027734 -68.884155 (1)), Departamento de San Carlos (MACN-Ma, Gbif: -33.780406 -69.042242 (1)), Departamento de San Rafael (MVZ:Mamm, Gbif: -35.01 -69.31 (6); Gbif: -34.66547 -68.39456 (1)), Departamento de Santa Rosa (IADIZA:CMI: -34.044862 -67.909503 (41); ROM:Mammals, Gbif: -34.083333 -67.966667 (1)), Departamento de Uspallata (MACN-Ma, Gbif: -32.592950 -69.343746 (6), -32.59295 -69.34375 (1)).

## Especies con posible presencia en Mendoza:

### FAMILIA PHYLLOSTOMIDAE

*Desmodus rotundus* (É. Geoffroy St.- Hilaire 1810)

Vampiro común

**Localidad Tipo:** Asunción, Paraguay.

**Características generales:** Tamaño mediano (AB=60-67 mm), contextura fuerte y musculosa; pelaje corto y duro, coloración parda o grisácea con un fase rojiza; hoja nasal reducida; orejas cortas y separadas; pulgar largo con tres callos bien desarrollados; alas sin mancha blanca en las puntas; uropatagio reducido a una membrana angosta; cola y calcares ausentes; incisivos y caninos superiores en forma de hojas cortantes.

**Distribución analizada:** San Juan, Departamento de Calingasta: -31.03333333 -69.55 (1). San Luis, Departamento de Ayacucho: -32.36666667 -65.93333333 (1), -32.6 -66.11666667 (1), Departamento de Chacabuco: -32.63333333 -65 (1), Departamento de San Martín: -32.46666667 -65.66666667 (1).

### FAMILIA VESPERTILIONIDAE

*Histiotus macrotus* (Poeppig, 1835)

Murciélago orejón grande oscuro

**Localidad Tipo:** Bío Bío, Antuco, Chile.

**Características generales:** Tamaño mediano (AB=45.8-51 mm), pero mayor a *H. laeophotis*; pelaje suave y denso; coloración pálida, amarillenta, con fuerte contraste entre las bases y las puntas de los pelos; pelos del vientre fuertemente bicolor, bases marrón oscuro y puntas blanquecinas; orejas grandes mayor a 30 mm y unidas por una banda; membranas oscuras; uropatagio prácticamente desnudo, calcar largo y delgado.

**Distribución analizada:** San Juan, Departamento de Calingasta: -31.8 -69.33333333 (2). San Luis, Departamento de Coronel Pringles: -32.86666667 -66 (1), -33.2 -65.9 (2). Neuquén, Departamento Los Lagos: -40.66666667 -71.66666667 (1).

*Lasiurus blossevillii* (Lesson and Garnot, 1826)

Murciélago escarchado chico

**Localidad Tipo:** Montevideo, Uruguay.

**Características generales:** La menor especie del género (AB < 42 mm); coloración escarchada, rojiza o grisácea; hocico corto; orejas cortas y redondeadas; lado dorsal del

uropatagio densamente cubierto de pelos pero sin sobrepasar el margen de la membrana; alas largas, puntiagudas y oscuras.

**Distribución analizada:** San Juan, Departamento de Sarmiento: -31.98333333 -68.73333333 (2), Departamento de Valle Fértil: -30.9 -67.21666667 (1).

*Lasiurus varius* (Poeppig, 1835)

Murciélago peludo rojo

**Localidad Tipo:** Bío Bío, Antuco, Chile.

**Características generales:** Tamaño mediano (AB=39-42 mm); coloración rojo canela no escarchado; pelaje largo; hocico corto; orejas cortas y redondeadas; lado dorsal del uropatagio densamente cubierto de pelos sobrepasa el borde; alas largas puntiagudas y oscuras.

**Distribución analizada:** Neuquén, Departamento de Catan Lil: -39.56666667 -70.6 (1), Departamento de Chos Malal: -37.38333333 -70.26666667 (2), Departamento de Confluencia: -38.96666667 -68.05 (1), Departamento de Los Lagos: -40.85 -71.65 (1), -40.66666667 -71.66666667 (1), -41 -71.5 (1), Departamento de Zapala: -38.9 -70.26666667 (1).

## CONCLUSIONES

Se han realizado escasos estudios sobre quirópteros en la provincia de Mendoza, este trabajo presenta novedades distribucionales, taxonómicas y biogeográficas, incrementando el número de especies conocidas para el área. Los registros de especies presentes en las provincias de San Juan, San Luis y Neuquén que están considerablemente cerca de los límites de Mendoza, también sugieren la necesidad de incrementar los muestreos que podrían confirmar o desestimar la presencia de estas especies como parte de la mastofauna de la provincia.

Es importante también realizar un re-análisis de los reservorios de biodiversidad existentes a partir del uso de nuevos instrumentos y técnicas, proporcionando nuevos datos y corrección de errores que se pasaron por alto anteriormente. Contar con un mayor número de registro permitirá evaluar la causa principal de las diferencias en la riqueza y densidad de las especies en relación al ambiente, así como aquellos factores que condicionan la ocurrencia de los murciélagos en Mendoza favoreciendo la toma de medidas de conservación de las especies.

Actualmente, el impacto de la actividad humana sobre la biodiversidad en el planeta, hace de especial importancia el empleo de ciencia ciudadana en apoyo a la formación de conocimientos y creación de conciencia en la población. La ciencia ciudadana es una rama de la ciencia abierta y refiere a científicos no profesionales o amateurs que colaboran en distintas etapas de proyectos científicos. Estos aportes aumentan la cantidad de datos, así como también el interés de la comunidad general en la ciencias naturales, reforzando su conexión con la biodiversidad. Sin embargo, es clara la necesidad de incentivar el uso de estas herramientas online y de fortalecer las revisiones profesionales para conformar una fuente de información más sólida y confiable.

Se requiere un abordaje integral, tanto de investigación como de difusión, para lograr un mayor entendimiento de las especies, y así elaborar planes de manejo adecuados que aporten a la conservación de los murciélagos. Estos esfuerzos deben ir acompañados de acciones políticas que consoliden la relación entre la población general y la biodiversidad que lo rodea, para disminuir los impactos negativos sobre la misma, como la destrucción de refugios y la matanza no justificada de individuos.

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

Acosta D. B., Carnovale C. S., Lutz M. A., Merino M. L.. The taxonomic status of *Myotis levis* and *Myotis dinellii* (Mammalia: Chiroptera: Vespertilionidae) in Entre Ríos and Buenos Aires (Argentina) (2013).

Baird, A. B., Braun, J. K., Mares, M. A., Morales, J. C., Patton, J. C., Tran, C. Q., Bickham, J. W. . Molecular systematic revision of tree bats (Lasiurini): doubling the native mammals of the Hawaiian Islands. *Journal of Mammalogy* 96(6): 1255-1274 (2015).

Barquez R. M., Mares M. A., Braun J. K. The Bats of Argentina (1999).

Barquez R. M. Orden Chiroptera. Pp. 56-86, en: Mamíferos de Argentina. Sistemática y distribución (RM Barquez, MM Díaz y RA Ojeda, eds.). SAREM (Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos), Mendoza (2006).

Barquez, R. M. y Díaz, M. M. Los murciélagos de Argentina: clave de identificación - 1a ed. - Tucumán (2009).

Brown, J.H. & M.V. Lomolino. Biogeography. 2a Edn. Sinauser, Sunderland. Massachusetts (1998).

Canals, M., Cattán, P.. Murciélagos de Chile. In: Canals M., Cattán P. (Eds.). Radiografía a los murciélagos de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. pp. 69-84 (2008).

Capitanelli, R. G. Boletín de Estudios Geográficos: Climatología de Mendoza. N°9 54-57 - Vol. XIV (1967).

Castillas C. M., Torres R., Díaz M. M. Murciélagos de la Provincia de Córdoba, Argentina: Riqueza y distribución. *Mastozoología Neotropical*, 20(2):243-254, Mendoza (2013).

EcoRegistros.org Registros ecológicos de la comunidad (<http://www.ecoregistros.org/>) (2019)

Galaz, J. L., Yáñez J., Gantz A., Martínez, D. R.. Orden Chiroptera. In: Muñoz-Pedreros, A., Yáñez, J. (Eds.). Mamíferos de Chile. CEA Ediciones, Segunda edición, Valdivia, Chile. pp. 67-84 (2009).

Galaz, J. L., Yáñez, J. Los murciélagos de Chile: guía para su reconocimiento. Ediciones del Centro de Ecología Aplicada, Santiago, Chile (2006).

Gamboa Alurralde S., Díaz M. M. Feeding habits of four species of *Myotis* (Mammalia, Chiroptera) from Argentina (2019).



Gardner, Al. Mammals of South America, Volume 1. Pp. 669, en: Marsupials, xenarthrans, shrews, and bats. The University of Chicago Press, Chicago (2007).

GBIF.org GBIF Occurrence Download (<https://doi.org/10.15468/dl.boni0i>) (19 July 2019)

Giménez A. L., Schiaffini M. I. Patagonian bats: new size limits, southernmost localities and updated distribution for *Lasiurus villosissimus* and *Myotis dinellii* (Chiroptera: Vespertilionidae) (2019).

Graham, G.L. Changes in bat diversity along an elevational gradient up the Peruvian Andes. *Journal of Mammalogy*, 64: 559-571 (1983).

Humpries, M. M., D. W. Thomas and J. R. Speakman. Climate-mediated energetic constraints on the distribution of hibernating mammals. *Nature* 418: 313–316 (2002).

iNaturalist.org (<https://www.inaturalist.org/>) (2019)

Jones, Ke. Chiroptera (Bats). *Encyclopedia of Life Sciences*. Macmillan Publishers Ltd., Nature Publishing Group (2002).

Mares M. A., Barquez R. M., Braun J. K. Distribution and Ecology of some Argentine Bats (Mammalia) (1995).

Massoia E. Cuatro notas sobre murciélagos de la República Argentina (Mollosidae y Vespertilionidae) (1976).

Mickleburgh, S.P., A.M. Hutson & P. Racey. A review of the global conservation status of bats. *The International Journal of Conservation Oryx* 36(1): 18-34 (2002).

Miranda J. M. D., Bernardi I. P., Sponchiado J. & F. C. Passos. The taxonomic status of *Myotis levis levis* and *Myotis levis dinellii* (Mammalia: Chiroptera: Vespertilionidae) in *Zoologia*, vol. 30, nº 5, pp. 513-518 (2013).

Morello, J., Matteucci S. D., Rodríguez A. F., Silva M. E. *Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos - 1a. ed. - Argentina* (2012).

Ossa G., Rodríguez- San Pedro A. *Myotis chiloensis* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Mammalian Species* 47(922):51–56 (2015).

Programa de Conservación de los Murciélagos de Argentina. (<http://www.pcma.com.ar/>) (2019)

Rhabek, C. The elevation gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* 18: 200-205 (1995).

Reeder, D. M., Kristofer, M. H. y Wilson, D. E. Global trends and biases in new mammal species discoveries. *Occasional Papers, Museum of Texas Tech University* 269:1-35 (2007).

Rodríguez- San Pedro A., Allendes J. L., *Lasiurus borealis* (Müller, 1776): Una especie erróneamente reconocida dentro de la quiroptero fauna de Chile. *Biodiversity and Natural History* (2016) 2(1): 10-12 (2016).

Roig, V.. Elenco sistemático de los mamíferos y aves de la provincia de Mendoza y notas sobre su distribución geográfica. Boletín de Estudios geográficos, 12(49): 175-222. (1965).

Sánchez, R. T., Montani, M. E., Tomasco I. H., Díaz M. M. Y Barquez, R. M.. A new species of *Eptesicus* (Chiroptera, Vespertilionidae) from Argentina (2019).

Shump K. A., Shump A. U. *Lasiurus cinereus*. Mammalian Species:1–5 (2009).

Simmons, N. B. Orden Chiroptera. Pp. 312-529, en: Mammal species of the world: A taxonomic and geographic reference (DE Wilson y DM Reeder, eds.). Vol. 1. Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland (2005).

Simmons, N. B. y Conway, T. M. Evolution of ecological diversity in bats. Pp.493-535, en: Bat ecology (TH Kunz y MB Fenton, eds.). The University of Chicago Press, Chicago (2003).

Teta P., Abba A. M., Cassini, G. H.M., Flores D. A., Galliari C. A., Lucero S. O., Ramírez M. Lista revisada de los mamíferos de Argentina. Mastozoología Neotropical, 25(1):163-198, Mendoza (2018).

# ESCALAMIENTO INGENIERIL A NIVELES DE MADURACIÓN TECNOLÓGICO (TRL) 3 A 6 EN EL LABORATORIO BIOAMBIENTAL.

Adalgisa Scotti<sup>a,e</sup>, Juan Cerioni<sup>b</sup>, Hugo Reviglio<sup>b</sup>, Mauricio Visciglia<sup>a</sup>, Sol Cerioni<sup>b</sup>, Roberto Biondi<sup>b</sup>, Verónica Saavedra<sup>d</sup>, Vanesa Silvani<sup>c</sup>, Alicia Godeas<sup>c</sup>, Juliana Turano<sup>b</sup>, Camila Quiroga<sup>b</sup>, Felipe Genovese<sup>b</sup>, Martín Gómez<sup>a</sup>.

*a-Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (ICES) - Comisión Nacional de Energía Atómica*

*b- Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael*

*c- Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental Aplicada, Universidad Nacional de Buenos Aires*

*d- Universidad Nacional de San Luis*

*e – Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*

*e-mail: [scotti@cnea.gov.ar](mailto:scotti@cnea.gov.ar)*

## RESUMEN

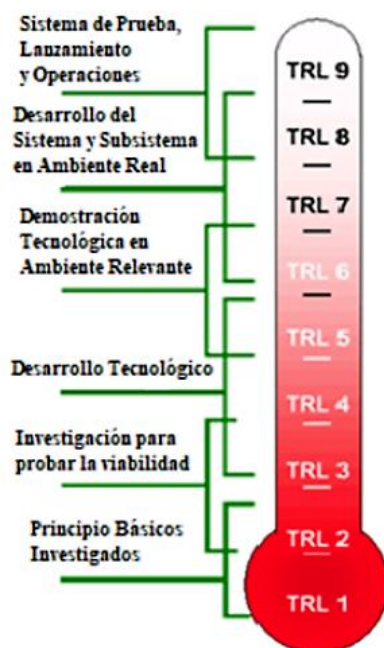
*En este trabajo presentamos el Laboratorio Bioambiental de Escalamiento Ingenieril como herramienta para el escalamiento de ensayos de laboratorio. El laboratorio está situado en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael y se constituye bajo un convenio específico ICES – FRSR, es una herramienta para comprobación de pruebas de concepto a escala piloto o prototipo con el objetivo de transferencia de tecnología aplicable en entorno real. Se plantea al Laboratorio como demostrador tecnológico para adaptar condiciones y variables de trabajo que hagan factible el grado de innovación con Nivel de Madurez de Tecnología (TRL, Technology Readiness Level) 3 a 6. Se exponen dos casos de escalamiento ingenieril en el área de biotecnología ambiental. El caso 1 son Biorreactores para testear consorcios bacterianos, simbiosis micorrizicas y especies vegetales, y el caso 2 es un Módulo de Depuración Vegetal (MDV) para fitorremediación de suelos y aguas contaminadas por metales pesados. En ambos casos, las variables y las condiciones de trabajo elegidas, pH, Eh, Caudales, rellenos, Kh y cantidad de unidades de sistema bioremediador, permiten pasar de la “Prueba de concepto probada”, TRL 1-3, a “entorno relevante”, TRL 6-7, lo cual facilita alcanzar los objetivos de transferencia tecnológica.*

*Palabras Clave:* TRLs - Laboratorio Bioambiental - Módulo de Depuración Vegetal - Biorreactores - Demostrador Tecnológico.

## INTRODUCCIÓN

La maduración de una tecnología tiene 9 niveles (Technology Readiness Levels: TRL), 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 (un entorno con condiciones que se aproximan o simulan suficientemente las condiciones de operación en un entorno real), mientras que el TRL 7 establece la validación y certificación completa en un entorno real. El 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 un entorno real (Fig. 1). Actualmente, se utilizan estos criterios para cuantificar la madurez de la transferencia tecnológica en diversos

programas internacionales, tanto de la Unión Europea como de EE. UU (por ejemplo, Horizon 2020, Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), etc.). (Mankins, J.C., 1995).



**Figura 1.** TRLs en los distintos estadios de la generación del conocimiento y su transferencia tecnológica a escala operativa sostenible industrial. Fuente NASA Technology Readiness Levels. (Craver, Jeffrey T.; et al. 2006).

A pesar de los incentivos para transferir la investigación a la producción, los aspectos prácticos son muchas veces difíciles de realizar. Al utilizar los TRL del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (United States Department of Defense, DoD, 2005) 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 7-9. 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, reproducible, etc.) tiende a ser más costoso y consume más tiempo de lo esperado (Ibáñez de Aldecoa Quintana, 2014).

En este trabajo presentamos el Laboratorio Bioambiental de Escalamiento Ingenieril como herramienta para el escalamiento de ensayos de laboratorio. El laboratorio está situado en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael. Se utiliza para el escalamiento desde TRL 3-4 a TRL 6. Nuestro objetivo es exponer dos casos de escalamiento ingenieril en el área de biotecnología ambiental. El caso 1, Biorreactores, TRL 4, para testear consorcios bacterianos, simbiosis micorrizicas y especies vegetales, y el caso 2, es un Módulo de Depuración Vegetal (MDV), TRL 6, para fitorremediación de suelos y aguas contaminadas por metales pesados.

A través de este trabajo, será posible probar una dada tecnología en un entorno real con menor riesgo de fracaso. El uso de los biorreactores permite establecer las variables de caudal, rellenos, pH, Eh, retención hidráulica, entre otras, que hacen posible la calibración del proceso a realizarse en el MDV.

El llenado de los módulos y biorreactores varía según el objetivo planteado, como muestra la Fig.2. En la parte A, el objetivo es el biolixiviado, recogándose en la cámara colectora el líquido con los metales que hayan podido disolverse, mientras que en la parte B, el objetivo es la biorremediación (fitomicroremediación), realizando el riego de flujo vertical con el líquido que contiene los metales provenientes de la parte A. El pase a

cámara colectora en la parte B, está constituido por el exceso de líquido no absorbido por las especies vegetales.

El objetivo general de este trabajo es 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. Los objetivos específicos son: 1- Obtener las variables críticas de pH, espesores de relleno, Eh, caudal de ingreso y saturación de sustrato en los biorreactores, cantidad de unidades del sistema bioremediador y Kh; 2- Transferir las variables obtenidas en 1 al MDV para su escalamiento industrial.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema bioremediador está compuesto por *Helianthus annuus* en simbiosis micorrícica con GA5 *Rhizophagus intraradices*, ubicado en el MDV y en el biorreactor según corresponda a cada caso (Glick BR. ,2003; Scotti A. et al. 2019; Smith SE. & Read DJ. 2008).

### CASO 1: BIORREACTORES

Consisten en recipientes de 50 cm de alto, 30 cm de ancho y 50 cm de profundidad, rellenos con un filtro de piedra de diferente granulometría y con una pendiente del 6%.

El filtro está compuesto por diferentes estratos siendo el primero de 10 cm de altura compuesto por grava de 10cm de diámetro aproximadamente, sobre este se coloca el segundo estrato de 15 cm de altura compuesto por grava mediana de aproximadamente 5 cm de diámetro, sobre esta se colocan 20 cm de altura de grava pequeña de aproximadamente 1 cm de diámetro, la capa más superficial está compuesta por 15 cm sustrato compuesto por suelo, cenizas volcánicas, microorganismos y catalizadores. El tipo de riego es continuo de flujo vertical, el exceso de líquido es volcado en un recipiente colector ubicado en la salida de la zona del ángulo 0° (Fig. 2A y 2B).



**Figura 2.** A) (izquierda) Esquema del diseño de biorreactores. B) (derecha): Biorreactores en funcionamiento.

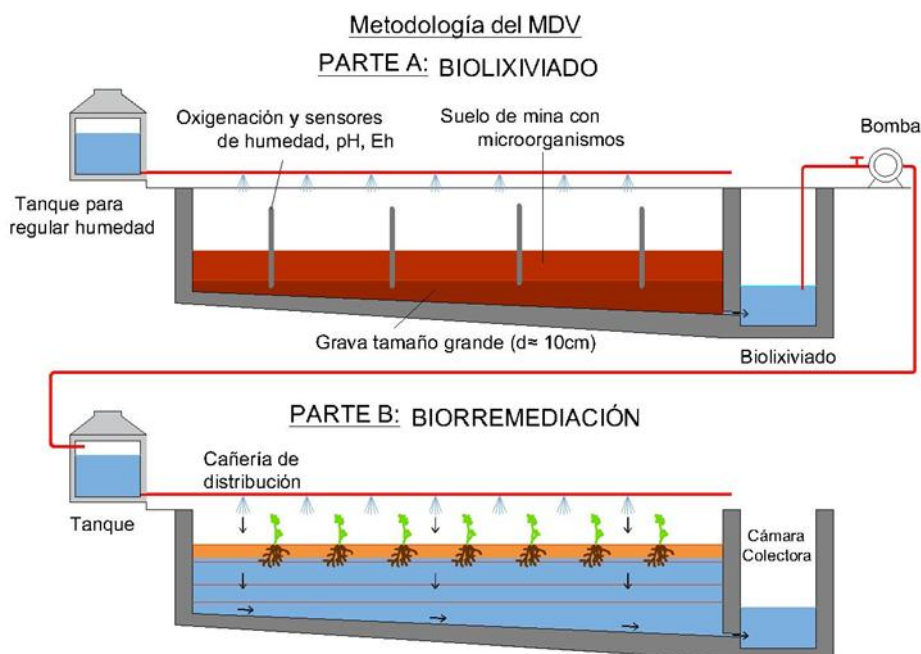
### CASO 2: MÓDULO DE DEPURACIÓN VEGETAL (MDV)

El MDV consta de dos piletas. Cada una tiene un ancho de 2,8 m, una longitud de 5 m y una profundidad de 0,6 m, con una pendiente del 6%, y ambas están conectadas por un sistema hidráulico a cámaras colectoras de efluentes. El sistema tiene depósitos para la entrada de agua, un sistema principal donde el agua corre por un flujo vertical u horizontal, impermeabilización y cubiertas de nylon. El sistema hidráulico permite: a) regular la entrada de agua por sistema vertical y/u horizontal, b) reciclar los efluentes

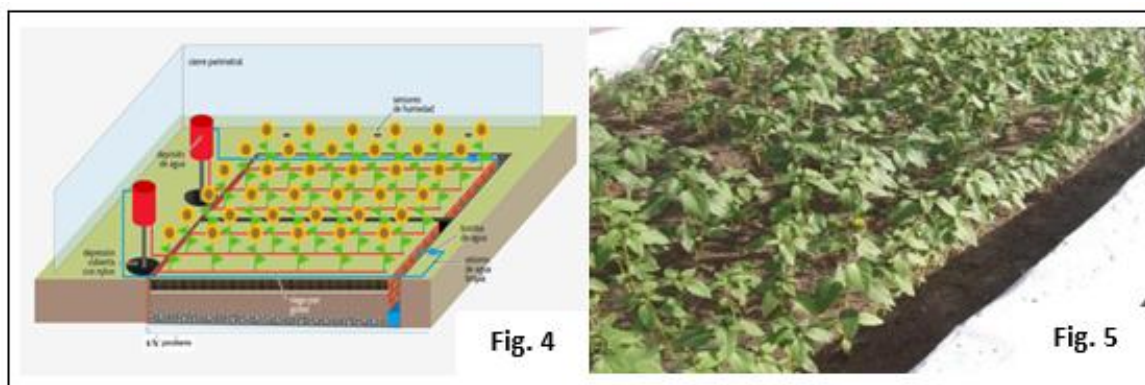


(Fig. 3 Parte A) y c) diseñar los ciclos de los procesos en serie o en paralelo de los sistemas de flujo vertical u horizontal (Fig 3 Parte B, Fig. 4 y Fig.5).

En la Fig. 4, se observa el esquema general de la fitorremediación, y en la Fig. 5 se ve una de las piletas con el sistema biorremediador.



**Figura 3.** Diagrama representativo de la dinámica de fluidos, llenado de módulos y procesos de enlace en serie. Parte A: esquema del proceso de biolixiviación. Parte B: esquema del proceso de biorremediación.



**Figura 4.** Esquema del diseño de MDV para fitorremediación.

**Figura 5.** Pileta sembrada con el sistema biorremediador.

Las piletas del MDV están rellenas con un filtro el cual está compuesto por diferentes estratos siendo el primero de 10 cm de altura compuesto por grava de 10cm de diámetro aproximadamente, sobre este se coloca el segundo estrato de 15 cm de altura compuesto por grava mediana de aproximadamente 5 cm de diámetro, sobre esta se colocan 20 cm de altura de grava pequeña de aproximadamente 1 cm de diámetro, la capa más superficial está compuesta por 15 cm sustrato compuesto por suelo, cenizas volcánicas, microorganismos y catalizadores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los Biorreactores se obtuvieron las variables a aplicar en el MDV, la cantidad de sistema bioremediador a utilizar y la biomasa obtenida bajo esas condiciones para depurar los contaminantes aproximadamente al 50 % en tres meses.

El caudal de ingreso en flujo vertical fue  $Q = 0.037 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$  y sin salida a cámara colectora,  $\text{pH} = 8$ ,  $\text{Eh} = +450\text{v}$ , la cantidad de plantas fue de 4 por cada biorreactor (Fig. 2B).

Con el MDV se obtuvo la calibración del sistema para su aplicación a territorio. La calibración consistió en saber cuántas unidades de sistema bioremediador colocado en el MDV, bajo variables controladas de caudal, flujo de ingreso y egreso,  $\text{pH}$ ,  $\text{Eh}$ ,  $\text{Kh}$ , relleno permitían depurar los contaminantes aproximadamente al 50% en tres meses.

Las variables encontradas fueron: Caudal de ingreso por flujo vertical  $Q = 0.044 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ , el caudal de egreso  $Q = 1.11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3\text{d}^{-1}$ ,  $\text{pH} = 8.4$ ,  $\text{Eh} = +550 \text{ v}$ , la cantidad plantas fue de 280 en un solo módulo (Fig 5).

Siendo el tiempo de retención hidráulica obtenido  $\text{Kh} = 0,00013 \text{ md}^{-1}$  y el volumen de sustrato  $2 \text{ m}^3$ . Estos valores también fueron descriptos por Scotti A. et al. (2019).

El sistema se comportó como un humedal artificial subsuperficial de flujo vertical, modificado en el volumen de sustrato y en el tiempo de retención hidráulica como también describen Akrotos CS, Tsihrintzis V. (2007).

## CONCLUSIONES

En este caso se logró escalar, desde TRL 3 a TRL 6, un sistema bioremediador 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 utilizada en diversas aplicaciones por la CNEA y por la empresa GT Ingeniería, empresa argentina que brinda servicios ambientales.

Las variables encontradas a nivel de TRL 3 con los biorreactores de  $\text{pH}$ ,  $\text{Eh}$ , relleno, cantidad de sistema bioremediador, caudal de ingreso y egreso, constante de retención hidráulica para cuatro plantas por biorreactor, fueron transferidas al MDV a nivel de TRL 6, pudiendo ofrecer una calibración para ser utilizada en territorio para depurar en tres meses el 50 % de contaminante.

El sistema trabajó con una  $\text{Kh} = 0,00013 \text{ md}^{-1}$  lo cual implicó que no hubo salida a cámara colectora con el caudal de ingreso utilizado, el espesor de sustrato y la cantidad de unidades de sistema bioremediador. Estas condiciones permitieron mayor biodisponibilidad de los elementos químicos. Las variables seleccionadas y testeadas a TRL 3 y TRL 6 permitieron depurar del suelo el 50 % de los elementos químicos en estudio.

## AGRADECIMIENTOS

El Laboratorio y los proyectos mencionados pudieron realizarse gracias al aporte de PID UTN FRSR, SIIP UNC, CNEA ICES.

## REFERENCIAS

- Akrotos CS, Tsihrintzis V. (2007), *Ecol Engin.* 29(2): 173-191
- 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"

- DoD, Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook, DUSD(S&T), Editor. 2005, Department of Defense.
- Glick BR. (2003), *Biotechnol Adv* 21:383-393
- Ibáñez de Aldecoa Quintana (2014) Niveles de madurez de la tecnología. [Technology readiness levels: TRLS]: Una introducción. *Econ Indus.* 393:165–171
- Mankins, J.C., Technology Readiness Levels. 1995, NASA
- Scotti A. et al. (2019) *International Journal of Phytoremediation*  
<https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1583634>
- Smith SE. & Read DJ. (2008), *Mychorrhizal Dymbiosis*, third ed. Academic Press, New York

# GEOMICROBIOLOGÍA PARA PROSPECCIÓN POR URANIO EN PROFUNDIDAD EN LA CUENCA NEUQUINA

Scotti Adalgisa<sup>ab</sup>, Rojas Guillermo<sup>c</sup>, Servant Marcela<sup>c</sup>, Catálfamo Pablo<sup>c</sup>, Gómez Martín<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo, ARGENTINA

<sup>b</sup>International Center for Earth Sciences (ICES), Comisión Nacional de Energía Atómica

<sup>c</sup>Comisión Nacional de Energía Atómica Regional Cuyo

e-mail: [scotti@cnea.gov.ar](mailto:scotti@cnea.gov.ar)

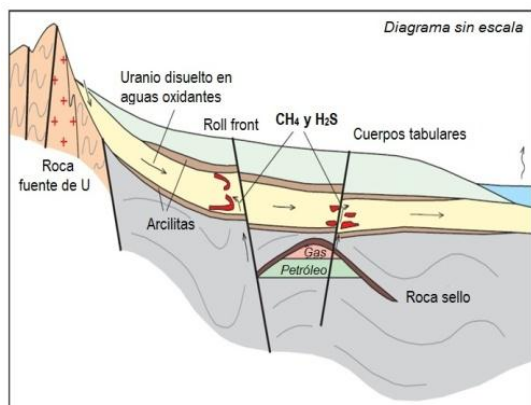
## RESUMEN

*En este trabajo se establece que la relación microbiana *Bacillus sp* / Mesófilas aeróbicas totales (B/MT) está vinculada con la presencia de uranio en areniscas y con algunos elementos asociados en su paragénesis. El muestreo realizado abarca una superficie de 12 Km<sup>2</sup> sobre un área próxima a la localidad de Colonia Catriel, Departamento de General Roca, Provincia de Río Negro. Se recolectaron 81 muestras para determinaciones radimétricas, espectrométricas, químicas y microbiológicas. Se analizaron 10 pozos con distintas concentraciones de Uranio en profundidad. Las zoneografías y las concentraciones correspondientes Uranio químico y a la relación microbiológica fueron analizadas. Los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico mediante componentes principales y regresión lineal, utilizando el programa Statistica 7. Los resultados muestran una correlación estadística altamente significativa entre la geomicrobiología y la concentración de U tanto en superficie como en profundidad.*

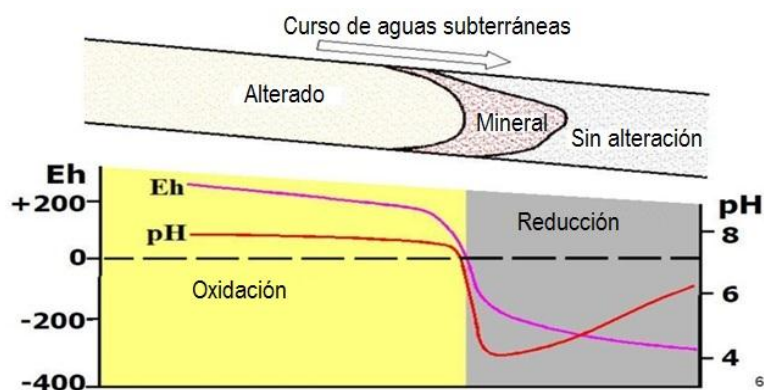
**Palabras Clave:** Geomicrobiología, Prospección, Uranio, Cuenca Neuquina

## 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).

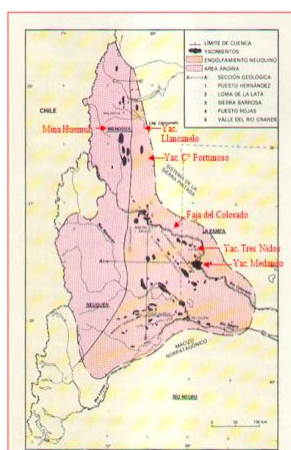


**Figura 1.**(Izquierda) Diagrama de mineralización uranífera en presencia de hidrocarburos. Modificado de Jaireth,S. et al. (2008).



**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 (Landais 1989). 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 precipitantes se darían a menores profundidades y en sectores más cercanos al borde de la cuenca. Estos petróleos se han originado en la Formación Vaca Muerta (Cevallos 2011).



**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).



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). 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 ello nos basamos en las siguientes hipótesis: 1- los hidrocarburos desempeñan un papel clave en la precipitación de uranio en el área. 2- 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. 3- las características geológicas del suelo permiten que se pueda vincular la geomicrobiología de superficie con los depósitos en profundidad.

## METODOLOGÍA

El sitio de estudio comprende 600 km<sup>2</sup> de la cuenca Neuquina. Se recolectaron 81 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. Las determinaciones microbiológicas fueron realizadas por la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria de la UNCuyo, 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, 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 I se observan los resultados de la relación microbiológica 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 I.** Resultados de la relación microbiológica para cada uno de los puntos muestreados en las 3 campañas.

Muestra	RELACION B/MT ESTANDARIZADAS	Coordenadas Geográficas X	Coordenadas Geográficas Y	Muestreos	Muestra	RELACION B/MT ESTANDARIZADAS	Coordenadas Geográficas X	Coordenadas Geográficas Y	Muestreos	Muestra	RELACION B/MT ESTANDARIZADAS	Coordenadas Geográficas X	Coordenadas Geográficas Y	Muestreos
Mcq-1	-2,45E-01	-37,7728871	-67,999473	1 campaña 20 muestras	Mcq-500	-0,86259316	-37,76859	-68,05195	2 campaña 36 muestras	MR-1	0,084738879	-37,7940083	-67,9750972	3 campaña 25 muestras
Mcq-2	-1,44E+00	-37,7552446	-67,9629746		Mcq-503	-0,639301551	-37,7711	-68,02762		MR-2	0,887060805	-37,7932417	-67,9802917	
Mcq-3	-3,80E-01	-37,7730727	-68,0812485		Mcq-505	0,970890075	-37,76684	-68,03519		MR-3	-0,142585667	-37,7919611	-67,9842917	
Mcq-4	-1,41E+00	-37,7754988	-68,0906176		Mcq-506	-0,590164603	-37,77559	-68,04738		MR-4	-0,316422084	-37,7893222	-67,9878611	
Mcq-5	-1,98E+00	-37,7568468	-68,0515825		Mcq-508	-0,400571467	-37,78155	-68,04705		MR-5	-0,717583048	-37,786925	-67,9921194	
Mcq-6	7,19E-01	-37,9273926	-68,0571616		Mcq-509	-0,076376928	-37,77732	-68,036		MR-6	-0,921202627	-37,7852472	-67,9967694	
Mcq-7	1,38E+00	-37,9047209	-68,0387597		Mcq-513	-0,728970551	-37,76777	-67,98815		MR-7	3,099524299	-37,7830528	-68,0026944	
Mcq-8	-7,65E-01	-37,9117342	-68,0852185		Mcq-519	-0,424926107	-37,77628	-67,99969		MR-8	-0,423398341	-37,7733333	-68,0045694	
Mcq-9	1,33E+00	-37,7712364	-68,0343862		Mcq-520	0,03352268	-37,77328	-67,98232		MR-9	-0,423398341	-37,7732944	-68,0119139	
Mcq-10	-1,90E+00	-37,8851691	-67,8999852		Mcq-522	-0,562412629	-37,77622	-67,96371		MR-10	0,951615443	-37,7665306	-68,0081972	
Mcq-11	1,76E+00	-37,8851691	-67,8999852		Mcq-523	0,087724191	-37,79182	-67,94747		MR-11	0,419039682	-37,7663833	-68,0142778	
Mcq-12	-1,31E-02	-37,8554759	-67,9654734		Mcq-526	-0,351822059	-37,78566	-67,98141		M5-1	-0,627625741	-37,7953444	-67,9640611	
Mcq-13	6,96E-02	-37,8686839	-67,9060865		Mcq-529	-0,684776631	-37,7698	-67,94975		M5-2	-0,744327112	-37,7952167	-67,9664944	
Mcq-14	1,52E-01	-37,8597641	-67,980874		Mcq-534	0,72902418	-37,78235	-67,96192		M5-3	-0,774414184	-37,7951056	-67,9692167	
Mcq-15	2,35E-01	-37,8042634	-67,9383851		Mcq-537	0,211940202	-37,73322	-68,00187		M5-4	-0,780264448	-37,7940556	-67,9637639	
Mcq-16	3,18E-01	-37,7736563	-67,9070996		Mcq-541	-0,193663593	-37,72372	-67,96826		M5-5	1,823103053	-37,7939444	-67,9663139	
Mcq-17	4,01E-01	-37,8314936	-68,0272914		Mcq-543	0,385841732	-37,73144	-67,97717		M5-6	0,088671829	-37,7940444	-67,969425	
Mcq-18	4,83E-01	-37,76605	-68,07082		Mcq-545	1,527411626	-37,73727	-67,98346		M1-1	-0,897269729	-37,7812	-68,0070167	
Mcq-19	5,66E-01	-37,92739	-68,05716		Mcq-547	-0,478121237	-37,73812	-67,99858		M1-2	-0,458499925	-37,7812167	-68,0057444	
Mcq-20	6,49E-01	-37,91985	-68,05090		Mcq-549	0,817311905	-37,7117	-67,95403		M1-3	-0,553004191	-37,7823639	-68,0068694	
					Mcq-552	-0,903045727	-37,7373	-67,94958		M1-4	0,068023839	-37,7823667	-68,0056889	
					Mcq-553	-0,629796278	-37,77032	-68,04652		M1-5	0,138227007	-37,7817556	-68,0050528	
					Mcq-556	0,038015966	-37,77324	-68,03502		M1-6	-0,813097563	-37,7827861	-68,0061889	
					Mcq-560	-0,103747262	-37,77515	-68,04226		M1-7	1,667096012	-37,7817778	-68,0076667	
					Mcq-563	1,606735769	-37,77684	-67,97168		M1-8	-0,634007847	-37,7806389	-68,0064639	
					Mcq-569	0,293224693	-37,78417	-67,95818						
					Mcq-572	-0,042412408	-37,77815	-67,96529						
					Mcq-575	0,648661146	-37,77525	-67,95804						
					Mcq-582	-0,614302347	-37,79021	-67,96222						
					Mcq-585	0,880827192	-37,76871	-67,96175						
					Mcq-588	-0,799972821	-37,72621	-67,96338						
					Mcq-590	1,336469107	-37,73438	-67,95513						
					Mcq-593	-0,875064984	-37,72884	-67,96894						
					Mcq-598	0,040761869	-37,73765	-67,96928						
					Mcq-602	0,453661581	-37,74348	-67,97285						
					Mcq-607	-0,09185981	-37,73183	-67,98782						

Las zoneografías correspondientes a cada campaña se observan en la Fig.4. las zonas de anomalías severas están en rojo y zonas negativas en azul. La primera campaña está representada en la zoneografía de la izquierda, la segunda en la del medio y la tercera en la de la derecha. Es interesante notar cómo se fue densificando el muestreo en relación al área elegida. El delineado en rojo indica la zona muestreada y se corresponde en las tres imágenes.

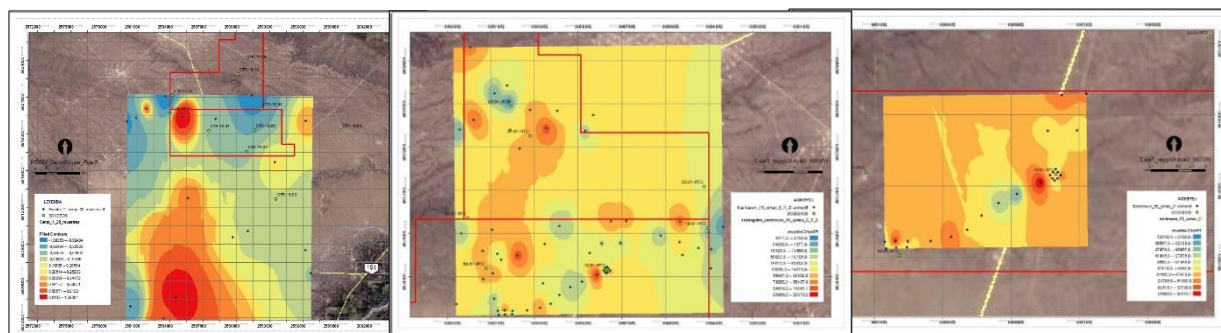


Figura 4. Zoneografías para la relación microbiológica correspondientes a cada campaña.

Los resultados de las tres campañas fueron standardizados estadísticamente y reunidos en un solo gráfico para facilitar el análisis (Fig. 5). Se puede notar la concordancia entre las anomalías químicas y las anomalías geomicrobiológicas en la Fig.6.

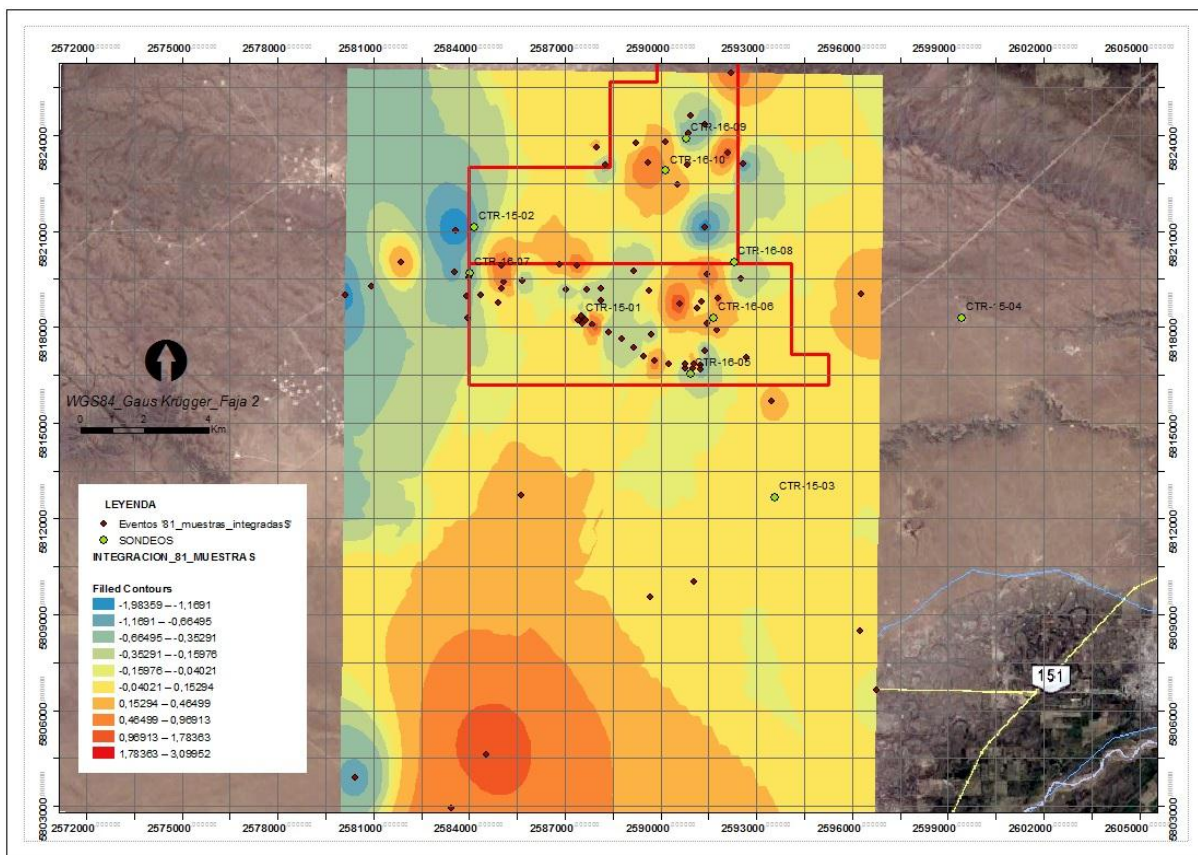


Figura. 5. Zoneografía para la relación microbiológica en las zonas de estudio de las 3 campañas.

La zona ubicada al sur oeste en la Fig. 5 correspondería a derrames petrolíferos del yacimiento petrolífero Los Medanos por lo tanto se descartó como prioridad en las subsiguientes campañas exploratorias de CNEA.. Los estudios comparativos se centraron en la zona recuadrada en rojo ubicada al norte. En esa zona podemos observar tres áreas con fuertes anomalías geomicrobiológicas, es decir con valores de la relación *Bacillus sp*/ mesófilas aeróbicas totales elevadas y marcadas en rojo en la zoneografía. Estas zonas forman un triángulo que contiene los 10 pozos petrolíferos – uraníferos marcados con sus nombres en la imagen. En la Fig. 6 se puede comparar la zoneografía de los valores químicos de uranio con la zoneografía de los valores geomicrobiológicos. Vemos que las áreas en superficie se corresponden muy significativamente mientras que en las zonas puntuales de las perforaciones se registran diferencias. Comenzando por la zona al norte vemos que los pozos 9 y 10 para la zoneografía de U en superficie marca una zona de fuerte anomalía mientras que para la zoneografía geomicrobiológica la perforación 9 cae en zona negativa y la 10 en un área positiva y cercana a una fuerte anomalía. Las perforaciones 8, 2 y 7 caen para ambas zoneografías zonas negativas mientras que el pozo 6 y el 1 se registran fuertemente positivos en ambas. En la región de la perforación 5 se intensificó el muestreo ya que hay zonas negativas pegadas a una fuerte



anomalía. El registro geomicrobiológico indica que hacia el sur se negativiza mientras que hacia el norte se positiviza.

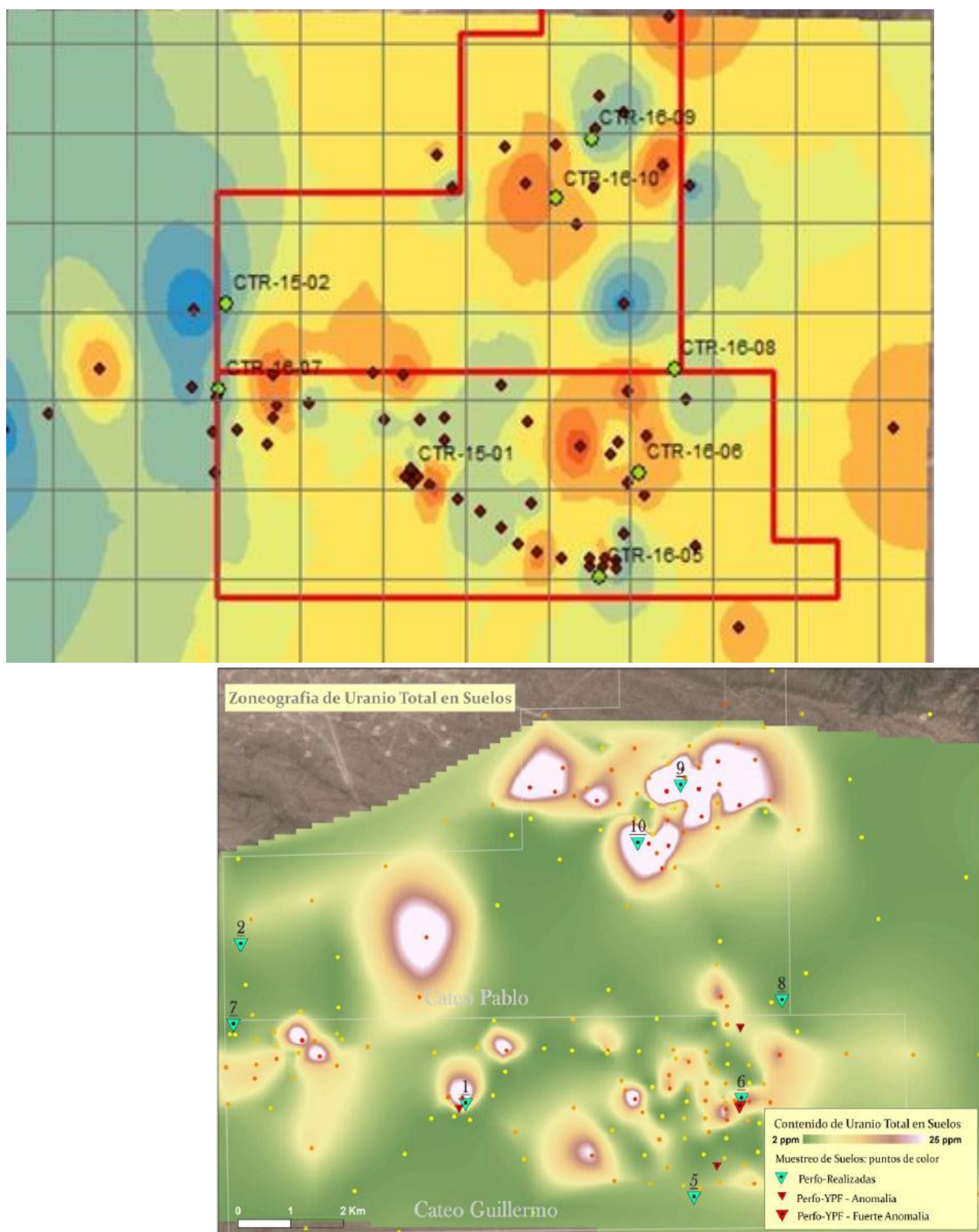


Figura 6 Zoneografía microbiológica (arriba) y zoneografía del contenido químico de U en superficie (abajo). Puntos verde-azulados corresponden a perforaciones exploratorias.

Para testear la microbiología y su relación con el contenido de uranio en profundidad, se utilizó un mapeo de perfiles (Fig.7) y los datos de registros químicos (Karkanis 2016)

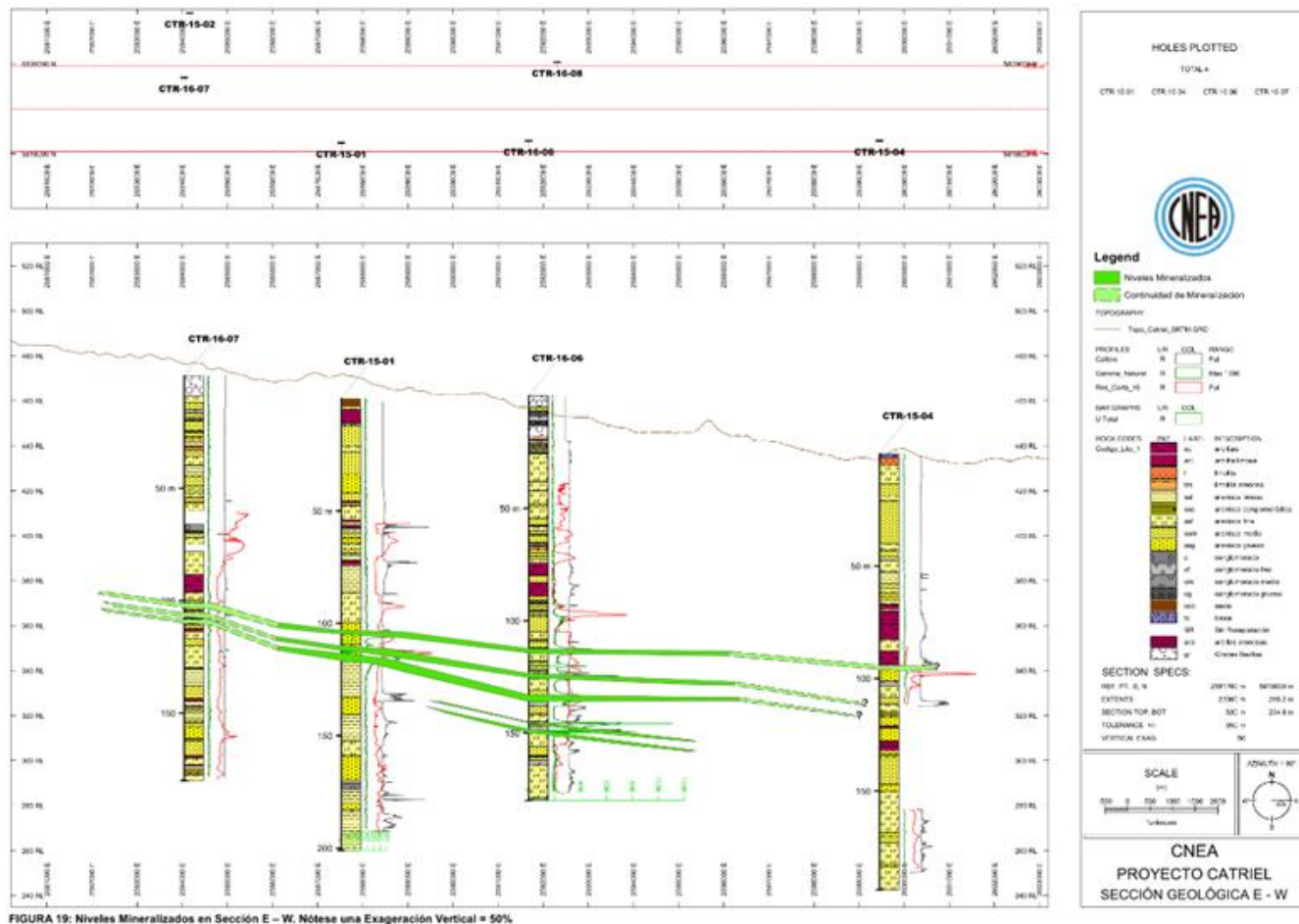


Figura 7 .Perfiles geológicos donde se visualiza la mineralización uranífera y las anomalías geofísicas

Los registros de mineralización (Fig.7) indican que el pozo 6 es el más mineralizado, continuando por el 1 y en menor grado el 10.

## CONCLUSIONES

- 1-Se obtuvo un método de estandarización estadística que permitió comparar y agrupar valores de distintas campañas geoquímicas.
- 2-Las anomalías geomicrobiológicas se corresponden con las áreas de anomalías geoquímicas en superficie, pero presentan más discontinuidad indicando quizás mayor precisión para el análisis exploratorio.
- 3-Las zonas negativas para la geomicrobiología coincidieron con perforaciones sin valor uranífero.
- 4-Las anomalías geomicrobiológicas se corresponden con las anomalías en profundidad.

Hay que seguir trabajando en la vinculación dela geomicrobiología con las anomalías en profundidad, permeabilidad de suelos, emanometrías, porosidad y variables geofísicas.

## AGRADECIMIENTOS



Se agradece especialmente la colaboración de la Ing. Ana Castaño Gañan, el Geólogo Constantino Karkanis y al Dr. Martín Pedro Gomez.

## BIBLIOGRAFIA

Batista García, R.Al. A.L. Quesada Quintero, A. Sánchez Reyes, S. López Guerra y Z.Domínguez Sardiñas, 2011. Microbiología y biotecnología aplicadas a la exploración y producción petroleras. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 42, No. 1, pp. 35-41.

Brodtkorb, M.K., 1966. Mineralogía y consideraciones genéticas del yacimiento Huemul, provincia de Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XXI, N° 3, pp. 165-179.

Cevallos, M.; Vamonde, D.; Rivero, M.; Rojas, C.; Kim, H.; Galarza, T.; Legarreta, P., 2011. 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.

De Vasconcellos, S.P.; Crespim E.; Da Cruz, G.F.; Marques-Simioni, K.C.; Santos Neto, E.V.; Marsaioli, A.J.; Olivera, V.M., 2009. Isolation, biodegradation ability and molecular detection of hydrocarbon degrading bacteria in petroleum samples from a Brazilian off shore basin. Organic Geochemistry. 40,574.

DuTeau, N.M.; Rogers, J.D.; Bartholomay, C.T.; Reardon, K.F., 1998 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 n°12, 4994-4999.

Horvitz L., 1939. On geomicrobial prospecting. Geophysics, 4:210-228.

Karkanis, C., 2016. Informe Ejecutivo 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

Landaís, P., 1989. Biodegradation of oils in uranium deposits, en Metallogenesis of uranium deposits. IAEA.

McLee A, Kormendy A, Wayman M., 1972. Isolation and characterization of n-butane utilizing microorganisms. Canadian Journal of Microbiology;18:1191-1195.

Narvaez Flores S., Gómez, M., Martínez, M., 2008. 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).

Rasheed M, Veena M, Satish T, Patil D, Dayal A., 2008. Geomicrobial prospecting method for hydrocarbon exploration in Vengannapalli Village, Cuddapah Basin, India. Current Science;95:361-366.

Sanket J, Chirag B, Anjana D., 2008. 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.

Manual of acid in situ leach uranium mining technology. IAEA-TECDOC -1239. August 2001

# **VARIACIONES TEMPORALES DE LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA DE LLANCANELO (MENDOZA, ARGENTINA): ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROGRÁFICOS Y ANTRÓPICOS**

Seitz, V. P.<sup>ab</sup>, Soria, N. D.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Desertificación y Ordenamiento Territorial (LaDyOT), Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas IADIZA-Conicet, ARGENTINA.

<sup>b</sup> Grupo de Ecología y Manejo de Vertebrados Silvestres (GEMaVer), Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas IADIZA-Conicet, ARGENTINA.

E-mail: [vseitz@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:vseitz@mendoza-conicet.gob.ar)

## **RESUMEN**

*La cuenca de la Laguna de Llanquanelo se ubicada en la provincia de Mendoza, en el Departamento de Malargüe, con una superficie de 11586,8 km<sup>2</sup>. Se trata de una cuenca endorreica y forma parte de un ecosistema ambiental representado por un humedal soporte de un rico sistema biológico, que es un área protegida como reserva provincial, adherida al sistema internacional RAMSAR. En años recientes se ha observado una reducción significativa del área del cuerpo de agua superficial de la Laguna de Llanquanelo, hasta casi su total desaparición. Diversas razones se adjudican a la variación del espejo de agua, como el cambio del caudal de los ríos que alimentan la laguna debido al Cambio Climático Global así como a la fuerte demanda del agua superficial y subterránea aguas arriba destinado a diferentes usos humanos. El desecamiento de este humedal puede tener un impacto ambiental de consecuencias aun no estudiadas en detalle. El objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento temporal de la superficie de la laguna de Llanquanelo y su interconexión con factores ambientales y antrópicos ocurridos en la cuenca. Se analizaron: a) series mensuales del área del espejo de agua, provenientes de imágenes satelitales; b) series de datos de caudales, c) series de superficie del territorio destinado a uso agrícola, d) uso del agua y e) población de la ciudad de Malargüe. Se utilizaron técnicas de procesamiento digital de imágenes, análisis geoespacial con Sistemas de Información Geográfica y análisis estadístico de correlación. Los resultados mostraron una relación entre el área del espejo de agua y caudal de los ríos que aportan a sus aguas, particularmente el río Malargüe explicó el 40% de la variación del agua. La relación con el clima, y en particular el índice de aridez (precipitación/evapotranspiración) explica el 40% de la variabilidad. El área agrícola se ha incrementado en un 900% en los últimos 45 años y el crecimiento de la población entre 1980 y 2010 fue del 66,4%, lo cual se ha asociado con la disminución temporal del área en el período de tiempo estudiado. Se concluye que la laguna de Llanquanelo muestra una sensibilidad significativa al caudal de ríos, arroyos y al clima, incluyendo a la demanda del agua para diversos usos. Se postula que el área del cuerpo de agua es un buena aproximación al balance hídrico de la cuenca, el cual resultó negativo en los últimos años como consecuencia del uso de las aguas que lo alimentan. Se detecta entonces, la posibilidad que el sistema humedal haya iniciado un proceso desertificación.*

Palabras clave: Desertificación, Humedal, Tierras secas.

## Introducción

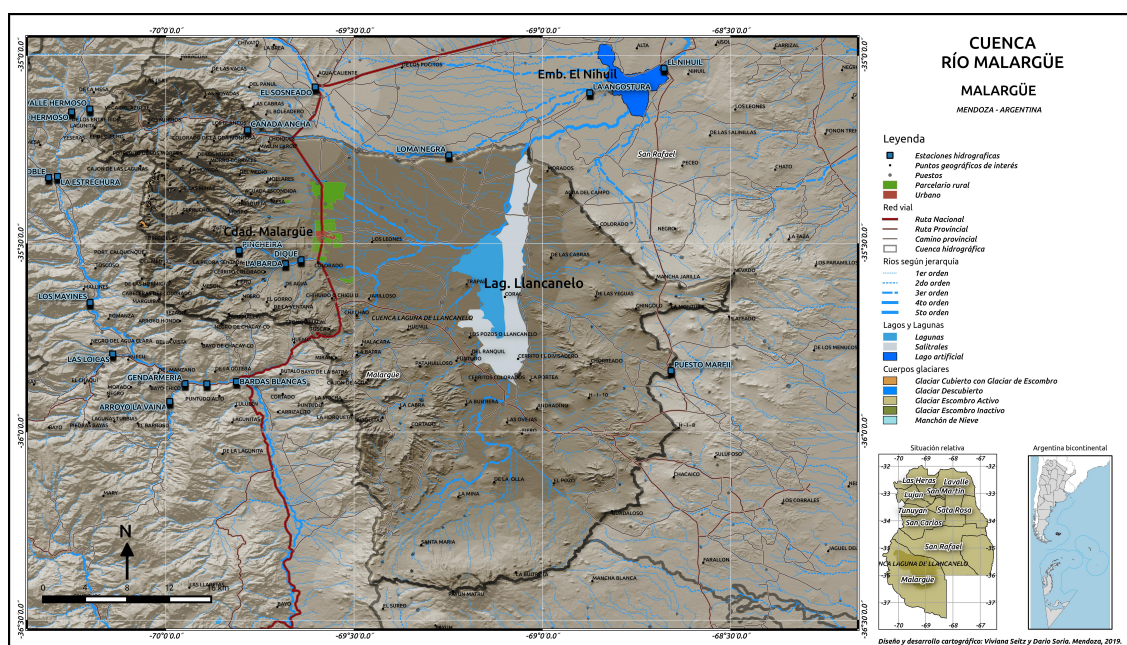
La cuenca del río Malargüe se ubica en la provincia de Mendoza, en el departamento homónimo y posee una superficie de 11586,8 km<sup>2</sup>. Se trata de una cuenca endorreica que escurre hacia la Laguna de Llanquanelo, la cual contiene un ecosistema humedal soporte de una alta riqueza biológica. Es por ello que es un área protegida como reserva provincial y ha sido declarada área RAMSAR. El río Malargüe es el principal afluente superficial de la laguna, y secundariamente aportan los arroyos El Chacay, El Álamo, Mocho, Malo, Menuco, Carilauquen y Carapacho; estos 2 últimos vertiendo agua de origen subterráneo.

Históricamente, se ha registrado una amplia variación en el área que cubre el espejo de agua de la laguna. Vitali (1940) menciona que “*en años de excepcional abundancia de nieve o lluvias dispone agua por parejo (...) -mientras que- en años de pocas precipitaciones, no pasa de ser un gran bañado*”. En años recientes, el área del cuerpo de agua ha mostrado un comportamiento ampliamente variable, llegando hasta su casi total desaparición. Sin embargo, en los últimos años se ha observado una falta de recuperación del espejo de agua aún en los períodos de abundante lluvias. En este trabajo se proponen dos principales razones a esta falta de recuperación: la merma del caudal de los ríos que alimentan la laguna debido a la disminución de la precipitación nival en cordillera ocurrida por el cambio climático global, y la fuerte demanda del agua superficial y subterránea aguas arriba, destinada a diferentes usos. El objetivo de este trabajo fue analizar el comportamiento temporal de la superficie de la laguna de Llanquanelo y su interconexión con factores ambientales y antrópicos en la cuenca. Se espera aportar información de la dinámica hídrica de la cuenca, para contribuir al estudio de las consecuencias que el desecamiento de este humedal puede tener en un ambiente de tierras secas.

## Materiales y Método

El área de estudio abarcó la cuenca hidrográfica endorreica del río Malargüe entre los meridianos -70.1993 y -68.4899 y los paralelos -36.4274 y -35.0538 (ver [Fig. 1](#)). Se construyó un Sistema de Información Geográfica del área de estudio en el que se trabajaron imágenes satelitales LandSat que abarcaron el período desde el año 1973 al 2017. Las mismas fueron obtenidas del *United States Geological Survey* (USGS), el

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Brazil (INPE) y la Comisión Nacional de Estudios Espaciales de Argentina (CONAE), y accedidas entre el año 2015 y el 2019. Se obtuvo un total de 540 imágenes mensuales, sobre las cuales se derivó el área húmeda que representó el espejo de agua de la laguna mediante la corrección radiométrica y clasificación supervisada de un rango de valores de píxeles. Sobre la clasificación se reclasificaron los valores de interés y se vectorizaron para luego calcular el área del espejo de agua. Estas áreas promediaron anualmente, obteniendo 44 vectores anuales que conformaron la muestra analizada. De modo similar, se calculó el área agrícola para el mismo período de tiempo mediante el cálculo del índice NDVI sobre las imágenes satelitales correspondientes con el período agrícola (de noviembre a marzo).



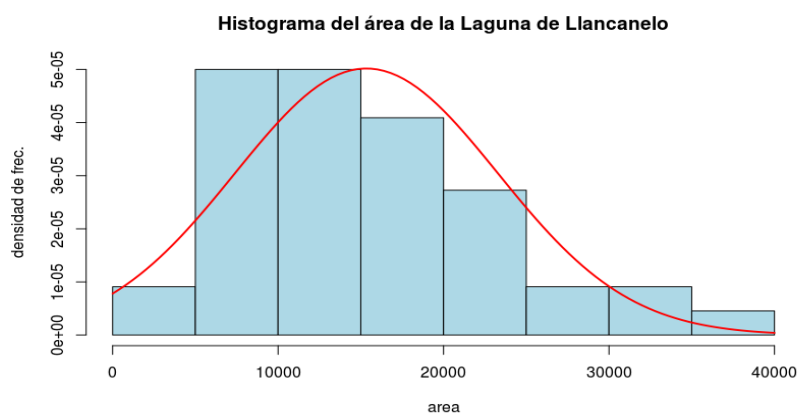
**Figura 1.** Cuenca endorreica del Río Malargüe incluyendo el área de estudio.

Se obtuvieron variables climáticas que provinieron de series temporales de datos mensuales promediados como temperaturas (TMP), precipitaciones (PRE), la evapotranspiración potencial (PET) y el índice de aridez (IA, [Soria et al. 2014](#)) para el periodo 1/01/1901 al 31/12/2014 (CRU TS 3.23, [Harris et al. 2014](#)). Por otro lado, se obtuvieron datos hidrológicos de los ríos afluentes a la laguna como el caudal medio anual ([BDHI 2019](#)), mientras que sobre los vectores derivados de las imágenes satelitales se calcularon los datos morfométricos del espejo de agua incluyendo ancho máximo, longitud máxima, área y línea costera de orilla para el período de estudio. La evolución del área de uso agrícola permitió estimar las necesidades netas de agua de los cultivos para el oasis agrícola Malargüe según las aproximaciones de [Morabito et al.](#)

(2009). Se obtuvieron así, los datos del uso del agua como demanda para consumo humano y las necesidades netas de agua de los cultivos. Para estimar las relaciones entre la variable respuesta y las posibles variables explicativas, se calcularon índices de correlación de Pearson. Los análisis geoespacial y estadístico de datos se realizaron sobre plataforma de código abierto ([QGIS 2019](#), [R 2009](#)).

## Resultados

Según el análisis exploratorio de los datos, las estadísticas descriptivas de la variable respuesta área de la laguna indicaron un promedio de 15.337,8 ha. ( $\pm 7.950,4$  ha. de desviación estándar) para los 44 años analizados. El histograma de frecuencias acumuladas de los valores (ver [Fig. 2](#)) mostró una distribución de datos asimétrica, registrándose una alta proporción de áreas entre las 500 y las 1.500 ha. y pocos sucesos con valores por debajo de las 500 ha. o por encima de las 2.000 ha. Sobre este análisis se planteó la hipótesis estadística que el área de la laguna posee una distribución normal en el tiempo. El análisis de Shapiro comparó estas frecuencias con una distribución teórica gaussiana y no descartó que los datos provengan de una población con distribución normal ( $W = 0,96$ ,  $p = 0,12$ ).



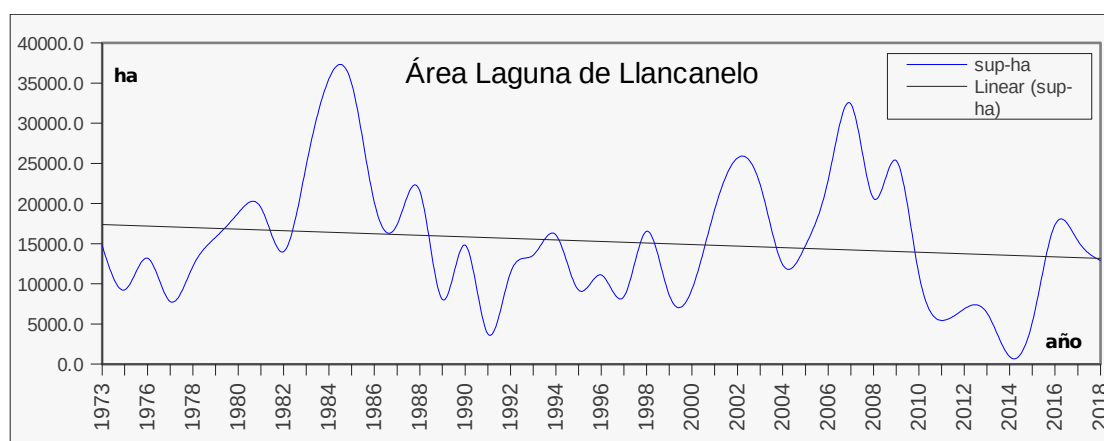
**Figura 2.** Histograma de frecuencias del área de la laguna Llançanelo (período 1973-2017) y curva de distribución teórica gaussiana de probabilidades de ocurrencia.

## Análisis temporal

El análisis de los datos dentro del período analizado mostró un área mínima de 924,3 ha. (año 2014) y una máxima de 35.534,2 ha. (año 1984). El área de la laguna varió ampliamente para el período analizado (ver [Fig. 3](#)), sin embargo la recta de regresión mostró una tendencia negativa, traducida como un decrecimiento del área de la laguna,



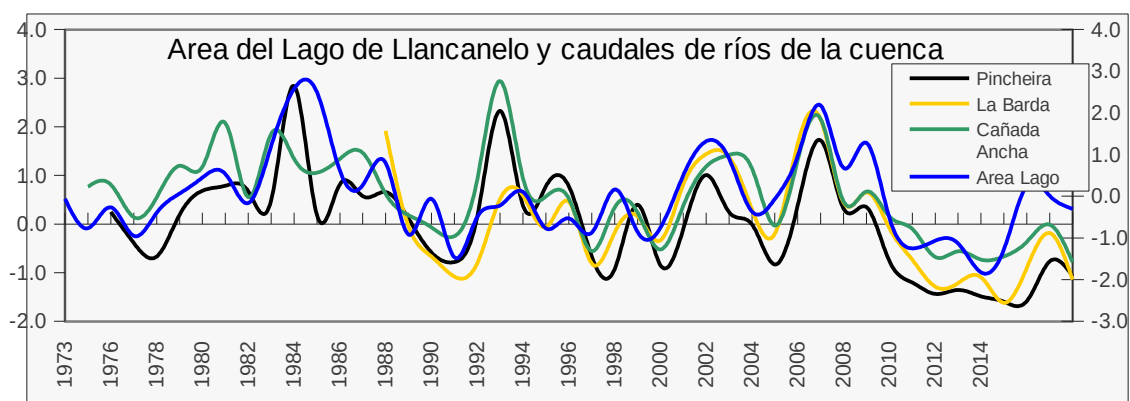
sostenido en el tiempo.



**Figura 3.** Superficie del área de la laguna (en hectáreas) registrada en el período 1973-2018 y su recta de tendencia.

### **Análisis hidrológico**

El análisis de asociación entre el área de la laguna y el caudal de los ríos aforados que fluyen hacia la misma mostraron una estrecha relación entre los mismos (ver Fig. 4). En efecto, el coeficiente de correlación de Pearson confirmó una alta asociación entre la variación del área de la laguna y los caudales del río Malargüe registrados en el aforo Pincheira ( $r= 0,63$ ; 40 g.l.) y La Barda ( $r= 0,83$ ; 28 g.l.), así como el caudal del río Salado registrado en el aforo de Cañada Ancha ( $r= 0,63$ , 41 g.l.).

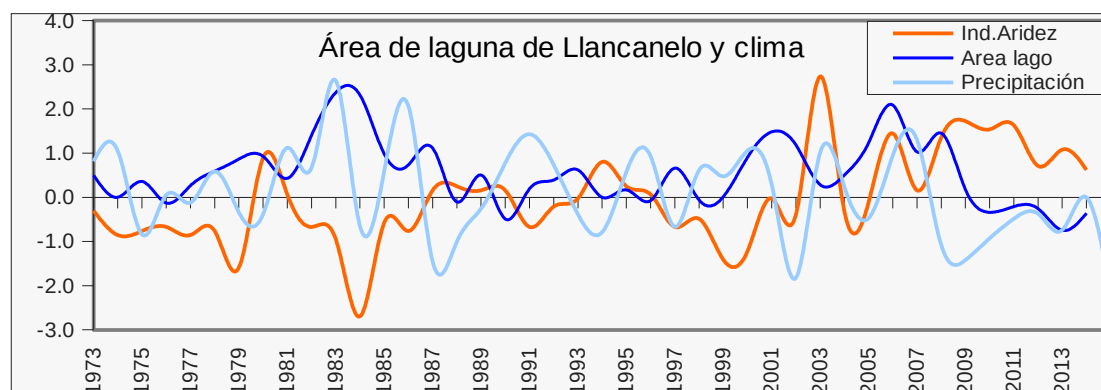


**Figura 4.** Área de la laguna de Llanquanelo con el caudal de los ríos aforados de la cuenca del río Malargüe.

### **Análisis climático**

El área de la laguna de Llanquanelo también ha sido explicada parcialmente por las variables climáticas (ver Fig. 5). El análisis de correlación calculado mediante el coeficiente de Pearson demostró que el índice de aridez (IA) ha sido la variable que mejor explicó la variación interanual del área ( $r= 0,63$ ; 83 g.l.). La evapotranspiración

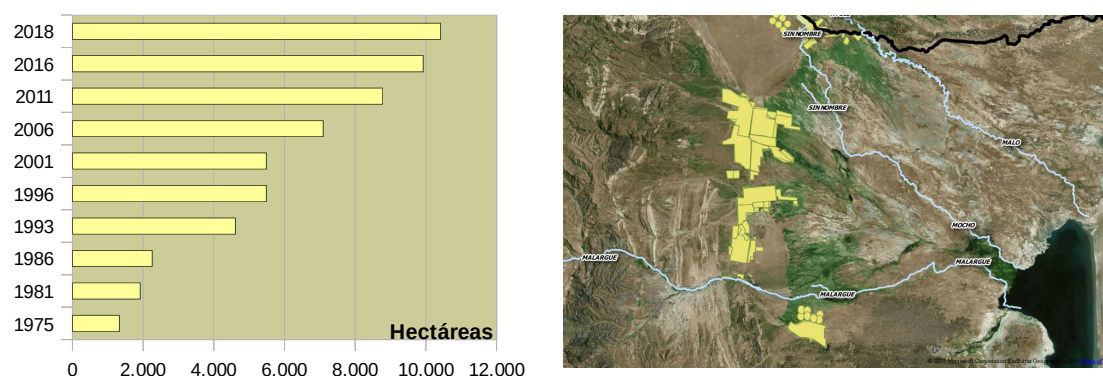
explicó un 25% de la variación de la laguna, teniendo una relación inversa con la superficie de la laguna ( $r = -0,25$ ; 77 g.l.). La precipitación anual ha sido la variable que menos asociación presentó con la variación del área de la laguna ( $r = 0,02$ ; 77 g.l.).



**Figura 5.** Área de la laguna de Llanquihue con variables climáticas.

### Uso del agua

La superficie destinada para uso agrícola es irrigada con el agua proveniente de los ríos Malargüe y Salado, se desarrollada en los alrededores de la ciudad de Malargüe. Esta ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos años (ver [Fig. 6](#)).

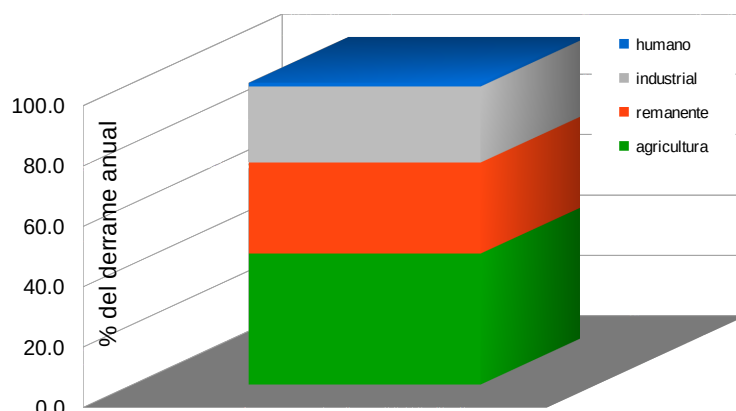


**Figura 6.** Evolución del área agrícola del oasis de Malargüe: a la izquierda el histograma del área detectada bajo riego sobre imágenes satelitales para los años 1974-2018; a la derecha se muestra la distribución de dichas áreas y su asociación espacial con los principales afluentes de la laguna Llanquihue para el año 2018.

Para el año 1975 la superficie agrícola fue de 1.328 ha., este valor se ha incrementado a 10.409 ha. para el año 2018, equivalente a un aumento de 7,8 veces el tamaño del área. Todas las áreas de uso agrícola identificadas se encuentran aguas arriba de la laguna de Llanquihue, por lo que el agua destinada al riego ya sea superficial o subterránea es interceptada antes de llegar a la laguna.

Según la evolución del área de uso agrícola, se estimaron las necesidades netas de agua de los cultivos. Del total de agua escurrida del río Malargüe, se deriva un 43,4 % para

uso agrícola, 30,2% remanente sin destino no identificado, 25,2 % para uso industrial y un 1,2 % para uso humano (ver Fig. 7).



**Figura 7.** Gráfico de barras acumulado del uso del agua derivada en el dique Blas Brisoldi, ubicado sobre el cauce del río Malargüe.

## Discusión y conclusiones

El presente trabajo concluye que el área de la laguna de Llanquanelo tiene una fuerte dependencia con el agua superficial escurrida por los arroyos y ríos de la cuenca del río Malargüe. Se denominan entonces a los arroyos Pincheira y Lagunita que forman el río Malargüe son los principales afluentes de la laguna Llanquanelo, mientras que el río Salado podría categorizarse como efluente secundario del cuerpo de agua.

De las relaciones entre el área de la laguna y las variables climáticas, se demarca que el índice de aridez explica gran parte de la variabilidad del cuerpo de agua. Por otro lado, las precipitaciones locales aportan menos del 1% al espejo de agua. Por lo tanto, el régimen de la laguna depende de los ríos superficiales y de los aportes subterráneos de forma casi exclusiva.

El análisis temporal indicó una reducción de la superficie del cuerpo de agua, con una tendencia negativa mantenida en el tiempo. De continuar la tendencia de crecimiento de la demanda aguas arriba de la laguna, se detecta un riesgo de desecamiento del humedal en un futuro mediano. La existencia del humedal se asegura si la autoridad competente del agua en la provincia de Mendoza, asegura el caudal que le corresponde a la reserva natural Llanquanelo como regante con sus 2.475 hectáreas con derecho a riego ([Decreto-Ley 9/80](#)).

Se ratifica entonces que la laguna de Llanquanelo es un fiel expositor del balance hídrico de la cuenca ([Bianchi et al. 2015](#)). Se identifican dos componentes desencadenantes del

proceso de desertificación. Por un lado, la demanda del agua para diferentes usos humanos y su incremento sostenido. Por otro lado, factores climáticos ambientales centrados en la escasez de agua. Ambos factores disminuyen la superficie de la laguna, lo que podría desencadenar en el desecamiento del humedal y su consecuente pérdida de la riqueza biológica. De continuar estas tendencias detectadas se perdería de forma irreversible uno de los ecosistemas más ricos de Mendoza.

## **Bibliografía**

- Base de Datos Hidrológica Integrada (BDHI). 2019. Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica. Ministerio del Interior Obras Públicas y Vivienda. Presidencia de la Nación. <http://bdhi.hidricosargentina.gob.ar/>
- Bianchi L., F. Rojas, J. A. Rivera, M. Britos Navarro, R. Villalba. 2015. Desarrollo de un índice regional de balance hídrico inferido a partir de imágenes satelitales de la laguna de Llanquihue, Mendoza. XII Congreso Argentino de Meteorología (CONGREMET). Centro Argentino de Meteorólogos (CAM).
- Departamento General de Irrigación (DGI) 2017. Balance Hídrico Zona del Río Malargüe. Mendoza.
- Decreto-Ley 9/80, Gobierno de Mendoza, 1980. Reserva Faunística “Laguna de Llanquihue”. <http://argentinambiental.com/legislacion/mendoza/decreto-ley-980-reserva-faunica-laguna-llanquihue/>
- Harris, I. et al., 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), pp.623–642. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/joc.3711> [Accessed June 25, 2019].
- Morabito J., R. Hernández, S. Salatino y C. Mirabile, 2009. Cálculo de las necesidades de riego de los principales cultivos del oasis sur. Mendoza, Argentina. Conagua. Trelew, Chubut, Argentina.
- QGIS Development Team, 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>».
- R Development Core Team, 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Soria, D., M. C. Rubio y E. Abraham, 2014. Extensión y clasificación de las tierras secas en la República Argentina. En: Torres, L., Abraham, E. y G. Pastor (Eds.) “Una ventana sobre el territorio: herramientas teóricas para comprender las tierras secas”. EDIUNC. Mendoza, Argentina. ISBN 978-950-39-0301-8. 195-198 pp.
- Vitale, G., 1940. Hidrología Mendocina. Contribución a su conocimiento. Mendoza.

# EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, ANÁLISIS DE DATOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHASCHUIL

Serra M.<sup>a</sup> y Ortiz E.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Monitoreo y Control de la degradación Geoambiental, FTyCA, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: [malvinaserra@gmail.com](mailto:malvinaserra@gmail.com)

## RESUMEN

*El arsénico (As) es un metaloide natural presente en suelos argentinos, principalmente vinculado a la actividad volcánica, y su ocurrencia en el agua compromete enormemente este valioso recurso para el consumo humano. Por ello, la provisión de agua segura a la población, incluyendo su tratamiento, especialmente en regiones semiáridas como el Valle de Chaschuil, es un gran desafío. En el sector de estudio se encuentra asociado a la zona de Los Seismiles, denominándose así a aquellos aparatos volcánicos que superan los 6000 msnm, y está fuertemente condicionado por la interacción del río con las rocas volcánicas del sustrato y por el derretimiento de la nieve acumulada en la cima de los volcanes. Las muestras seleccionadas fueron analizadas en el laboratorio Geoambiental minero de la FTyCA-UNCA, mediante la técnica de espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICP- AES). El cálculo de cobertura de nieve fue realizado utilizando el Índice de Diferenciación de Nieve Normalizado (NDSI), a partir del procesamiento de imágenes satelitales. Con los valores obtenidos, se procedió a su ubicación en la cartografía que abarca la cuenca alta del río Chaschuil, alimentado por aguas de deshielo que fluyen desde los volcanes circundantes. El análisis conjunto de los datos de calidad de agua y la variación de la cobertura de nieve, permitió estudiar la evolución de este ambiente y la concentración de elementos perjudiciales para la salud al norte de la Cuenca.*

*Palabras Clave:* Chaschuil, Seismiles, arsénico, agua, calidad.

## INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un metaloide natural presente en la corteza de la tierra. La contaminación ocurre por su liberación a suelos y acuíferos debido a procesos naturales como erupciones volcánicas y erosión de rocas (Harte et al., 1991). El As es uno de los contaminantes inorgánicos más tóxicos, presente fundamentalmente en agua subterránea, y detectado en una amplia escala de concentraciones en todo el mundo. En suelos argentinos tiene origen volcánico, y su presencia abarca una extensa zona de la región centro y norte del país. La exposición de los seres humanos al elemento ocurre a través del consumo de agua y alimentos contaminados (Argos et al., 2011), según la Organización Mundial de la Salud, alrededor del 80% de todas las enfermedades en los seres humanos son causadas por el agua. El límite máximo admisible es de 10 mg/l, valor que ha sido incorporado al Código Alimentario Argentino (CAA) y cuya aplicación se encuentra en suspenso. El valor guía establecido por la OMS continúa siendo provisional debido a la incertidumbre sobre los efectos en la salud y a la dificultad tanto de su remoción del agua potable como de la medición de



concentraciones tan bajas. Se destaca también que existe disparidad entre los valores máximos admitidos en diversas provincias (AEN AGUA, 2018).

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.

El arsénico en la cuenca es aportado por la litología, las rocas volcánicas erosionadas proporcionan sedimentos ricos en As que son depositados por el viento o se encuentran en el sustrato que atraviesa el río. Su cantidad se puede haber incrementado por disminución del caudal del río o por mayor aporte de sedimentos. La disminución del caudal puede estar ligada al cambio climático que podría estar afectando a los glaciares de alta montaña que constituyen el principal aporte de agua. Por otro lado, el aumento de la cantidad de sedimentos que llegan al cauce se puede deber a la actividad antrópica, los vehículos y la remoción del suelo que permite que el viento, de gran magnitud en el sector, transporte más sedimentos ricos en As hacia cotas menores.

### **Área de estudio**

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.

Se puede acceder a la cuenca del río Chaschuil desde Tinogasta por la Ruta Nacional N° 60 hasta llegar al paso de San Francisco, que conecta Catamarca con la Republica de Chile, es un valle longitudinal que se ubica en la localidad de Fiambalá, al oeste de la Provincia de Catamarca y dista 350 km de la capital catamarqueña. Ver Fig. 1.

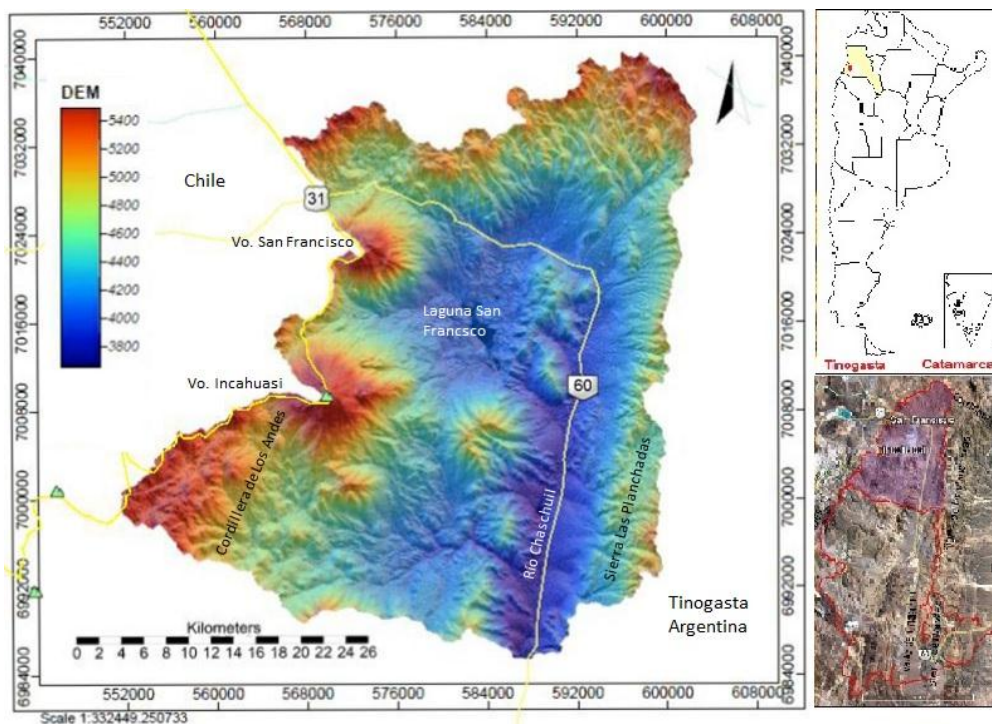


Figura 1: Ubicación y vías de acceso de la Cuenca Alta del río Chaschuil

### **Objetivo**

El objetivo del presente trabajo consiste en aplicar el procesamiento de imágenes satelitales para calcular la cobertura de nieve utilizando el Índice de Diferenciación de Nieve Normalizado (NDSI), y realizar el análisis conjunto de los datos de calidad de agua y la variación de la cobertura de nieve, para estudiar la evolución de este ambiente y la concentración de elementos perjudiciales para la salud al norte de la Cuenca.

### **METODOLOGÍA**

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 procesar las imágenes Landsat 8 y SRTM en los softwares libres: QGIS, GRASS GIS y SAGA GIS.

Se descargaron cuatro Modelos digitales de Elevación (MDE) SRTM de 30 metros de resolución que cubren el área de estudio. En SAGA GIS se realizó un mosaico y recorte de la zona de interés a partir de un archivo shape del límite de la cuenca alta del río Chaschuil. El SRTM30 necesita ser pre-procesado antes de usarlo en el análisis, por lo que el primer paso fue reproyectar el MDE al sistema de coordenadas planas POSGAR94/faja2, luego el segundo paso constituyó rellenar los espacios en blanco aplicando un filtro gaussian para remover el ruido de alta frecuencia que hace que el MDE se vea un poco granular. Por último, en este software se realizó el análisis de pendientes, rugosidad, orientación de laderas y del nivel de base de la red de drenaje.

Para el análisis de las imágenes Landsat 8 (PATH-ROW = 232-079), obtenidas en la plataforma de descarga USGS, se utilizaron los software QGIS y su complemento GRASS GIS. En este software se recortaron las imágenes, se aplicó una máscara a la Laguna de San Francisco para evitar errores en el cálculo del Índice y se procedió al cálculo del NDSI en la imagen de invierno y de verano, una vez obtenido el Índice se clasificó en Pseudocolor monobanda para resaltar la nieve de las demás coberturas.

En la campaña de campo realizada en enero de 2019 (Fig. 2), se recolectaron muestras de agua del cauce del río Chaschuil, desde las nacientes del río hasta la quebrada La Angostura.



Figura 2: recolección de muestras del río Chaschuil

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio Geoambiental minero de la FTyCA-UNCA, mediante la técnica de espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICP- AES). Ver Tabla I.

Los valores resaltados en negrita son los que presentan mayores anomalías, ubicados principalmente en las nacientes del río donde el contacto con las rocas volcánicas es mayor. La muestra 17 posee el valor más alto de arsénico encontrado y corresponde a la muestra tomada en la Laguna Hedionda, que además tiene un gran contenido de azufre (de allí su nombre).

Tabla I: datos de arsénico analizados por la técnica ICP- AES

2019	As (ppb)	As (mg/l)	Na (ppm)
1	65.687	0.066	183.376
2	72.816	0.073	181.702
3	74.463	0.074	178.076
4	77.741	0.078	174.282
5	9.368	0.009	11.680
<b>6</b>	<b>85.799</b>	<b>0.086</b>	<b>157.361</b>
<b>7</b>	<b>88.900</b>	<b>0.089</b>	<b>154.317</b>
<b>8</b>	<b>89.532</b>	<b>0.090</b>	<b>147.878</b>
<b>9</b>	<b>86.241</b>	<b>0.086</b>	<b>139.033</b>
10	61.335	0.061	78.234
11	10.274	0.010	123.089
12	9.442	0.009	68.406
13	31.963	0.032	80.435
<b>14</b>	<b>171.961</b>	<b>0.172</b>	<b>145.786</b>
15	22.108	0.022	41.045
16	22.618	0.023	41.453
<b>17</b>	<b>8940.987</b>	<b>8.941</b>	<b>19192.357</b>
18	278.094	0.278	930.233
<b>19</b>	<b>148.110</b>	<b>0.148</b>	<b>1151.770</b>
20	73.201	0.073	165.531

## RESULTADOS

La realización de un Mapa del Nivel base de la red de drenaje (Fig. 4) a partir del recorte del MDE SRTM30, permite describir las alturas del terreno respecto del nivel medio de la cuenca. La representación refleja el relieve mediante tres colores, que simbolizan la cota o altura y que guardan relación con la red de drenaje. De forma simplificada, el agua de las precipitaciones que circula por una cuenca, según Mari et al. (2016), tiene tres posibles caminos a seguir: 1) evaporarse, principalmente en la cima de los volcanes (color violeta); 2) infiltrarse, en el fondo del valle (color amarillo claro) y 3) correr por la superficie en función de la topografía y las pendientes (color verde). En este trabajo se hizo especial énfasis en el último punto, ya que es el sector donde la nieve estacional se acumula sobre las coladas de lava y al derretirse en verano, fluye hacia cotas más bajas.

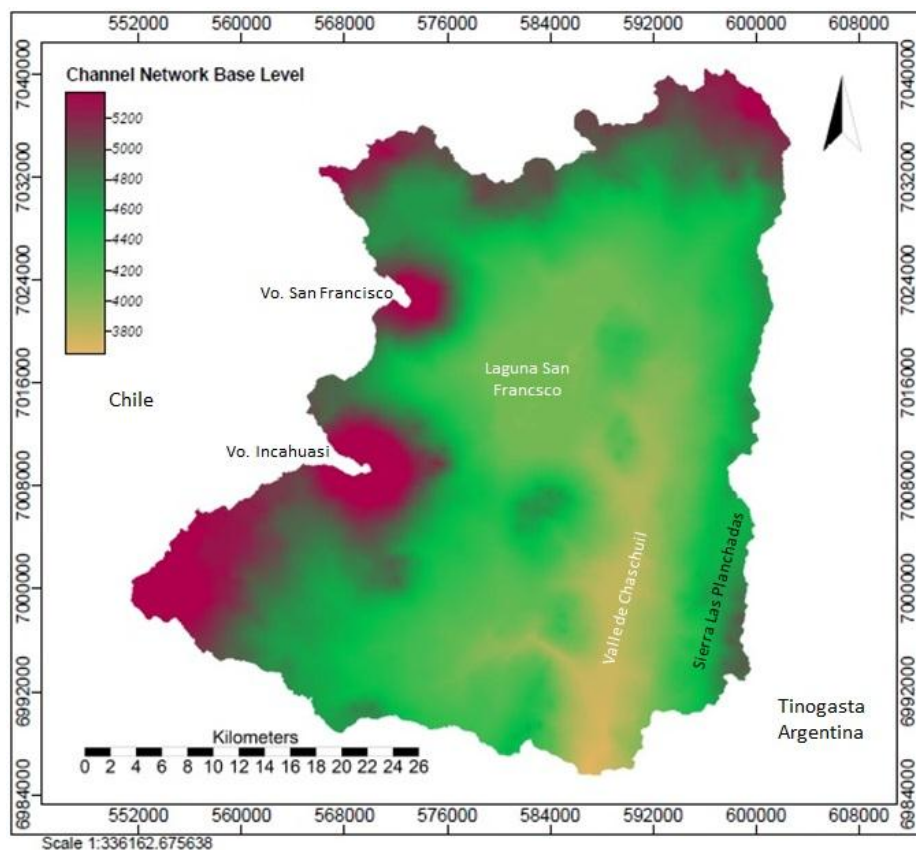


Figura 3: Nivel base de la red de drenaje (DEM)

La utilización de índices NDSI (Índice de Nieve Diferencial Normalizado) permitió distinguir la 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 (Hall y Riggs, 2011).

La obtención de Índices de Diferenciación de Nieve constituye una herramienta importante ya que facilita la comprensión de la evolución climática e hídrica que impera en la zona estacionalmente, permitiendo observar como la cubierta de nieve pierde espesor y superficie en verano.

Para corroborar este análisis visual se tomaron los valores ND, se obtuvieron en la imagen de invierno (Fig. 4) valores de reflectancia entre 0,5 y 0,6 aprox. para nieve de gran espesor, entre 0,2 y 0,4 para la nieve de bajo espesor (verde) y menores a 0,2 para los suelos y rocas. En el caso de la imagen de verano (Fig. 5), solo se observa nieve en la cima de los volcanes con alturas que superan los 6000 msnm, los valores de reflectancia (0,6) indican que se trata de nieves eternas, la nieve de bajo espesor en esta época no se encuentra debido a que es estacional.



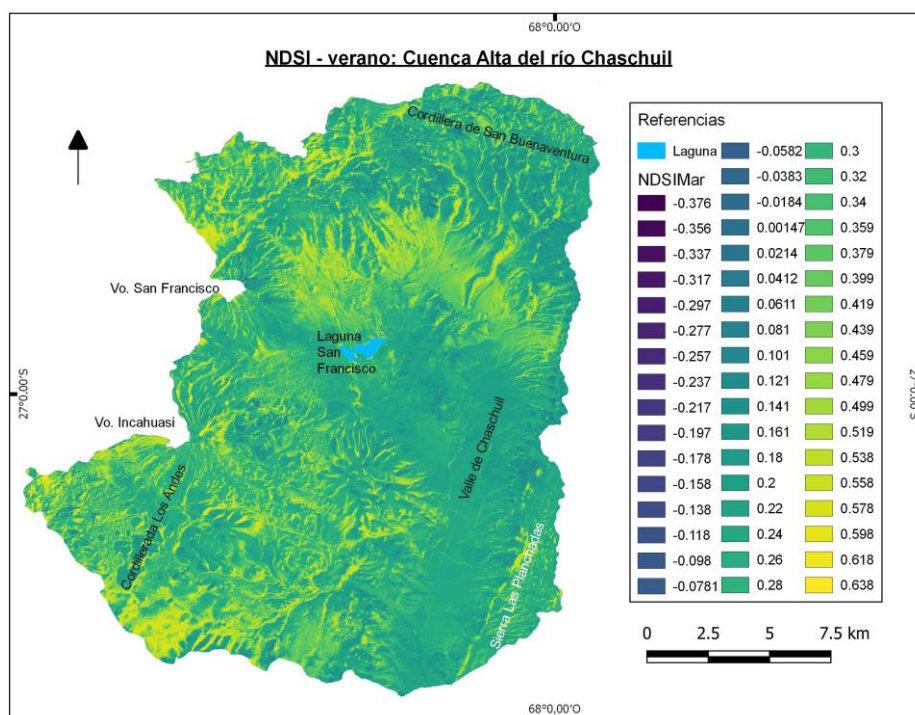


Figura 4: Índice NDSI de invierno de la cuenca alta del río Chaschuil

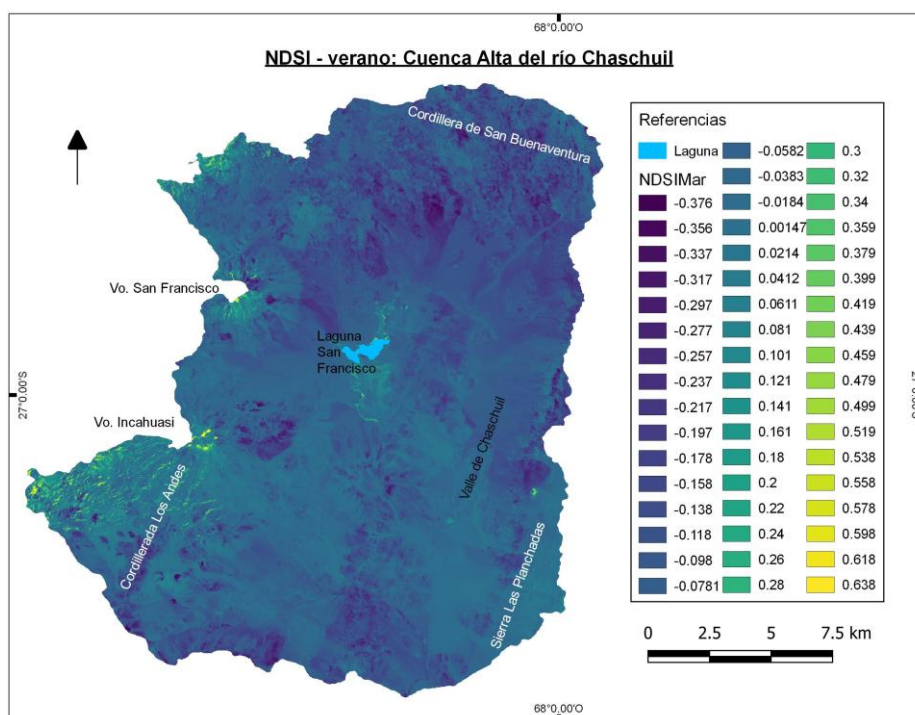


Figura 5: Índice NDSI de verano de la cuenca alta del río Chaschuil

## CONCLUSIONES

La utilización de Índices de Diferenciación permitió 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 climática que se observa en la región que pertenece a un sistema pluvio-nival dominante.

Se considera a las acumulaciones de hielo y nieve 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 nieve tanto en invierno como en verano y su cobertura, pudiéndose visualizar el aporte de agua, por derretimiento de nieve estacional, al cauce del río Chaschuil en épocas de escorrentía.

La relación que se estableció entre el mapa de Nivel de base de la red de drenaje realizado en SAGA GIS y los mapas de NDSI, fue de gran ayuda para entender la dinámica hídrica. Se observa que la nieve acumulada en las laderas de los volcanes en invierno se encuentra en el sector de escorrentía del MDE, que está conformado en el sustrato por las coladas de lava de los volcanes circundantes.

Siendo las coladas de lava el principal aporte de As al sistema, la acumulación y flujo de nieve sobre las laderas de los volcanes propicia el incremento de este elemento en las nacientes de la cuenca, que en cotas más bajas disminuye por mezcla de aguas que descienden de la sierra de Las Planchadas. Al disminuir el caudal del río por las bajas precipitaciones de los últimos tiempos, los valores de As aumentaron, ya el mayor aporte de agua proviene principalmente de la nieve que se acumula sobre rocas volcánicas.

## REFERENCIAS

- AEN AGUA. Arsénico en Agua, Informe Final. Grupo AD HOC Arsénico en Agua, Red de Seguridad Alimentaria, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. ISSN 2618-2785 (2018).
- Argos, M.; Kalra, T.; Pierce, B.L.; Chen, Y.; Parvez, F.; Islam, T.; Ahmed, A.; Hasan, R.; Hasan, K.; Sarwar, G.; Levy, D.; Slavkovich, V.; Graziano, J.H.; Rathouz, P.J.; Ahsan, H. A prospective study of arsenic exposure from drinking water and incidence of skin lesions in Bangladesh. *Am J Epidemiol*, 174 (2): 185 –194 (2011).
- 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.
- Harte, J.; Holdren, C.; Shirey, C. (1991). *Toxics A to Z. A guide to everyday pollution Hazards*. Univ. of California Press.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). Arsenic, metals, fibres, and dusts. volume 100 C. A review of human carcinogens. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization. Lyon, Francia (2012).
- Mari, N., Pons, D., Vicondo, M., Barreda, M. y Amarilla, M. (2016): Bases para la caracterización de la hidrología superficial de la cuenca del río Cruz del Eje en la Provincia de Córdoba, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Organización Panamericana de la Salud. Guía para mejorar la calidad del agua ámbito rural y pequeñas ciudades Agua segura bvsde.ops.pdf; <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/guiacalidadaguarrural.pdf>. Acceso 28 de junio de 2018 (2007)
- World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed., Suiza; [en línea]. Disponible en: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>. Acceso junio de 2018 (2017).
- Villaamil Lepori, E.C. Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina, *Acta Bioquím Clín Latinoam*, 49 (1): 83-104 (2015).

# RED AMBIENTAL DEL IADIZA. DIEZ AÑOS DE LABOR

Soria, N. D.<sup>a</sup>, Seitz, V. P.<sup>a,b</sup>, Abraham, E. M.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratorio de Desertificación y Ordenamiento Territorial (LaDyOT), Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas IADIZA-Conicet, ARGENTINA.

<sup>b</sup>Grupo de Ecología y Manejo de Vertebrados Silvestres (GEMaVer), Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas IADIZA-Conicet, ARGENTINA.

e-mail: [ndsoria@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:ndsoria@mendoza-conicet.gob.ar)

## RESUMEN

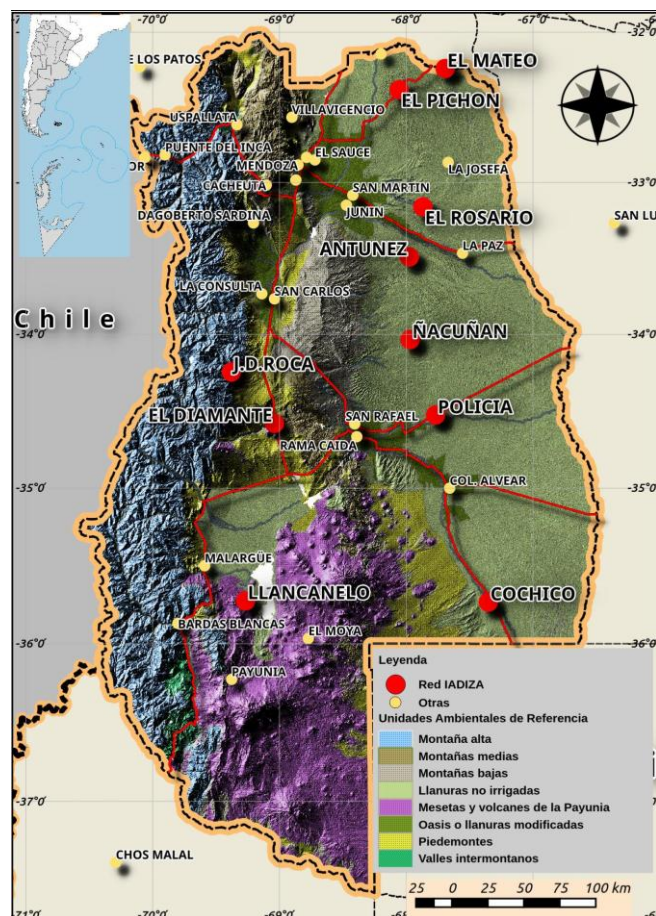
*La Red Ambiental del IADIZA consta de nueve estaciones meteorológicas ubicadas en el llano no irrigado y sector de Payunia de la provincia de Mendoza, entre los 440 a los 2296 m.s.n.m. Su objetivo es generar información relativa al estado, tendencias, riesgo climático de la degradación de tierras y desertificación para elaborar propuestas e impulsar medidas de prevención, control, mitigación y adaptación al cambio climático. Los datos e información generada son usados en el sector científico regional y nacional, asesoramiento a los tomadores de decisiones públicas y/o privadas de Argentina y para información a la sociedad en general. Los datos son acumulados en soporte digital, colectados cada tres meses y transferidos a una base de datos para su administración, procesamiento, análisis y publicación en línea. La base de datos se compone de mas de 451 mil registros meteorológicos con una periodicidad temporal de una hora, agrupados por fecha incluyendo presión atmosférica, temperatura, humedad, precipitación, radiación solar, dirección y velocidad del viento. Los registros de la Red Ambiental son publicados en un sitio web de acceso libre y gratuito ([www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/red\\_iadiza/index.htm](http://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/red_iadiza/index.htm)), promoviendo y adhiriendo a la cualidad de democratización de la información fijada por CONICET (ley nacional número 26.899).*

*Palabras clave:* Clima, Desertificación, Llanura no irrigada, Mendoza, Meteorología.

## Introducción

La Red Ambiental del IADIZA fue desarrollada con el fin de monitorear, evaluar y contribuir al conocimiento climático para la mitigación de la degradación de tierras y la desertificación de la extensa llanura de la provincia de Mendoza. Su composición se promovió con la integración de varios proyectos y que permitieron disponer del equipamiento inicial. El objetivo general es “proveer información relativa al estado, tendencias y riesgo climático de la degradación de tierras y desertificación para elaborar propuestas e impulsar medidas de prevención, control y mitigación, que serán usadas para el sector científico regional y nacional, asesoramiento a los tomadores de decisiones públicas y/o privadas de Argentina y la información a la sociedad en general”.

La Red Ambiental IADIZA posee una configuración de aplicación de la microregión (ver Fig. 1), donde el detalle espacial y temporal de los datos meteorológicos permite su aplicación en



investigaciones con objetivos locales y regionales.

*Figura 1.* Distribución de las estaciones meteorológicas que conforman la actual Red Ambiental del IADIZA, en relación con las Unidades Ambientales de Referencia (véase Abraham *et al.* 2014).

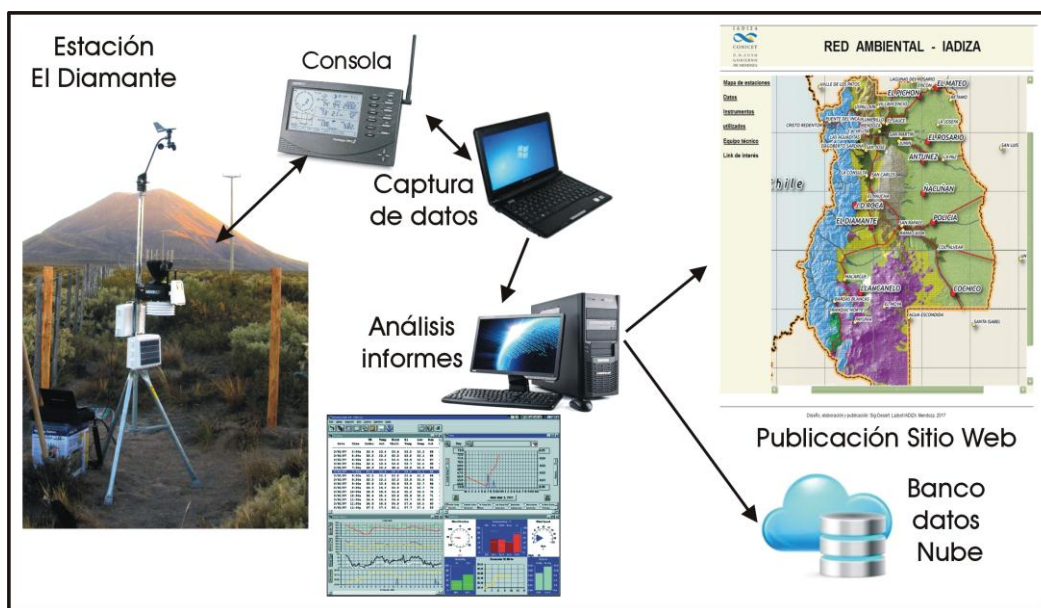
Sus objetivos específicos son: 1) asegurar la representatividad geográfica de las observaciones; 2) garantizar la longitud y calidad en las series temporales históricas a través de un compromiso de continuidad temporal; 3) dichas series temporales tienen peso según sean variables primarias (temperatura, precipitación) o secundarias (índices); 4) constituir un conjunto de datos validados en formato normalizado; 5) crear un conjunto de datos y valores de referencia para las redes climáticas regionales y subregionales más avanzadas y sistemas de observación, en particular los sistemas de teledetección; 6) proporcionar esta información a la comunidad local y regional sin restricciones formales, cumplimentando lo establecido según Ley N° 26.899; y 7) reflejar este compromiso a nivel nacional para garantizar la conservación del registro meteorológico en un futuro previsible.

Promoviendo y adhiriendo a la cualidad de democratización de la información fijada por CONICET, los datos registrados por la Red Ambiental son publicados con acceso libre y gratuito en el sitio WEB propio y al que se puede acceder en la dirección: [http://www.mendoza-conicet.gov.ar/ladyot/red\\_iadiza/index.htm](http://www.mendoza-conicet.gov.ar/ladyot/red_iadiza/index.htm)

## Materiales y Método

El IADIZA ha instalado en cada sitio, una estación meteorológica completa para el monitoreo de variables meteorológicas básicas y dos colectores de sedimentos para la medición de la erosión eólica.

Las estaciones meteorológicas generan registros digitales de variables meteorológicas medidas con una periodicidad temporal de una hora y son acumulados en soportes digitales (colectora de datos) y son transferidos a una base de datos para su administración (ver Fig. 2).



**Figura 2.** Flujo de la información meteorológica, desde la medición y registro del dato en una estación hasta la publicación en el sitio WEB del IADIZA.

**Equipo.** El modelo de estación meteorológica utilizado es *Vantage Pro2*, (Davis Instrument, <https://www.davisinstruments.com/>). Este equipo utiliza un sistema transmisor/receptor en una frecuencia determinada para transmitir y recibir datos hasta una distancia de 300 metros desde los sensores a la consola colectora de datos. registra temperatura y humedad, lluvia, viento y radiación solar. El conjunto calcula y registra la evapotranspiración real expresada en equivalente de milímetros de lluvia, integrando radiación, velocidad del viento, precipitación, temperatura y humedad del aire. La consola consta de un monitor para consultar las observaciones registradas de las variables más importantes en forma numérica o gráfica y calcula y registra presión barométrica, índice de calor, punto de rocío y la sensación térmica externa.

La estación es controlada por un programa computacional específico *WeatherLink* que permite recoger, analizar y publicar resúmenes de datos meteorológicos y la transferencia de los mismos de manera digital, como también realizar el mantenimiento de la consola.

Tanto los sensores como la consola disponen de un doble sistema eléctrico compuesto por paneles solares y baterías recargables que proporcionan energía con capacidad de trabajo autónoma por varios meses.

**Variables colectadas.** Las estaciones meteorológicas tienen la capacidad de medir, calcular y registrar los datos detallados en la [Tabla 1](#).

Variable	Mide y registra	Calcula	Unidades de medida
<b>Temperatura (1)</b>	Media y su valoración Máximas y mínima. Duración e intensidad de helada	Grados día Horas de frío	Grado Celsius (°C)
<b>Humedad</b>	Media y su variación máxima / mínima		Humedad relativa (%)
<b>Lluvia (2)</b>	Cantidad por evento Duración por evento Intensidad por evento	Acumulación	Precipitación líquida en milímetro de lluvia (mm) Intensidad milímetros de lluvia sobre hora (mm/h)
<b>Viento (3)</b>	Dirección Velocidad Ráfaga		Velocidad del viento kilómetro por hora (km/hr)
<b>Radiación solar (4)</b>	Intensidad y duración		Radiación solar watt por metro cuadrado (Wm <sup>2</sup> ) Energía solar medida en Watt por hora por metro cuadrado: Langleys (Ly). 1 Langley = 11.622 Watt-por metro cuadrado.
<b>Evapotranspiración</b>	Relacionando las variables 1 2 3 4		Medida en milímetros (mm)
<b>Presión atmosférica</b>	Actual y tendencia		Medida en Hectopascals (hPa)

**Tabla 1.** Variables colectadas, de (1) a (4) integradas para el cálculo de la evapotranspiración.

## Resultados

**Base de datos.** Se ha desarrollado bajo el concepto de base de datos relacional (BDR) como una colección de elementos organizados y estandarizados en un conjunto de tablas formalmente descrita desde la que se puede acceder a los datos colectados de las ocho (8) estaciones meteorológicas de la red. Un total de 490.560 horas registradas dispone la base de datos que se incrementa con 17.200 registros cada tres meses.

Con el objeto de contextualizar el territorio de Mendoza con datos climáticos, se han digitalizados datos de estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional y otras fuentes como INTA. En la [Tabla 2](#), se presentan las estaciones con datos climáticos incluidas en la Base de Datos espacial del SIG-Desert. Figura n° 1. Los datos pueden ser accedidos visitando el sitio de la [Red Ambiental del IADIZA](#).



**Tabla 2.** Estaciones meteorológicas incluidas en base de dato espacial SIG-DESERT

ORDE N	NOMBRE ESTACIÓN	FUENTE	PROVINCIA	DEPARTAMENTO	LATITUD	LONGITUD	Cota ms.n.m.
1	ENCON	IADIZA	MENDOZA	LAVALLE	-32.249449	-67.834242	530
2	RETAMO	IADIZA	MENDOZA	LAVALLE	-32.449455	-67.400896	525
3	LAS AGUADITAS	IADIZA	MENDOZA	LUJAN	-33.082789	-69.284304	2225
4	SAN JOSE	IADIZA	MENDOZA	TUPUNGATO	-33.299452	-69.150966	1220
5	ÑACUÑAN	IADIZA	MENDOZA	SANTA ROSA	-34.032816	-67.967601	572
6	EL YAUCHA	IADIZA	MENDOZA	SAN CARLOS	-34.132808	-69.117642	1403
7	COCHICO	IADIZA	MENDOZA	GRAL. ALVEAR	-35.732858	-67.350926	440
8	AGUA ESCONDIDA	IADIZA	MENDOZA	MALARGÜE	-36.149525	-68.267636	1250
9	RANQUIL NORTE	IADIZA	MENDOZA	MALARGÜE	-36.066172	-69.867685	1500
10	VILLAVICENCIO	SMN	MENDOZA	LAS HERAS	-32.566112	-68.901227	1783
11	USPALLATA	SMN	MENDOZA	LAS HERAS	-32.616111	-69.334857	1891
12	PUENTE DEL INCA	SMN	MENDOZA	LAS HERAS	-32.816105	-69.901823	2720
13	PLUMERILLO	SMN	MENDOZA	LAS HERAS	-32.832785	-68.785393	703
14	CRISTO REDENTOR	SMN	MENDOZA	LAS HERAS	-32.832985	-70.061475	3824
15	EL SAUCE	FCA	MENDOZA	GUAYMALLEN	-32.849453	-68.719282	655
16	MENDOZA	SMN	MENDOZA	CAPITAL	-32.882782	-68.852896	827
17	FAC.CS.AGRARIAS	FCA	MENDOZA	LUJAN	-32.982788	-68.869837	920
18	CACHEUTA	SMN	MENDOZA	LUJAN	-33.016121	-69.103465	1237
19	SAN MARTIN	SMN	MENDOZA	SAN MARTIN	-33.082793	-68.420388	653
20	JUNIN	INTA	MENDOZA	JUNIN	-33.149459	-68.470658	653
dispon er 21	DAGOBERTO SARDINA	DGI- INA	MENDOZA	TUPUNGATO	-33.266124	-69.204304	750
22	LA PAZ	SMN	MENDOZA	LA PAZ	-33.466137	-67.554525	506
23	LA CONSULTA	INTA	MENDOZA	SAN CARLOS	-33.732802	-69.138189	1015
24	SAN CARLOS	SMN	MENDOZA	SAN CARLOS	-33.766132	-69.038466	940
25	SAN RAFAEL	SMN	MENDOZA	SAN RAFAEL	-34.582821	-68.4054	747
26	RAMA CAIDA	INTA	MENDOZA	SAN RAFAEL	-34.666157	-68.389007	712
27	COL. ALVEAR	SMN	MENDOZA	GENERAL ALVEAR	-34.999508	-67.655932	465
28	MALARGÜE	SMN	MENDOZA	MALARGÜE	-35.499499	-69.589617	1423
29	SAN JUAN	SMN	SAN JUAN	POCITO	-31.599431	-68.556486	630
30	SAN LUIS	SMN	SAN LUIS	LA CAPITAL	-33.266147	-66.3567	716
31	UNION	SMN	SAN LUIS	GOBERNADOR DUPUY	-35.149517	-65.956982	372
32	SANTA ISABEL	SMN	LA PAMPA	CHALILEO	-36.266209	-66.923979	320
33	CHOS MALAL	SMN	NEUQUEN	CHOS MALAL	-37.382865	-70.291058	848
34	SAN JUAN (AERO)	SMN	SAN JUAN	SAN JUAN	-32.229426	-70.100981	880
35	SAN JUAN (EX AERO)	SMN	MENDOZA	LAVALLE	-32.229426	-70.100981	880
36	BARDAS BLANCAS	SMN	MENDOZA	MALARGÜE	-35.869505	-69.801017	750
37	PAYUNIA	UGAP	MENDOZA	MALARGÜE	-36.226665	-69.376667	1668
38	EL MATEO	IADIZA	MENDOZA	LAVALLE	-32.241266	-67.691022	558
39	EL PICHON	IADIZA	MENDOZA	LAVALLE	-32.382465	-68.054797	550
40	LAGUNAS DEL	IADIZA	MENDOZA	LAVALLE	-32.14349	-68.197195	540

ORDE N	NOMBRE ESTACIÓN	FUENT E	PROVINCI A	DEPARTAMEN TO	LATITUD	LONGITU D	Cota ms.n.m.
	ROSARIO						
41	ANTUNEZ	IADIZA	MENDOZA	SANTA ROSA	-33.490669	-67.9742	558
42	LLANCANELO	IADIZA	MENDOZA	MALARGÜE	-35.724914	-69.265754	1403
43	EL MOYA	IADIZA	MENDOZA	MALARGÜE	-35.965904	-68.771409	1400
44	EL DIAMANTE	IADIZA	MENDOZA	SAN RAFAEL	-34.579468	-69.039113	1395
45	EL ROSARIO	IADIZA	MENDOZA	SANTA ROSA	-33.160851	-67.867215	560
46	POLICIA	IADIZA	MENDOZA	SAN RAFAEL	-34.524717	-67.766532	511
47	J.D.ROCA	IADIZA	MENDOZA	SAN CARLOS	-34.245043	-69.378704	2296

Los serie de datos disponibles de las estaciones indicadas, en la mayoría de los casos son discontinuos. Diversas razones corresponden a esta discontinuidad, desde el cambio del sitio, desactivación de estaciones. Las estaciones de mayor jerarquía, pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) mantienen la continuidad en la toma de datos.

**Climogramas.** La base de datos climática, permitió analizar y establecer las características climáticas para las estaciones que la integran. Ejemplo de ello es la construcción del climograma. Un climograma es una forma de expresión gráfica que permite visualizar simultáneamente los valores mensual de temperatura media y las precipitaciones mensuales medias distribuidos en los doce meses del año para una extensión de una serie anual dada. En un mismo gráfico, se puede visualizar la marcha de las temperatura máxima, media y mínima con las precipitaciones en los meses de un año tipo (ver Fig. 3).

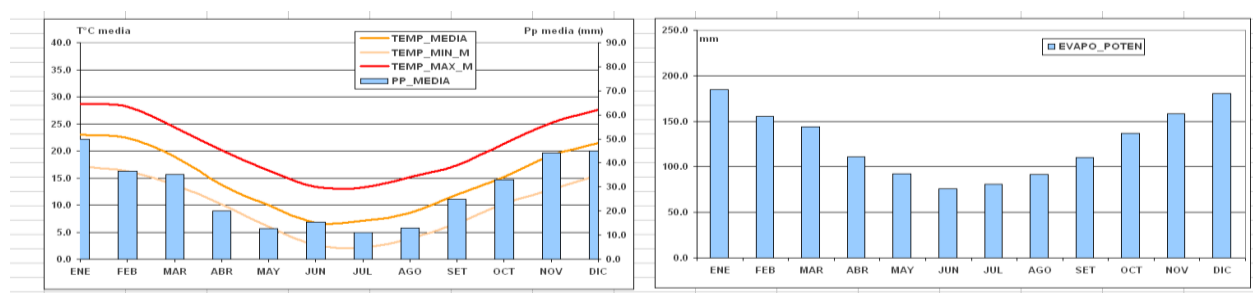


Figura 3. Ejemplo de climograma de la Estación: SAN RAFAEL

Observando no sólo los valores absolutos de los datos, sino también su tendencia, la existencia de máximos y mínimos, así como la intersección de las curvas de temperatura y precipitación, podemos extraer información acerca de los siguientes aspectos fundamentales:

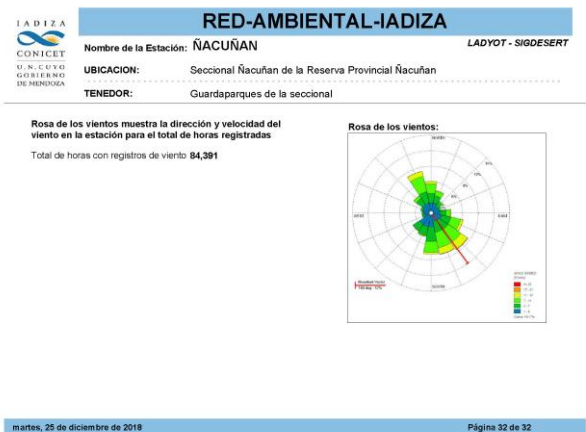
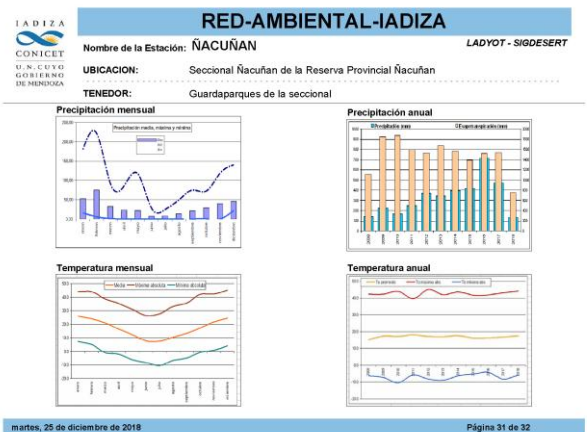
\* Establecer el Índice xerotérmico o de Gaussen que indica la condición de seca/húmedo de un mes según la relación entre las precipitaciones y temperatura de los meses secos y las de los meses lluviosos.

\* Estimar la temperatura media anual (Tma) del sitio. El rango de variación térmica anual o amplitud térmica (AT), es decir la diferencia entre la temperatura del mes más cálido, verano y la del mes más frío, invierno. Este dato nos aportará información sobre la variabilidad climática de un lugar. En las zonas costeras, esta magnitud tendrá valores bajos, con un mayor grado de continentalidad, se obtienen valores más elevados.

\* Estimar la precipitación anual total, permite establecer el tipo de clima en función del factor precipitaciones, por ejemplo, clima subdesértico si las precipitaciones es inferior a 300 mm, muy escasa (clima subdesértico). Precipitación escasa si está entre 300 mm y 800 mm (clima de influencia mediterránea). Abundante entre los 800 mm y los 1000 mm (clima de influencia atlántica) y Muy abundante >1000 mm (clima de montaña).

\* El patrón anual de las precipitaciones se define por la forma en la que las lluvias se distribuyen a lo largo del año. Identificar los máximos principales y secundarios de precipitación nos proporciona información sobre el origen de dicha precipitación: Si el máximo principal se localiza en los meses de invierno, la mayor parte de la precipitación tiene un origen frontal. Por el contrario, si el máximo principal se presenta en los meses de verano, el origen de la precipitación es fundamentalmente convectiva local.

***Caracterización climática por estación.*** La base de datos permite generar un informe de cada estación meteorológica con datos que sintetizan las condiciones climáticas registradas: el nombre de la estación, año de instalación, responsable tenedor, el sitio y su posición espacial, unidad ambiental de referencia y ecorregión donde se ubica, su clase de Köppen, régimen térmico, valor y clase del índice de aridez, valor de precipitación, valor y clase de Índice de concentración de las precipitaciones su régimen de precipitaciones e índice de agresividad climática. Gráficos de la distribución mensual y anual de la precipitación y temperatura. Rosa de los vientos. La Fig. 4 muestra la salida del informe con la caracterización para la estación Ñacuñan.



La Fig. 4 Caracterización climática para la estación Ñacuñan.

## Conclusiones

Se ha establecido y mantenido en los últimos 10 años una red meteorológica de nueve (9) estaciones, en áreas remotas de la Llanura no irrigada de Mendoza.

La base de datos climática se compone de mas de 490.000 registros con datos meteorológicos a una escala temporal horaria.

Los datos son publicados en concordancia con la ley nacional nro. 26.899, la cual garantiza el acceso libre a la información científica y creación de repositorios digitales institucionales del CONICET.

Los datos crudos y resúmenes climáticos son útiles a investigadores, profesional y publico general de Mendoza y de las zonas áridas.

# ANÁLISIS DE UN PROCEDIMIENTO DE CORRELACIÓN PARA DETERMINAR LA CALIBRACIÓN HIDROLÓGICA DE UN RADAR METEOROLÓGICO

Suarez M. E.<sup>a,b</sup>, Poffo D.<sup>a,b</sup>, Comes R.<sup>a,b</sup>, Ingaramo R.<sup>c,d</sup> y Rodriguez A.<sup>c,d</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba,  
ARGENTINA

<sup>b</sup>Laboratorio de Radares y Sensores Remotos, Universidad Nacional de Córdoba, ARGENTINA

<sup>c</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, ARGENTINA

<sup>d</sup>Laboratorio de Hidráulica, Universidad Nacional de Córdoba, ARGENTINA

e-mail: [suarezmatias.e@gmail.com](mailto:suarezmatias.e@gmail.com), [poffodenis@gmail.com](mailto:poffodenis@gmail.com), [rcomes02@gmail.com](mailto:rcomes02@gmail.com),  
[ricardo.ingaramo@gmail.com](mailto:ricardo.ingaramo@gmail.com), [androdminplan@gmail.com](mailto:androdminplan@gmail.com)

## RESUMEN

*El radar meteorológico RMA1 instalado en la Universidad Nacional de Córdoba permite el seguimiento de tormentas y precipitaciones, pero produce estimaciones muy poco precisas de la intensidad de lluvia caída. Los estudios realizados por distintos investigadores hasta el momento muestran que el mecanismo de precipitación es la causa común que relaciona lo observado por el radar y lo registrado por una estación pluviométrica en tierra en una determinada región. Esta relación es empírica y se denomina relación Z-R la cual fue desarrollada por primera vez por Marshall y Palmer en 1948. La relación establece que existe una ley de potencia entre el factor de reflectividad  $Z_h$  medido por el radar y la tasa de precipitación  $R$  medida por el pluviómetro cuya forma es  $Z=aR^b$ , donde  $a$  y  $b$  son parámetros ajustables. Para obtener una relación Z-R que produzca estimaciones confiables es necesario conocer con exactitud qué región de la tormenta observada por el radar está contribuyendo a la tasa de precipitación medida por el pluviómetro. De esta manera se puede relacionar en forma correcta lo medido con el pluviómetro con lo observado por el radar. Para ello en este trabajo se desarrolla un método que permite integrar los datos del radar con registros pluviométricos de superficie en forma relativamente precisa. Esto se logró a través del análisis de una tormenta convectiva ocurrida el 7/11/2015 sobre la localidad de Anisacate (Córdoba).*

*Palabras Clave:* Radar, Reflectividad, Precipitación, Pluviómetros, Correlación

## INTRODUCCIÓN

Los avances alcanzados recientemente en tecnología de radar y en los métodos para procesar sus datos han derivado en una mayor precisión de las estimaciones de precipitación basadas en observaciones por radar para fines de análisis hidrológicos y simulaciones. El conocimiento preciso de estas estimaciones y sus características espaciales es muy importante para la prevención de inundaciones y la optimización de los sistemas de alerta (Thorndahl et al, 2017; Horita et al, 2018).

El radar meteorológico es utilizado para estudiar la cantidad de precipitación caída en una región si se conoce la relación entre el factor de reflectividad ( $Z$ ) y la tasa de precipitación ( $R$ ). Actualmente, en la literatura técnica, existen diversos estudios



realizados con el propósito de encontrar relaciones Z-R en la cual se utiliza una ley de potencia ( $Z=aR^b$ ) donde Z es medida en  $\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$ ; R en  $\text{mm h}^{-1}$ ; y a, b son parámetros empíricos. La relación Z-R más utilizada y más conocida es, sin duda, la desarrollada en el trabajo de Marshall y Palmer en 1948 deducida a partir del perfil de distribución de tamaños de gotas; ellos propusieron una relación con  $a = 200$  y  $b = 1.6$ . Luego de esto, muchos estudios demostraron que la relación Z-R varía en el tiempo y según el lugar geográfico observado debido a que Z depende de la distribución de tamaños de gotas observado (DSD) (Battan, 1973; Ochou et al, 2011; Lavanya et al, 2019).

En general, el parámetro  $a$  varía desde algunas decenas a varios cientos mientras que  $b$  está limitado a un rango que va de 1 a 3 aproximadamente (Battan, 1973; Smith and Krajewski, 1993). Además, se sabe que el parámetro  $a$  aumenta con la actividad convectiva, mientras que  $b$  aumenta con la estratificación de la tormenta (Fujiwara, 1965).

En la actualidad existen diversos métodos para estimar la relación entre el factor de reflectividad y la tasa de precipitación, algunos de los más utilizados se describen a continuación (Mendez et al, 2006; Piman et al, 2007).

a) Método de coincidencia tradicional o traditional matching method (TMM). Consiste en relacionar los pares de valores Z-R donde la reflectividad es obtenida de la celda de radar que tiene las mismas coordenadas geográficas que el pluviómetro. Este método asume que la lluvia cae verticalmente y que la intensidad de lluvia en la altura donde mide el radar es la misma que al nivel del suelo.

b) Método de coincidencia por ventanas: Este método forma los pares Z-R de manera tal que un valor de precipitación es relacionado con un valor de reflectividad promedio de una malla de celdas de 3x3 centrada en el pluviómetro. Este método representa una mejora con respecto al TMM debido a que intenta tener en cuenta el hecho de que la lluvia no cae verticalmente sino que el viento la desvía

c) Método de coincidencia de distribución de probabilidad o probability matching method (PMM) (Calheiros and Zawadzki, 1987). Este método fue desarrollado para poder relacionar pares de valores Z-R de mediciones no simultáneas; esto se logra empleando la función probabilidad acumulada (FPA) y consiste en formar pares de valores Z y R que tienen la misma FPA, esto reduce el error por desajuste geográfico y desincronización temporal.

d) Método de coincidencia de probabilidad por ventanas o window probability matching method (WPMM) (Rosenfeld et al, 1993). Este método, al igual que el anterior, forma pares de valores Z-R que tienen la misma FPA con la diferencia que ahora las reflectividades son tomadas de una ventana o malla de 3x3 celdas sobre el pluviómetro. Este método se considera superior al PMM debido a que reduce aún más los errores por desajuste geográfico y desincronización temporal pero tanto este método como el PMM no representan el proceso físico real de la lluvia en una tormenta.

e) Método de coincidencia por correlación de ventanas o window correlation matching method (WCMM). Este método fue desarrollado para relacionar los pares de valores Z - R cuando hay presentes errores debido al desfase temporal y geográfico. Estos errores son causados, principalmente, por el viento y por la altura a la que se registra el eco del radar. El método consiste en determinar el valor óptimo de reflectividad Z que de la mejor correspondencia con el valor de tasa de precipitación R.

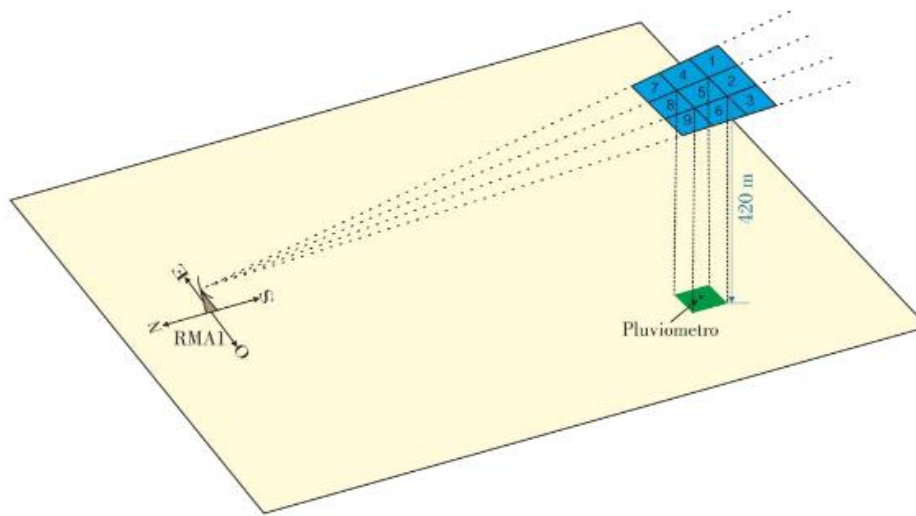
Este valor óptimo de Z se lo determina utilizando la relación Z-R en forma logarítmica, entonces a través de un análisis del coeficiente de correlación de Pearson es posible

determinar que celda de radar es la que mejor se correlaciona con los registros pluviométricos en tierra.

En este estudio se presenta una variante al método de coincidencia por correlación de ventanas (WCMM), donde ahora los pares Z-R son formados a partir de promedios pesados de las celdas con mejor coeficiente de correlación.

## MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Este método consiste en tomar una rejilla o malla de 3x3 celdas sobre el pluviómetro (ver Fig. 1), haciendo coincidir las coordenadas de la celda central de la malla con las coordenadas del pluviómetro. Con esto se busca reducir el desfase geográfico causado por efecto del viento.



**Figura 1.** Localización del pluviómetro en relación a la malla de 3x3 celdas del radar. Imagen extraída del artículo de Comes et al, 2016.

Además, es necesario relacionar un valor de reflectividad  $Z$  a un tiempo  $t$  con un valor de tasa de precipitación  $R$  a un tiempo posterior  $t+\Delta t$  debido a que existe un retraso temporal entre el instante en que el radar detecta las gotas de precipitación en la atmósfera hasta que caen sobre el terreno y son registradas por los pluviómetros.

Para determinar la celda de radar que contribuye a la tasa de precipitación medida por el pluviómetro usaremos la relación que existe entre el factor de reflectividad  $Z$  y la tasa de precipitación  $R$ :

$$Z = aR^b \quad (1)$$

tomando logaritmo a ambos miembros de la Ec.(1) se obtiene:

$$\text{Log}(Z) = \text{Log}(a) + b \text{Log}(R) \quad (2)$$

La Ec.(2) nos dice que la función  $Z(R)$  en escala logarítmica es una ecuación lineal con pendiente  $b$  y ordenada  $\text{Log}(a)$ . Sin embargo, si se grafican los puntos  $\text{Log}(Z)$  vs

Log(R) obtenidos experimentalmente estos no se posicionan perfectamente en una línea recta sino que se encuentran dispersos alrededor de esta, esto se debe, entre otros factores, a que los valores medidos de R son tomados de un punto en el terreno mientras que las reflectividades Z del radar son promedios de celdas que en la mayoría de los casos tienen cientos de metros de longitud, además estas mediciones están afectadas por los errores mencionados en la introducción de este trabajo y por incertezas de distinta naturaleza propia del radar o el pluviómetro (Villarini et al, 2010).

Para ilustrar de una manera clara el procedimiento supongamos que de una tormenta medimos los siguientes valores de tasa de precipitación y de reflectividad de las nueve celdas, los cuales hemos representado en la siguiente tabla:

**Tabla I.** Ejemplo de una tabla de datos de reflectividad y tasa de precipitación.

Tiempo del radar	Reflectividad Z (Celda 1)	Reflectividad Z (Celda 2)	Reflectividad Z (Celda 3)	Reflectividad Z (Celda 4)	Reflectividad Z (Celda 5)	Reflectividad Z (Celda 6)	Reflectividad Z (Celda 7)	Reflectividad Z (Celda 8)	Reflectividad Z (Celda 9)	Tiempo del pluviómetro	Tasa de Precipitación R
$t_1$	$Z_1^1$	$Z_1^2$	$Z_1^3$	$Z_1^4$	$Z_1^5$	$Z_1^6$	$Z_1^7$	$Z_1^8$	$Z_1^9$	$\tau_1$	$R_1$
$t_2$	$Z_2^1$	$Z_2^2$	$Z_2^3$	$Z_2^4$	$Z_2^5$	$Z_2^6$	$Z_2^7$	$Z_2^8$	$Z_2^9$	$\tau_2$	$R_2$
$t_3$	$Z_3^1$	$Z_3^2$	$Z_3^3$	$Z_3^4$	$Z_3^5$	$Z_3^6$	$Z_3^7$	$Z_3^8$	$Z_3^9$	-	-
$t_4$	$Z_4^1$	$Z_4^2$	$Z_4^3$	$Z_4^4$	$Z_4^5$	$Z_4^6$	$Z_4^7$	$Z_4^8$	$Z_4^9$	$\tau_4$	$R_4$
$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$
$t_{10}$	$Z_{10}^1$	$Z_{10}^2$	$Z_{10}^3$	$Z_{10}^4$	$Z_{10}^5$	$Z_{10}^6$	$Z_{10}^7$	$Z_{10}^8$	$Z_{10}^9$	$\tau_{10}$	$R_{10}$

Supongamos que en nuestro ejemplo tenemos diez mediciones de reflectividad Z de cada celda y siete de tasa de precipitación R para poder mostrar lo que sucede en la realidad y por cuestiones de simplicidad pero la generalización a más mediciones es inmediata. También, notar que no tenemos la misma cantidad de valores de Z y de R, esto en la práctica suele ser así debido a que el radar mide cada cierto intervalo de tiempo que no coincide con el intervalo entre mediciones del pluviómetro.

En la tabla I se observa que tenemos una columna con tiempo del radar  $t_i$  y sus respectivas reflectividades  $Z_i^j$  donde el subíndice i representa la i-ésima medición y el superíndice j representa la celda j; además tenemos una columna con tiempo del pluviómetro  $\tau_i$  y su respectiva tasa de precipitación  $R_i$ , esto significa que la reflectividad  $Z_i^j$  fue medida al tiempo  $t_i$  mientras que la tasa de precipitación  $R_i$  fue medida al tiempo  $\tau_i$ . En general, los instantes en que se realizan las mediciones de la reflectividad y la tasa de precipitación no coinciden y debido a que en la mayoría de los casos el radar genera un volumen de reflectividades cada aproximadamente 10 minutos en este trabajo se propone interpolar con un polinomio de orden 3 monótono a ambas variables de manera tal de preservar la monotonicidad entre dos mediciones consecutivas y obtener datos cada 5 minutos. El motivo de esta elección en la interpolación radica en el hecho de que queremos descartar las tasas de precipitaciones negativas que resultan de interpolar los datos con un polinomio simple de orden 2 o superior.

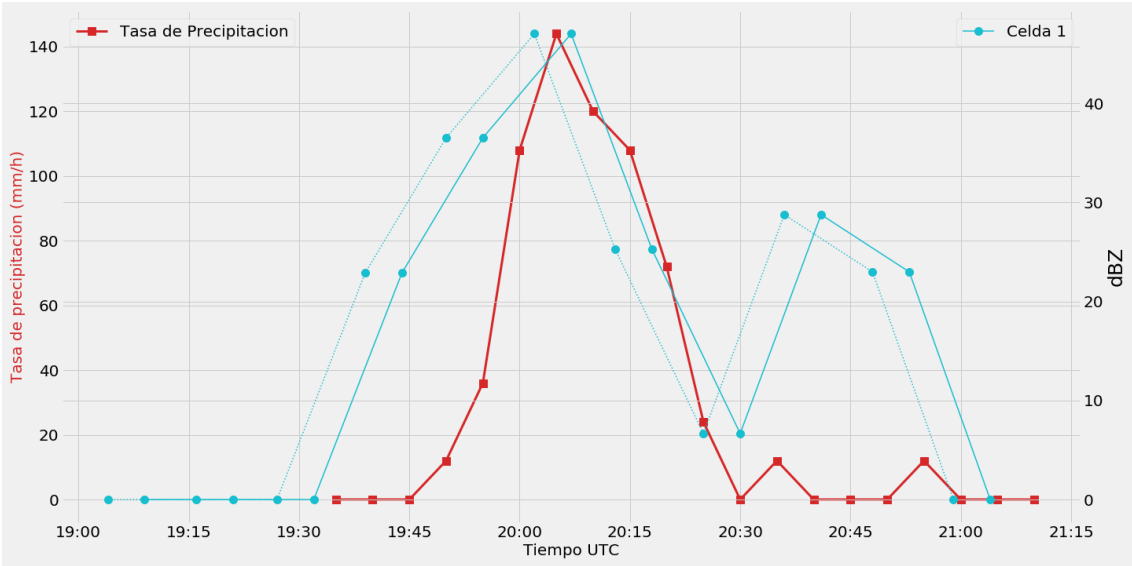
En nuestro ejemplo supongamos que las mediciones de reflectividad y de tasa de precipitación se hicieron cada 10 minutos, entonces debemos interpolar ambos conjuntos de datos por separado y generar valores de Z y R cada 5 minutos durante el transcurso de la tormenta.

Luego de realizar esto, nuestra tabla de valores queda como sigue:

**Tabla II.** Tabla de datos obtenida al mismo instante de tiempo luego de una interpolación.

Tiempo del radar	Reflectividad Z (Celda 1)	Reflectividad Z (Celda 2)	Reflectividad Z (Celda 3)	Reflectividad Z (Celda 4)	Reflectividad Z (Celda 5)	Reflectividad Z (Celda 6)	Reflectividad Z (Celda 7)	Reflectividad Z (Celda 8)	Reflectividad Z (Celda 9)	Tasa de Precipitación R
$t_1'$	$Z_1^{1'}$	$Z_1^{2'}$	$Z_1^{3'}$	$Z_1^{4'}$	$Z_1^{5'}$	$Z_1^{6'}$	$Z_1^{7'}$	$Z_1^{8'}$	$Z_1^{9'}$	$R_1'$
$t_2'$	$Z_2^{1'}$	$Z_2^{2'}$	$Z_2^{3'}$	$Z_2^{4'}$	$Z_2^{5'}$	$Z_2^{6'}$	$Z_2^{7'}$	$Z_2^{8'}$	$Z_2^{9'}$	$R_2'$
$t_3'$	$Z_3^{1'}$	$Z_3^{2'}$	$Z_3^{3'}$	$Z_3^{4'}$	$Z_3^{5'}$	$Z_3^{6'}$	$Z_3^{7'}$	$Z_3^{8'}$	$Z_3^{9'}$	$R_3'$
$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$
$t_N'$	$Z_N^{1'}$	$Z_N^{2'}$	$Z_N^{3'}$	$Z_N^{4'}$	$Z_N^{5'}$	$Z_N^{6'}$	$Z_N^{7'}$	$Z_N^{8'}$	$Z_N^{9'}$	$R_N'$

Como se puede observar en la tabla II, la columna tiempo de radar fue remplazada por  $t'$  los cuales corresponden a los intervalos de la tormenta cada 5 minutos, con  $t_1'$  y  $t_N'$  el instante inicial y final de la tormenta respectivamente, las columnas de reflectividad Z y los de tasa de precipitación R fueron reemplazados por  $Z'$  y  $R'$  los cuales corresponden a los valores que resultaron de evaluar la curva de interpolación en los instantes  $t'$ . Con esto podemos calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre los valores de  $\text{Log}(Z'(t_i'))$  y  $\text{Log}(R'(t_i'))$ . Luego, para contrarrestar el efecto debido al tiempo que demoran las gotas en caer al suelo, tenemos que desfazar el conjunto de reflectividades con respecto al conjunto de tasa de precipitaciones, esto se ve más claramente en la Figura 2 donde podemos observar como la curva de reflectividades se desfaza con respecto a la de tasa de precipitación y a partir de esto calculamos nuevamente el coeficiente de correlación.



**Figura 2.** Curva de reflectividad de una celda (en cian) y tasa de precipitación (en rojo) vs tiempo. La curva de reflectividad en línea de puntos es a  $t=0$  mientras que la de línea continua representa la curva desfazada. Los puntos en ambas curvas señalan las mediciones de Z y R en función del tiempo.

Esto es equivalente a correlacionar el siguiente conjunto de datos:

**Tabla III.** Datos de reflectividades desfasados con respecto a los valores de precipitación.

Reflectividad Z (Celda j)	Tasa de Precipitación R
$Z_1^{j'}$	$R_2^{'}$
$Z_2^{j'}$	$R_3^{'}$
$Z_3^{j'}$	$R_4^{'}$
$\square$	$\square$
$Z_{N-1}^{j'}$	$R_N^{'}$

Donde ahora se correlaciona un valor de reflectividad de la celda j a un instante dado con un valor de precipitación a un instante posterior. Luego, se vuelve a desfasar la curva Z con respecto a R y calculamos un nuevo coeficiente de correlación, es decir, correlacionamos  $(Z_1^{j'}, R_3^{'})$ ,  $(Z_2^{j'}, R_4^{'})$ , ...,  $(Z_{N-2}^{j'}, R_N^{'})$  y así sucesivamente. Realizando este procedimiento algunas veces más y para cada una de las celdas encontraremos que eventualmente el coeficiente de correlación alcanzará un máximo, esto nos dará el tiempo de desfase óptimo.

Adicionalmente, para mejorar la precisión a la hora de relacionar los pares de valores Z-R en este trabajo haremos un promedio pesado de las celdas con mejor correlación, es decir, supongamos que luego de realizar el procedimiento explicado anteriormente se obtienen, para cada celda, los siguientes máximos para el coeficiente de correlación:

<b>Celda 1</b> <b>r=0.31</b>	<b>Celda 2</b> <b>r=0.47</b>	<b>Celda 3</b> <b>r=0.64</b>
<b>Celda 4</b> <b>r=0.43</b>	<b>Celda 5</b> <b>r=0.70</b>	<b>Celda 6</b> <b>r=0.81</b>
<b>Celda 7</b> <b>r=0.58</b>	<b>Celda 8</b> <b>r=0.73</b>	<b>Celda 9</b> <b>r=0.75</b>

**Figura 3.** Malla de celdas con sus respectivos coeficientes de correlaciones máximos.

Si elegimos, por ejemplo, que solo las celdas con correlación mayor a 0.65 contribuyan tendremos que cada valor de  $R_i$  se relacionará con un  $\bar{Z}_i$ , donde  $\bar{Z}_i$  es el promedio pesado de los  $Z_i$  de las celdas 5, 6, 8 y 9, o sea:

$$\bar{Z}_i = (w_5 \cdot Z_i^5 + w_6 \cdot Z_i^6 + w_8 \cdot Z_i^8 + w_9 \cdot Z_i^9) / (w_5 + w_6 + w_8 + w_9) \quad (3)$$



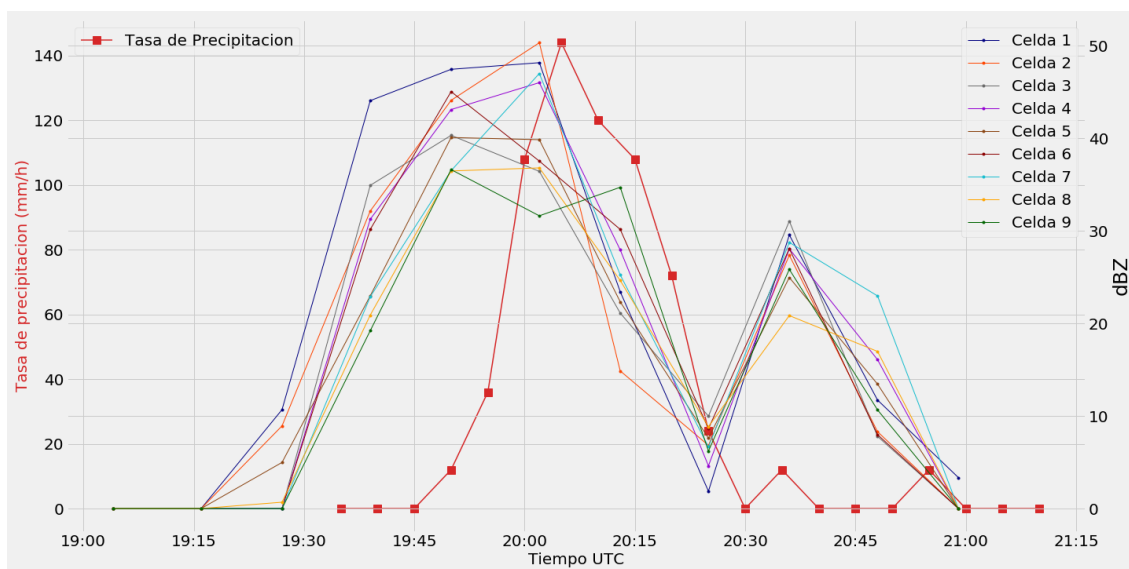
Donde  $w_k$  es el peso de la celda  $k$ . Este promedio pesado se calcula asignando un peso proporcional a  $r$ , con peso igual a 0 para las celdas con  $r \leq 0.65$  y peso igual a 1 si la celda tiene  $r=1$ .

De esta manera, es posible asignarle un peso mayor a las celdas con las correlaciones más altas y a la vez evitar que las celdas con un bajo coeficiente de correlación influyan en el resultado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio se aplicó el procedimiento descrito en la sección anterior a una tormenta convectiva ocurrida el 7 de noviembre de 2015 sobre la localidad de Anisacate ubicada 35 km al sur de la Ciudad de Córdoba. La tormenta fue detectada por el radar meteorológico RMA1, ubicado en la Ciudad de Córdoba y produjo precipitación desde las 19:50 UTC hasta alrededor de las 20:35 UTC que fue cuantificada por una estación pluviométrica perteneciente al Sistema de Adquisición de Datos a tiempo real de la Subsecretaría de Recursos Hídricos y Coordinación de la Provincia de Córdoba y es administrado por el Instituto Nacional del Agua (INA). Esta estación pluviométrica es conocida como Sensor N°1600 y sus coordenadas geográficas son 31° 43' 25" S; 64° 24' 17" O; 473msnm.

Para mostrar el desarrollo y evolución de la tormenta los valores de reflectividad obtenidos del radar RMA1 fueron procesados y superpuestos a los registros de tasa de precipitación obtenidos del Sensor N°1600. Estos datos se muestran en la siguiente figura:



**Figura 4.** Reflectividades de las celdas del radar (curvas de colores) en dBZ y tasa de precipitación (curva roja) en mm/h vs. tiempo UTC durante la tormenta.

En la figura 4 se observa claramente el desfase entre las reflectividades del radar y la tasa de precipitación medida en tierra debido al tiempo que demoran en caer las gotas al suelo.

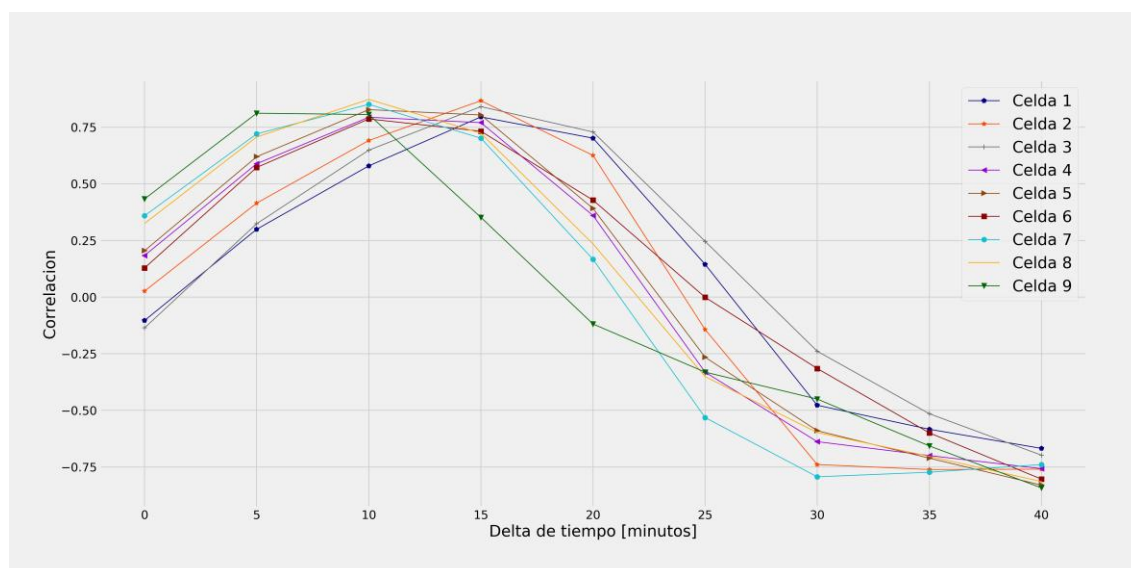
Aplicando el método propuesto en este trabajo obtenemos los siguientes coeficientes de correlaciones para cada una de las celdas:

**Tabla IV.** Correlaciones de las nueve celdas de radar. En verde las correlaciones más altas de cada celda y en rojo la correlación más alta de todas las calculadas.

	$\Delta t = 0'$	$\Delta t = 5'$	$\Delta t = 10'$	$\Delta t = 15'$	$\Delta t = 20'$	$\Delta t = 25'$
Celda 1	-0.10333521	0.29953508	0.57936002	0.79562498	0.70179254	0.14442629
Celda 2	0.0264933	0.41497205	0.69163469	0.86712548	0.62560669	-0.1431621
Celda 3	-0.1359119	0.32390185	0.64888775	0.84103705	0.72922	0.24615872
Celda 4	0.18376943	0.58877463	0.79412693	0.77024472	0.36031201	-0.33133384
Celda 5	0.20467454	0.61975889	0.82770631	0.80400322	0.39167638	-0.2653771
Celda 6	0.12871972	0.57238879	0.78656983	0.73238192	0.42815702	-0.0008244
Celda 7	0.35924908	0.72055169	0.85118062	0.70170022	0.16659245	-0.53184527
Celda 8	0.32513156	0.70673413	0.87314739	0.72344508	0.23499102	-0.3511255
Celda 9	0.43346727	0.81184072	0.80605634	0.35199515	-0.11877691	-0.33123489

De la tabla IV podemos notar que para las celdas 1, 2 y 3 las mayores correlaciones se alcanzaron cuando el desfase de los datos de reflectividad fue de 15 minutos con respecto a los datos de pluviómetro, para la celda 9 la correlación máxima ocurrió a un desfase de 5 minutos, mientras que para las celdas 4, 5, 6, 7 y 8 la mayor correlación se alcanzó para un desfase de 10 minutos. Además, notar que la celda que mejor correlaciona ambos conjuntos de datos es la número 8 (Ver. Fig. 1) la cual está ubicada al norte de la estación pluviométrica.

En el siguiente gráfico se puede observar con más detalle el coeficiente de correlación de las celdas en función del tiempo de desfase entre ambos conjuntos de datos:

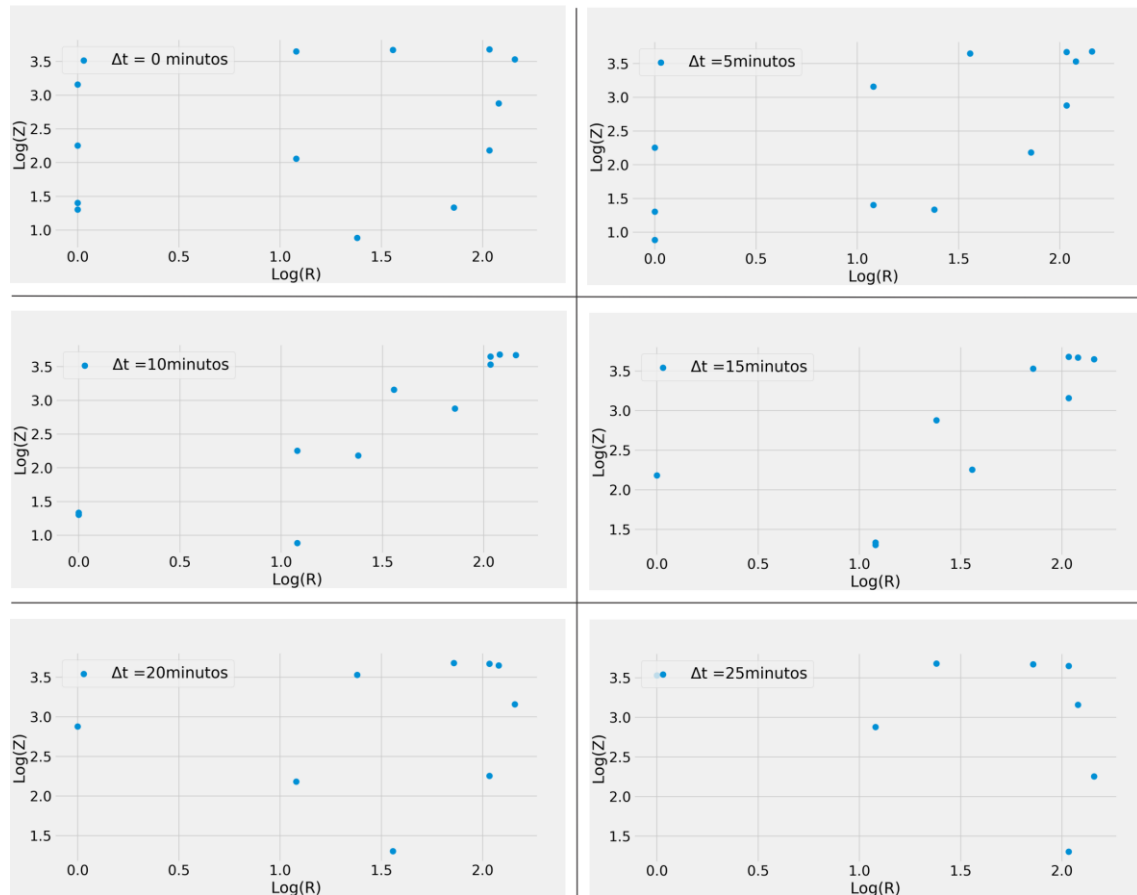


**Figura 5.** Coeficientes de correlación en función del desfase entre las curvas de Z y R.

De acuerdo a la figura 5, los coeficientes de correlación alcanzan un máximo absoluto para  $\Delta t \sim 10$  minutos, sin embargo no sería correcto considerar este  $\Delta t$  como una estimación del tiempo que demoran las gotas de precipitación en llegar al suelo debido a

que tanto el radar como los pluviómetros tienen asociado incertezas en el registro de los instantes en que se realiza la medición por lo que este método se limitará a indicar la celda que mejor correlaciona los datos en tierra.

En el siguiente conjunto de imágenes podemos observar un gráfico de  $Z_i^{8^{\circ}}$  vs  $R_i^{\circ}$  en escala logarítmica para la celda 8 y diferentes valores de  $\Delta t$ :



**Figura 6.** Secuencia del gráfico  $\text{Log}(Z)$  vs  $\text{Log}(R)$  para la celda 8 a los tiempos de desfase  $\Delta t = 0, 5, 10, 15, 20, 25$  minutos.

Con esto podemos formar nuestra malla de celdas con los coeficientes de mejor correlación, la cual queda como muestra la siguiente figura:

Finalmente, este método nos indica que la celda que más contribuye a la tasa de precipitación es la número 8. Si bien este resultado no coincide exactamente con el encontrado en el trabajo de Comes et al, 2016 donde la celda que mejor correlacionaba los datos fue la número 7 podemos decir que los resultados de ambos trabajos son similares ya que la celda 8 es contigua a la 7 y además la celda 7 tiene también un coeficiente de correlación elevado. Por otro lado, los registros de la dirección del viento durante la tormenta, según los modelos, indicaban que soplaba desde la dirección NE, con lo cual resulta esperable que la celda 7 sea la que más contribuya a la tasa de precipitación medida debido a que está se ubica al NE de la estación pluviométrica, sin embargo debemos tener presente que las predicciones a través de modelos tienen asociado su fuente de incerteza y a grandes rasgos podemos esperar que las celdas que mejor correlacionen sean las ubicadas en la dirección desde donde sopla el viento.

Celda 1 $r = 0.795$	Celda 2 $r = 0.867$	Celda 3 $r = 0.841$
Celda 4 $r = 0.794$	Celda 5 $r = 0.827$	Celda 6 $r = 0.786$
Celda 7 $r = 0.851$	<b>Celda 8</b> <b><math>r = 0.873</math></b>	Celda 9 $r = 0.811$

**Figura 7.** Malla de celdas con sus respectivas correlaciones máximas durante la tormenta ocurrida en Anisacate.

## CONCLUSIONES

En este estudio se propuso una variante al método de correlación por ventanas con el objetivo de reducir los errores debido a la desincronización temporal y el desajuste geográfico. Además, con este método se buscó tener en cuenta el proceso físico real de la lluvia debido a que esta rara vez cae absolutamente vertical por efecto del viento y las mediciones de reflectividad son realizadas a una altura mucho mayor que la del suelo y por lo tanto las gotas demoran un cierto tiempo en caer.

Si bien este procedimiento representa una mejora con respecto a los métodos de coincidencia tradicional TMM (Traditional Matching Method) y los basados en la igualdad de funciones densidad de probabilidad PMM (Probability Matching Method) y WPM (Window Probability Matching Method) este no tiene en cuenta el error asociado a la variación del perfil vertical de reflectividad, el cual es una área de investigación actual. Aun así, esta técnica promete grandes mejoras a las estimaciones

de precipitación en tiempo real que servirán como variable de entrada a los modelos hidrológicos y de cuencas hidrográficas especialmente en las regiones donde hay escasa cantidad de pluviómetros o incluso en los lugares donde no hay ninguno.

En este trabajo se aplicó este método a una tormenta convectiva ocurrida el día 7 de noviembre de 2015 sobre la localidad de Anisacate (Córdoba) y si bien se obtuvieron resultados que no coincidieron con los encontrados en el trabajo de Comes et al, 2016 estos no difieren en gran medida por las razones expuestas anteriormente.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio se establecerá este procedimiento como mecanismo para validar los datos del radar y lograr finalmente la calibración hidrológica del radar meteorológico RMA1.

## REFERENCIAS

- Battan, L. J. *Radar observation of the atmosphere* (No. 04; QC973. 5, B3.) (1973).
- Calheiros, R. V., and Zawadzki, I. Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. *Journal of climate and applied meteorology*, 26(1), 118-132 (1987).
- Comes, R., Ingaramo, R., Poffo, D., Furbatto, C., Saffe, J., Vicario, L., Dasso, C., Rodríguez, A., Bertoni, J.C., Caranti, G., Catalini, C., Martina, A., Menajovsky, S., Montamat, I., Rico, A., Rodríguez González, S., Serra, J., Villa Uría, A. "Empleo del Radar Meteorológico Argentino RMA1 para la detección de un evento severo" *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú* (2016).
- Fujiwara, M. Raindrop-size distribution from individual storms. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 22(5), 585-591 (1965).
- Horita, F. E., Vilela, R., Martins, R., Bressiani, D., Palma, G., and de Albuquerque, J. P. Determining flooded areas using crowd sensing data and weather radar precipitation: a case study in Brazil. In *ISCRAM* (2018).
- Lavanya, S., Kirankumar, N. V. P., Aneesh, S., Subrahmanyam, K. V., and Sijikumar, S. Seasonal variation of raindrop size distribution over a coastal station Thumba: A quantitative analysis. *Atmospheric Research* (2019).
- Marshall, J. S., and Palmer, W. M. K. The distribution of raindrops with size. *Journal of meteorology*, 5(4), 165-166 (1948).
- Méndez-Antonio, B., Domínguez-Mora, R., Magaña-Rueda, V., Caetano, E., & Carrizosa-Elizondo, E. Calibración hidrológica de radares meteorológicos. *Ing. Hidraul. Méx*, 20, 43-64 (2006).
- Ochou, A. D., Zahiri, E. P., Bamba, B., and Koffi, M. Understanding the variability of ZR relationships caused by natural variations in raindrop size distributions (DSD): Implication of drop size and number. *Atmospheric and Climate Sciences*, 1(03), 147 (2011).
- Piman, T., Babel, M. S., Gupta, A. D., and Weesakul, S. Development of a window correlation matching method for improved radar rainfall estimation (2007).



- Rodríguez, A., Lacunza, C., Serra, J., Saulo, A. C., Ciappesoni, H. H., Caranti, G. M., ... and Martina, A. SiNaRaMe: El primer sistema integrado de radares hidro-meteorológicos de latinoamérica (2017).
- Rosenfeld, D., Wolff, D. B., and Atlas, D. General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate. *Journal of applied meteorology*, 32(1), 50-72 (1993).
- Smith, J. A., and Krajewski, W. F. A modeling study of rainfall rate- reflectivity relationships. *Water Resources Research*, 29(8), 2505-2514 (1993).
- Thorndahl, S., Einfalt, T., Willems, P., Nielsen, J. E., ten Veldhuis, M. C., Arnbjerg-Nielsen, K., ... & Molnar, P. Weather radar rainfall data in urban hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(3), 1359-1380 (2017).
- Villarini, G., & Krajewski, W. F. Review of the different sources of uncertainty in single polarization radar-based estimates of rainfall. *Surveys in Geophysics*, 31(1), 107-129 (2010).

# DETERMINACIÓN DEL CAUDAL PASANTE Y PARÁMETROS HIDRÁULICOS EN UNA SECCIÓN DEL SUBVÁLVEO DEL RÍO POMÁN. DPTO POMÁN. PROV. DE CATAMARCA

Tálamo E.<sup>a</sup>, Brusa S.<sup>a</sup>, Martínez G.<sup>a</sup>, Vilches F.<sup>a</sup> y Morales G.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Geología, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, ARGENTINA

e-mail: [esteban.talamo@gmail.com](mailto:esteban.talamo@gmail.com)

## RESUMEN

*La zona de estudio se encuentra ubicada en el faldeo occidental de la sierra de Ambato, entre las coordenadas 28° 23' 52.54" latitud Sur y 66° 12' 9.75" longitud Oeste y 28° 24' 46.78" latitud Sur y 66° 12' 9.06" longitud Oeste, en el Departamento Pomán, dentro de la cuenca hidrológica del Salar de Pipanaco. Se enmarca en el proyecto de investigación denominado "Variaciones de niveles piezométricos en el subálveo del río Pomán, una metodología para entender el aporte a la recarga del sistema acuífero de Pipanaco", en ejecución período 2019 – 2020. Uno de los objetivos principales del mismo, es determinar el flujo natural pasante por el subálveo del Río Pomán aplicando la ley de Darcy. En el presente trabajo se muestran los resultados de las etapas realizadas para la determinación de la sección del río Pomán en la zona del Camping Municipal, aplicando técnicas geofísicas, la caracterización hidráulica del reservorio mediante la realización de ensayos de bombeo y el cálculo del gradiente hidráulico natural del sistema. Con los datos obtenidos, se realizó una integración conceptual que permitió concluir que el caudal que circula por el subálveo del río Pomán es de 0,0449 m<sup>3</sup>/seg, producto de un gradiente hidráulico natural de 0,06, una permeabilidad de 16 m/d y una superficie saturada de 4040 m<sup>2</sup> del acuífero en la sección considerada.*

*Palabras Clave: Caudal, espesor, Subválveo, Río Pomán.*

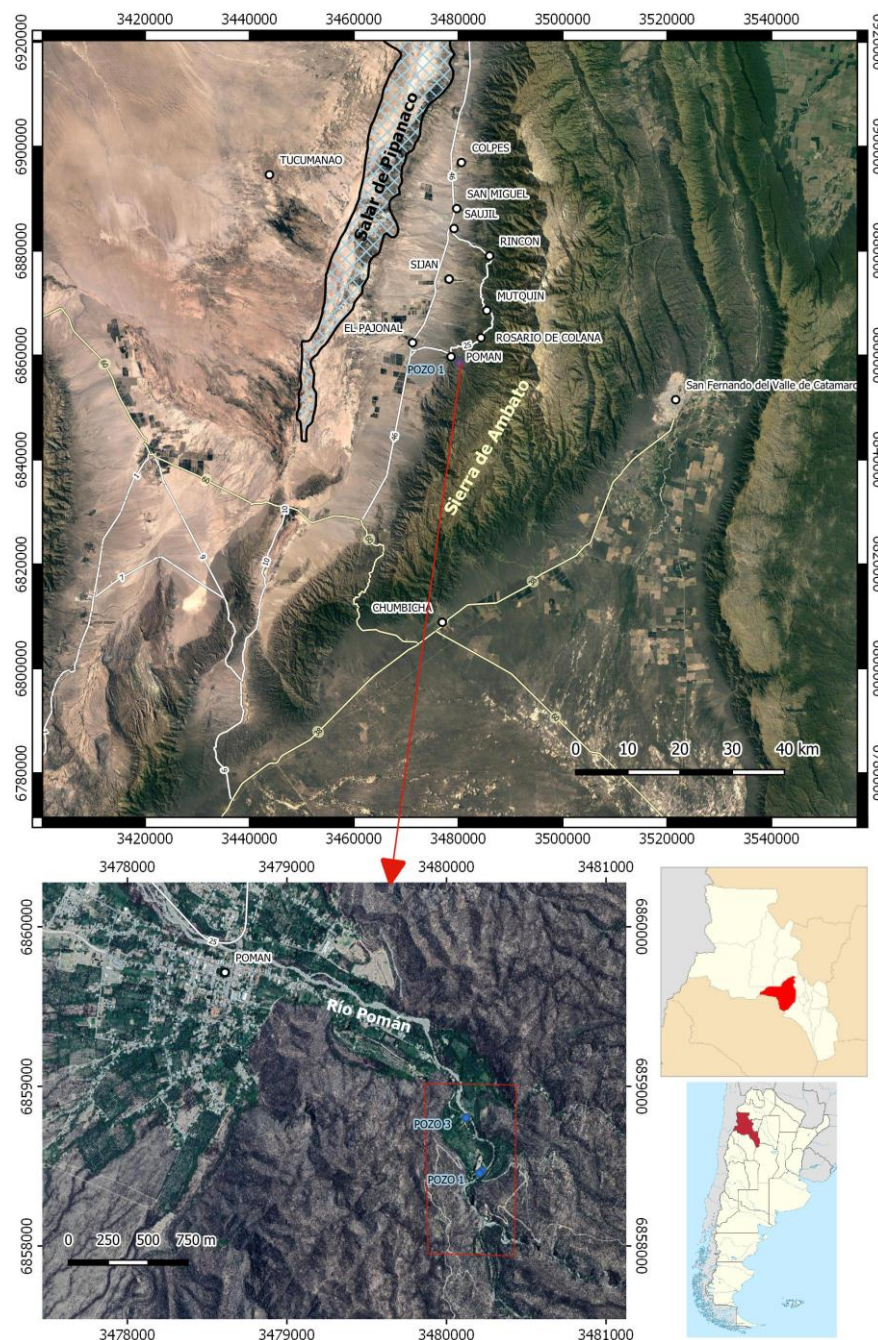
## INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrológica del Salar de Pipanaco se encuentra en el ámbito de las Sierras Pampeanas, con sus bloques reactivados por la Orogenia Andina. El complejo marco tectónico de la comarca, involucra un sistema de fallas que han elevado los bloques del basamento cristalino, generando los bordes de la cuenca subterránea (sierras de Ambato, Aconquija, Capillitas, Belén, Vinkuis, Velazco y Mazán). De acuerdo a (Alvarado y Ramos, 2010), la depresión tectónica generada fue rellenada por secuencias continentales detríticas, de edades plio-pleistocenas, holocenas y recientes, que conforman el sistema acuífero del Salar de Pipanaco. La recarga del sistema acuífero de Pipanaco es una de las componentes que surge del balance hidrológico global, con mayor incertidumbre en regiones áridas. La cuenca imbrífera del río Pomán, colecta las aguas del faldeo occidental de la sierra de Ambato y las conduce por su colector principal hasta abandonar el sistema serrano, donde se produce la captación parcial de su caudal para usos múltiples (riego y consumo humano). Parte del excedente escurre por la superficie y parte por el subálveo del río (conformado por sedimentos aluviales y

fluviales gruesos), pasando a formar parte de la recarga del sistema acuífero de Pipanaco (Tálamo, et al., 2016).

El modelo de recarga propuesto consta de dos mecanismos: 1° por infiltración progresiva del flujo superficial excedente según el caudal del curso y 2° recarga indirecta por transferencia desde el álveo al reservorio regional.

Cuantificar el flujo pasante por el subálveo y por ende la magnitud de este sistema de recarga, resulta una incógnita en este tipo de cuencas, por lo cual se considera sumamente valioso establecer las metodologías para lograrlo y valorar los resultados obtenidos. En el presente trabajo se aplica la ley de Darcy, en una sección del río Pomán, para establecer el caudal de flujo subterráneo en el momento y sitio específico.



**Figura 1.** Ubicación general de la zona de estudio.



## MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Los trabajos fueron planificados en gabinete, previa recopilación y revisión de la información existente de la zona de estudio. Las campañas se realizaron en dos etapas, la primera incluyó la realización de los Sondeos Eléctricos Verticales y un Ensayo de Bombeo de larga duración; mientras que en la segunda se realizó el relevamiento Topográfico de los pozos existentes, los pelos de agua y los sitios donde se realizaron los SEV.

Para aplicar la ley de Darcy en la sección elegida (Camping Municipal) fue necesario contar con información clave: Área o superficie saturada de la sección en subsuelo, el gradiente hidráulico y la permeabilidad del acuífero.

### Prospección Geofísica

Con el objetivo de establecer el espesor saturado del subsuelo en la sección analizada, se realizó una prospección geoelectrica, en la que se ejecutaron 5 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), cuya ubicación se puede ver en Fig. 2.



**Figura 2.** Ubicación y distribución de los sondeos eléctricos verticales.

El objetivo fue lograr la identificación de horizontes eléctricos en profundidad mediante un dispositivo electródico tetrapolar Schlumberger de constante geométrica  $K = \pi (AM \cdot AN) / MN$ . Las longitudes entre los electrodos de corriente fueron variables, hasta

distancias máximas de 1000 metros. Las separaciones entre los electrodos de potencial, MN, variaron entre 1 y 100 metros. El equipo utilizado para este fin es de marca CGEG CO Ltd. Modelo DUK – 2 A, autocompensador, de corriente continua con lectura directa de resistividad; electrodos de corriente de acero inoxidable en solución saturada de sulfato de cobre y cables de corriente de cobre acerado de 1 mm de sección y 1.000 metros de longitud. Ver Fig. 3 (a y b).



**Figura 3. a.** Fotografía del Equipo CGEG CO Ltd. Modelo DUK – 2 A utilizado. **b.** realización de un sondeo en la margen del río Pomán.

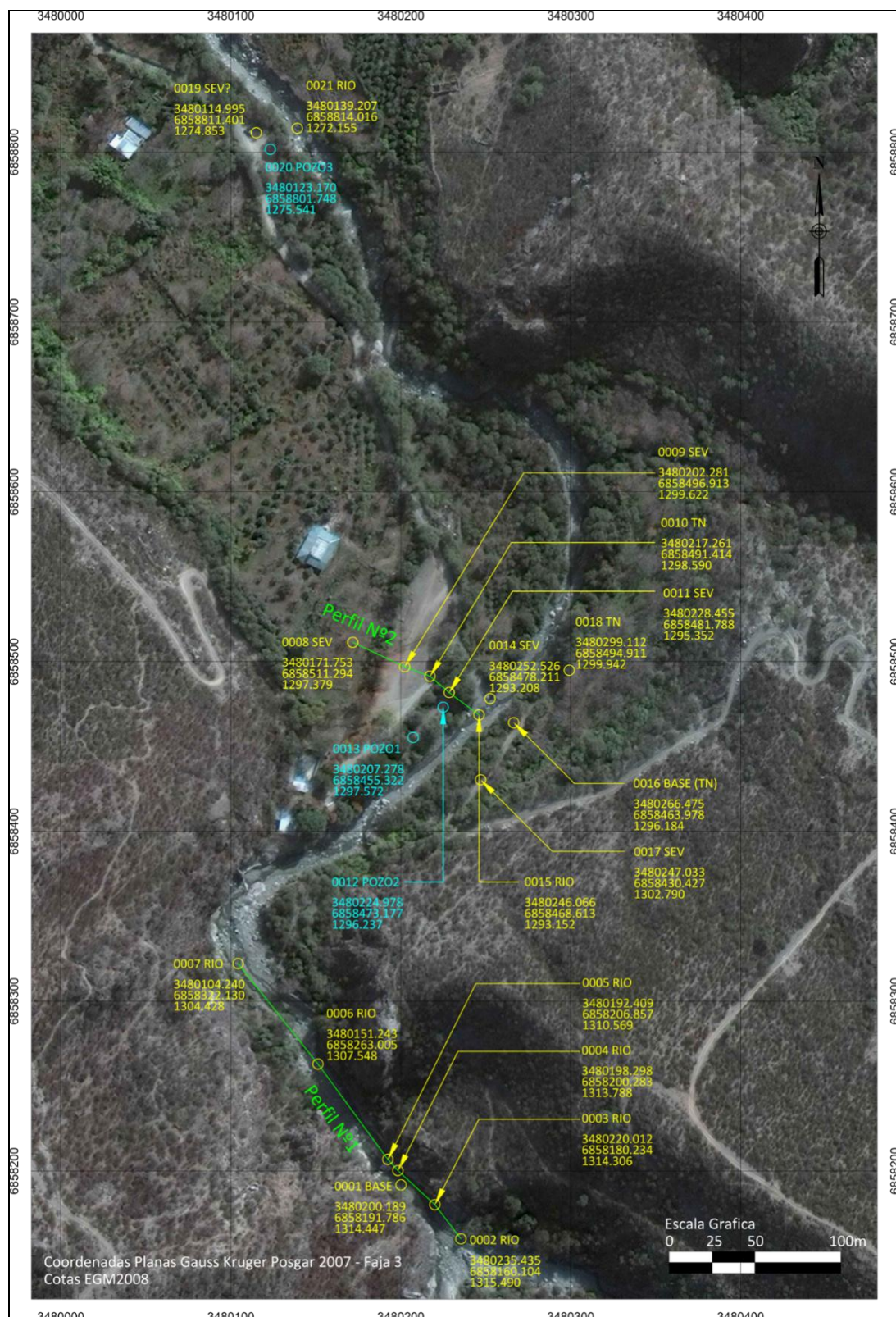
### Relevamiento topográfico

Para obtener el gradiente hidráulico natural del acuífero, se procedió a realizar el relevamiento Planialtimétrico de los tres pozos existentes en margen izquierda del río Pomán. También se relevaron los sitios donde se realizaron los SEV y se registraron puntos de interés geomorfológico (terrazas, barrancas, etc.) y de interés hidráulico (pelos de agua del curso fluvial), con receptores geodésicos marca Trimbe R4 RTK y una estación total. Ver Fig. 4. La ubicación de los principales puntos relevados se muestra en la Fig. 5.



**Figuras 4. a.** Receptor geodésico Trimbe R4 RTK. **b.** relevamiento planialtimétrico de los pozos perforados.





**Figura 5.** Ubicación y georreferenciación de los puntos acotados.

## Ensayo de bombeo

Con el fin de obtener los parámetros hidráulicos del acuífero (Permeabilidad, Transmisividad y Coeficiente de Almacenamiento) se realizó un ensayo de bombeo en el pozo N°1, en tanto el pozo N°2 se utilizó como piezómetro o pozo de observación. Ambos se encuentran en la margen izquierda del río.

Iniciado el ensayo se tomaron los niveles piezométricos medidos en el pozo de observación o piezómetro, mientras se sometía a caudal constante, el bombeo del pozo principal. Este bombeo se realizó con una electrobomba sumergible de 15 HP de potencia, instalada a una profundidad de 20 metros, la cual funcionaba con un grupo electrógeno. Las medidas de caudal se realizaron de manera volumétrica.

Para la interpretación de los datos de los ensayos de bombeo, se utilizaron softwares específicos, que simplificaron los cálculos y permitieron aplicar métodos de resolución más complejos. Para el presente trabajo se utilizó el Programa denominado Infinite Extent, Full Version 4.1.0.1 perteneciente a Starpoint Software INC y el Software MJ-PUMPIT V3 de CSIC, desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. También se aplicaron métodos de resolución gráfica, durante la recuperación de los niveles una vez detenido el bombeo.



**Figura 6:** a. Armado e instalación de cañería para el ensayo de bombeo. b. medición de niveles en pozo de observación.

Previo al inicio del bombeo, en el pozo de observación se colocó un “diver” de medición automática, instrumento de alta presión que registra la carga hidráulica (en presión de agua) dato que luego se convierte en nivel piezométrico dado y también la temperatura. Ver Fig. 7. Se programó la toma de datos cada un minuto. Luego mediante una interface USB se transfirieron a una PC para posterior almacenamiento y procesamiento mediante el software Diver Office v 2012.1by Schulmberger Water Services.





**Figura 7:** a. Programación de los “divers”. b. Colocación en el pozo N°2

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

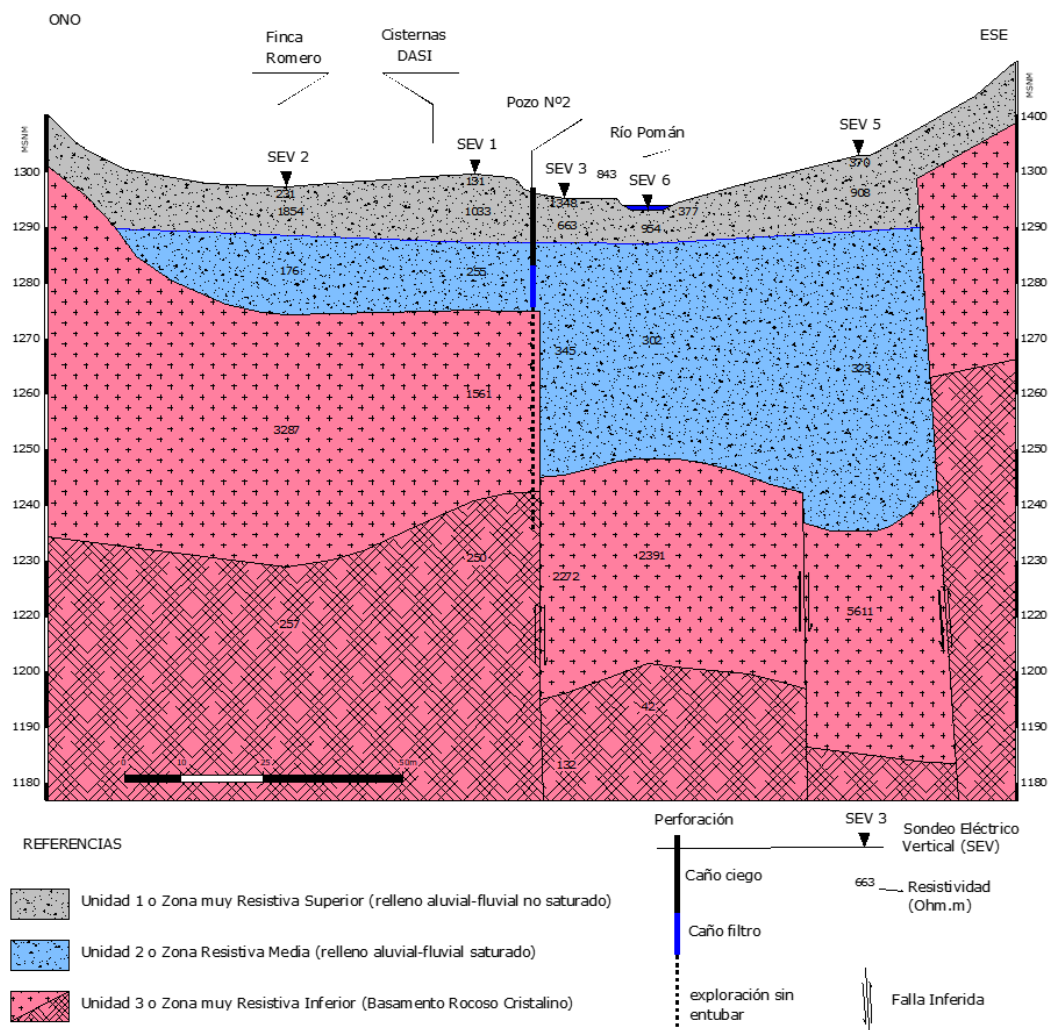
### Geofísica

Concluidas las tareas geofísicas de campo, se procedió a interpretar cada SEV teniendo en cuenta los aspectos geológicos e hidrogeológicos del entorno, se utilizaron software específicos para tal fin.

Luego de analizar las distintas electrocapas detectadas en cada sondeo eléctrico vertical (SEV), (Ver Tabla I) se confeccionó 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 Muy Resistiva Superior (Relleno aluvial-fluvial No Saturado), **Unidad 2** o Zona Resistiva Media (Relleno aluvial-fluvial Saturado) y **Unidad 3** o Zona Muy Resistiva Inferior (Basamento Roco cristalino) Ver Fig. 8.

**Tabla I.** Interpretación de cada SEV con los valores de resistividad por electrocapa.

N° SEV		SEV 1			SEV 2			SEV 3			SEV 5			SEV 6		
Curva y Modelo																
Modelo	Capa	Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)	Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)	Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)	Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)	Resistividad (Ohm.m)	Espesor (metros)	Profundidad (metros)
	1	130.9	1.8	1.8	231.5	0.8	0.8	842.9	0.8	0.8	370.5	2.0	2.0	377	0.8	0.8
	2	1033.1	10.5	12.3	1854.5	8.0	8.8	1348.4	1.2	2.0	908.4	11.8	13.8	953.7	8.2	9.0
	3	254.9	12.1	24.4	176.4	14.3	23.1	663.1	6.0	8.0	323.4	53.9	67.7	301.7	14.0	23.0
	4	1560.7	34.3	58.7	3287.1	45.4	68.5	344.6	41.8	49.8	5611			2391.4	46.0	69.0
	5	250.4			257.5			2271.8	40.2	89.6				41.8		
	6							132.1								

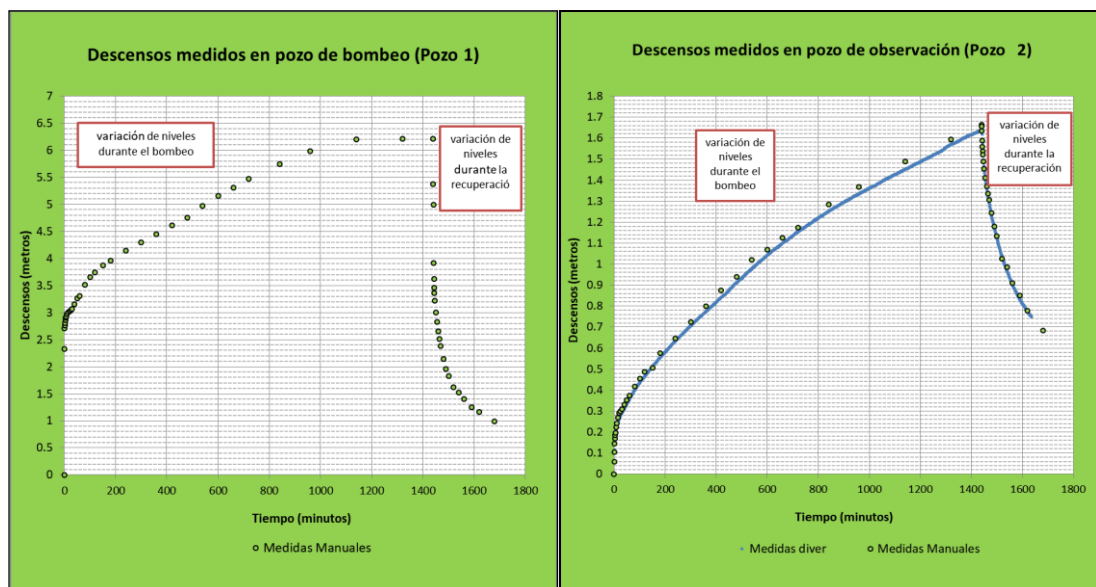


**Figura 8:** Perfil Geoelectrico A – A’

## Ensayo de Bombeo

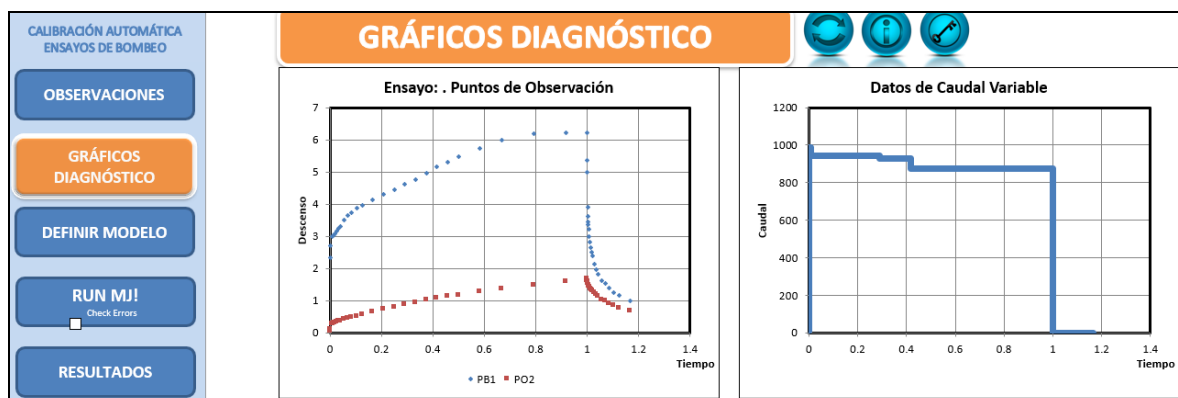
Tal como se describió en la metodología, el ensayo de bombeo permitió obtener los parámetros hidrogeológicos del acuífero ensayado, con una prueba hidráulica a caudal constante (promedio de 38 m<sup>3</sup>/h o 912 m<sup>3</sup>/día) de 24 horas de duración. Posteriormente se registraron 4 horas de recuperación de niveles, tanto en el pozo de bombeo como en el de observación.

Las variaciones de los niveles en el pozo de bombeo (Pozo 1) y en el pozo de observación (Pozo 2) se midieron manualmente con sonda piezométrica electrónica, en los intervalos de tiempo establecidos para este fin. Del pozo de observación se obtuvieron los datos del diver que realizó una medición constante cada un minuto, para obtener un control de las medidas manuales y una densidad de puntos de mayor detalle. La variación de los niveles medidos durante la prueba hidráulica y la recuperación de los mismos una vez detenido el bombeo, fueron graficadas para poder establecer el comportamiento de los mismos en función del tiempo. Ver Fig. 9.



**Figura 9.** Representación gráfica de los descensos vs el tiempo, medidos en el pozo de bombeo y pozo de observación.

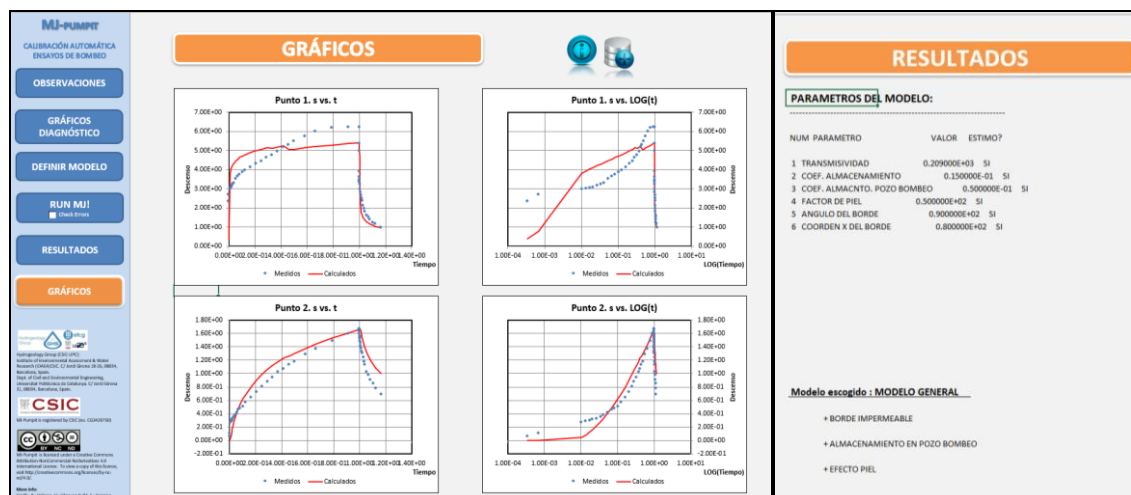
Aprovechando la buena respuesta obtenida en el pozo de observación, se utilizó MJ-PUMPIT Para modelar las respuestas hidráulicas obtenidas durante una prueba de bombeo (ver Fig. 10 y 11).



**Figura 10.** Control de medidas de descenso (metros) en pozo de bombeo (PB1) y de observación (PO2) y variaciones mínimas del caudal ( $\text{m}^3/\text{día}$  vs. tiempo (días))

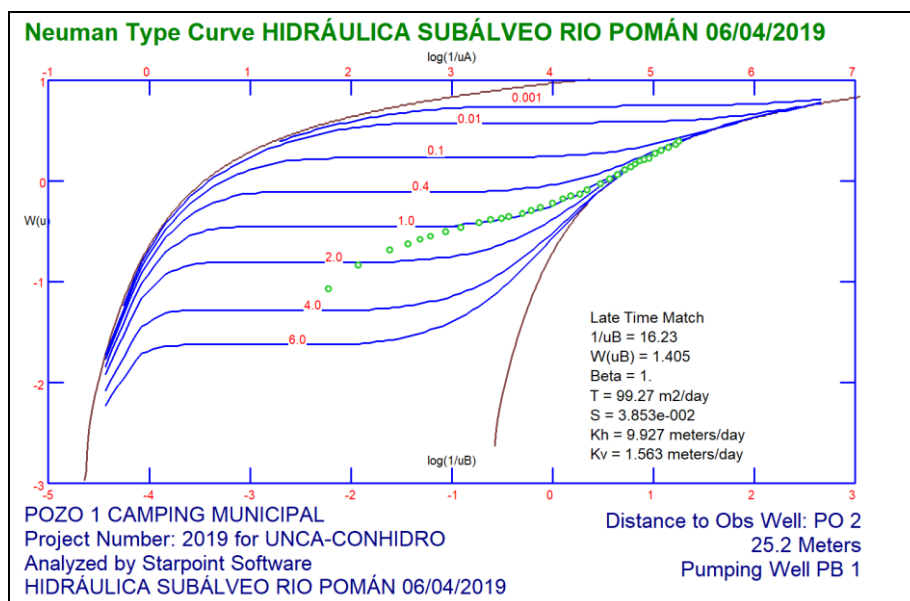
En este caso el programa utilizó el método de Barker (1988), ajustando exclusivamente los descensos medidos a 25,2 metros del pozo de bombeo, obteniendo un ajuste satisfactorio, máximo si se considera que el método ajusta de manera simultánea la respuesta piezométrica en ambos pozos: bombeo (Punto 1) y observación (Punto 2) (ver Fig. 11).





**Figura 11.** Ajuste de modelo de datos calculados vs datos medidos, en gráfico aritmético y semi logarítmico

Los datos de los descensos medidos en el pozo de observación durante el ensayo de bombeo fueron interpretados mediante el uso del software Infinite Extent, Full Version 4.1.0.1 perteneciente a Starpoint Software INC. En este entorno pudo encontrarse una muy buena correspondencia de las curvas en superposición a las correspondientes al Modelo de “Neuman”, realizando la superposición en el tercer tramo o tardío. Esta respuesta caracteriza a los acuíferos libres con drenaje diferido. Ver Fig.12.

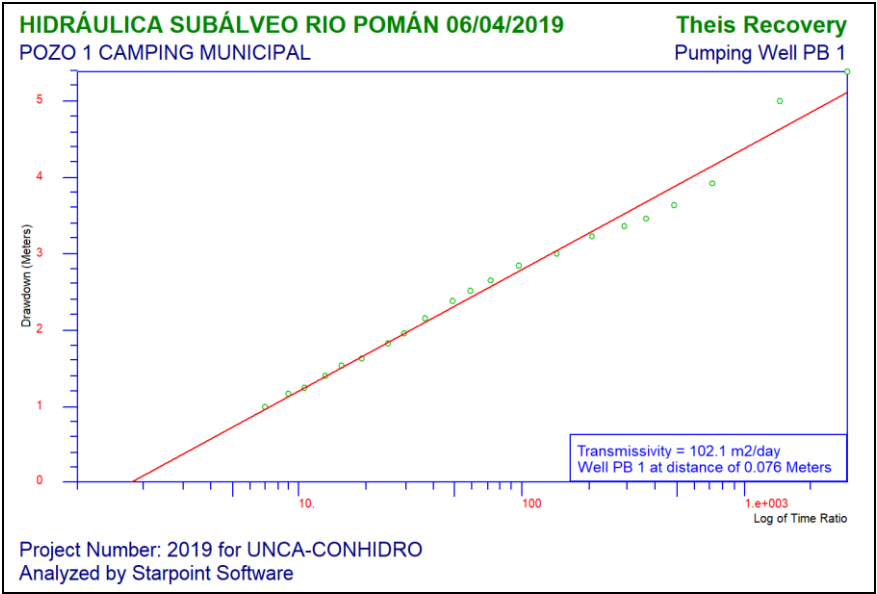


**Figura 12.** Interpretación de los datos en el pozo de observación, aplicando método de Neuman con software Infinite Extent

Se deja claro que en este caso de análisis, solo se utilizaron los datos del pozo de observación, ya que los del pozo de bombeo, traen aparejado los efectos del bombeo y las consecuencias de medir los niveles en el mismo pozo.

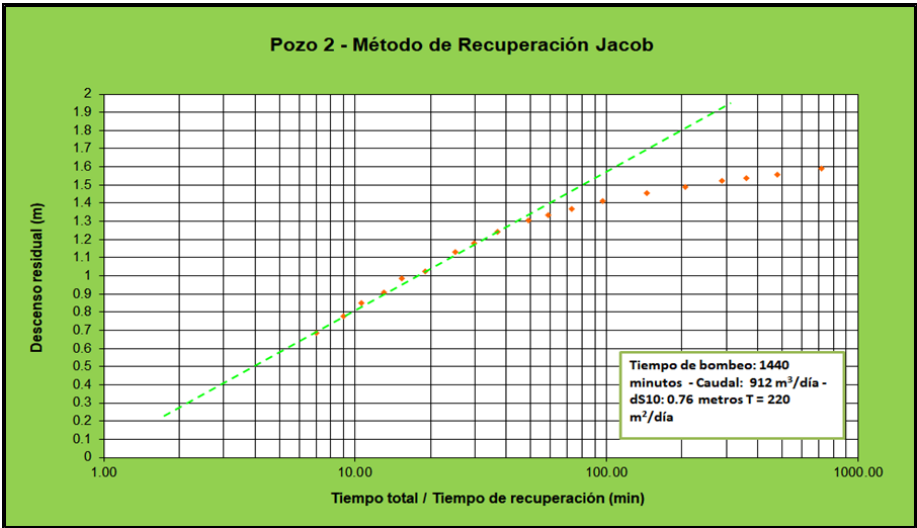
Una vez cumplidas las 24 horas se detuvo el bombeo y se registraron los ascensos en ambos pozos (ensayo de recuperación).

Aplicando la modalidad de “Theis Recovery” del software Infinite Extent con los datos del pozo de bombeo, que ya no se encuentran influenciados, se pudo obtener un valor estimado de la Transmisividad del acuífero, ver Fig. 13.



**Figura 13.** Interpretación de los datos de recuperación en el pozo de bombeo, aplicando método Theis con software Infinite Extent.

Los datos de la recuperación medidos en el pozo de observación (Pozo 2), fueron procesados con el método de Jacob, que es una simplificación del método de Theis, de esta manera pudo obtenerse una estimación de la Transmisividad en el entorno de este pozo, utilizando herramientas gráficas tal cual lo indica el método (ver Fig. 14).



**Figura 14.** Aplicación del método de Jacob en ensayo de recuperación. Los resultados de las diferentes interpretaciones realizadas se simplifican en la siguiente tabla, donde luego de obtienen los valores medios. La importancia de esta instancia radica en encontrar el valor de la permeabilidad del acuífero evaluado, que en función de su transmisividad media y su espesor, es de 16 m/día.

**Tabla II.** Valores de Transmisividad y Coeficiente de Almacenamiento obtenido en cada método.

Método	T (m <sup>2</sup> /día)	S	Observaciones
Curvas de Neuman – Pozo Obs. - Software Infinite Extent	99.3	0.03853	Ensayo de larga duración, solo datos pozo de observación, superposición en 3 <sup>er</sup> tramo (tardío)
MJ-PUMPIT V3 Método General	209	0.015	Ensayo de larga duración con ambos pozos modelados en simultáneo
Recuperación en Pozo de observación (Jacob)	220	---	Método semi empírico, con datos de recuperación en pozo de observación
Recuperación en pozo de bombeo - Software Infinite Extent	102.1	---	Medidas manuales de recuperación en pozo de bombeo.
<b>PROMEDIOS</b>	<b>157.6</b>	<b>0.0268</b>	

## Piezometría

Del relevamiento realizado, con los datos de mediciones de los niveles estáticos de los tres pozos existentes, pudo elaborarse un mapa piezométrico simple (ver Fig. 15), del cual se obtuvo el gradiente hidráulico del acuífero, determinándose un valor de 0,06.



**Figura 15.** Esquema piezométrico local.

## Cálculo del flujo subterráneo pasante en la sección del río Pomán

Con el fin de establecer el flujo de agua subterránea que transcurre por la sección analizada del río Pomán, se aplicaron los conceptos que engloba la ley de Darcy para medios porosos:  $Q = k i S$ , Siendo:

Q: el caudal subterráneo expresado en m<sup>3</sup>/día,

k: la permeabilidad del medio estudiado expresado en m/día

S: la superficie o área de la sección saturada en la sección analizada (m<sup>2</sup>)

i: el gradiente hidráulico del acuífero (a dimensional)

El valor de permeabilidad “k” a emplear es el que se obtuvo como promedio de las transmisividades del acuífero en función de su espesor. Este valor es de 16 m/d. El valor de la superficie saturada “S”, se extrajo gráficamente del perfil transversal geofísico obtenido, siendo de 4040 m<sup>2</sup>. Por último, se calculó el gradiente hidráulico “i” utilizando los datos de cotas piezométricas obteniéndose un valor medio de 0,06. De esta manera se obtiene que:

$$Q_{\text{subterráneo}} = 16 \text{ (m/d)} * 4040 \text{ m}^2 * 0,06 = 3878,4 \text{ m}^3/\text{d} = 161,6 \text{ m}^3/\text{h} = \underline{0,0449 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

## CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos, se realizó una integración conceptual que permitió concluir que el caudal que circula por el subálveo del río Pomán es de 0,0449 m<sup>3</sup>/seg, producto de un gradiente hidráulico natural de 0,06, una permeabilidad de 16 m/d y una superficie saturada de 4040 m<sup>2</sup> del acuífero en la sección considerada.

La metodología empleada permitió calcular el flujo subterráneo que pasa por una sección del río Pomán, en la zona del Camping Municipal en un determinado momento.

La continuidad de estas mediciones en otros períodos del año, mediante el seguimiento de los niveles piezométricos en las perforaciones, más aforos superficiales y el análisis de las precipitaciones en la cuenca, permitirán definir un modelo de recarga al acuífero regional del Salar de Pipanaco, el cual podrá aplicarse a los sistemas fluviales similares existentes en la región.

## REFERENCIAS

- Alvarado Patricia y Víctor Ramos. La estructura ándica de las Sierras Pampeanas basada en los mecanismos focales de terremotos en su región Noroeste. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (4): 461-472 (2010).
- Barker, J. A generalized radial-flow model for pumping test in fractured rocks. British Geological Survey. Wallingford, Oxfordshire, ox 10 8BB, UK 55 pp. (1988).
- Tálamo Esteban; Marcos N. Rodríguez; Sergio A. Bea; Luis Vives; Andrés Mira; Rodolfo García; Federico Moya Ruiz; Verónica Rocha Fasola. "Modelo hidrogeológico conceptual del Salar de Pipanaco, provincias de Catamarca y La Rioja, Argentina". En *Hidrogeología Regional, Argentina: Editorial Científica Universitaria*. 978-987-661-224-1. (2016).

# AVANCES EN EL JURÁSICO TARDÍO ANDINO MEDIANTE EL ESTUDIO DE SUS AMONITES

Vennari V. V.<sup>a</sup> y Aguirre-Urreta B.<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Grupo vinculado al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA, CONICET), Museo de Historia Natural de San Rafael, Mendoza, ARGENTINA

<sup>b</sup>Instituto de Estudios Andinos “Don Pablo Groeber” (UBA-CONICET), Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA

e-mail: [yvennari@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:yvennari@mendoza-conicet.gob.ar)

## RESUMEN

Se presenta una revisión con un enfoque paleobiológico de una asociación de amonites compuesta por *Berriasella alternans*, *B. inaequicostata* y *B. spinulosa*, originalmente descripta por Gerth (1925) y proveniente del Tithoniano superior de la Formación Vaca Muerta, sur de Mendoza. A partir del estudio de material tipo y de nuevas colecciones se analiza la variabilidad morfológica de esta asociación y se propone su reasignación taxonómica. También se refina su posición estratigráfica y se discuten las implicaciones bioestratigráficas de los resultados obtenidos.

**Palabras Clave:** Amonites, Tithoniano tardío, Formación Vaca Muerta, variabilidad

## INTRODUCCIÓN

La alta variabilidad intraespecífica de los amonites ha conducido con frecuencia a la fragmentación de las paleo-poblaciones naturales en distintas especies y/o géneros, lo que ha promovido estimaciones erróneas de la riqueza taxonómica de una biota dada e interpretaciones paleoecológicas, bioestratigráficas y evolutivas sesgadas (Kennedy y Coban, 1976; Monnet *et al.*, 2010; Bert, 2014; De Baets *et al.*, 2015). Este enfoque tipológico ha predominado en el estudio de las asociaciones de amonites del Jurásico y Cretácico de Argentina. Sin embargo, ciertas contribuciones incluyeron análisis paleobiológicos y aportaron valiosas conclusiones (*e.g.* Riccardi *et al.*, 1971; Aguirre-Urreta, 1998; Vennari y Aguirre-Urreta, 2017, 2019).

La asociación de tres taxones de amonites referidos originalmente como *Berriasella alternans* Gerth, *B. inaequicostata* Gerth y *B. spinulosa* Gerth, proveniente de niveles tithonianos superiores de la Formación Vaca Muerta en la localidad Arroyo Durazno, Mendoza (Gerth, 1925, 1926), ofrece una interesante oportunidad para la aplicación de un enfoque paleobiológico para su revisión. Ésta tiene como objetivo principal verificar si todas estas especies nominales (y otras sincrónicas) son válidas o si, por el contrario, deben ser consideradas como meras variantes morfológicas de un mismo taxón. Si bien esta última posibilidad habría sido sugerida por otros autores (*i.e.* Parent *et al.*, 2011), la extensión de la variabilidad morfológica no fue analizada a partir de nuevas colecciones provenientes de niveles coetáneos. Otro de los objetivos propuestos se relaciona con determinar la asignación genérica apropiada para la



asociación, la que ha sido debatida largamente durante los últimos años (véase Parent *et al.*, 2011; Salazar, 2012; Riccardi, 2015).

En esta contribución se estudian especímenes colectados capa a capa y provenientes del mismo intervalo estratigráfico que el examinado por Gerth (1925) en Arroyo Durazno y otras localidades (Fig. 1). El análisis se complementó con el estudio de materiales tipo depositados en colecciones de Argentina y Alemania. Disponer de nuevas colecciones con un riguroso control estratigráfico, permite también ajustar la posición de los taxones considerados dentro del esquema bioestratigráfico andino. Esto resulta relevante para continuar avanzando con un marco bioestratigráfico integral de la Formación Vaca Muerta (Aguirre-Urreta *et al.*, 2019), en vistas de su importancia económica (González *et al.*, 2016) y para consolidar su correlación con otras regiones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Marco geológico y localidades estudiadas.** Todo el material estudiado proviene de afloramientos de la Formación Vaca Muerta (Weaver, 1931) en Mendoza y Neuquén (Fig. 1). Esta unidad marina y principalmente carbonática, está ampliamente distribuida en el ámbito de la cuenca Neuquina, desde el Tithoniano temprano al Valanginiano temprano, en un contexto de retro-arco (Ramos y Folguera, 2005). Además de los nuevos especímenes colectados en Arroyo Durazno, se muestrearon niveles sincrónicos en Arroyo Paulino (14 km al NO de A. Durazno) y en la Sierra de la Cara Cura. Descripciones y secciones estratigráficas de estas localidades pueden consultarse en Vennari y Aguirre-Urreta (2017, 2019) y en Fernández *et al.* (2019). Especímenes adicionales provienen de Las Tapaderas, una sección cercana al Paso Pehuenche (Palacio *et al.*, 2016) y del Arroyo Liu Cullín en las cercanías de Las Lajas, Neuquén. El resto de los ejemplares de Mendoza fueron colectados por Groeber en Mallín Redondo, Sierra Azul y por Kittl en el Cerro Mala Dormida.



**Figura 1.** Situación geográfica de las localidades estudiadas y aspecto de la Fm. Vaca Muerta en la localidad tipo de *Lytroplites alternans* (Gerth) en Arroyo Durazno, Mendoza

**Materiales.** Se contó con un total de 69 especímenes, 68 de Mendoza y uno de Neuquén. Siete pertenecen a la Colección Gerth (STIPB 394–395, 939, 948–949; SEGEMAR 7411-511.1–511.2); 13 a la Colección Groeber (SEGEMAR 7107–7108, 7116, 7119, 7135-491a–491d, 9357-500, 9357. 184, 9357.220, 9357.223, 9450) y uno a la Colección Kittl (MACN-Pi 1196.2). 48 son nuevos ejemplares: siete de Sierra de la Cara Cura (CPBA 22153.1–22153.3; MCNAM-PI 24647.1–24647.4); 11 de Las Tapaderas (MCNAM-PI 24630.1–24630.3, 24631.1–24631.3, 24632.1–24632.2, 24638.1–24638.3); ocho de Arroyo Paulino (MCNAM-PI 24878–24879,

24880.1–24880.2, 24881.1–24881.2, 24882, 24895); 21 de Arroyo Durazno (MCNAM-PI 24883.1–24883.3, 24884–24888, 24889.1–24889.4, 24890, 24891.1–24891.3, 24892.1–24892.2, 24893.1–24893.2, 24894) y uno de Arroyo Liu Cullín (MOZ-PI 11497).

**Métodos.** La matriz digital de caracteres cuantificables de las conchillas (Tabla I) fue construida sobre la base de los ejemplares mejor preservados, sobre cada uno de los cuales se tomó más de un conjunto de datos, a diferentes diámetros, con el objeto de detectar variaciones ontogenéticas. El análisis estadístico fue llevado a cabo en PAST (versión 3.20, Hammer *et al.*, 2001). Para este se seleccionó una submuestra de 29 ejemplares de Arroyo Durazno y Arroyo Paulino, representativos de la asociación original de Gerth (1925), y minimizando de este modo posibles sesgos tafonómicos relacionados con el ambiente de depositación. La distribución de frecuencias de los caracteres estructurales (como proporciones con respecto al diámetro para eliminar la influencia del crecimiento en este análisis) se representó como histogramas (Fig. 2.a). La normalidad de las distribuciones fue puesta a prueba de forma analítica a través del estadístico de Shapiro-Wilk, con  $p=0,05$  (Hammer y Harper, 2006), y en forma gráfica mediante el grado de ajuste de la estimación Kernel de densidad a una curva de Gauss normal teórica (Bert, 2014; De Baets *et al.*, 2015). Finalmente, los diagramas de dispersión (Figs. 2.b–c) y *biplots* (Fig. 2.d) permiten explorar las variaciones de los caracteres estructurales y ornamentales con la edad (expresada por diámetros sucesivos), así como detectar subgrupos morfológicos o diferentes trayectorias ontogenéticas. El ajuste a curvas de regresión permite analizar si el crecimiento ha sido isométrico o alométrico y verificar el grado de dispersión de los datos según el coeficiente de correlación de Pearson ( $R^2$ ) (*e.g.* Hammer y Harper, 2006; Monnet *et al.*, 2010). La terminología utilizada para la descripción general del material sigue los lineamientos expresados en Vennari y Aguirre-Urreta (2017 y referencias allí citadas).

**Abreviaturas utilizadas.** Ejemplares: D, diámetro; H, altura de la vuelta; HT, holotipo; M, macroconcha; m, microconcha; Ru/2, número de costillas umbilicales por media vuelta; Rt/2, número de costillas con tubérculos laterales por media vuelta; U, diámetro umbilical; W, ancho de la vuelta. Repositorios: CPBA, Colección Paleontológica de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina; MACN-Pi, Colección de Paleontología de Invertebrados del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", Buenos Aires, Argentina; MCNAM-PI, Colección de Paleontología de Invertebrados del Museo de Ciencias Naturales y Antropológicas "Juan Cornelio Moyano", Mendoza, Argentina; MOZ-PI, Colección de Paleontología de Invertebrados del Museo Provincial de Ciencias Naturales "Prof. Dr. Juan A. Olsacher", Zapala, Argentina; SEGEMAR, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, Argentina; STIPB, Instituto Steinmann de Paleontología de la Universidad de Bonn, Bonn, Alemania.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Paleontología sistemática

Clase Cephalopoda Cuvier, 1797  
Orden Ammonoidea Zittel, 1884  
Suborden Ammonitina Hyatt, 1900  
Superfamilia Perisphinctoidea Steinmann, 1890

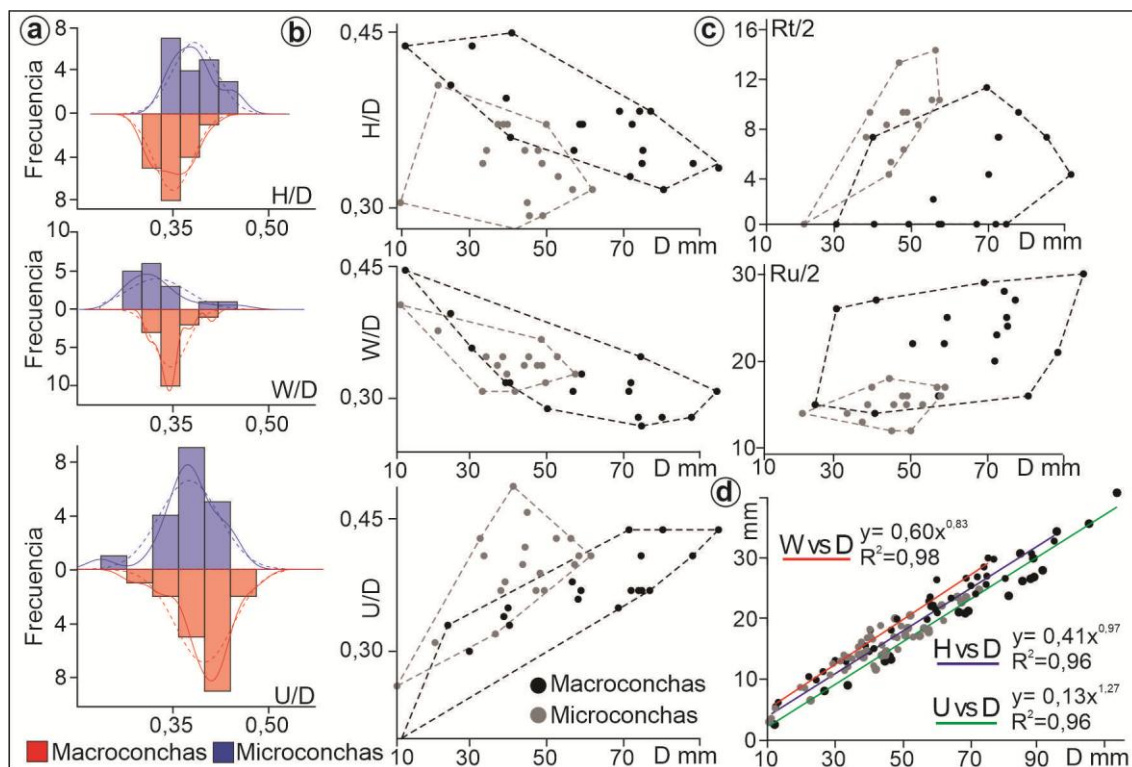
*Lytohoplites alternans* (Gerth, 1925) n. comb.  
Figs. 2–3; Tabla I

1900 *Reineckeia koellikeri* (Oppel), Burckhardt, p. 16, lám. 20, figs. 14–15; lám. 21, fig. 1.  
 v 1925 *Berriasella alternans* Gerth, p. 89, lám. 6, figs. 3–3 a.  
 v 1925 *Berriasella inaequicostata* Gerth, p. 90, lám. 6, figs. 4, 4 a–b; fig. 8.  
 v 1925 *Berriasella spinulosa* Gerth, p. 91, lám. 6, figs. 2–2a.  
 v 1926 *Berriasella alternans* Gerth, p. 474, lám. 19, figs. 10–10 a (= Gerth, 1925).  
 v 1926 *Berriasella inaequicostata* Gerth, p. 475, lám. 19, fig. 11 (=Gerth, 1925)  
 v 1931 *Berriasella alternans* Gerth, Windhausen, lám. 30, fig. 6 (= Gerth, 1925)  
 non 1936 *Berriasella alternans* Gerth (n. var.?) Feruglio, p. 70, lám. 8, fig. 6 (= ?*L. burckhardti*)  
 non 1936 *Berriasella spinulosa* Gerth, Feruglio, p. 65, lám. 8, figs. 7–13 (= *Berriasella* sp. sensu Leanza, A., 1967, p. 145).  
 ? 1936 *Berriasella behrendseni* Burckhardt, Feruglio, p. 67, lám. 8, fig. 2.  
 pv 1945 *Corongoceras alternans* (Gerth), Leanza, A., p. 47, lám. 1, figs. 2–3.  
 pv 1945 *Berriasella pastorei* Leanza, A., p. 33, lám. 3, figs. 12–13.  
 v 1945 *Berriasella groeberi* Leanza, A., p. 37, lám. 4, fig. 1.  
 v 1945 *Berriasella inaequicostata* Leanza, A., p. 34, lám. 4, fig. 2.  
 v 1945 *Berriasella* (?) *delhaesi* Leanza, A., p. 39, lám. 6, figs. 1–2.  
 v 1945 *Corongoceras rigali* Leanza, A., p. 48, lám. 6, figs. 3–4.  
 v 1945 *Berriasella krantzi* Leanza, A., p. 32, lám. 6, figs. 7–8.  
 v 1981 *Berriasella krantzi* Leanza, A., Leanza, H., lám. 3, figs. 1–2 (= Leanza, A., 1945).  
 v 1981 *Berriasella pastorei* Leanza, A., Leanza, H., lám. 3, figs. 12–13 (= Leanza, A., 1945).  
 v 2001 *Corongoceras alternans* (Gerth), Parent, fig. 9 D–E (= Gerth, 1925).  
 pv 2011 *Steueria alternans* (Gerth), Parent *et al.*, p. 66, figs. 29 A–D (= Gerth, 1925); non fig. 30A–D.  
 non 2012 *Micracanthoceras spinulosum* (Gerth), Salazar, p. 94, figs. 4.15 a–h, l–n (figs. 4.15 i–k, o–q = Gerth, 1925).  
 non 2012 *Corongoceras alternans* (Gerth), Salazar, p. 98, figs. 4.16–4.18.  
 ? 2013 *Steueria alternans* (Gerth), Parent *et al.*, p. 25, figs. 16–17 C–I.  
 non 2015 *Micracanthoceras spinulosum* (Gerth), Salazar y Stinnesbeck, p. 21, figs. 17 A–H, L–N (figs. 17 I–K, O–Q = Gerth, 1925).  
 non 2015 *Corongoceras alternans* (Gerth), Salazar y Stinnesbeck, p. 24, figs. 19–20.

**Descripción.** Se distinguen macroconchas (♀) y microconchas (♂). Las primeras de mayor tamaño (D máximo mayor a 200 mm) que las segundas (D máximo ~70 mm) y ambas de forma discoidal.

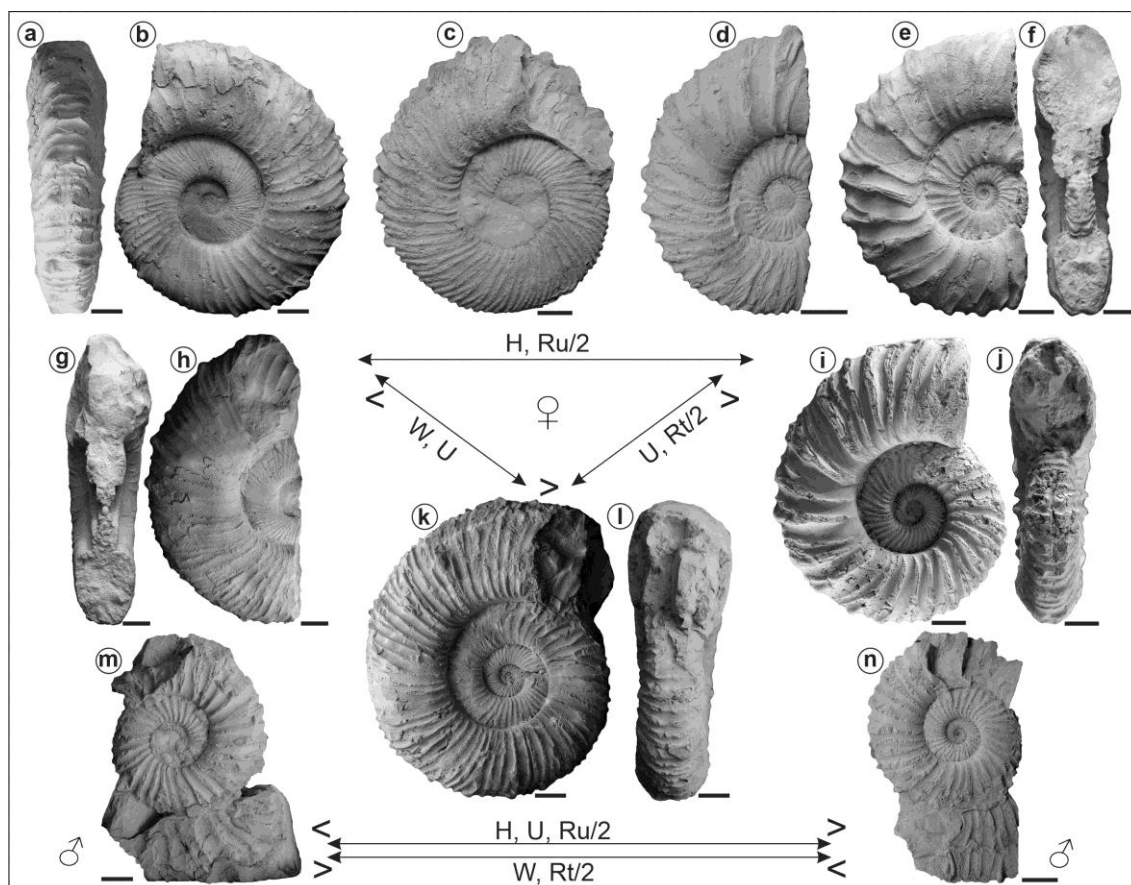
Las macroconchas (Figs. 3a–l) presentan un tamaño grande a muy grande. Las vueltas más internas (D <10 mm) son coronadas, pero luego la sección transversal se torna subtrapezoidal, débilmente comprimida a débilmente deprimida, con flancos aplanados o variablemente convexos, que convergen en un vientre tabulado a redondeado que, en vueltas internas, puede portar un surco estrecho. La región umbilical es poco profunda, con pared y borde umbilical redondeados desde las vueltas internas. Hasta los 30 mm de diámetro el enroscamiento es subinvoluta (U/D promedio ~ 0,30), pero luego el solapamiento de vueltas no supera el tercio externo del flanco, lo que genera formas subevolutas (U/D promedio ~ 0,40). La cámara habitación presenta al menos media vuelta de longitud y el peristoma es simple y recto. La línea de sutura es algo indentada, con sillitas laterales estrechas y lóbulos profundos. Las costillas presentan un recorrido prorsirradiado desde las vueltas más internas, carácter que se acentúa a lo largo de la ontogenia y sobre todo en el tercio superior de las vueltas más externas. Las costillas bifurcadas superan en número a las simples pero esta tendencia puede revertirse a partir de la última vuelta del fragmocono y en las porciones de cámara habitación que pudieron observarse en los ejemplares más grandes. El punto de división migra desde debajo de la línea de enroscamiento en vueltas internas a una posición más

variable entre la mitad del flanco y el tercio externo a mayor edad. Las costillas secundarias son de grosor equivalente y, mientras que la más anterior continúa en la dirección de la costilla primaria que la origina, la costilla más posterior puede ser levemente falciforme. Todas las costillas cruzan el vientre en forma recta y pueden sufrir un ligero debilitamiento sobre su región media. Los primeros tubérculos en desarrollarse tienen una posición ventral, de forma redondeada o alargada y se asocian con costillas primarias simples o con la rama posterior de las bifurcadas. Más tarde en la ontogenia pueden presentarse abultamientos alargados o tubérculos redondeados laterales en coincidencia con los puntos de bifurcación de las costillas primarias, o bien directamente sobre costillas primarias simples. Sobre las vueltas más externas del fragmocono la ornamentación puede adquirir un carácter irregular, ya que un mismo tubérculo ventral puede involucrar dos costillas sucesivas (*e.g.* una secundaria y una primaria) o bien las secundarias pueden confluir en él en forma de *loop*. Las costillas intercalares son ocasionales, así como la fusión, a nivel del borde umbilical, de una costilla bifurcada y una simple. Se reconocen tres estadios ontogenéticos sucesivos en las macroconchas según su ornamentación: a) costulación fina y densa con costillas simples y bifurcadas de bajo ángulo, sin tubérculos; b) costulación fina a media, separada por espacios equivalentes a dos costillas a partir del desarrollo de tubérculos ventrales; c) costulación media a eventualmente gruesa e irregular sobre las vueltas más externas, con tubérculos laterales y/o ventrales. Este último estadio se extendería hasta el final de la cámara habitación, pero esto no pudo ser evaluado correctamente en ejemplares de diámetros mayores a 140 mm por problemas de preservación.



**Figura 2.** Análisis estadísticos de la variación ontogenética de caracteres estructurales y ornamentales a lo largo de la ontogenia. **a.** Histogramas de frecuencia con estimación Kernel de densidad y curva normal. **b–c.** Diagramas de dispersión. **d.** Biplot con curvas de regresión.

Las distintas morfologías observadas en las macroconchas pueden ser acomodadas en un espectro tripolar de variación, de acuerdo a las modificaciones que presentan tanto en las proporciones de sus parámetros estructurales, como en la duración promedio de los estadios a–c (Fig. 3). Cada uno de los polos morfológicos está representado por una de las especies originalmente descritas por Gerth (1925) (*i.e.* *Berriasella alternans*, *B. spinulosa* y *B. inaequicostata*) y entre ellas pueden identificarse todos los morfotipos transicionales, incluyendo aquellos taxones asignados previamente a otras especies y/o géneros (ver sinonimia).



**Figura 3.** Algunos ejemplares de *Lytohoplites alternans* (Gerth) dispuestos según la variación de los parámetros analizados en macroconchas (♀) y microconchas (♂). **a–b.** STIPB 394 (LT *B. inaequicostata* Gerth). **c.** MCNAM-PI 24880.1. **d.** MCNAM-PI 24894. **e–f.** STIPB 939 (HT *B. alternans* Gerth). **g–h.** STIPB 395 (PLT *B. inaequicostata* Gerth). **i–j.** SEGEMAR 7119 (LT *B.?* *delhaesi* Leanza, A.). **k–l.** STIPB 949 (LT *B. spinulosa* Gerth). **m.** MCNAM-PI 24891.2. **n.** MCNAM-PI 24891.1. Escala= 1 cm

Las microconchas (Figs. 3m–n) presentan un tamaño moderado y un peristoma modificado en un par de aurículas laterales largas y estrechas. La conchilla es débilmente comprimida y la sección transversal de las vueltas tiende a ser de subtrapezoidal a subcuadrada, con una región ventral amplia, aplanada a algo convexa. Aunque el grado de involución es variable, son en general más evolutas que las macroconchas. La sucesión de estadios de ornamentación y sus características son semejantes a las de las macroconchas pero cada etapa está más abreviada y, a diámetros equivalentes, el número de costillas primarias es menor, mientras que el de costillas bituberculadas fuertes es mayor y observable desde ~30 mm de diámetro (Fig. 2b–c).



**Comentarios.** Según lo observado en la asociación original de Gerth (1925), y el material proveniente del mismo intervalo estratigráfico en la localidad tipo y en otras secciones, se coincide con Parent *et al.* (2011) en que estos tres taxones son conespecíficos y también en la necesidad de asignarlos a un género diferente a *Corongoceras* Spath. El traslado de la especie *B. alternans* a *Corongoceras* fue sugerido por Gerth (1926) y concretado por Leanza (1945), acción nomenclatural apoyada por Salazar (2012), Salazar y Stinnesbeck (2015) y Riccardi (2015). No obstante, tanto *C. lotenoense* Spath (especie tipo de *Corongoceras*), como *C. mendozanum* (Behrendsen) (la otra especie bien distribuida y mejor conocida del género) exhiben una costulación fuerte, con tubérculos laterales y ventrales bien desarrollados desde las primeras vueltas, así como un ángulo de bifurcación amplio. Estos caracteres pueden observarse en el material proveniente de Chile identificado como *C. alternans* (Salazar, 2012; Salazar y Stinnesbeck, 2015) por lo que se concuerda con su asignación genérica aunque no a nivel específico. Tampoco parecería correcta la asignación de las formas estudiadas al género *Micracanthoceras* Spath (propuesta por Salazar, 2012 y Salazar y Stinnesbeck, 2015 para *B. spinulosa* Gerth, aunque el resto de las formas chilenas descriptas coinciden con las características del género), el cual reúne costillas serpenticónicas, de sección transversal subcircular y deprimida, ampliamente umbilicadas y con costulación fina y densa hasta las vueltas más externas (Tavera, 1985; Bulot *et al.*, 2014). Por otra parte, Parent *et al.* (2011) propusieron incluir la asociación de Gerth (1925) en un nuevo género denominado *Steueria*, con *B. alternans* como especie tipo. Las características generales de *S. alternans* coinciden con las del material aquí descripto, ya que los autores se basaron exclusivamente en el material publicado por Gerth (1925) y reconocieron parte de su variabilidad y posible ocurrencia de heterocronías. No obstante, su descripción difiere en señalar constricciones en las vueltas más internas, la predominancia de costillas simples sobre bifurcadas en vueltas medias, y el desarrollo de tubérculos ventrales sobre las costillas secundarias anteriores en cada costilla bifurcada (Parent *et al.*, 2011, p. 68). Estos caracteres, no presentes en *L. alternans*, se observarían en especímenes que tendrían una posición estratigráfica incierta (Parent *et al.*, 2011, fig. 31; Parent *et al.*, 2013, fig. 16) o más antigua que los aquí estudiados (Parent *et al.*, 2011, fig. 30; Parent *et al.*, 2013, figs. 17A, B), que no serían conespecíficos y por lo tanto invalidan al género *Steueria*.

A partir de la revisión de *Lytohoplites* Spath, llevada a cabo recientemente por Vennari y Aguirre-Urreta (2019), surge la alternativa de trasladar la especie de Gerth a este taxón. No solo las características de *B. alternans* se enmarcan en la diagnosis revisada de *Lytohoplites*, sino que también se trata de una especie dimórfica y con un espectro de variación fenotípica tripolar comparable al de *L. burckhardti* (Mayer-Eymar, en Burckhardt, 1910), especie tipo del género. Además, comparten el mismo rango estratigráfico en las localidades estudiadas de la cuenca Neuquina y, posiblemente, también en la cuenca Austral (Feruglio, 1936). *L. alternans* se diferencia de *L. burckhardti* por el mayor tamaño de sus conchillas, su forma general más comprimida y costulación de carácter más prorsirradiado, aunque menos falciforme sobre la porción externa de los flancos, y también por un predominio de costillas bifurcadas sobre simples en vueltas internas y medias. Adicionalmente, *L. alternans* difiere de *L. subcylindricus* Collignon (la otra especie del género presente en los mismos niveles), por su región ventral más amplia, la ausencia de costillas gemelares (*twinned*) y tubérculos ventrales con forma de clava.

El análisis cualitativo y cuantitativo del material disponible indica que todo el material estudiado puede ser referido a una sola paleo-población de *L. alternans*. Por ejemplo, distribuciones de los parámetros medidos en las conchillas como las de los histogramas obtenidos (Fig. 2a), son consideradas buenas indicadores de la existencia de variación intraespecífica continua dentro de una población monoespecífica restringida en tiempo y espacio (*e.g.* Kennedy y Coban, 1976; Tintant, 1980; Monnet *et al.*, 2010; De Baets *et al.*, 2015). Mientras que los diagramas de dispersión permiten reconocer dos agrupamientos de datos que se asociarían con la existencia de dimorfismo sexual (Fig. 2b–c), las curvas de regresión muestran altos coeficientes de determinación ( $R^2 = 0,96–0,98$ ) y la existencia de una trayectoria ontogenética homogénea para todo el conjunto (Fig. 2d). El crecimiento es isométrico para los parámetros H y el U, y ligeramente alométrico para W, mostrando cierta dispersión de los datos a partir de los 70 mm de diámetro, lo que podría deberse a variaciones relacionadas con el alcance de la madurez o bien a un sesgo tafonómico por compresión diferencial *post-mortem*. Por otra parte, las variaciones en los parámetros dimensionales de la conchilla y la duración variable de los estadios de ornamentación descritos, resultarían de la ocurrencia de heterocronías del desarrollo (Dommergues *et al.*, 1986) que se sobrepondrían a la regla de co-variación de Buckman, *i.e.* cuánto más deprimida una conchilla, más evoluta y más ornamentada (Westermann, 1966; Monnet *et al.*, 2015). Resultados similares han sido obtenidos para otros grupos de amonites (*e.g.* Yacobucci, 2004; Bert, 2014 y referencias allí indicadas; Vennari y Aguirre-Urreta, 2019).

**Consideraciones bioestratigráficas.** *Lytohoplites alternans* es la especie índice de la Biozona de asociación de *Corongoceras alternans* (véase Riccardi, 2015 y referencias allí citadas). Esta zona se correlacionó inicialmente con las zonas estándar mediterráneas de *Microcanthum* y *Durangites* (Riccardi, 2008), aunque luego se restringió su equivalencia a niveles dentro de la zona de "Durangites" (Riccardi, 2015), quedando ubicada entre las zonas de *Windhauseniaceras internispinosum* y *Substeueroceras koeneni* en el Tithoniano superior de la región andina. No obstante, la composición taxonómica de la zona de *C. alternans* y su posición estratigráfica difieren del concepto original de Gerth (1925, 1926), quien inicialmente había diferenciado una Zona de *Lytohoplites burckhardti*, (que incluía además de la especie índice a la asociación de *B. alternans*–*B. inaequicostata*–*B. spinulosa* aquí estudiada), en la base del Neocomiano andino, entre las zonas de *S. koeneni* (encima) y *Corongoceras mendozanum* (debajo). Este esquema bioestratigráfico fue aplicado sin cambios por Windhausen (1931) y Weaver (1931), hasta que Leanza, A. (1945) propuso reunir en una misma zona (*Corongoceras alternans*) elementos de las zonas de *L. burckhardti* y *C. mendozanum*. Su propuesta fue aceptada casi sin cambios durante largo tiempo (*e.g.* Leanza, H., 1981; Riccardi *et al.*, 2011; Riccardi, 2015), y comenzó a ser cuestionada recientemente (*e.g.* Vennari y Aguirre-Urreta, 2017, 2019; Aguirre-Urreta *et al.*, 2019).

Leanza, A. (1945) estudió y publicó los amonites coleccionados por Groeber en dos secciones próximas en la Sierra Azul: Mallín Redondo y Arroyo del Yeso. Sin embargo, la mayoría de los nuevos taxones propuestos en su monografía están basados en un número reducido de ejemplares (frecuentemente, uno solo). La revisión sistemática aquí llevada a cabo permite demostrar que la alta diversidad taxonómica identificada en el intervalo de interés de la Sierra Azul (*i.e.* niveles consecutivos 1762, 1762a y 1763) es significativamente menor que la originalmente considerada (de diez a cuatro especies) por Leanza, A. (1945) y Groeber *et al.* (1953). Por otra parte, es posible

que Leanza, A. (1945) correlacionara erróneamente las secciones de Groeber, lo que explicaría la mezcla de elementos más antiguos (como las especies de *Micracanthoceras* del nivel *a* de Arroyo del Yeso) con la asociación de Mallín Redondo. Esta posibilidad surge de contemplar varias líneas de evidencia. Por una parte, Groeber (en Groeber *et al.*, 1953) correlacionó los niveles basales de Mallín Redondo con un intervalo estratigráfico infrayacente al nivel *d* de Arroyo del Yeso (con elementos de la zona de *S. koeneni*), pero sin incluir especies de los niveles más antiguos *a–c*. A su vez, consideró comparable la asociación basal de la Sierra Azul con elementos de las zonas de *L. burckhardti*, *Spiticeras acutum* y *S. koeneni* definidas por Gerth (1925, 1926) entre los ríos Atuel y Diamante. Por otra parte, las autoras identificaron en Arroyo del Yeso especímenes asignables a *Micracanthoceras lamberti* Leanza, A. en asociación con *Corongoceras mendozanum* y 30 m por debajo de la primera ocurrencia de *L. burckhardti*. Como se mencionó más arriba, esta última especie presenta el mismo rango estratigráfico que *L. alternans* en Arroyo Durazno y Arroyo Paulino, de donde se recuperó una asociación faunística comparable a la de la Sierra Azul, con *S. koeneni*, *S. acutum* y otras especies características de la zona de *S. koeneni* (Vennari y Aguirre-Urreta, 2017, 2019). Adicionalmente, *L. alternans* y *S. koeneni* fueron hallados asociados en afloramientos de la Formación Vaca Muerta en el Arroyo Liu Cullín (localidad tipo de *L. burckhardti*) lo que fuera reportado también por Burckhardt (1900). Otros especímenes de *L. alternans* fueron identificados en un nivel situado inmediatamente por debajo de la primera ocurrencia de *S. koeneni* en la Sierra de la Cara Cura (Vennari *et al.*, 2016).

## CONCLUSIONES

El enfoque paleobiológico para estudiar las poblaciones de amonites del Jurásico–Cretácico de la cuenca Neuquina ha probado ser el más adecuado para entender la extensión de la variabilidad intraespecífica de sus componentes y sus probables causas. Como consecuencia, la diversidad taxonómica de los amonites de este intervalo se reduce progresivamente y refleja cada vez mejor la original, lo que permitirá avanzar con nuevos desafíos de tenor filogenético, por ejemplo, en el futuro. La revisión aquí presentada, permitió agrupar en una misma especie, *Lytohoplites alternans* (Gerth), a nueve taxones que habían sido previamente asignados a diferentes especies y/o géneros a lo largo de los últimos ~120 años de estudio. El análisis permitió también confirmar la presencia de dimorfos sexuales y caracterizar la variabilidad morfológica de la especie. Esto último, junto con la revisión de su distribución estratigráfica, aportaron nuevos elementos para considerar su asignación al género *Lytohoplites* Spath. Estos resultados no sólo obligan a reconsiderar la composición taxonómica de la zona de *C. alternans*, sino que también implican un cambio en su denominación, ya que el rango estratigráfico de la especie índice quedaría confinado a niveles asignados a la suprayacente zona de *S. koeneni*. Se sugiere retomar el nombre de *Corongoceras mendozanum* para esta asociación, como fuera inicialmente propuesto por Gerth (1921) y atendiendo a la abundancia y buena representación de dicha especie en la cuenca Neuquina.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias al financiamiento de la ANPCyT (proyectos PICT 2014-2495 y 2016-1016, V. Vennari). Las autoras agradecen a los curadores de las colecciones visitadas por permitirnos acceder a los materiales y a todas las personas que colaboraron con las tareas de campo o facilitaron fotos de los materiales.

## REFERENCIAS

- Aguirre-Urreta, B., Naipauer, M., Lescano, M., López-Martínez, R., Pujana, I., Vennari, V., Concheyro, A., De Lena, L.F., y Ramos, V. The Tithonian chrono-biostratigraphy of the Neuquén Basin and related Andean areas: a review and update. *J. South Amer. Earth Sci.* 92, 350–367. 10.1016/j.jsames.2019.03.019 (2019).
- Aguirre-Urreta, M.B. The ammonites Karakaschiceras and Neohoploceras (Valanginian Neocomitidae) from the Neuquen basin, west-central Argentina. *J. of Pal.* 72, 39–59 (1998).
- Bert, D. Factors of intraspecific variability in ammonites, the example of *G. alpinum* (d'Orbigny, 1850) (Hemihoplitidae, Upper Barremian). *Ann. Pal.* 100, 217–236 (2014).
- Bulot L.G., Frau, C., y Wimbledon W.A.P. New and poorly known Perisphinctoidea (Ammonitina) from the Upper Tithonian of Le Chouet (Drôme, SE France). *Vol. Jurass.* 12, 113–128 (2014).
- Burckhardt, C. Coupe géologique de la Cordillère entre Las Lajas et Curacautin. *Anal. Mus. La Plata, Secc. Geol. y Min.* 3, 1–100 (1900).
- De Baets, K., Bert, D., Hoffmann, R., Monnet, C., Yacobucci, M., y Klug, C. Ammonoid intraspecific variability, *Ammonoid Paleobiology: from Anatomy to Ecology*, Topics in Geobiology 43, 359–426 (2015).
- Dommergues, J.L., David, B., y Marchand, D. Les relations ontogénèse-phylogénèse: applications paléontologiques. *Geobios* 19, 335–356 (1986).
- Fernández, M., Herrera, Y., Vennari, V., Campos, L., de la Fuente, M., Talevi, M., y Aguirre-Urreta, M.B. Marine reptiles from the Jurassic/Cretaceous transition at the High Andes, Mendoza, Argentina. *J. South Amer. Earth Sci.* 10.1016/j.jsames.2019.03.013 (2019).
- Feruglio, E. Paleontographica Patagónica: *Mem. del Inst. Geol. de Padova* 11, 1–384 (1936).
- Gerth, H. Fauna und gliederung des Neokoms in der argentinischen Kordillere. *Zent. für Min., Geol. und Pal.* 1921, 112–119, 140–148 (1921).
- Gerth, H. Contribuciones a la estratigrafía y la paleontología de los Andes Argentinos II. La Fauna Neocomiana de la Cordillera Argentina en la parte meridional de la provincia de Mendoza. *Acad. Nac. de Ciencias, Córdoba, Actas* 9, 57–132 (1925).
- Gerth, H., Die Fauna des Neokoms in der argentinische Kordillere: *Geol. Rund.* 17, 463–494 (1926).
- Gonzalez, G., Vallejo, D., Kietzmann, D.A., Marchal, D., Desjardins, P., Gonzalez Tomassini, F., Gomez Rivarola, L., Dominguez, F. *Transecta Regional de la Formacion Vaca Muerta, Integración de sísmica, registros de pozos, coronas y afloramientos*. IAPG–AGA, Buenos Aires, 2016.
- Groeber, P., Stipanovic, P.N., y Mingramm, A. Jurásico, *Geografía de la República Argentina*, GAEA 2, 9–541 (1953).
- Hammer, Ø., y Harper, D.A.T. *Paleontological data analysis*, Blackwell Pub., Malden, 2006.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., y Ryan, P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4, 1–9.
- Kennedy, W.J., y Cobban, W.A. Aspects of ammonite biology, biogeography and biostratigraphy. *Spec. Papers in Pal.* 17, 1–94 (1976).
- Leanza, A.F. Ammonites del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior de la Sierra Azul, en la parte meridional de la provincia de Mendoza. *Anal. Mus. La Plata, N.S.* 1, 1–99 (1945).
- Leanza, A.F. Anotaciones sobre los fósiles Jurásico-Cretácicos de Patagonia Austral (Colección Feruglio) conservados en la Universidad de Bologna. *Acta Geol. Lil.* 9, 121–186 (1967).
- Leanza, H.A., Faunas de ammonites del Jurásico superior y del Cretácico inferior de América del Sur, con especial consideración de la Argentina, *Cuencas Sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur*, Buenos Aires, Com. Sud. J-K 2, 559–597 (1981).
- Monnet, C., Bucher, H., Wasmer, M., y Guex, J. Revision of the genus *Acrochordiceras* Hyatt, 1877 (Ammonoidea, Middle Triassic): morphology, biometry, biostratigraphy and intraspecific variability. *Palaeont.* 53, 961–996 (2010).

- Monnet, C., De Baets, K., y Yacobucci, M. Buckman's Rules of Covariation, *Ammonoid Paleobiology: from Anatomy to Ecology*, Topics in Geobiology 43, 67–94 (2015).
- Palacio, J.P., Kietzmann, D.A., Palma, R.M., y Vennari, V.V. Sedimentología, estratigrafía secuencial y cicloestratigrafía de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano inferior-Valanginiano inferior) en la sección de Las Tapaderas, sur de Mendoza. 6° Simposio Argentino Jurásico, *Resúmenes*: 31 (2016).
- Parent H., Garrido A.C., Schweigert G., y Scherzinger A. The Tithonian stratigraphy and ammonite fauna of the transect Portada Covunco-Cerrito Caracoles (Neuquén Basin, Argentina). *Neues Jahrb. Geol. und Pal.* Abhand. 269, 1–50 (2013).
- Parent, H., Scherzinger, A., y Schweigert, G. The Tithonian–Berriasian ammonite fauna and stratigraphy of Arroyo Cieneguita, Neuquén-Mendoza Basin, Argentina. *Bol. Inst. Fis. y Geol.* 79–81, 21–94 (2011).
- Ramos, V.A., y Folguera, A. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and Foreland deformation, *The Neuquen Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. Geol. Soc. London, Spec. Pub. 252, 15–35 (2005).
- Riccardi, A.C., Westermann, G.E.G., y Levy, R. The Lower Cretaceous Ammonitina *Olcostephanus*, *Leopoldia* and *Favrella* from west-central Argentina. *Palaeontographica A* 136, 83–121 (1971).
- Riccardi, A.C. El Jurásico de la Argentina y sus amonites. *Rev. de la Soc. Geol. Arg.* 63, 625–643 (2008).
- Riccardi, A.C. Remarks on the Tithonian–Berriasian ammonite biostratigraphy of west central Argentina. *Vol. Jurass.* 13, 23–52 (2015).
- Riccardi, A.C. Damborenea, S.E., Manceñido, M.O., y Leanza, H.A., Megainvertebrados jurásicos y su importancia geobiológica, *Relatorio Prov. Neuquén*. AGA, 441–464 (2011).
- Salazar, C. *The Jurassic-Cretaceous boundary (Tithonian–Hauterivian) in the Andean Basin of Central Chile: ammonites, bio- and sequence stratigraphy and palaeobiogeography* Tesis Doctoral, Univ. de Heidelberg, Heidelberg, 2012.
- Salazar C., y Stinnesbeck, W. Tithonian–Berriasian ammonites from the Baños del Flaco Formation, central Chile. *J. of Syst. Pal.* 2015, 1–34 (2015).
- Tavera, J.M. *Los ammonites del Tithonico superior-Berriasense de la Zona Subbética (Cordilleras Béticas)*. Tesis Doctoral. Univ. de Granada, Granada, 1984.
- Tintant, H. Problématique de l'espèce en paléontologie. *Mém. Soc. Géol. Fr.* 40, 321–372 (1980).
- Vennari, V.V., y Aguirre-Urreta, B. Earliest records of the genus *Spiticeras* Uhlig in the Neuquén Basin, Argentina: systematic and biostratigraphic implications. *Ameghiniana* 54, 83–106 (2017).
- Vennari, V.V., y Aguirre-Urreta, B. Revision of the genus *Lytohoplites* Spath (Cephalopoda, Ammonoidea): systematics, intraspecific variability, biostratigraphy and paleobiogeographic significance. *J. Paleontol.* 93: 702–726. 10.1017/jpa. 2019.1 (2019).
- Vennari, V.V., Lescano, M., Aguirre-Urreta, M.B., y Naipauer, M. Amonites y asociación de nanofósiles calcáreos de la Formación Vaca Muerta, en el sur de la provincia de Mendoza. 11° Congreso de la APA, *Resúmenes*: 135 (2016).
- Weaver, C. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. *Mem. Univ. Wash.* 1, 1–496 (1931).
- Westermann, G.E.G. Covariation and taxonomy of the Jurassic ammonite *Sonninia* (Waagen). *Neues Jahrb. Geol. und Pal.* 124, 289–312 (1966).
- Windhausen, A. *Geología Argentina*. Segunda parte: Geología Histórica y Regional del territorio argentino: Buenos Aires, Jacobo Peuser Ltda., 1931.
- Yacobucci, M.M. Buckman's paradox: variability and constraints on ammonoid ornament and shell shape: *Lethaia* 37, 57–69 (2004).



**Tabla I.** Datos de los ejemplares medidos.

Ejemplar	M/m	D	H	W	U	Ru/2	Rt/2
STIPB 939 (HT)	M	80,25 40,0	26,76 14,60	22,82 12,98	35,10 13,95	16 14	9 7
STIPB 394	M	88,02	30,92	24,89	36,41	21	7
STIPB 949	M	94,75 74,60	32,98 25,77	29,48 25,87	41,64 30,56	30 25	4 7
STIPB 948	m?	57,31 47,26	18,91 17,08	- 16,24	23,11 17,43	16 16	14 13
SEGEMAR 7411-511a	M?	71,47	24,20	22,30	31,38	20	11
SEGEMAR 711-511b	m?	58,43 56,33	- 18,84	- -	23,97 24,03	17 17	10 10
SEGEMAR 7119	M?	85,92 29,20	31,38 21,28	23,65 18,52	33,63 22,10	19 13	12 11
SEGEMAR 7116	m?	62,26 57,25	- 18,89	- 15,41	31,38 23,63	15 13	9 7
SEGEMAR 7107	M	136,12 104,00 77,62	- 36,24 28,32	- 28,84 24,80	55,01 41,56 29,65	- 24 24	- 11 6
SEGEMAR 7135-491a	M?	66,92 54,08	21,64 19,55	17,55 15,99	22,93 19,58	14 23	7 2
SEGEMAR 7135-491b	M?	59,09 53,20	22,39 21,06	16,82 15,53	20,70 16,53	21 23	5 2
SEGEMAR 7135-491c	M?	59,31 46,74	21,37 17,86	16,66 15,04	22,71 16,74	15 20	7 1
SEGEMAR 7135-491d	M?	59,26	-	-	24,71	20	10
SEGEMAR 9537-500	M?	82,42 67,64	25,90 24,62	- -	35,59 25,87	22 19	11 5
SEGEMAR 9357-223	M?	59,09	-	16,37	-	16	3
SEGEMAR 9357-220	M?	52,28	21,23	17,39	19,74	17	6
MOZ-PI 11497	m?	63,47 60,42	19,56 19,37	22,46 20,25	30,77 28,91	16 14	10 10
MCNAM-PI 24883.1	M	76,86 58,22	29,97 22,10	- -	28,52 21,25	27 22	0 0
MCNAM-PI 24884	m	61,55	20,38	-	25,22	-	-
MCNAM-PI 24885	M?	24,33	9,88	9,82	8,11	15	-
MCNAM-PI 24886	m	48,50 44,98	14,95 13,91	16,51 15,56	- 20,90	16 15	6 5
MCNAM-PI 24887	M	68,69 40,36	26,80 18,16	17,80 -	24,20 13,43	29 27	0 0
MCNAM-PI 24888	M	29,93 12,34	13,12 5,45	10,65 5,55	9,07 2,41	26 -	0 -
MCNAM-PI 24889.1	m	44,42 33,73	14,37 12,09	- 11,97	18,75 13,80	12 -	4 -
MCNAM-PI 24889.2	m	20,99 11,08	8,53 3,50	8,05 4,58	6,52 2,89	14 -	0 -
MCNAM-PI 24891.1	m	43,80	15,68	14,75	17,51	18	8
MCNAM-PI 24891.2	m	48,31	16,90	17,67	18,70	15	9
MCNAM-PI 24891.3	m	41,34 32,73	12,25 11,45	12,82 10,10	20,37 14,21	- 14	- -
MCNAM-PI 24894	M	56,70 38,89	20,58 15,56	17,53 12,34	21,43 13,13	16 -	2 -
MCNAM-PI 24878	M	49,92	-	14,46	-	22	0
MCNAM-PI 24880.1	M	72,00 58,97	27,03 22,31	23,02 19,37	26,71 21,64	23 25	4 0
MCNAM-PI 24879	m	49,43 36,70	18,85 14,09	16,03 12,41	18,07 11,76	12 13	9 -
MCNAM-PI 24881.2	m?	52,55	17,64	18,28	22,58	15	8
MCNAM-PI 24647.1	M	90,12	33,62	-	37,29	27	5

# PRINCIPALES ASPECTOS GEOLÓGICOS PRE CUATERNARIOS Y CUATERNARIOS DEL ÁREA METROPOLITANA Y SUS ALREDEDORES EN LA PROVINCIA DE MENDOZA.

Via, S. M.<sup>a</sup>; Giolo, E.<sup>a</sup>, Calderon, F.<sup>a</sup>, Cueto, A.<sup>a</sup>, Luján, F.<sup>a</sup> y Frau, C.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (CEREDETEC), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, ARGENTINA

e-mail: [sebastian.via@frm.utn.edu.ar](mailto:sebastian.via@frm.utn.edu.ar)

## RESUMEN

*La Geología Aplicada es una disciplina que, a través de sus ramas, tales como Petrología y Tectónica (fallas), permite entender aspectos fundamentales en la complejidad que plantean los problemas sísmicos. El área del Gran Mendoza es un conglomerado urbano integrado por 6 departamentos densamente poblados, cuya población la convierte en la cuarta aglomeración de la república Argentina expuesta al mayor peligro sísmico de la región. Estos departamentos se emplazan en las proximidades de estructuras potencialmente generadoras de terremotos o bien cuyo subsuelo presenta ciertas características geológicas que pueden experimentar amplificaciones del movimiento sísmico aumentando el potencial de daño del terremoto. La identificación de estas áreas con diferentes potenciales de amenaza sísmica es necesaria para el ordenamiento territorial con el fin de reducir el riesgo y la vulnerabilidad de los edificios y de las obras de infraestructura. Algunos de los peligros potenciales asociados a la actividad sísmica son la licuación de suelos, deslizamiento de tierras, caída de rocas, efectos de sitio debido a terremotos. Por estos motivos el presente trabajo abarca principalmente la identificación y digitalización de las unidades estratigráficas que son afectadas por sistemas de fallas o estructuras: el primero responde a las rocas de edad geológica pre-cuaternarias (desde Paleozoico hasta el Mesozoico), que son las llamadas, desde el punto de vista ingenieril, rocas del basamento o rocas duras por poseer una competencia y una mayor dureza; en tanto que el segundo grupo pertenece a las rocas cuaternarias o rocas blandas. Dentro de las rocas cuaternarias se han considerado diferentes formaciones o unidades litológicas con sus características granulométricas, texturales y genéticas, estas rocas se encuentran afectadas por fallas neo-tectónicas, de edad Pleistocenas-Holocenas. El trabajo concluye con la digitalización por primera vez, de un mapa a escala 1:50.000 de la Geología del área metropolitana del Gran Mendoza para uso público.*

**Palabras Clave:** Geología Aplicada, Petrología, Tectónica, Fallas, Neo-tectónica.

## INTRODUCCIÓN

En la Geología Aplicada, se incluyen, entre otros, el análisis de los procesos geológicos (estudiados por las diferentes ramas de la Geología Básica como la Tectónica, la Petrología, Geomorfología, etc) y el comportamiento de los materiales (estudiados por la Ingeniería y la Geotécnia) aplicados a la prevención y al manejo de daños en el ordenamiento territorial.

Más específicamente, según los estatutos de IAEG (Intenational Association for Engineering Geology and the Enviorenment) , la Geología Aplicada a la Ingeniería es la ciencia dedicada a la investigación, estudio y solución de los problemas ingenieriles que pueden surgir como resultado entre la interacción de la geología y los trabajos o actividades del hombre, y también incluyen medidas tales como la prevención y el desarrollo de medidas para la remediación del riesgo geológico y sísmico (González, et. al. 2004)

Como rama fundamental de la Geología, la Petrología es la ciencia que se encarga del estudio de las rocas, de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas, mineralógicas, espaciales, cronológicas y a los procesos de formación de las mismas. (Osorio, Simpe, R., M, 2007)

El presente trabajo se encuadra en el marco del proyecto “Clasificación de sitios para el diseño sísmico de estructuras en área metropolitana del Gran Mendoza” (Frau et al. 2016). Se orienta a la identificación y digitalizado de las unidades estratigráficas pre-cuaternarias, cuaternarias y las unidades estructurales (Fallas) del Gran Mendoza. Uno de los principales resultados es la obtención de un mapa en formato digital a escala 1:50.000 del Área del Gran Mendoza y sus alrededores.

La región donde se inserta el área de estudio, se localiza en un marco tectónicamente activo por encontrarse en la convergencia de las Placas Sudamericana y de Nazca, lo que genera fallas potencialmente generadores de terremotos.

## AREA DE ESTUDIO

El área urbana conocida como Gran Mendoza se encuentra enclavada en la zona de máxima peligrosidad sísmica del territorio de la República Argentina (INPRES-CIRSOC 103 Parte 1 2013), donde habitan actualmente más de 1.000.000 de personas y se desarrolla la actividad socioeconómica más importante de todo el oeste de la República Argentina. Se caracteriza por una alta densificación edilicia y poblacional, especialmente en el conglomerado urbano del Gran Mendoza (Giolo et.al. 2018), ver Fig. 1.

La zona de trabajo involucra parte de 6 departamentos densamente poblados, tales como Las Heras, Capital, Guaymallén, Maipú, Godoy Cruz y Luján, ver Fig. 1. La zona dibujada en rojo representan la zona de estudio, mientras que los polígonos dibujados en verde muestran los departamentos incluidos en el área metropolitana del gran Mendoza.

El área de estudio se restringe a una zona de aproximadamente 100 km<sup>2</sup> y sus límites quedan definidos por un hacia el Oeste; por una línea imaginaria de 15 km de longitud paralela a calle Boulogne Sur Mer; al Sur un lado de 5 km de longitud siguiendo el eje de calle Tiburcio Benegas del Departamento de Godoy Cruz; al Este una línea de un poco más de 15 km según eje de Ruta Nacional N° 40 Sur –Calle Mitre – Ruta Nacional N° 40 Norte y por último al Norte según eje de calle Independencia del Departamento de Las Heras. La zona fue definida de forma tal que abarcara los principales núcleos urbanos. Se encuentra aproximadamente entre los paralelos 32° 50' 30" y 32° 56' 33" de latitud sur y los meridianos 68° 52' 1" y 68° 48' 00" de longitud oeste. La altura del nivel de terreno se encuentra entre 770 msnm y 800 msnm ver. (Giolo et.al. 2018)

## MARCO GEOLOGICO REGIONAL

El Gran Mendoza se inserta directamente al este de la Precordillera (ver Fig. 2) y en el segmento de subducción sub horizontal entre los 28° y 33° sur (ver Fig. 3), esta región suprayacente a la sub horizontalidad de la placa subducida presenta ausencia total de vulcanismo (Nafa et. al. 1989). El movimiento de la placa de Nazca hacia el este a tan poca profundidad desarrolla un acoplamiento mecánico viscoso entre ellas. Este fenómeno produce el empuje y el complejo fallamiento inverso principalmente y fallas con componentes de rumbo en forma subordinada hacia el oeste del Gran Mendoza.

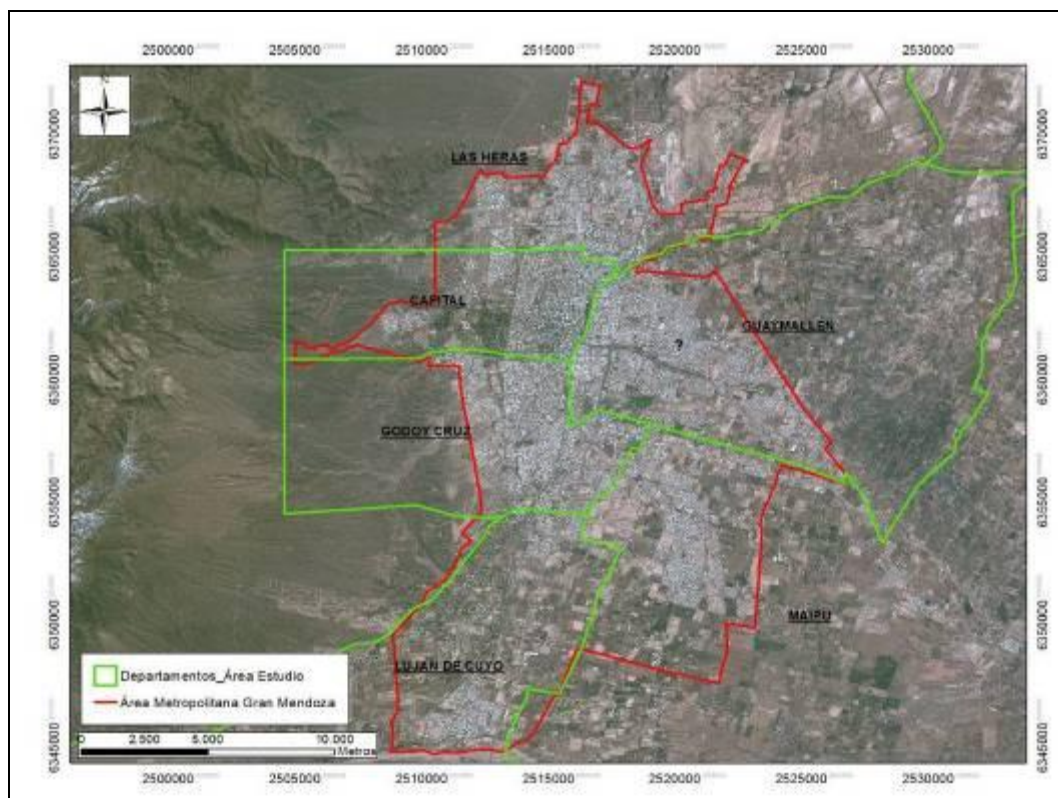


Fig. 1. Área de Estudio Gran Mendoza. La zona dibujada en rojo representa la zona de estudio, mientras que los polígonos dibujados en verde son los departamentos incluidos en el área metropolitana del gran Mendoza

En el sector montañoso de la Precordillera (al oeste) las unidades geológicas más antiguas (paleozoicas) están representadas por calizas cámbricas, pelitas ordovícicas y metasedimentitas siluro-devónicas de la formación Villavicencio; estas últimas localmente intruídas de manera discordante por plutones devónicos tempranos (Folguera et al. 2004). Sobre las unidades siluro-devónicas se disponen, en discordancia angular, sedimentitas marinas carboníferas a pérmicas (Polanski 1958); por encima, y con una marcada discordancia angular, las volcanitas pero-triásicas del Grupo Choyoi.

Hacia el este, en el ámbito del piedemonte mendocino, las unidades geológicas aflorantes corresponden a las sedimentitas triásicas de la cuenca extensional Cuyana (Grupo Uspallata) que constituyen las rocas más antiguas del sector. Suprayacen depósitos jurásico-cretácicos de las formaciones Papagayos y Barrancas, paleógenos de la formación Divisadero Largo, sinorogénicosmio- pliocenos de las formaciones Mariño, La Pilona y pliocenos superiores a pleistocenos tempranos de la Formación Mogotes (Irigoyen et al. 1999, Irigoyen et al. 2000, Chiamonte et al. 2000). Cubren a estas unidades en forma discordante y casi continua, niveles aluviales aterrazados asignados a las formaciones Mesones y La Invernada del Pleistoceno Inferior a Medio (Polanski 1963), constituidas por gravas polimícticas poco consolidadas. Estos

niveles se encuentran fuertemente disectados y se interdigitan con los depósitos cuaternarios de conos aluviales del río Mendoza hacia el oriente, sobre los que apoyan los depósitos coluviales y aluvionales recientes del pie de la sierra, que forman una gran planicie aluvial inclinada hacia el este (Sepúlveda y López 1998).

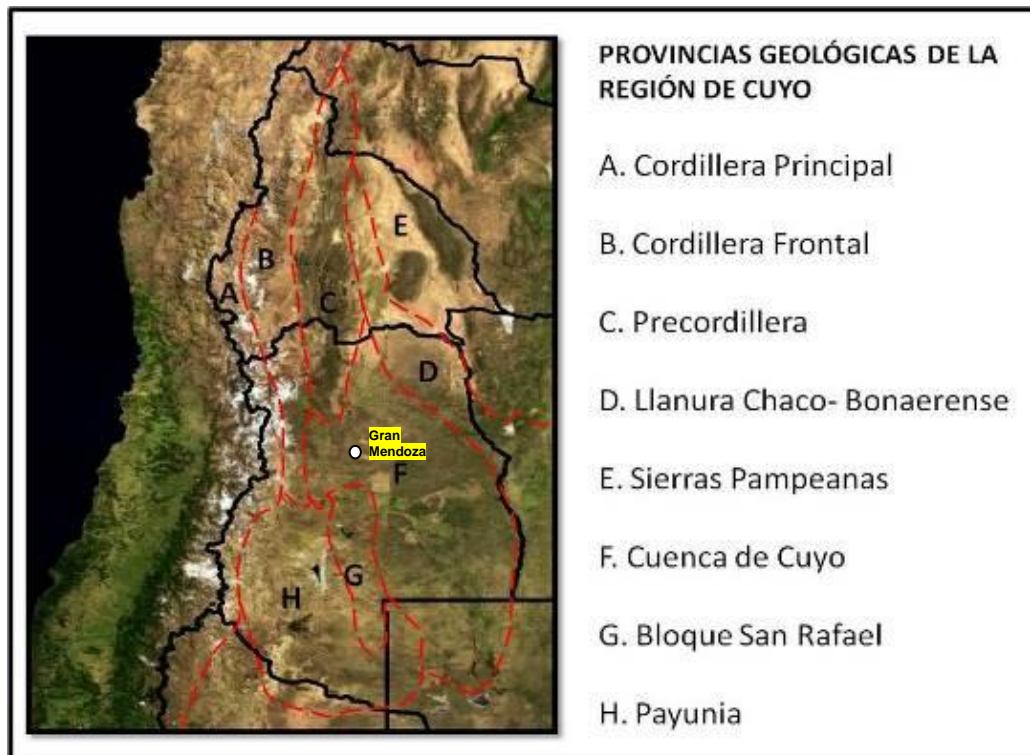


Fig. 2. Ubicación del área Gran Mendoza respecto a las Provincias Geológicas. Modificado desde Fucks, E, y Pisano, M. F. (2017)

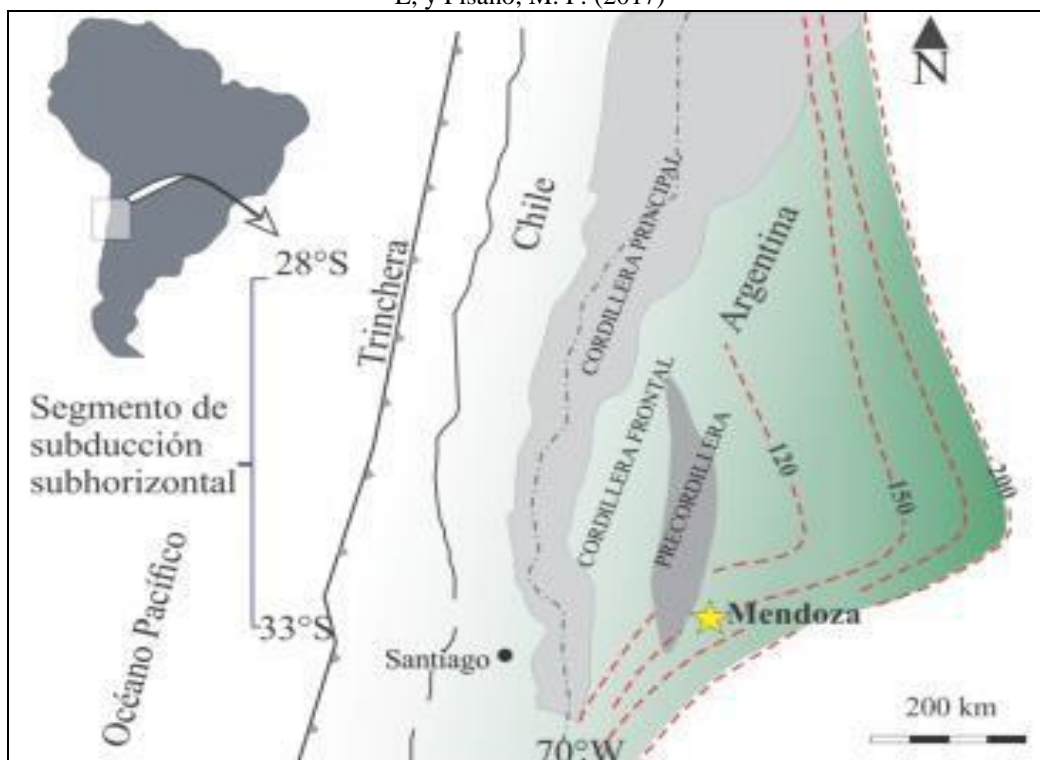


Fig. 3. Mapa de ubicación y localización de la ciudad de Mendoza en el segmento de subducción subhorizontal. Las curvas de profundidad muestran la zona Wadati-Benioff de Cahill y Isacks (1992). Figura modificada desde Kay y Mpodosis (2002).



## **GEOLOGIA DEL GRAN MENDOZA.**

El margen este de los Andes entre los 30° y 33°S, al sur del segmento de subducción subhorizontal de la placa de Nazca (Figura 2), es una de las zonas históricamente más activas del mundo (Costa et al. 2006, Moreiras et al. 2014).

La sub-horizontalización de la placa de Nazca inicia entre los 8 y 10 Ma (Jordan y Gardeweg 1987) vinculado a la subducción de la dorsal asísmica de Juan Fernández. Este proceso causa un marcado estrés compresivo que resulta en dislocaciones con desarrollo de fallas locales y regionales (Smalley y Pujol 1993).

La ciudad de Mendoza y sus alrededores presentan una compleja Geología compuesta por distintas unidades estratigráficas precuaternarias y unidades cuaternarias.

### **UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS**

Se han diferenciado y digitalizado 8 unidades estratigráficas pre cuaternarias (ver Fig. 4), que van desde Sedimentitas cámbricas ordovícicas química-clásticas hasta sedimentos conglomerádicos de la Formación Mogotes

- 1-Sedimentos Conglomerádicos (Plioceno) Fm. Mogotes
- 2-Sedimentos Continentales (Terciario Medio a Superior)
- 3-Intrusivos (Terciarios)
- 4-Sedimentitas (Terciario Inferior)
- 5-Sedimentitas (Triásicas)
- 6-Vulcanitas efusivas piroclásticas (Paleozoico Inferior a Triásico Inferior)
- 7-Areniscas (Paleozoico Inferior a Medio)
- 8-Calizas (Cámbrico-Ordovícico):

Las unidades pre cuaternarias se extienden en las provincias geológicas de Precordillera, Cordillera Frontal, Cerrillada Pedemontana y Bloques de San Rafael, es decir, se encuentran en zonas elevadas, en las llanuras se encuentran escasos afloramientos (Nafa et. al. 1989).

En el área de estudio, las unidades estratigráficas cuaternarias digitalizadas (ver Fig. 5), se encuentran representadas por terrenos sedimentarios, volcánicos y piroclásticos. Estas han sido nombradas desde secuencias más modernas a la más antigua, con el fin de respetar la representatividad de la columna estratigráfica pre cuaternaria.

Las unidades estratigráficas cuaternarias aflorantes son:

**1-Depositos Llanura de Inundación y cauces Rio Mendoza:** en la llanura nororiental del río Mendoza se observan gravas y arenas fluviales. Dichos depósitos se encuentran hasta en zonas bastantes alejadas del frente precordillerano, formando afloramientos alargados.

**2-Depositos pedemontanos modernos:** en su mayor parte son de edad holocena, tiene espesores variados y se presentan en conos aluviales y bajadas pedemontanas.

**3-Depositos de llanura aluvial Rio Mendoza:** están formados por arenas finas limosas, limos en parte salinos y algunas capas de gravilla, e integran depósitos de cauces y barras fluviales, meandros abandonados y llanuras de inundación.

**4-Depositos del abanico aluvial del Rio Mendoza:** forman afloramientos reducidos que en la mayor parte de su extensión están cubriendo una capa de pocos metros de espesor de limos de la Formación El Zampal.

**5-Formación El Zampal:** Limos-Arcillas: estos depósitos tienen amplia distribución superficial en la zona pedemontana y llana, próxima a los frentes cordilleranos y pre cordilleranos. Está constituida por limos amarillentos, en parte calcáreos, que alternan con capas de cenizas volcánica, arenas fluviales y específicamente en su parte inferior lentes de gravas. Se realizó estudio de datación de carbono 14 sobre esta formación arrojando una edad relativa de 9625 años.

**6-Depósitos pleistocenos de la Cerrillada Pedemontana y Precordillera:** se reconocen estos depósitos indiferenciados por estar elevados, debido a causas tectónicas y fuertemente disectados por canales fluviales permanentes o temporarios. Comprende los depósitos parcialmente erosionados de Jocoli, en el sur del Cerro La Cal.

**7-Formación Las Tunas:** está formada por sedimentos aluviales, principalmente fanglomerados y gravas. La denominación proviene del abanico aluvial del Río Las Tunas, cuya parte proximal está integrada por fanglomerados, generalmente gruesos, con matriz arenosa o gravillosa.

**8-Formación La Inverdada (facies distal y proximal)** Polanski (1962) dio este nombre a los sedimentos acumulados al formarse el segundo nivel de piedemonte, durante el Pleistoceno inferior tardío y el Pleistoceno medio. Se encuentran en las zonas pedemontanas, como restos de cerros mesetiformes. Su edad se asigna al Pleistoceno inferior tardío y Pleistoceno medio (0.42 Ma, Nafa et. al. 1989)

**9-Formación Los Mesones:** está formada por sedimentos clásticos gruesos, depositados en bajadas pedemontanas, cuya acumulación se produjo durante el Pleistoceno inferior (Polanski, 1962). La edad cuaternaria de estos terrenos está bien comprobada puesto que en algunos lugares yacen sobre los estratos conglomerádicos pliocenos de la formación Mogotes (Precuatnaria), considerando una edad entre 0.7 Ma y 2 Ma (Nafa et. al. 1989).

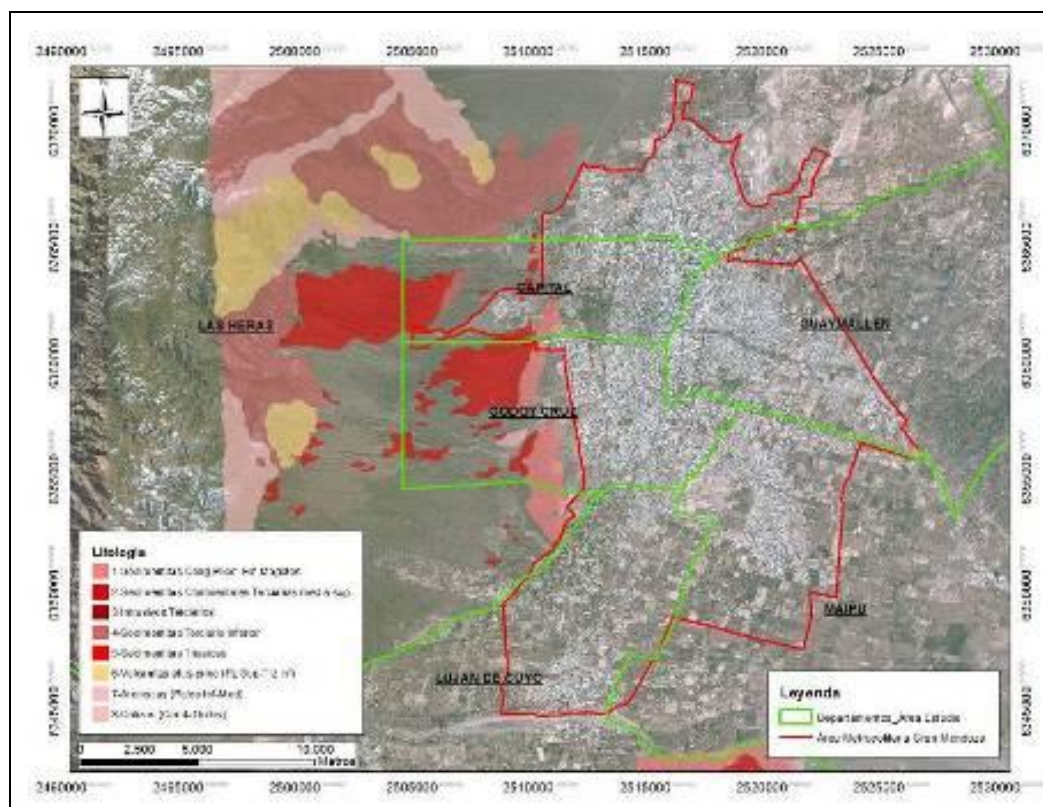


Fig. 4. Unidades Estratigráficas Pre Cuaternaria del Área de Estudio.

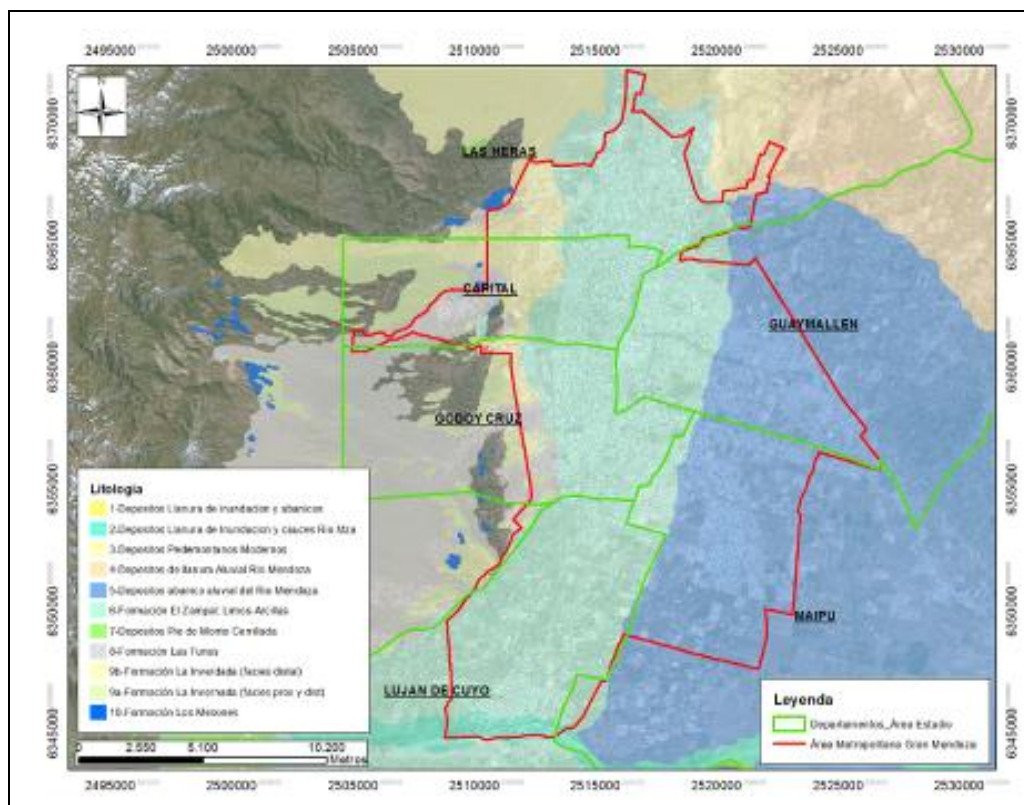


Fig. 5. Unidades Estratigráficas Pre Cuaternarias del Área de Estudio.

## UNIDADES ESTRUCTURALES

En la zona de estudio (Fig. 1), el frente orogénico presenta un intenso neotectonismo que se evidencia por importante fallamiento de los depósitos cuaternarios, lo que indica que la actividad sísmica tuvo lugar en la región durante este período (Costa *et al.*, 2000a, 2000b; Siame *et al.*, 2006; Ahumada, 2006). El término Neotectónica ha sido utilizado con diversas acepciones y expresiones, dependiendo del marco geológico involucrado. En Argentina esta acepción es utilizada para referirse a deformaciones cuyo techo cronológico se ubica en el techo del Plioceno (González, Costa *et al.* 2004), ver Fig. 6

Era	Período	Época	M. años	Eventos principales
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	0,011784	Final de la Era de Hielo y surgimiento de la civilización actual
		Pleistoceno	2,588	Ciclos de glaciaciones. Evolución de los humanos modernos. Extinción de la megafauna
	Neógeno	Plioceno	5,332	Formación del Istmo de Panamá. Capa de hielo en el Ártico y Groenlandia. Clima similar al actual. Australopithecus
		Mioceno	23,03	Desecación del Mediterráneo. Reglaciación de la Antártida
	Paleógeno	Oligoceno	33,9 ± 0,1	Orogenia Alpina (Pirineos, Alpes e Himalaya). Formación de la Corriente Circumpolar Antártica. Brusco descenso de las temperaturas. Congelación de la Antártida. Familias modernas de animales y plantas
		Eoceno	55,8 ± 0,2	India colisiona con Asia. Máximo térmico del Paleoceno-Eoceno. Disminución del dióxido de carbono. Extinción de final del Eoceno
		Paleoceno	65,5 ± 0,3	Continentes de aspecto actual. Clima uniforme, cálido y húmedo. Florecimiento animal y vegetal

Fig. 6. Edades Geológicas del Cenozoico, figura modificada desde Angelo Marciano, Monografía *et al.* 2009

La palabra Neotectónica no refiere a un intervalo cronológico universalmente aceptado, si no que se aplica en forma genérica a deformaciones que se entienden jóvenes o modernas en un sentido amplio. Por eso es preferible caracterizar las deformaciones de acuerdo al último periodo de tiempo registrado, por ejemplo Holoceno, Pleistoceno, etc. (González, Costa et al. 2004)

Estructuralmente, el frente orogénico activo está compuesto por una serie de fallas inversas con orientación meridional e inclinación tanto al este como al oeste interceptado por fallamiento transversal que desplazan las estructuras principales. La mayor parte de estas fallas poseen registro de actividad holocénica, o sea dentro de los últimos 10.000 años. (INPRES, 1985; Bastías *et al.*, 1993; Costa *et al.*, 2000a; Ahumada *et al.*, 2006; Giambiagi y Moreiras, 2009; Moreiras, 2010; Frau *et al.*, 2010, Moreira, *et al.*, 2014)

De acuerdo a lo expuesto, en la zona de estudio se identificaron y digitalizaron (Frau *et al.*, 2010, Moreira, *et al.*, 2014) las estructuras con evidencias de actividad cuaternaria del piedemonte mendocino entre los 32°50' y 33° S, las cuales pueden dividirse, de acuerdo a sus características cinemáticas en dos grupos:

### **Fallas Compresivas Digitalizadas**

Las principales fallas cuaternarias con expresión superficial (observadas) que deforman el sector del piedemonte mendocino son de este a oeste: Cerro La Cal, Sistema de fallas Cerro de la Gloria y Cerro del Cristo, Pelotas, Puntilla, Divisadero Largo, Melocotón y Las Avispas (ver Fig. 7).

Falla Cerro La Cal: esta falla se ha caracterizado al norte de la ciudad de Mendoza y al parecer su traza continuaría hacia el sur ingresando por la calle Perú a la latitud de la zona de estudio. 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 (INPRES, 1995). Es posible que esta falla presente una bifurcación más occidental coincidente con la calle de Boulogne Sur Mer.

Sistema de Fallas Cerro de la Gloria A, B, C / Sistema de Fallas Cerro del Cristo: Estos sistemas se expresa en lomadas pedemontanas alineadas en sentido N-S, constituidas por conglomerados plio pleistocenos y bordeados por depósitos de abanicos aluviales (Milana y Zambrano, 1996). Está integrado por varias fallas de trazos sub paralelos N-S y NNE-SSW separados 500 a 1.000 m entre sí, con expresión superficial a lo largo de unos 15 km. Son fallas inversas predominantemente de alto ángulo, aunque algunos trazos presentan ángulo bajo en superficie (Costa *et al.*, 2000a).

Falla Pelotas: los parámetros morfométricos de la falla Pelotas, no han podido ser medidos. En algunos sectores los niveles de la Formación Mogotes buzan 43° hacia el este, verticalizándose en esa dirección hasta alcanzar ángulos de inclinación casi verticales, mostrando en forma indirecta evidencias de la falla.

Falla Puntilla: En el sector sur del piedemonte, esta falla, cuya traza se alinea con las cimas de los cerros Puntilla y Pelotas, desplaza a la Formación Mogotes sobre limos cuaternarios.

Sistema de Falla Divisadero Largo: (Falla Divisadero A y Divisadero B) La falla Divisadero Largo posee un rumbo aproximado norte-sur y se ubica 10 km al oeste aproximadamente. En la reserva Divisadero Largo, dicha estructura levanta rocas triásicas de la Formación Potrerillos por encima de sedimentos cuaternarios (Rodríguez y Barton, 1990), mientras que un poco más al sur pone en contacto rocas de la Formación Río Blanco sobre el mismo cuaternario.



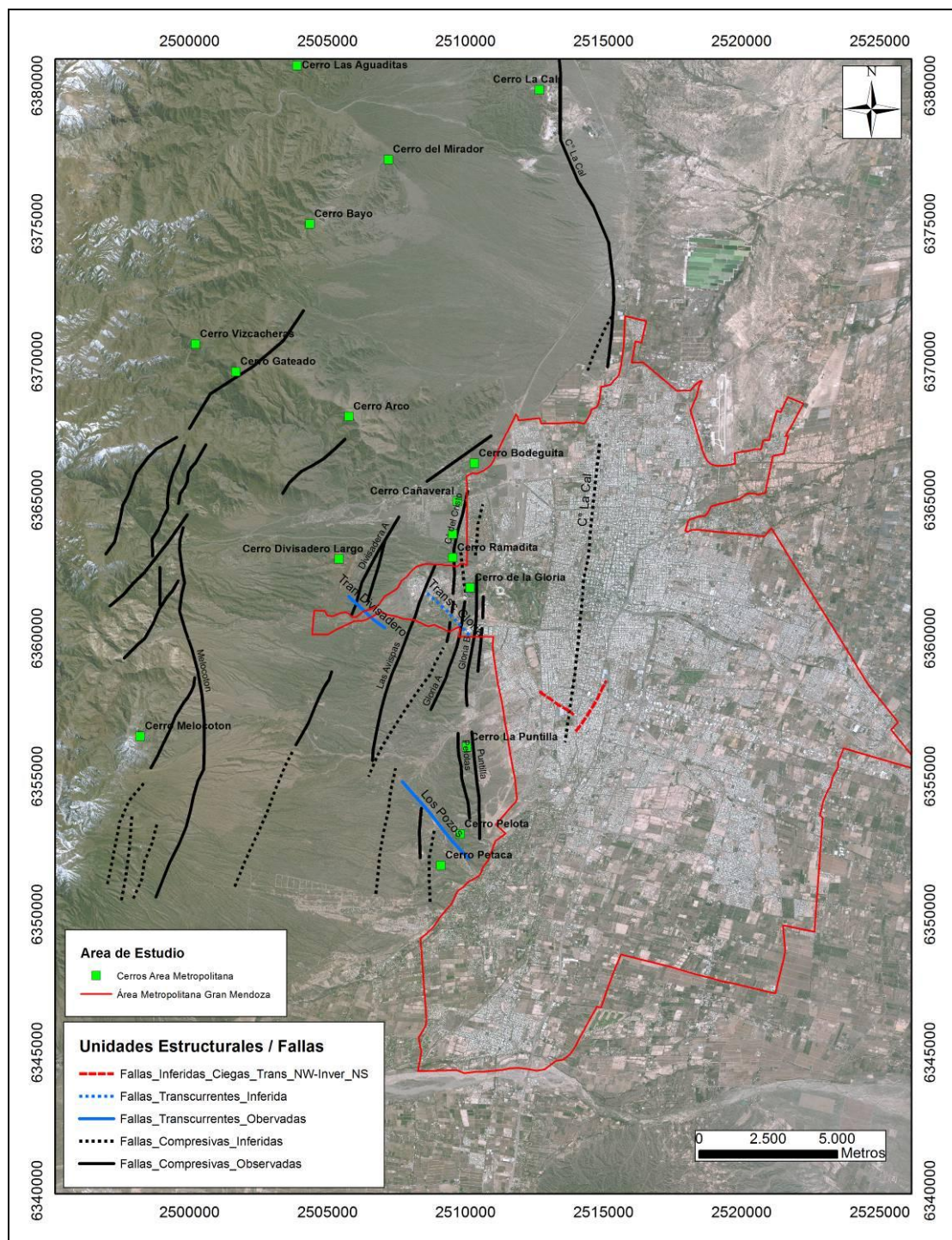


Fig. 7. Unidades Estructurales Compresivas y Transcurrentes del Área de Estudio.

**Falla Melocotón:** La falla Melocotón corresponde a un fallamiento inverso de rumbo norte-sur e inclinación al oeste (Bastías *et al.*, 1993). Se expresa geomorfológicamente como una escarpa de falla de 9 km de largo en fanglomerados pleistocenos. A lo largo de su traza de aproximadamente 40 km de longitud. Su tasa de movimiento se calcula en 0,2 a 1 mm/a (Costa *et al.*, 2000b).

**Falla Las Avispas:** La falla Las Avispas corresponde a una falla inversa con vergencia occidental y una inclinación de 40° al este, que levanta los depósitos terciarios de la Formación Mariño sobre los sedimentos cuaternarios de la Formación Invernada (Vich y Pedrani, 1993).



Esta falla inversa de rumbo NE-SW presenta una mayor inclinación ( $44^{\circ}$ ,  $77^{\circ}\text{E}$ ) y se encuentra afectando niveles terciarios de la Formación La Pilona.

### **Fallas Transcurrentes Digitalizadas**

Las fallas inversas del sistema del Cerro de la Gloria se encuentran cortadas por fallas Transcurrentes (Falla Los Pozos, Falla Divisadero y Falla Gloria, ver Fig. 7). En el suroeste de la zona de estudio, se manifiesta la falla Sinistral Los Pozos la cual presenta un rumbo NW con inclinación hacia el NE. Esta estructura corta todo el sistema de fallas norte-sur del sistema del Cerro de la Gloria en el sector austral, indicando un fallamiento holocénico más joven a los precedentes. Estudios geofísicos anteriores detectaron este fallamiento mediante sondeos eléctricos verticales al este del cerro de la Gloria (Perelló, 1991).

Posiblemente estas fallas respondan a fallamientos más antiguos reactivados y sean los responsables de acomodar variaciones de desplazamiento entre las fallas inversas. Asimismo, tal como se muestra, los segmentos A y B del sistema de fallas Divisadero Largo y el sistema de fallas del Cerro de la Gloria son desplazados en el extremo Septentrional por un fallamiento Transcidente (Falla Divisadero,  $126^{\circ}$   $89^{\circ}\text{W}$ ) observada y una falla Transcidente inferida (Gloria) respectivamente.

### **Potenciales Fallas Ciegas**

En trabajos previos (Frau et. al. 2015), (Giolo et. al. 2017), (Calderon et. al. 2017) (Giolo et. al. 2018a), (Giolo et. al. 2018b), se han realizado estudios de “efectos de sitio” en el área metropolitana del Gran Mendoza. El parámetro estudiado en estos trabajos ha sido el periodo fundamental de vibración del suelo y estos resultados se han representado en mapas donde se ha podido correlacionar las intensidades de diferentes sismos con los periodos de suelo. Adicionalmente en los mapas realizados se han encontrado variaciones bruscas de periodo fundamental, lo que sugiere algún tipo de anomalía geológica. Por estas razones se ha planteado la hipótesis de la existencia de al menos dos fallas ciegas (una inversa y otra transcidente) en la zona de estudio (ver Fig. 7 y 8)

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

De acuerdo a lo expuesto, se ha obtenido un mapa digital a escala 1:50.000 por primera vez de del Área metropolitana del Gran Mendoza (ver Fig. 8), el cual presenta las unidades estratigráficas pre cuaternarias y las unidades estratigráficas cuaternarias, las cuales son afectadas por fallas de con características cinemática Compresiva y Transcidente.

Es importante destacar, el contacto estratigráfico observado (ver Fig. 8) entre los depósitos de la formación El Zampal (6, Arcillosos) versus los depósitos de abanico aluvial del río Mendoza (5, Gravas y gravillas), nótese como este contacto presenta una orientación similar a la traza de falla inferida del Cerro La Cal a lo largo de la Calle Perú en la ciudad de Mendoza, evidenciado una posible debilidad estructural o discontinuidad estratigráfica.

Respecto a las estructuras ciegas, es imprescindible para la cuantificación del riesgo sísmico poder avanzar en su demarcación y cuantificación de su potencial.

## **CONCLUSIONES**

Toda la información en digital se presenta para dominio público, y está disponible para entregar al organismo provincial y nacional que lo disponga. Para su solicitud deben dirigirse vía e-mail a la dirección que figura en el encabezado del trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

Al CeReDeTeC por el apoyo prestado para la presente investigación. Al Geólogo Rubén Ángel Gallucci por sus gran apoyo, principalmente en los comentarios Geológicos; a la Sta. Milena Girardello y la Sr. Gerónimo Sindoni, estudiantes de la Regional Mendoza de la UTN por su valiosa colaboración.

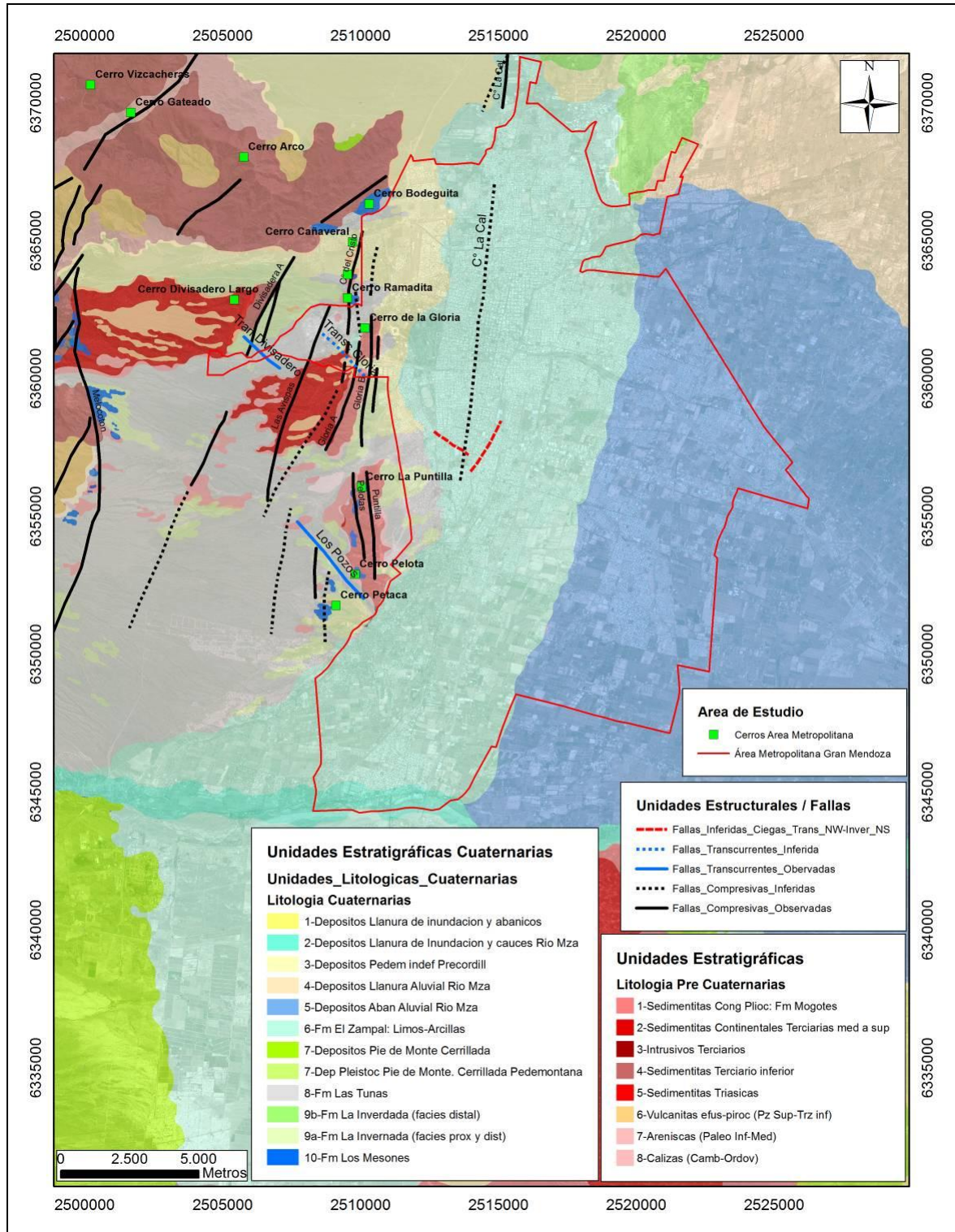


Fig. 8. Mapa Geológico Digital del área metropolitana del Gran Mendoza.

## REFERENCIAS

Osorio, Simpe, R., M., Reconocimiento, Estudio y Caracterización de Rocas y Minerales. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú 6-7 (2007)

C. Frau, E. Giolo, M. Guevara, F. Calderón, A. Gallucci, F. Luján, M. Tornello. (2015). EFECTOS DE SITIO EN LA LOCALIDAD DE VILLA MARINI, MENDOZA ARGENTINA. XI Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica ACHISINA 2015

E. Giolo, F. Calderón, C. Frau, F. Luján, S. Panella y A. Cueto (2017). FRECUENCIA NATURAL DE SITIOS CON NAPA FREÁTICA SUPERFICIAL. 12° E-ICES 2017.

Calderón, F. A., Giolo, E. G., Frau, C. D., Guevara, M. G. J., Rodriguez, H. Tornello, M., Lujan, F. and Gallucci, R. (2017). Seismic Microzonation and Site Effects Detection Through Microtremors Measures: A Review. Chapter 9 in Handbook of Research on Trends and Digital Advances in Engineering Geology Edited by Nurcihan Ceryan. pp 326 - 349. DOI: 10.4018/978-1-5225-2709-1.ch009.

E. Giolo, C. Frau, F. Calderón, S. Pagano, M. Tornello. (2018a). FRECUENCIAS NATURALES DE SUELOS EN EL NÚCLEO URBANO DE LA CIUDAD DE MENDOZA (ARGENTINA). Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras Vol. 23,2, 157 - 188 (2018)

Giolo, E. G., Calderón, F., Pagano, S., Luján, F., y Frau, C. (2018b). La técnica del cociente espectral H/V como herramienta para la determinación de estructuras ciegas. 1° Congreso Argentino de Geología Aplicada a la ingeniería y al ambiente, San Luis, Argentina.

# ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA ATMOSFÉRICA DURANTE LA CAMPAÑA DE RELAMPAGO.

Villagrán Asiares C. I.<sup>a,b</sup>, Nicora M.G.<sup>b</sup>, Bali J.L.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, ARGENTINA.

<sup>b</sup> UNIDEF, MINDEF, CONICET, DEILAP, División Atmósfera, J. B. de La Salle 4397, Villa Martelli, Argentina. <sup>c</sup> CITEDEF, Departamento de gestión y prevención del riesgo. J. B. de La Salle 4397, Villa Martelli, Argentina

e-mail: [villagranasiares.constanza@gmail.com](mailto:villagranasiares.constanza@gmail.com)

## RESUMEN

La región norte-central de Argentina es conocida como una de las regiones del mundo con tormentas más intensas, donde es frecuente el reporte de granizos, inundaciones, tornados, actividad eléctrica y fuertes ráfagas de vientos (Zipser et. al 2006). Por tales motivos y en función de la importancia de esta región a nivel mundial, se planteó y desarrolló a fines del año 2018 el Proyecto RELAMPAGO ([https://www.eol.ucar.edu/field\\_projects/relampago](https://www.eol.ucar.edu/field_projects/relampago)) con el objeto de estudiar las condiciones climáticas en las que estas tormentas se desarrollan, crecen e intensifican, para luego mejorar los modelos conceptuales asociados y la manera de pronosticarlas.

Este trabajo tiene por objetivo evaluar el comportamiento de la tormenta del 13 de Diciembre del 2018 por medio de la tasa de variación de la actividad eléctrica atmosférica asociada a dichos eventos, y analizar el comportamiento histórico en las variaciones abruptas en la tasa de descarga eléctrica atmosférica (JUMP) en dicha área. Para ello, se realizó un análisis geoestadístico de los datos procesados por el algoritmo GEORAYOS (Nicora et. al 2014). Este algoritmo de Nowcasting, se basa en la detección de la Actividad Eléctrica Atmosférica (AEA) usando como base de datos los aportados por la WWLLN (en inglés World Wide Lightning Location). Estos datos son clusterizados cada 30 minutos y clasificados como SEVERO, DISPERSO o DENSO dependiendo de la cantidad de rayos que tenga según el umbral, establecido en el trabajo de Nicora et. al 2015. Trabajaremos con cluster designados como SEVEROS.

Los resultados indican que este tipo de tormenta presento un área atípica a la media histórica calculada entre los años 2015 a 2017, con un valor mayor a la misma. Además, se encontró que la ciudad más afectada, Rio Segundo, se corresponde con las ciudades con actividad eléctrica atmosférica de los años 2015 a 2017.

**Palabras Claves:** RELAMPAGO, JUMP, Actividad Eléctrica Atmosférica, WWLLN.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la Tropósfera ocurren diferentes procesos de intercambio de carga, a estos procesos los llamaremos Actividad Eléctrica Atmosférica (AEA) o descargas eléctricas atmosféricas (Nicora 2010). Al aumento abrupto en la tasa de descargas, lo llamaremos JUMP. Diferentes estudios (Williams et. al 1999, Schultz et. al 2011) han demostrado que estos suelen ocurrir antes de un evento severo, entiéndase como tal a aquellos fenómenos meteorológicos donde se desencadenan fuertes ráfagas de vientos, granizos con diámetros mayores a dos centímetros, actividad eléctrica, inundación asociada a precipitación, y /o tornados. En base a esto se ha generado el algoritmo “GeoRayos” (<http://georayos.citedef.gob.ar>), basado en estudios previos (Schultz et. al 2011), y

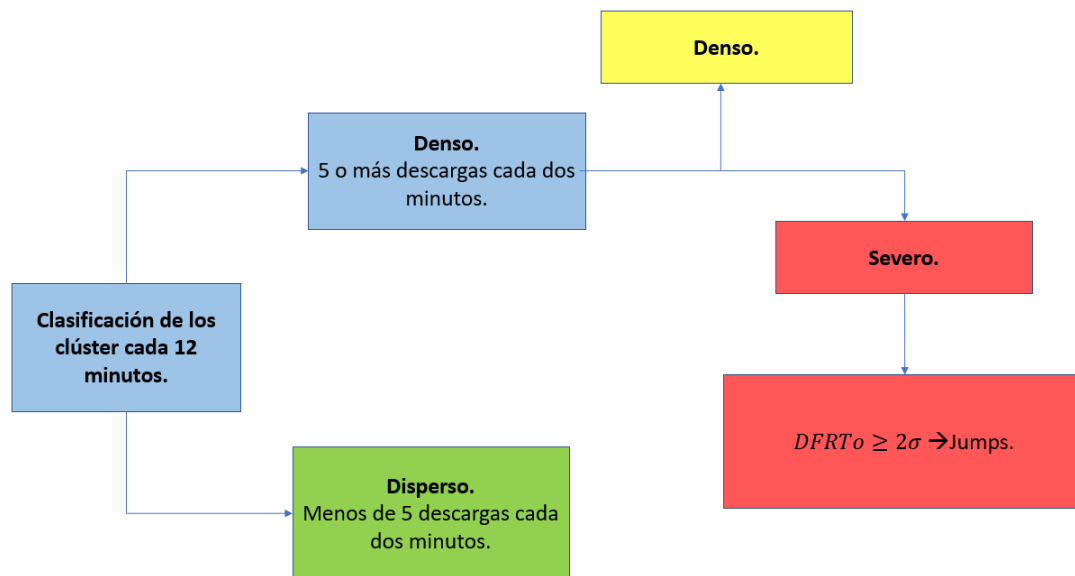
aplicado en Argentina (Nicora et. al 2015) para anticipar el desarrollo de tiempo severo, utilizando como base de datos los emitidos por la World Wide Lightning Location Network (WWLLN, ver <https://wwlln.net>).

La zona norte - central de Argentina posee una alta tasa de sistemas convectivos muy intensos con respecto a la tasa de granizos, precipitaciones intensas y eventos extremos (Zipser et. al 2006, Cecil and Blackeslee et. al, 2012) Por lo que se desarrolló en el año 2018 el Proyecto RELAMPAGO-CACTI (<http://www.relampago-cacti.org>) con el objeto de estudiar los aspectos de diversas escalas de tormentas que tienen características extremas. En este proyecto se realizaron un total de 19 misiones en las provincias de Córdoba y Mendoza. De estas, trabajaremos con la misión número 17, correspondiente a los días 13 y 14 de diciembre del 2018, debido a que la misma fue una tormenta severa, con mucha actividad eléctrica, caída de granizos y lluvias intensas.

## **MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL**

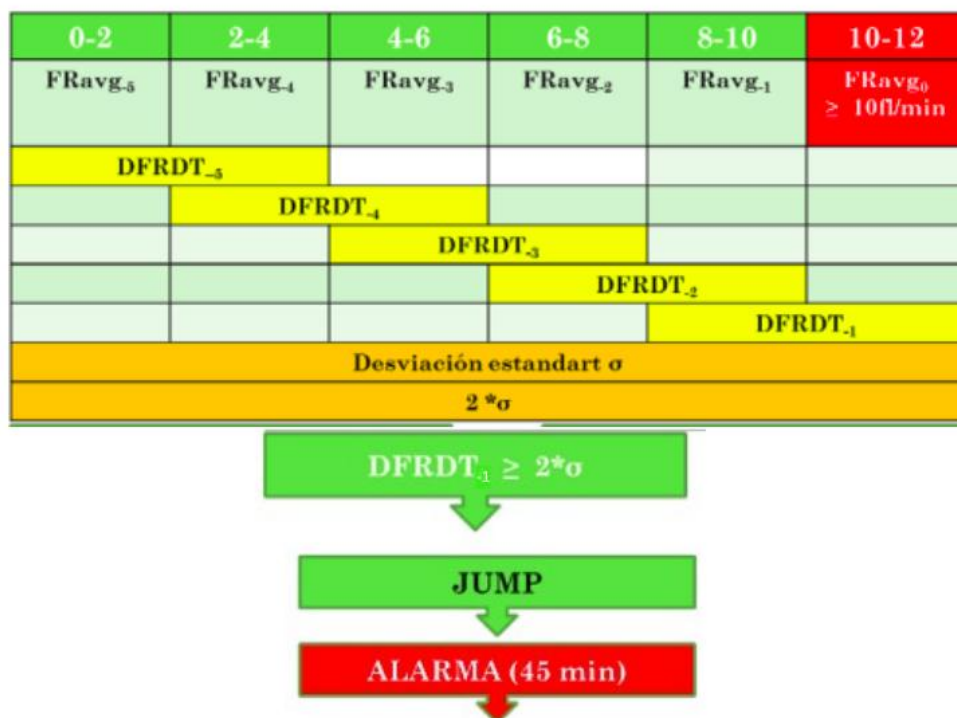
Este trabajo tuvo por objetivo evaluar el comportamiento de la tormenta del 13 de diciembre del 2018 por medio de la tasa de variación de la actividad eléctrica atmosférica asociada a dichos eventos, y analizar el comportamiento histórico en las variaciones abruptas en la tasa de descarga eléctrica atmosférica (JUMP) en dicha área. Para ello, se realizó un análisis geoestadístico de los datos procesados por el algoritmo GEORAYOS (Nicora et. al 2014) el que tiene como objetivo anticipar el desarrollo de tiempo severo. Este algoritmo de Nowcasting, se basa en la detección de la Actividad Eléctrica Atmosférica (AEA) usando como base de datos los aportados por la WWLLN (en inglés World Wide Lightning Location), que trabaja con las ondas de radio en VLF (Very Low Frequency), las cuales pueden ser detectadas a más de 4mil kilómetros de distancia de la fuente, lo que permite realizar un mapeo global de la actividad eléctrica atmosférica. Actualmente, en Argentina contamos con 4 estaciones, ubicadas en Córdoba (FAMAFUNC), en la División LIDAR perteneciente a CITEDEF (Villa Martelli, Bs. As.), en la Universidad de la Patagonia en Trelew y en el Observatorio de la Patagonia Austral (OAPA) en Rio Gallegos. Los datos procesados por este algoritmo luego son clusterizados y clasificados como DISPERSO o DENSO dependiendo de la cantidad de rayos que tenga dicho cluster según el umbral (5 rayos cada dos minutos) establecido en el trabajo de Nicora et. al 2015. Los cluster clasificados como DENSO a su vez pueden mantenerse en esa clasificación o pasar a ser designados como SEVEROS, ver Fig. 1.





**Figura 1:** Diagrama explicativo de la clasificación de cluster.

Esta última clasificación, se basa en las Etapas de Schultz (Schultz et. al 2009, y Gatlin and Goodman 2010) y se representa a manera esquemática una explicación del algoritmo de Schultz et. al 2011, con la metodología utilizada para pronósticos de eventos severos en la Fig.2.



**Figura 2:** Diagrama explicativo del algoritmo de JUMP de Schultz et. al 2011. Adaptado de la tesis doctoral de Nicora 2010.

Este algoritmo, primero calcula la tasa de descarga cada dos minutos (FR<sub>avg</sub>). Luego toma dicha tasa y la compara con el umbral establecido, 10 flashes por minutos en el caso del trabajo de Schultz et. al 2011 y de 5 rayos cada dos minutos en el de Nicora et. al 2015.

Continúa considerando los 6 periodos consecutivos anteriores al  $FR_{avg}$  a tiempo  $t_0$ . Para cada uno de estos periodos realiza una diferencia entre le actual  $t_n$  y el siguiente  $t_{n+1}$ , ver Ec.(1) a Ec.(5).

$$DFRT_{-5} = FR_{avg-4} - FR_{avg-5} \quad (1)$$

$$DFRT_{-4} = FR_{avg-3} - FR_{avg-4} \quad (2)$$

$$DFRT_{-3} = FR_{avg-2} - FR_{avg-3} \quad (3)$$

$$DFRT_{-2} = FR_{avg-1} - FR_{avg-2} \quad (4)$$

$$DFRT_{-1} = FR_{avg_0} - FR_{avg-1} \quad (5)$$

Una vez que tiene estos valores calcula la media, ver Ec. (6) y el desvio estándar, ver Ec. (7). Al desvió estándar lo multiplica por dos para luego usarlo como valor de referencia para definir a un cluster como SEVERO o no, es decir, si este supera a  $2\sigma$  entonces informará que se produjo un JUMP y emitirá una alerta de 45 minutos para esta tormenta, indicando la posibilidad que se desarrolle un fenómeno severo.

$$\mu = \sum_{j=1}^5 \frac{DFRT_{-j}}{5} \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^5 (DFRT_{-j} - \mu)^2}{5}} \quad (7)$$

Aquí trabajaremos con cluster designados como SEVEROS, los cuales fueron representados en un mapa de calor, que representa la concentración de estos JUMPS en escala de colores.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 13 de diciembre del 2018, en Córdoba se llevaron a cabo dos misiones, Severo y Crecimiento a gran escala. La primera de ellas sobre Villa María y la Segunda cerca de Córdoba Capital. En ambas misiones se obtuvo una gran cantidad de datos que actualmente permite que podamos estudiarlas con mucho detalle. Durante esta campaña los instrumentos de medición utilizados fueron 2 DOW (7y8: Doppler on Wells, radares de banda X, ver Fig. 4a) un COW (radar de banda C, ver Fig. 4b) y 3 mesonets (ver Fig. 3b), es decir camionetas equipadas con instrumentos meteorológicos para medir variables tales como la temperatura, presión, intensidad y dirección del viento. Estas camionetas, además, contaban con estaciones meteorológicas (POD, ver Fig. 3a), equipo para realizar sondeos y disdrómetros, que miden las características de los hidrómetros que caen, su velocidad y el tamaño de la gota.

Antes de comenzar una misión se delineaba la operación del día, ver Fig. 5, la cual consistía en distribuir de manera eficaz y eficiente a los distintos equipos de medición en función de la campaña que se llevaría a cabo dicho día.



a.



b.

**Figura 3:** Instrumentos de medición. Imágenes extraídas de <http://www.cswr.org>.: a. Pods. b. Mesonets

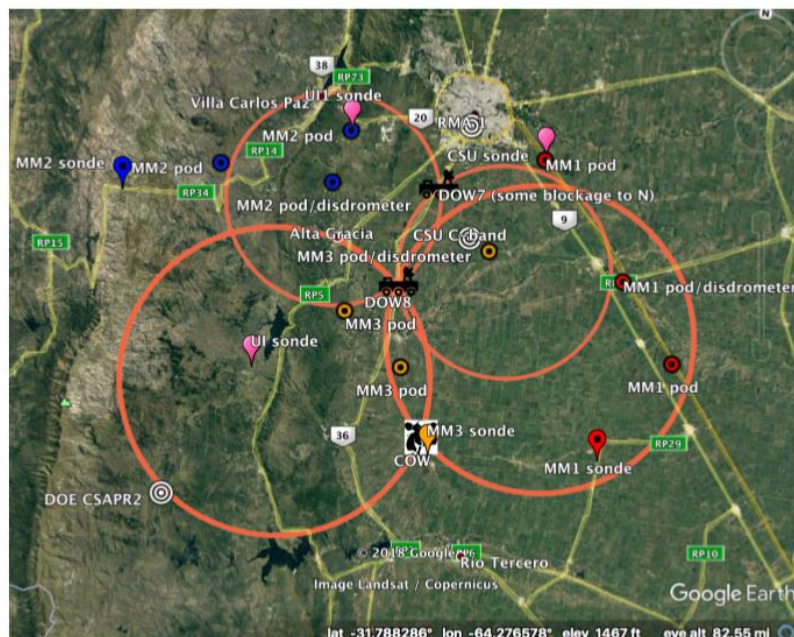


a.



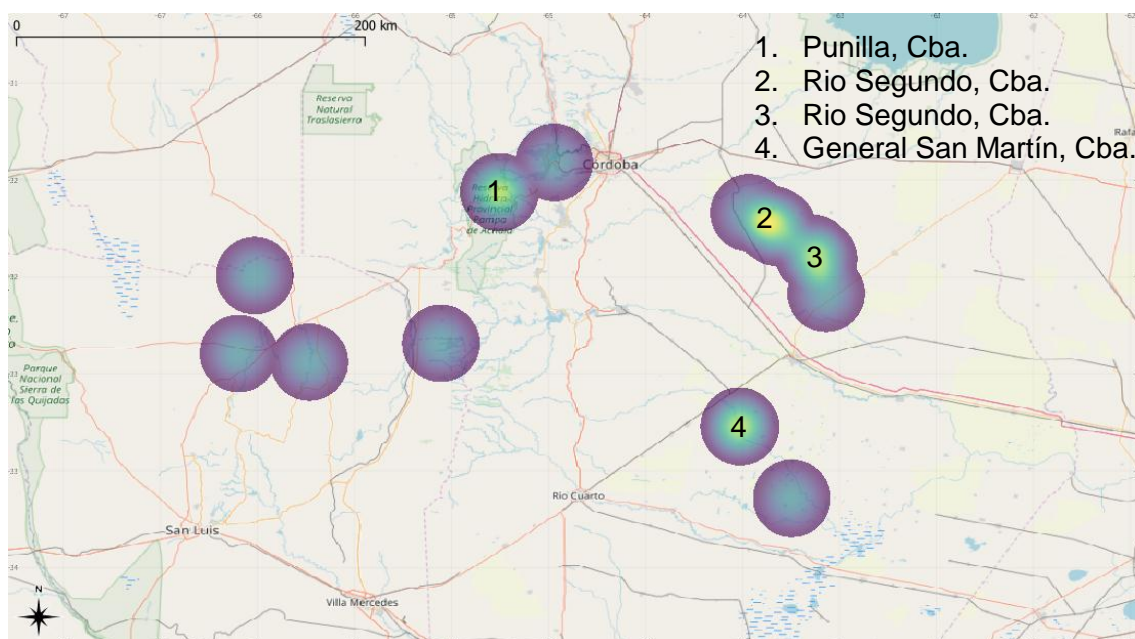
b.

**Figura 4:** Radares que fueron usados en el proyecto RELAMPAGO. Imagen extraída de <http://www.cswr.org>.: a. DOW: Radar Doppler sobre Rueda. Imagen extraída de <http://www.cswr.org>. b. COW: Radar de Banda C sobre rueda. Imagen extraída de <http://www.facebook.com/CSWRDOW/>



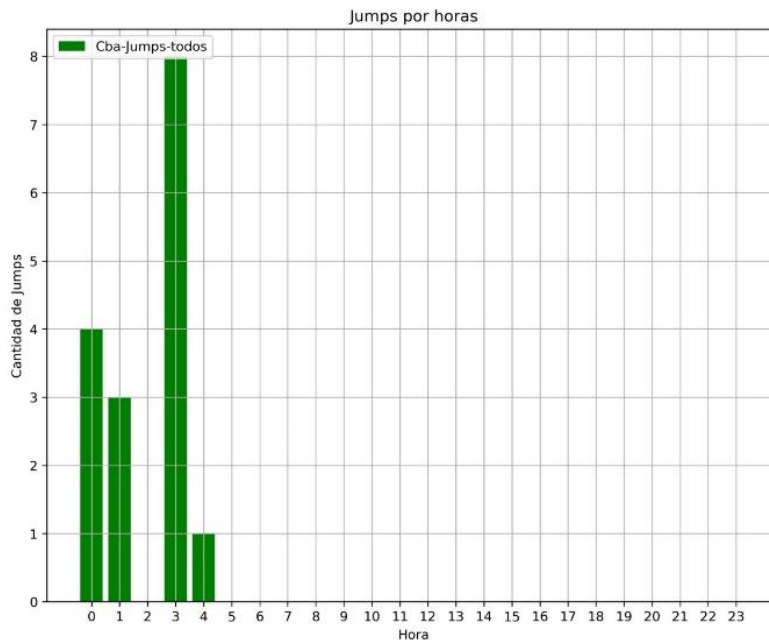
**Figura 5:** Mapa de la operación del día 13 de Diciembre. MM1, MM2 y MM3 representan las ubicaciones de las mesonets 1, 2 y 3. CSU: Grupo de investigadores y estudiantes de la universidad de Colorado, EEUU, mientras que UI representa a la universidad de Illinois. COW: Radar de banda C. Los círculos representan el área de cobertura de los DOW 7,8 y el COW.

La primera misión comenzó cerca de Río Cuarto en Villa María con la intención de estudiar la Supercelda que se desarrollaría en dicha zona. Finalmente, esta se generó más al sur de dicha ciudad. La segunda misión se realizó cerca de Córdoba Capital. Para ambas zonas trabajamos con los datos de AEA aportados por la WWLLN, lo procesamos con GEORAYOS y nos quedamos solo con aquellos cluster que generaron JUMPS, es decir con los cluster SEVEROS. En la Fig.6, los graficamos en un mapa de calor. Teniendo una mayor concentración de estos en Punilla, Río Segundo y Gral. San Martín.



**Figura 6:** Mapa de calor de los Jumps del 13 de Diciembre del 2018.

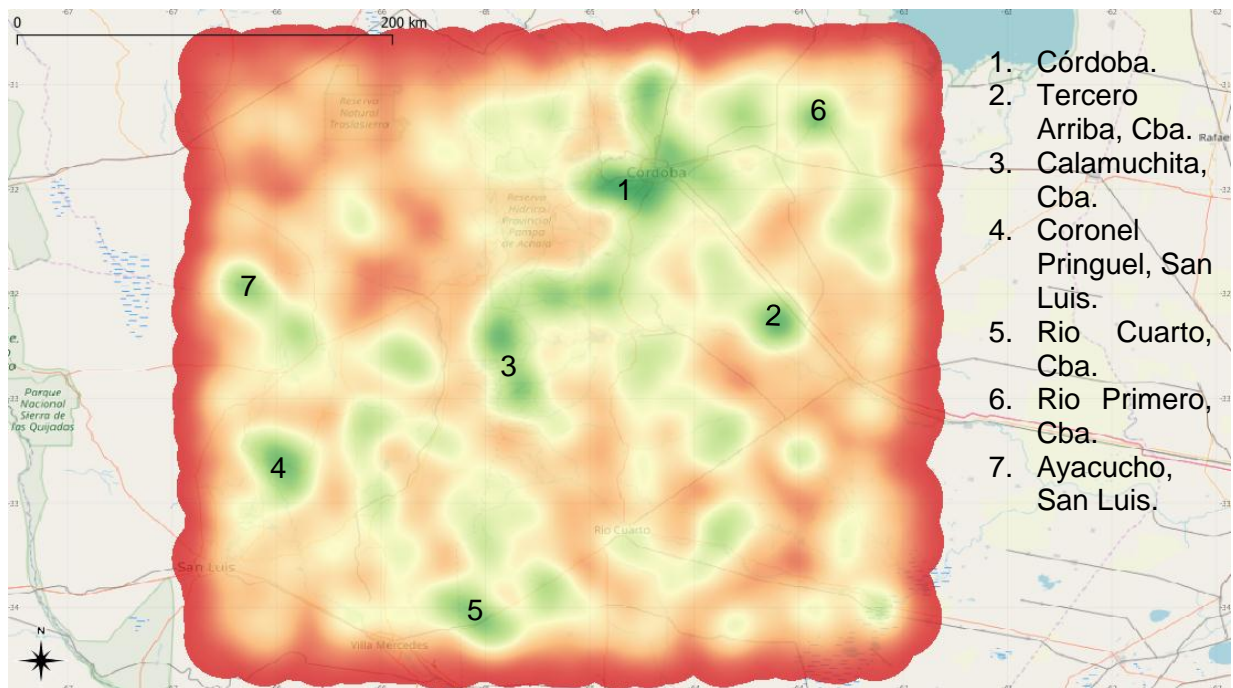
A los mismos le calculamos su ciclo diario (ver Fig. 7), encontrando un máximo para las 03 UTC. Estos datos al representar un cluster, poseen una cantidad de rayos y una determinada área que estaría simulando de manera esquemática la tormenta. Al analizar estas variables, encontramos para un área media de 1237.95 km<sup>2</sup> y una cantidad media de rayos de 46,18 rayos. En esta zona, hemos realizado un mismo análisis, pero para mas años con el objeto de entender si esta fue una tormenta típica de la zona o no.



**Figura 7:** Ciclo Diario de los Jumps para la IOP 17, hora UTC.

En la Fig. 8 tenemos representados los JUMPS para los años 2015-2017 para la zona definida entre las latitudes -34° y -33° y longitudes -66,5° y -63°. En la Fig. 9 representamos su ciclo diario, en el que se observa como la actividad de los JUMPS tiende a aumentar durante la noche con un máximo a las 06 UTC y un mínimo hacia la tarde 18 UTC. Al compararlo con la tormenta del 13 de diciembre vemos que el máximo de este día se da a la noche como es en general.





**Figura 8:** Mapas de calor de los JUMPS entre el 1 de enero del 2015 al 31 de diciembre del 2017.



**Figura 9:** Ciclo diario de los JUMPS entre los años 2015 a 2017.

Luego estudiamos las áreas de estas tormentas y obtuvimos valores de 763,117 km<sup>2</sup> con lo que se observa que esta tormenta presento un área media mayor a la media obtenida durante estos años. En cuanto a la cantidad de rayos que contienen estas tormentas (48,428) vemos que la media es parecida a la de esta tormenta.

Por último, analizando los datos de cantidad de rayos y observando el mapa de la Fig. 8 obtenemos que aquellas ciudades con mayor concentración de JUMPS entre los años 2015, 2016 y 2017 fueron:

- Córdoba.

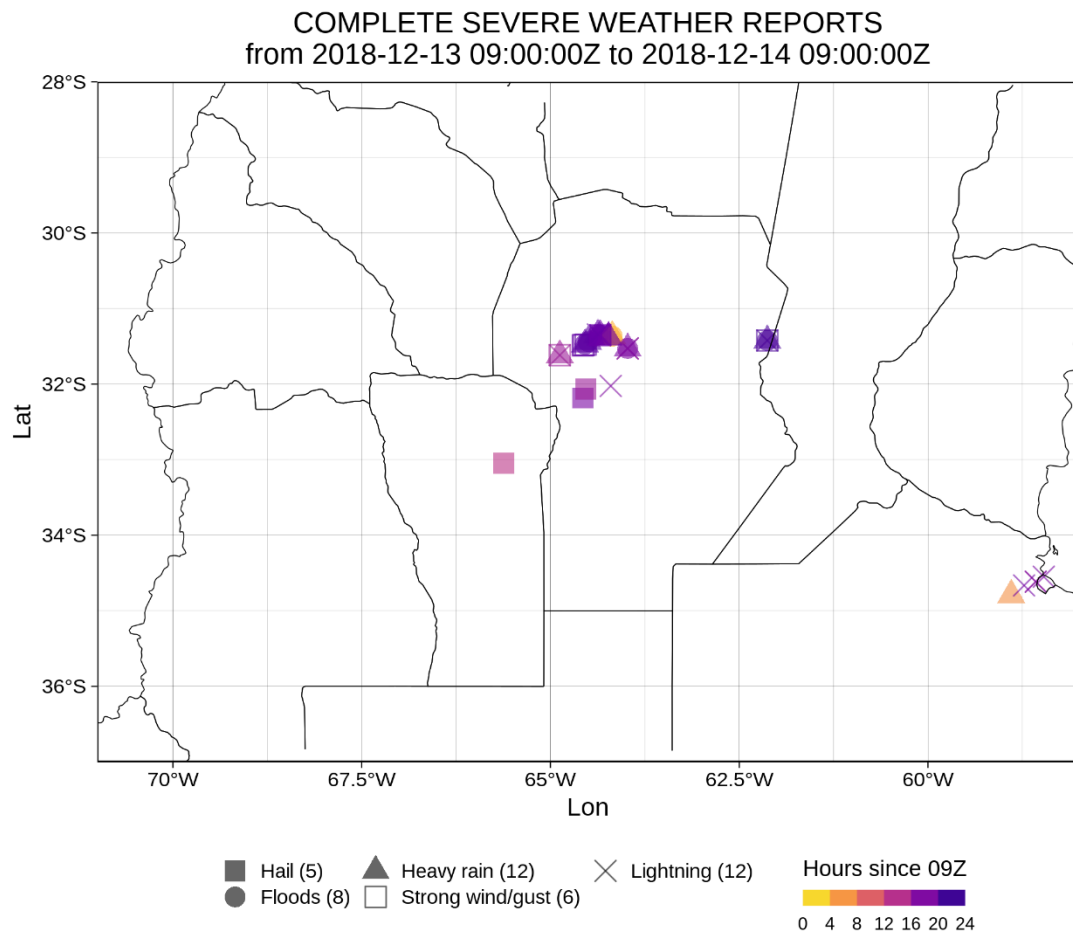
- Tercero Arriba, Córdoba.
- Calamuchita, Córdoba.
- Coronel Pringuel, San Luis.
- Río Cuarto, Córdoba.
- Río Primero, Córdoba.
- Ayacucho, San Luis.

y para estos mismos años, las ciudades con mayor cantidad de rayos fueron:

- Coronel Pringles, San Luis.
- Río Segundo; Córdoba.
- San Justo. Córdoba.
- Río Primero. Córdoba.
- San Alberto. Córdoba.
- Unión. Córdoba.

Notemos, que aquellas ciudades con mayor concentración de JUMPS son ciudades propensas a desarrollar tiempo severo, lo cual es importante tener en cuenta para preparar a estas ciudades para un evento de este tipo. Con respecto a la tormenta de estudio de este trabajo, vemos que Río segundo al igual que Punilla y General San Martín son ciudades en donde comúnmente no ocurren estos tipos de eventos, según el mapa de la figura 8. Pero, creemos que aún así no podemos descartarlas como ciudades propensas a desarrollar tiempo severo, ya que para poder hacerlo necesitaríamos de un análisis más exhaustivo al respecto, es decir agregar más años de estudio y tener en cuenta las estaciones. Algo interesante, es lo que sucede con Río Segundo, donde vemos que estos años fue una de las ciudades que presentó mayor AEA.

Para el 13 de diciembre y 14 del 2018, gracias al reporte de la gente y el trabajo de estudiantes de la carrera de meteorología de la Universidad de Buenos Aires, se obtuvo registros de lo que sucedió ese día y la hora (ver Fig. 10). En donde se reportó granizo, actividad eléctrica y lluvias intensas. En las Figs. 11,12 y 13 se muestran imágenes de ese día.



**Figura 10:** Resumen de los informes de Twitter sobre la actividad de tiempo severo que abarca la actividad de tormenta severa del 13 de diciembre. Extraída del trabajo del Sumario de RELAMPAGO del 13 y 14 de diciembre del 2018.



**Figuras 11:** Imágenes en hora local para el 13 de diciembre.



**Figura 12:** Imágenes en hora local para el 13 de diciembre (arriba) y el 14 de diciembre (abajo).



**Figura 13:** Imagen del granizo registrado en el San Luis (La Toma).

## **CONCLUSIONES**

Los resultados indican que este tipo de tormenta presento un área atípica a la media histórica calculada entre los años 2015 a 2017, con un valor mayor a la misma. Además, se encontró que la ciudad más afectada, Rio Segundo, se corresponde con las ciudades con más actividad eléctrica de los años 2015 a 2017.

Esta tormenta fue importante, por lo que es importante seguir estudiándola con más detalle, teniendo en cuenta otras redes de detección de rayos y más datos, siendo importante la separación de los mismos en estaciones.

## **REFERENCIAS**

Cecil Daniel J., Dennis E. Buechler and Richard J. Blakeslee. Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description. Atmospheric Research 135–136 (2014) 404–414,( 2012)

Gatlin, P. N. and S. J. Goodman: A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 27, 3-22. (2010)

Nicora M. Gabriela , *Actividad Eléctrica Atmosférica en Sudamérica*. Tesis doctoral Dr. en Geofísica. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/42231> Institución: Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.(2010)

Nicora, M.G., Quel, E.J., Bürgesser, R.E., Ávila, E.E., Rosales, A., Salvador, J.O. y D'Elia, R. La Actividad eléctrica atmosférica en Argentina. Estimación de la tasa de mortalidad anual por acción de caídas de rayos. *Anales AFA*. Vol. 25 N. 4. (151- 156). (2014).

Nicora M. G; Bali J. L., Vasquez P. ;Ávila E. E.; Sacco M.; D'Elia R.; Acquesta A.; Rivaben N. *GeoRayos a new application for severe weather warning*. Brasil. Sao Pablo. Libro. Artículo Completo. Simposio. International Symposium on Lightning Protection. IEE. ISBN 978-1-50906052-8 (2015)

Schultz, c. J.m W. A. Petersen, and L. D. Carey: Preliminary development and evaluation of lightning jump algorithms for the real time detection of severe weather. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 48, 2543-2563. (2009)

Schultz, Christopher J., Walter A. Petersen, and Lawrence D. Carey, *Lightning and Severe Weather: A Comparison between Total and Cloud-to-Ground Lightning Trends*. *Weather and Forecasting* 26.5.(2011)

Williams E R et al, The behavior of total lightning activity in severe Florida thunderstorms. *Atmos Res* 51:245–265 (1999)

Zipser, E. J., D. J. Cecil, C. Liu, S. W. Nesbitt, and D. P. Yorty: Where are the most intense thunderstorms on Earth? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*,87, 1057–1071. (2006)



# DISEÑO DE DRONES PARA MONITOREO DE ZONAS VOLCÁNICAS

Vorobioff J <sup>ab</sup>, Boggio N. <sup>abc</sup>, Gutierrez M. <sup>a</sup>, Vallespir D. <sup>a</sup>, Checozzi, F. <sup>b</sup> y Rinaldi C. <sup>acd</sup>

<sup>a</sup>Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, ARGENTINA

<sup>b</sup>Departamento de Micro y Nanotecnología, Centro Atómico Constituyentes, CNEA, ARGENTINA

<sup>c</sup>CONICET, ARGENTINA

<sup>d</sup>Universidad Nacional de San Martín, ARGENTINA

e-mail: [vorobioff@cnea.gov.ar](mailto:vorobioff@cnea.gov.ar)

## RESUMEN

*Las erupciones volcánicas son una grave amenaza para el ambiente. La ceniza de un volcán puede contaminar el agua, la vegetación, el ganado y a las personas. Con el fin de evaluar con mayor precisión el estado de la zona volcánica, se requieren mediciones distribuidas espacialmente. En consecuencia, es necesario disponer de un vehículo aéreo no tripulado para obtener varios puntos de medición. Se desarrolló una Nariz Electrónica (eNose) y un dron cuadricóptero equipado con sensores de gas para CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad. El dron tiene una cámara de video que puede enviar imágenes a un monitor y un sistema para recolección de líquidos en lagunas de zonas volcánicas. El sistema Dron eNose, proporciona una tecnología versátil para el monitoreo autónomo de diversos entornos. El uso de este dispositivo minimiza los riesgos de exposición a compuestos peligrosos para las personas y además puede desplazarse en zonas inaccesibles. La ventaja del dispositivo diseñado, comparado con los drones que se ofrecen en el mercado, provistos con software propietario, radica en la posibilidad de agregar accesorios, lo que le confiere gran adaptabilidad. En este trabajo se imprimió la estructura completa del cuadricóptero mediante una impresora 3D. Para lograr una armazón robusta se imprimieron las partes con filamentos compuestos de diferentes materiales. Se seleccionaron los motores y las hélices para dimensionar la capacidad de carga del dron, los sensores, el control de estabilidad y el sistema de teletransmisión. Actualmente se está trabajando en el módulo de toma de muestras líquidas, se diseña un sistema liviano y seguro de manera de no perder estabilidad de vuelo. El sistema resulta muy versátil y se pueden agregar distintos sensores de gas como por ejemplo SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S. El vuelo puede ser controlado manualmente mediante control remoto, o de manera autónoma programando un plan de vuelo.*

*Palabras Clave:* Dron, Sensor de gas, Volcán, Análisis de Datos.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las erupciones volcánicas son una grave amenaza y responsable de un gran número de problemas. En las zonas volcánicas se debe monitorear la alteración de la calidad del aire entre otros elementos. Los gases emitidos por una erupción volcánica, que dependerán de su concentración, volumen y tiempo en el ambiente serán altamente

tóxicos. El seguimiento y monitoreo de estas emisiones se deben realizar de manera continua antes, durante y después de la erupción volcánica para diagnosticar anomalías y prevenir accidentes.. La acción del viento y la lluvia dispersan los gases, por lo tanto, para obtener una representación veraz de la concentración de los gases, es fundamental realizar lecturas directas distribuidas espacialmente. En este sentido, debido a razones económicas y logísticas, instalar una red de sensores fija en muchos casos no es una solución viable. En consecuencia, es necesario implementar un dispositivo móvil de medición.

En este trabajo se desarrolló un sistema Dron apto para acoplar una Nariz electrónica que permita el monitoreo de gases provenientes de zonas volcánicas. Los drones (robótica móvil) pueden hacer una contribución significativa en esta área, proporcionando un monitoreo autónomo en diversos entornos. Además, son dispositivos versátiles, ya que se puede agregar una nariz electrónica (eNose) para tomar muestras, cooperar con otros sistemas y proporcionar marcadores útiles a los operadores del sistema de gestión. Los drones tienen la ventaja que pueden llevar a cabo el procedimiento de medición repetitiva sin sufrir de cansancio y por lo tanto, pueden realizar mediciones espaciotemporales con mayor densidad de puntos. Además, el uso de una plataforma de monitoreo automatizado puede minimizar la exposición de los operadores humanos a compuestos peligrosos como, por ejemplo, sulfuro de hidrógeno. De esta manera sería posible localizar las fuentes de emisión de los contaminantes y realizar los monitoreos que requieren los vulcanólogos de una forma más rápida y menos costosa. El desarrollo de un equipo completo, Dron-eNose, y su implementación podrían ser utilizados para la detección in situ de los contaminantes, la fuente de emisión principal, para luego tomar medidas de acción directa en los casos que sean necesarios. El desarrollo completo de esta técnica permitiría el diagnóstico temprano de erupciones volcánicas como así también tener un control preventivo sobre la población cercana a los mismos.

A modo de ejemplo, en Alemania, el Instituto Federal de Investigación y Prueba de Materiales (BAM), en cooperación con Airrobot GmbH, ha desarrollado un sistema de medición basado en un cuadricóptero (micro-drone) como parte de un proyecto de I+D financiado por el Ministerio Federal de Economía y Tecnología (BMW) (P. Neumann, S. Asadi, J. H. Schiller, A. J. Lilienthal, and M. Bartholmai, 2010-2011). Los drones sensibles al gas son instrumentos valiosos para abordar estos problemas tales como la detección de fugas de gas, vigilancia o exploración de las áreas donde pueden estar presentes estos gases peligrosos. Un ejemplo concreto de estos campos de aplicación que está cobrando especial interés entre las autoridades de la UE es el monitoreo de emisiones gaseosas de los rellenos sanitarios provenientes del sistema de gestión de residuos (Scharff, H, 2008). Los rellenos sanitarios son responsables del 2% del total de las emisiones de gases de invernadero (GEI) lanzados por la actividad humana (Bogner, J. et al, 2007). Los gases principales de efecto invernadero liberados de estos rellenos son el metano y el dióxido de carbono y en menor grado las mezclas de hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Además, pueden salir de los rellenos sanitarios gases venenosos como el sulfuro de hidrógeno, trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV) y metales pesados; estos compuestos son potencialmente perjudiciales para la calidad del aire y la salud (Carola Hanisch, 1998) y su producción varía dependiendo de la antigüedad del sitio de disposición por el avance de los procesos de estabilización de los residuos, y de las condiciones ambientales en las que se efectúan. Los drones pueden llevar sensores que permiten establecer la localización exacta requerida y recursos

computacionales para calcular por ejemplo, modelos de distribución de gas en línea. Esto permite la posibilidad de decidir los lugares para observar basándose en el actual modelo. Un dron que controle un relleno sanitario debe ser capaz de realizar dos tareas principales: 1- servir como un sistema autónomo y flexible que pueda explorar grandes áreas para medir las concentraciones de gas (ej:  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{CO}_2$ ) y 2- debe ser capaz de proporcionar a partir de los datos adquiridos la información útil como mapas de distribución y los lugares de posibles fugas de gases.

De forma similar, los problemas mencionados que surgen de las erupciones volcánicas pueden ser controlados mediante una efectiva detección de estos contaminantes “in situ” y de un mapeo de los mismos en la zona de interés mediante el uso de drones, tal como se señaló pero acoplado a un sistema eNose. De esta manera sería posible localizar las fuentes de emisión de los gases y realizar los monitoreos de una forma más rápida y menos costosa. El desarrollo de un equipo completo, Dron-eNose, y su implementación podrían ser utilizados para la detección “in situ” de los contaminantes, la fuente de emisión principal, para luego tomar medidas de acción directa en los casos que sean necesarios. De esta manera se podría reducir rápidamente el impacto ambiental mejorando la calidad del sistema de gestión. El desarrollo completo de esta técnica permitiría el diagnóstico de la calidad del suelo como así también tener un control sanitario sobre los mismos.

## **DESARROLLO EXPERIMENTAL**

La metodología a implementar estará orientada a: 1) desarrollar un Dron (robot móvil) para vuelo aéreo o inspección terrestre con capacidad para portar un sistema LV-eNose; 2) establecer las capacidades analíticas del sistema ensamblado realizando estudios de semicampo en espacios reducidos con condiciones controladas. Una vez cumplidos los objetivos anteriores, se podrá aplicar el procedimiento a un área o región de interés para el muestreo de contaminantes y confeccionar un mapa de distribución de los mismos. Los resultados obtenidos en las distintas etapas del proyecto contribuyen al desarrollo de nuevas tecnologías para su aplicación en la química ambiental. Por otra parte, en cada una de las etapas de este trabajo se forman distintos recursos humanos con el objetivo de aplicar estas nuevas tecnologías a las distintas áreas.

### Integración del sistema Dron con e-Nose

Al dron se le acopla una nariz electrónica (e-Nose). Una e-Nose es un instrumento que puede oler, es decir, es capaz de realizar análisis cualitativos y/o cuantitativos de una mezcla de gases, vapores y olores. Es un instrumento de olfato artificial que permite distinguir y reconocer aromas utilizando sensores de gas. Este dispositivo tiene 4 partes con diferentes funciones: la primera realiza el muestreo y la adecuación de la mezcla gaseosa, el arreglo de sensores de gas hace la detección, la electrónica de control se dedica a la gestión del arreglo de sensores y adecuación de la señal, y finalmente, el sistema de adquisición y procesamiento de datos, con algoritmos adecuados de clasificación de patrones, extrae los rasgos característicos o "huellas" de cada aroma y presenta los resultados al usuario mediante una interfaz apropiada. Cada una de estas funciones deberá ser integrada al dron y experimentarlas en vuelo. La eNose de diseño

compacto puede utilizarse tanto en laboratorios de I+D como también en trabajos de campo con el agregado de baterías. Los datos se procesan en una computadora con un software amigable de reconocimiento muy versátil y posee una interface que permite el procesamiento de los datos utilizando los siguientes algoritmos avanzados de clasificación: PCA, Fisher y Clasificadores Lineales [4-6]

Integración por partes: Puesto que la eNose tiene un hardware propio con un sistema de adquisición de datos para guardar las mediciones, este equipo se debe montar preferentemente en la parte superior del dron. La alimentación eléctrica del dispositivo eNose se realizará con un paquete de baterías de Li-Ion. A su vez se debe montar un sistema GPS, para geolocalizar y sincronizar temporalmente las mediciones de la eNose. De esta manera se tendrán los resultados de las mediciones correlacionadas con la posición física del dron y la hora de medición. La trayectoria del dron se programará según las distintas necesidades de medición y las zonas de interés. Una vez concluida la etapa de caracterización de los diferentes sistemas se procederá a la aplicación del análisis de una zona de interés.

A continuación se muestran diferentes partes del dron y sus características.

### Motores y Hélices

Se ha seleccionado para el dron 4 motores Readytosky 2212 920kv y las hélices más adecuadas, ver Fig. 1. A continuación se describen sus principales características:

- Dimensión de cada motor: 22 x 12 mm
- KV: 920 rpm/V
- Voltaje: CC 7-12 V
- Peso: 53g
- Hélices: modelo 1045



**Figura 1.** Motor RS 2212 y Hélices modelo 1045

### Variadores de velocidad o ESC (*Electronic Speed Controller*)

El modelo de ESC elegido es el Simonk 30A, ver Fig. 2, sus principales características son:

- Corriente máxima (burst): 40A por 10 seg.
- Corriente constante: 30A,
- BEC (*Battery Elimination Circuit*): 3A.
- Batería adecuada: 2-3S LiPo
- Dimensiones LxWxH: 45 x 24 x 9 mm
- Peso: 23g



**Figura 2.** Variador de velocidad (ESC) Simonk 30A

### Controlador de Vuelo

Se ha elegido el controlador de vuelo Pixhawk PX4 Autopilot PIX 2.4.8 de 32 Bits por sus múltiples características, ver Fig. 3. Cuenta con un sistema operativo en tiempo real (RTOS), múltiples interfaces de comunicación, sistema de alimentación de respaldo, modos de vuelo manual y automático y la posibilidad de registrar datos de vuelo en una tarjeta SD. El kit elegido además incluye un módulo GPS y telemetría.

#### Características:

- Microcontrolador de 32 bits CortexM4 de alto rendimiento, puede ejecutar NuttX RTOS en tiempo real.
- Posee 14 salidas PWM/servo.
- Posee interfaces UART, I2C, SPI, SBUS Futaba, PPM, RSSI.
- Posee entrada compatible con receptor satelital Spektrum DSM/DSM2/DSM-X
- Posee Interfaz externa MICRO USB

#### Sensores incorporados:

- Giroscopio digital de 3 ejes L3GD20 16
- Acelerómetro LSM303D de 3 ejes 14/magnetómetro
- Acelerómetro/magnetómetro de 6 ejes MPU6000
- Barómetro de precisión MS5607





**Figura 3.** Kit Controlador de Vuelo Pixhawk 2.4.8

#### Equipo Transmisor/Receptor

El enlace con el dron se realiza mediante el transmisor Radiolink AT9S 2,4G 9CH con un receptor R9DS AT9, ver Fig. 4.

Características:

- Dimensiones: para el AT9S: 183 x 100 x 193 mm, para el R9DS: 41 x 23 x 14mm
- Peso: 0.88 kg
- Frecuencia: 2.4GHz banda ISM (2400MHz a 2483.5MHz)
- Modulación: QPSK
- Ancho de banda de canal: 5 MHz y 250 kbps
- Potencia del transmisor: <100mW (20dbm )
- Corriente de operación: <90mA
- Tensión de operación: 7.4~18.0V
- Distancia de control: más de 900 metros sobre suelo, 1500 metros en el aire. La distancia de control depende las características del ambiente del vuelo.
- Canales: 9
- Pantalla: 2.8" 240 x 320 píxeles, 16 colores.



**Figura 4. a.** Transmisor RadioLink AT9S. **b.** Receptor RadioLink R9DS

### Estructura del dron

Para la implementación de la estructura del dron, se fabricaron las piezas mediante una impresora 3D. Las impresoras 3D permiten realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas de cualquier tipo de complejidad a partir de un diseño hecho en computadora.

Para el armazón del dron, se utilizó un diseño de Thingiverse. Esta comunidad online es un espacio de sociabilización administrado por la compañía de impresión 3D Makerbot. Es un sitio para compartir diseños de objetos que pueden ser impresos en 3D. En el caso, de los drones, hay muchos modelos disponibles para imprimir, sin embargo, se tienen que seleccionar correctamente las estructura para obtener una mejor rigidez y conservar un bajo peso.

En la Fig. 5 se muestran dos modelos de brazos del cuadricóptero, se coloca un peso en cada brazo y se hacen oscilar. A mismo peso, el brazo tubular oscila menos que el brazo rectangular. Se elige el modelo de brazos tubulares, lo cual, mejorar la rigidez estructural. El controlador electrónico tiene que compensar las vibraciones de los brazos, por lo tanto, es fundamental tener buena rigidez de los mismos.

El diseño seleccionado permite ser impreso sin material de soporte, puede alojar una batería LiPo de 6000 mAh de 3 celdas o 4200 mAh de 4 celdas. Además, es posible alojar cámara y/o sensores en sus compartimientos.



**Figura 5.** Prueba de rigidez de los brazos del dron. Arriba: Brazo tubular Abajo: Brazo rectangular

En la Fig. 6, se muestran las diferentes partes impresas en impresora 3D, para ensamblar la estructura del dron. La estructura completa del dron sin electrónica pesa 480 gr. Mediante los cuidados necesarios se logró que los 4 brazos del dron tengan pesos similares.

Pieza	Tiempo	Altura de la capa	Relleno	Material
 x4	01h36m	0.35 mm	20 %	ABS
	10h04m	0.35 mm	20 %	ABS
	02h58m	0.35 mm	20 %	ABS
	01h36m	0.35 mm	20 %	ABS
 x4	06h01m	0.20 mm	50 %	PLA
	03h48m	0.35 mm	20 %	ABS

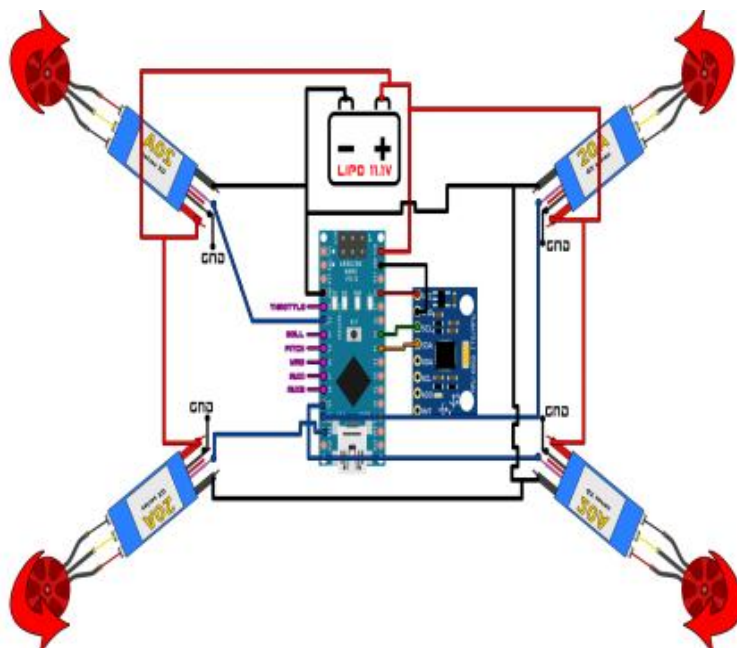
**Figura 6.** Piezas impresas del dron y características de impresión.

En el presente trabajo se tuvo que seleccionar las siguientes características del dron:

- La correcta estructura del dron para que tenga bajo peso y buena rigidez.
- Motores de medio kV.
- Batería óptima para 12 minutos de vuelo.
- Hélices.
- Corriente necesaria del controlador ESC.
- Controlador de vuelo.
- Autopiloto.

En la Fig.7. Se muestra un esquema típico de conexión del cuadricóptero. Los ESC hacen de interfaz entre los motores, la lógica de control y la batería. La batería energiza los ESC que a su vez energizan los motores. La lógica de control de los ESC está compuesta por tres señales: señal ESC, señal telemetría (la cual es opcional) y la conexión a tierra de la señal ESC. En este caso, la señal ESC de cada variador es

controlada por un pin PWM del sistema y las señales de tierra pueden conectarse a la tierra del sistema de control.



**Figura 7. Diagrama de conexión de los motores y variadores ESC al dron**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 8 se muestra el sistema de detección de gases (e-Nose) que se va a montar en el Dron. Consta de una placa que contiene los sensores de gas, la electrónica adecuada para medir la variación de resistencia de los sensores y un microcontrolador Arduino Nano 3.0. que procesa las señales.

El arreglo de sensores consta de 6 sensores de gas del tipo MOS (*Metal Óxido Semiconductor*) de la marca Microsens.

Parte del arreglo consiste en tres sensores **MSGGS-3000i**. El Sensor de Gases MSGGS-3000i detecta emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos, etanol y compuestos orgánicos volátiles

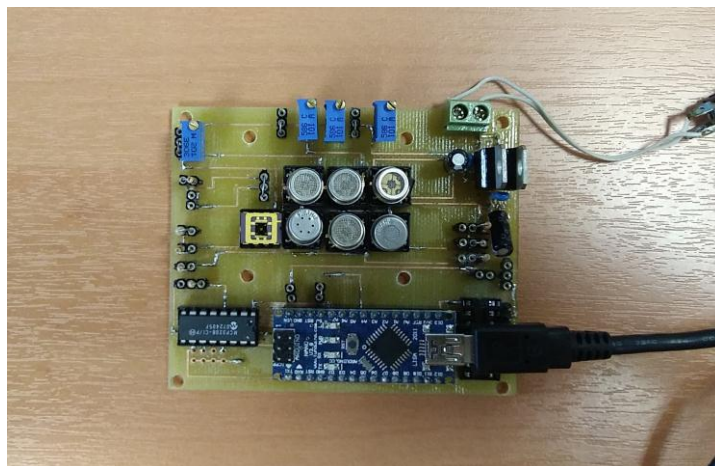
Gases detectables (indicados en ppm o partes por millón):

- CO: 1 – 1000ppm
- C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH: 10 – 500ppm
- H<sub>2</sub>: 1 – 1000ppm
- NH<sub>3</sub>: 1 – 500ppm
- CH<sub>4</sub>: >1000ppm

La otra parte del arreglo consiste en tres sensores **MSGGS-3007i**. El MSGGS-3007i detecta NO<sub>2</sub> en un rango de 0.05 a 5 ppm.

Debido a los zócalos integrados que posee la e-Nose, se puede cambiar fácilmente los sensores para detectar diferentes compuestos.





**Figura 8.** Placa e-Nose

En la Fig. 9 se muestra el Dron ensamblado.



**Figura 9.** Dron ensamblado **a.** vista superior. **b.** vista lateral



## CONCLUSIONES

La implementación de un sistema Dron eNose sería uno de los primeros en Argentina y la aplicación del mismo al estudio y detección de gases en zonas volcánicas.

Tender a la prevención y minimización de los impactos ambientales negativos que surjan del manejo de erupciones volcánicas. La innovación tecnológica del desarrollo propuesto podría aplicarse en otros campos del monitoreo. Por ejemplo para el control en zonas con alto riesgo de toxicidad por la emisión de sustancias contaminantes gaseosas, inaccesibles por contacto humano. A modo de ejemplo, entre otros, se citan plantas industriales de tratamiento de efluentes, zonas de proximidades a derrames tóxicos, emisiones naturales por parte de formaciones volcánicas.

## REFERENCIAS

- A.R. Webb, K.D. Copsey, "Statistical Pattern Recognition", Ed. 3, Wiley, 2011
- Bogner, J., Ahmed, M. A., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R., and Zhan, T. Climate Change 2007: Mitigation.
- Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Carlos Rinaldi, Juan Vorobioff, Estefanía Videla, Oscar Daniel Salomón and Alberto Lamagna Development of analytical methods based on Laser Vaporization electronic Nose for the detection of transmitters of Chagas disease, International Symposium on Olfaction and Electronic Nose, 2015.
- Carola Hanisch. Where Is Mercury Deposition Coming From? Environ. Sci. Technol., 32, 176-179, 1998
- M. Bartholmai and P. Neumann, Adaptive orts aufgelöste Gaskonzentrationsmessung mit einer Mikrodrohne, tm-Technisches Messen, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2011, 78, 470-478.
- Neumann, P., Bartholmai, M., Schiller, J. H., Manolov, M., and Wiggerich, B. (2010). "Self optimizing search and characterization of gaseous hazardous substance sources using a micro-drone: a new approach to determine wind speed and direction," in IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments (ROSE), Phoenix.
- P. Neumann, M. Bartholmai, J. H. Schiller, M. Manolov, and B. Wiggerich, Self-Optimizing Search and Characterization of Gaseous Hazardous Substance Sources using a Micro-Drone: A new Approach to determine Wind Speed and Direction, in: IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments (ROSE 2010), Phoenix, AZ, USA, 2010.
- P. Neumann, S. Asadi, J. H. Schiller, A. J. Lilienthal, and M. Bartholmai, Micro-Drone for Wind Vector Estimation and Gas Distribution Mapping, IEEE Robotics and Automation Magazine, 2012. 19, 1, 50-61.
- Pierpaoli K, Rinaldi CA, Azcárate ML; Lamagna A. Olive oil constituents, quality, health properties and bioconversions. Innovative Technique Combining Laser Irradiation Effect and Electronic Nose for Determination of Olive Oil Organoleptic Characteristics. Croacia, Rijeka: InTech, 2012. p. 147-162.
- R. Brereton, Chemometrics: "data analysis for the laboratory and chemical plant". West Sussex: Wiley and sons, Ltd. 2003
- S. M. Scott, D. James, Z. Ali, "Data analysis for electronic nose systems", Microchem. Acta 156, pp. 183-207. 2007.
- Scharff, H. (2008). Achieving Adequate Control of Landfill Gas in Europe. Waste Management World. Available at: <http://www.wastemanagementworld.com>

Svante Wold, Michael Sjostrom, Lennart Eriksson. PLS-regression: a basic tool of chemometrics, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 58, 2001, 109–130  
<http://www.redisa.uji.es/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20bio%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf>  
<http://www.ceamse.gov.ar/ciclo-de-la-basura/complejo-ambiental/tratamiento-de-gases/>

# ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES DE QUIRONÓMIDOS (DIPTERA: CHIRONOMIDAE) EN LAGOS DE PATAGONIA NORTE (ARGENTINA): UN ANÁLISIS ENTRE LAS ASOCIACIONES DE TAXA Y LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES LOCALES

Williams N.<sup>ab</sup> y Rizzo A.<sup>ab</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, Centro Atómico Bariloche, CNEA, Av. Bustillo km 9.5, 8400 Bariloche.

<sup>b</sup> Centro Científico Tecnológico CONICET. Patagonia Norte.

e-mail: [natywilliams86@gmail.com](mailto:natywilliams86@gmail.com)

## RESUMEN

Las cápsulas cefálicas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) fueron extraídas del sedimento superficial de siete lagos del noroeste de Patagonia para poder caracterizar la comunidad actual de quironómidos a lo largo de una transecta Oeste-Este. Estos lagos, además de sus diferencias morfológicas y físico-químicas, se encuentran rodeados de distintos tipos de vegetación: alto-andina, bosque mixto y estepa arbustiva-graminosa. En este contexto, nuestro objetivo es determinar patrones actuales de distribución de taxa de quironómidos en ambientes con características ambientales disímiles en Patagonia Norte. Mediante un análisis multivariado (NMDS), se determinó que la composición de taxa mostró variaciones asociadas al lago de procedencia. De este modo, en el Lago Tonček, un ambiente de altura, dominaron taxa estenotérmicos fríos (*Pseudosmittia* cf. *P. sp. 2*, *Cricotopus*, *Podonomus* y *Parochlus-type*); y en El Toro, una laguna salobre de estepa, *Polypedilum sp.1* fue dominante. Si bien los lagos rodeados de bosque mixto del Parque Nacional Nahuel Huapi y estepa de transición próximos al Área Natural Protegida Copahue presentaron una comunidad similar de quironómidos (dominada por morfotipos de *tanytarsini* y *Dicrotendipes sp.*), el Lago Moreno Oeste presentó una mayor diversidad de taxa representada principalmente por *Riethia sp.*, *Ablabesmyia sp.* y *Apsectrotanypus sp.* Las principales variables ambientales que correlacionaron con la distribución de quironómidos fueron la conductividad, el pH, la transparencia del agua y la altitud. Una mayor altitud y transparencia del agua estuvo asociada con los taxa “fríos” del lago Tonček, mientras que el pH y la conductividad correlacionaron positivamente con aquellos taxa representativos de la laguna El Toro. Los patrones de distribución de quironómidos evidencian la relación entre los distintos taxa y ambientes lacustres disímiles dentro de un gradiente climático-ambiental en Patagonia Norte, fortaleciendo el valor potencial de sus restos cefálicos como indicadores de condiciones limnológicas y climáticas pasadas en la región.

**Palabras Clave:** Restos cefálicos, comunidad actual, indicadores ambientales, Patagonia.

## INTRODUCCIÓN

La Familia Chironomidae (Insecta: Diptera) es uno de los grupos de macroinvertebrados bentónicos más representativos en los cuerpos de agua continentales, caracterizados tanto por su abundancia como por su elevado número de especies (Pinder, 1986; Paggi, 2001). Sus estados inmaduros conforman un grupo

heterogéneo de especies asociado a una amplia variedad de ambientes, ya que las larvas se encuentran bajo el mayor rango de condiciones que cualquier otro grupo de insectos acuáticos. La comunidad de quironómidos responde a la concentración de oxígeno, disponibilidad de alimento, temperatura, salinidad, acidez y régimen sedimentario, presentando algunas especies óptimos ecológicos estrechos. (Coffman y Ferrington, 1996). Entonces, la composición de especies de quironómidos en un lugar determinado refleja las características de ese sitio y, por lo tanto, son buenos indicadores de las condiciones ambientales (Brodersen y Anderson, 2002). Estas características han hecho de las larvas de Chironomidae una herramienta ampliamente utilizada en estudios de biomonitoring como indicadores de las condiciones tróficas de los lagos (Saether, 1979; Rosenberg, 1992).

Debido a que las cápsulas cefálicas de las larvas de quironómidos son abundantes y frecuentemente bien preservadas en los sedimentos lacustres, éstas han sido utilizadas en estudios paleolimnológicos para realizar interpretaciones ambientales (Walker, 2001). Por lo tanto, el conocimiento acerca de la biología y las preferencias ecológicas de los taxa permite, a partir del estudio de los restos quitinosos, una mayor solidez en las inferencias de las condiciones pasadas en los ecosistemas acuáticos estudiados. El análisis de la estructura de la comunidad de quironómidos permite su aplicación en la reconstrucción ambiental y, por lo tanto, su conexión con el cambio climático, la acidificación, las fluctuaciones del nivel del agua, la salinidad y la eutrofización (Hofmann, 1986; 1988; Walker, 1987; 2001; Brooks, 2003; Il'yasuk e Il'yasuk, 2004).

El gradiente de altitud es una variable importante que explica la variación de la comunidad de quironómidos entre distintos ambientes, ya que numerosos factores varían en función de la misma (Ej.: temperatura del agua, disponibilidad de alimento, vegetación circundante, etc.). En zonas montañosas remotas, la altitud es considerada la principal variable que determina las condiciones de vida, ya que está estrechamente relacionada con el gradiente climático (Lotter et al., 1997). Por lo tanto, el estudio de las distribuciones de quironómidos actuales en distintos ambientes lacustres es útil para reconocer taxones que muestren patrones de abundancia con respecto a la altitud y sus variables relacionadas.

A pesar de que la información acerca de la fauna de quironómidos de la región andino-patagónica ha mejorado considerablemente, el conocimiento sobre esta familia aún es fragmentario, especialmente para las larvas. Es por esto que son necesarios estudios basados en la relación entre las asociaciones de quironómidos y sus óptimos ecológicos (Puntí et al., 2009). En los últimos años, el aumento de los estudios paleolimnológicos que utilizan quironómidos en la Patagonia ha demostrado la relación de este grupo de insectos con los cambios ambientales que ocurrieron durante la transición del Pleistoceno/Holoceno (Ariztegui et al., 1997; Bianchi et al., 1999). Otros trabajos han utilizado quironómidos para comprender las variaciones climáticas del último milenio, para estudiar el impacto de las depositaciones de ceniza volcánica (tefra) en ecosistemas lacustres y para investigar la respuesta de esta comunidad a largo plazo frente a impactos ambientales naturales y antropogénicos (Massaferro y Brooks, 2002; Araneda et al., 2007; Massaferro, 2009; Massaferro et al., 2005; Massaferro y Larocque-Tobler, 2013; Williams et al., 2016; 2019; Massaferro et al., 2017; Montes de Oca et al., 2017).

Para ampliar la información ecológica de la Familia Chironomidae y mejorar su uso como indicadores ambientales en la región Patagonia Norte (Argentina), este trabajo





altura, de origen glaciar, situado en el Cerro Catedral y rodeado de *vegetación alto-andina*. El lago El Toro es una pequeña laguna salobre en la ecorregión esteparia, rodeado de *vegetación arbustiva y pastizales* y localizado en la Patagonia extra-Andina (Coviaga et al., 2017). Los lagos Portezuelo y Hualcupén son ambientes lacustres ubicados en una región de la estepa arbustiva-graminosa de transición con islotes de Pehuén, y afectados por la actividad del volcán Copahue (Ribeiro Guevara et al., 2019) (ver Fig. 1).

**Tabla I.** Principales características ambientales de los lagos seleccionados.

	Tonček	El Toro	Moreno Oeste	El Trébol	Morenito	Portezuelo	Hualcupén
Latitud (S)	41° 12'	40° 20'	41° 3'	41° 03'	41° 05'	37° 54'	37°56'
Longitud (O)	71° 29'	70° 30'	71° 32'	71° 31'	71° 03'	71° 02'	71°02'
Vegetación	Alto-andina	Estepa	Bosque mixto	Bosque mixto	Bosque mixto	Estepa	Estepa
Altitud (m s.n.m.)	1750	1025	758	780	760	1735	1553
Prof. max (m)	12	4	90	12	15	6,5	15
Disco de Secchi (m)	9	4	20	4	4	5,7	4,25
pH	7	10	7,39	7,6	7,9	8,5	7,1
Conductividad ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	12,3	2510	37	67,5	68	185	30
COD ( $\text{g m}^{-3}$ )	0,49	-	0,82	1,7	1,93	-	-
Chl <i>a</i> ( $\text{mg m}^{-3}$ )	0,55	1,98	1	1,34	1,2	0,2	1,8
Fósforo total (FT) ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	7	-	3,89	6,2	12,9	16	20

Los lagos seleccionados se encuentran en el noroeste de la Patagonia argentina, entre los 37° 54' y 41° 12' Sur y entre 70° 30' y 71° 32' Oeste (ver Tabla I). Esta área está limitada hacia el lado occidental por las montañas de los Andes y hacia el lado oriental por la estepa patagónica. Los fuertes y frecuentes vientos del oeste del Océano Pacífico pierden la mayor parte de su humedad en los Andes, creando un pronunciado gradiente de precipitación, de 3000 mm en el oeste a menos de 500 mm en el este (Paruelo et al., 1998). Las mayores precipitaciones ocurren en los meses más fríos del año (abril a septiembre) (León et al., 1998). En asociación con este gradiente de precipitación, también hay un fuerte gradiente de vegetación, desde zonas boscosas cerca del límite con Chile hasta un clima árido y bioma de estepa hacia al este, en las cercanías de Pilcaniyeu (Neuquén) (Matteucci, 2018).

## **MUESTREO DE LAS SECUENCIAS Y ANÁLISIS DE QUIRONÓMIDOS**

Se extrajo una secuencia sedimentaria del fondo de cada lago mediante un muestreador de gravedad activado con un mensajero. Las secuencias se cortaron longitudinalmente utilizando una sierra circular portátil y se abrieron en dos secciones semicilíndricas deslizando una placa de cobre a través del sedimento. Los 0-3 cm superiores de sedimento, cuya comunidad subfósil de quironómidos se considera análoga a la comunidad moderna (Frey, 1988), se separaron para su posterior análisis en el laboratorio. Si bien no se sabe con certeza el período exacto de tiempo que representan estos cm, los perfiles de  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{137}\text{Cs}$  sugieren que los 0-1 cm superiores representan 5-10 años de acumulación (Ribeiro Guevara et al., 2003). Los métodos de

datación se detallan en Ribeiro Guevara y Arribére (2002) y Ribeiro Guevara et al. (2003).

Las cápsulas cefálicas fueron separadas del sedimento bajo lupa binocular (400x) y fijadas entre porta y cubreobjetos siguiendo el método estándar de Walker (2001). Luego, fueron determinadas con un aumento de 600-1000 X (microscopio hund Wetzlar AFL 50/100) hasta la mayor resolución taxonómica posible, comúnmente hasta géneros o morfotipos (sensu Brooks et al., 2007). Las cápsulas cefálicas de quironómidos se determinaron con referencia a la literatura taxonómica disponible (Wiederholm, 1983; Coffman y Ferrington, 1996; Cranston, 2000; Epler, 2001). Además, para determinar a los miembros de Tanypodinae, se utilizó el trabajo de Rieradevall y Brooks (2001) basado en la disposición de las setas cefálicas; y para los morfotipos de la tribu Tanytarsini (Chironominae) se siguió a Massaferró et al. (2013) basado en el pedestal antenal, premandíbula, mentón y placas ventromentales.

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Los datos de las comunidades de quironómidos en los distintos ambientes fueron ingresados en el programa TILIA 2.0 (Grimm, 1987), y convertidos a datos porcentuales. El grado de asociación de taxa de quironómidos para cada lago se determinó según el índice de preferencia relativa (RPI) (Tickner et al., 2000), que se calcula dividiendo la abundancia de cada taxón en un lago determinado por su abundancia total (ver Tabla II). El RPI puede variar entre 0 y 1, lo que significa que no hay preferencia o que hay una fuerte afinidad por un hábitat particular, respectivamente.

Para describir la distribución espacial de los conjuntos de quironómidos, se realizó un análisis de Escalamiento Multidimensional no métrico (NMDS; Kruskal y Wish, 1978) usando una agrupación por promedios a partir de una matriz de similitud de Bray-Curtis generada en base a los valores de abundancia relativa transformados para cada taxon y lago. El índice de Bray-Curtis compara la densidad de cada taxón, así los sitios que comparten taxones con densidades comparables se consideran más similares y como resultado, están más cerca en el espacio multivariante (Jongman et al., 1995). La ventaja del NMDS sobre otros métodos de ordenación es que no se hacen suposiciones sobre cómo se distribuyen los taxones a lo largo de los gradientes ambientales (Kenkel y Orloci, 1986).

Luego, se realizó un Análisis de Cluster Jerárquico Aglomerativo (CLUSTER), usando una agrupación por promedios (Clarke y Warwick, 2001) a fin de visualizar de otro modo nuevos grupos de ensambles de quironómidos. Posteriormente, se utilizó la prueba de análisis de similitudes (ANOSIM) y el procedimiento de porcentaje de similitud (SIMPER) de la composición de los taxa para determinar cuáles de ellos contribuyen en mayor medida a las diferencias entre los distintos grupos generados según el NMDS y el CLUSTER (Clarke y Warwick, 2001).

Por último, para estudiar la relación entre las variables ambientales y las abundancias relativas de los taxa de quironómidos, se aplicó un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) utilizando el programa CANOCO 4.5 (ter Braak y Šmilauer, 1998). De las variables ambientales presentadas en la Tabla I, en este análisis se incluyeron la altitud, profundidad máxima, transparencia del agua (disco de Secchi), pH, conductividad y clorofila *a*. Dado que los valores de carbono orgánico disuelto (COD) y fósforo total (FT) no están disponibles para todos los lagos, estas variables no fueron consideradas.

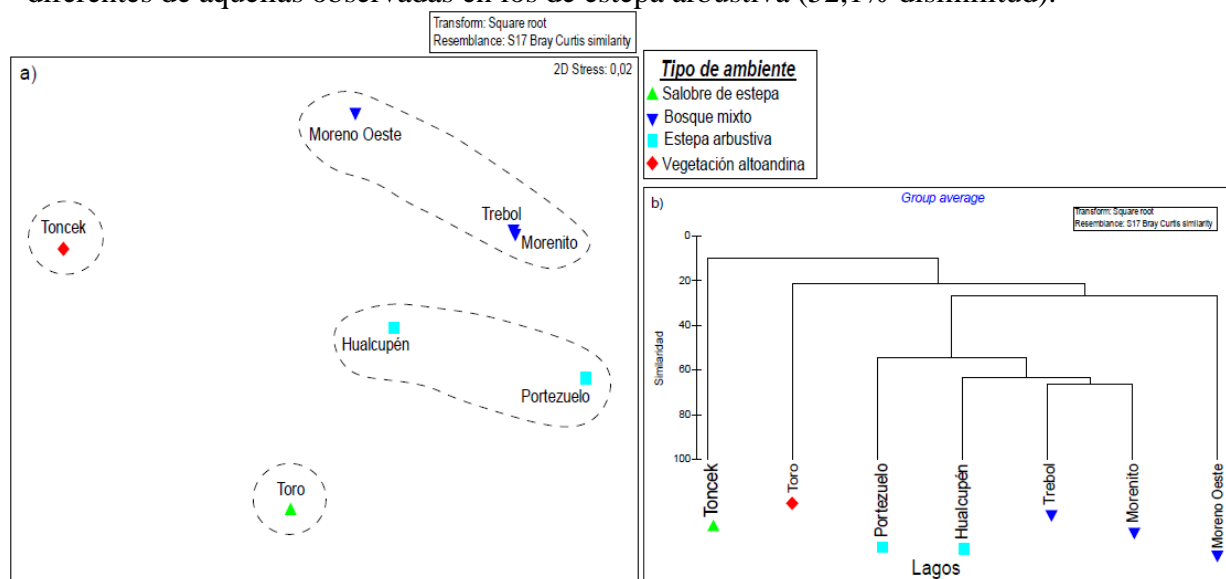
Los taxa raros, aquellos que no alcanzan una abundancia relativa de  $\geq 1\%$  en al menos dos muestras, no fueron considerados en los análisis estadísticos.

## RESULTADOS

### *Caracterización general de las asociaciones de quironómidos*

Se determinaron 33 taxa de quironómidos en las muestras superficiales de las secuencias sedimentarias de los 7 lagos, de los cuales 16 pertenecen a la subfamilia Chironominae (8 Chironomini, 7 Tanytarsini y 1 Pseudochironomini), 6 a Orthocladiinae, 7 a Tanypodinae, 3 a Podonominae y 1 a Prodiamesinae. Los taxa más abundantes fueron Tanytarsini morfotipo **1B** (12,6 % en total), Tanytarsini morfotipo **1A** (12,3 %), *Polypedilum* sp.1 (12,3 %), *Dicrotendipes* sp. (9,3 %) y *Cricotopus* sp. (6,7 %). Además de estos taxa, se registraron otros con menores abundancias relativas, como *Chironomus* sp. (6,7 %), *Parapsectrocladius* sp. (5,8 %), *Ablabesmyia* sp. (5 %) y *Apsectrotanypus* sp. (4,8 %).

De acuerdo a las semejanzas en las asociaciones de quironómidos de los diferentes lagos, el NMDS permitió visualizar un buen ordenamiento de las muestras de ensambles de quironómidos con un factor de stress de 0,02 (ver Fig. 2a). Según esta distribución, se establecieron agrupamientos acordes a los tipos de vegetación circundante a los lagos seleccionados, lo cual fue corroborado con un test de ANOSIM y análisis SIMPER. De este modo, las comunidades de quironómidos registradas en el ambiente de altura (Tonček) y en la laguna salobre de estepa (El Toro) fueron significativamente diferentes entre ellas (87% de disimilitud). Además, El Toro se diferenció notablemente de los lagos rodeados de bosque mixto (Moreno Oeste, Trebol y Morenito) (79,6% disimilitud) y estepa de transición (Portezuelo y Hualcupén) (76,9% disimilitud). A su vez, la composición de quironómidos del lago Tonček se diferenció significativamente de los lagos rodeados de bosque mixto (91,7% disimilitud) y de estepa arbustiva (88,9% disimilitud). Por el contrario, la comunidad de quironómidos presentes en los lagos de bosque mixto no fueron significativamente diferentes de aquellas observadas en los de estepa arbustiva (52,1% disimilitud).



**Figura 2. a.** Análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (NMDS) basado en la abundancia relativa (%) de quironómidos en cada lago, mostrando los principales agrupamientos; **b.** Análisis de Cluster Jerárquico Aglomerativo (CLUSTER).

En el análisis de CLUSTER (ver Fig. 2b), en concordancia con el NMDS, puede observarse que las comunidades de los lagos Tonček y El Toro son significativamente diferentes del resto y entre ellas. El Lago Tonček se caracteriza por la presencia de taxa que no fueron observados en los otros sitios. A nivel genérico, *Pseudosmittia* cf. *P.* sp. 2 (Roback and Coffmann, 1983, pp. 39, fig. 199–201) fue el más abundante (32,2%), seguido por *Parapsectrocladius* (25,5%) y *Apsectrotanypus* (22,9%) (RPI= 1, 0,6 y 0,7, respectivamente; ver Tabla II). Algunos taxa menos abundante incluyen a *Cricotopus* (15,8%), y otros pertenecientes a la Subfamilia Podonominae, como *Parochlus*-type (1,8%), y *Podonomus* (1,9%). El lago El Toro se caracteriza por la notable dominancia de *Polypedilum* sp.1 (72,5 %) (RPI= 0,9; ver Tabla II), seguido de *Polypedilum* sp. 2 (8,7 %) y *Cricotopus* (7,3 %).

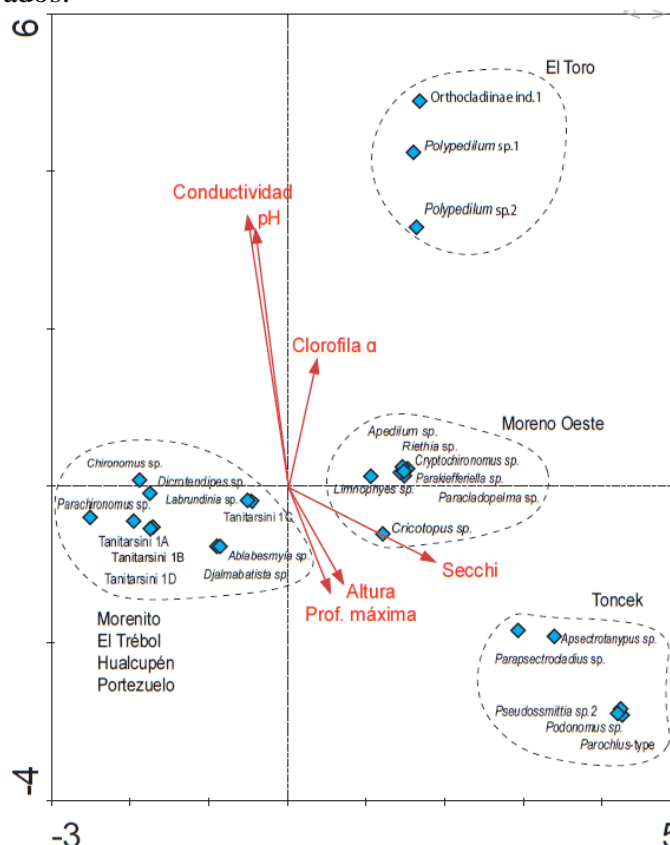
El resto de los lagos ubicados en la región de bosque mixto del PNNH (Moreno Oeste, Morenito y Trébol) y en la zona de estepa de APN-C (Portezuelo y Hualcupén) se agruparon juntos y se caracterizan por sus similitudes respecto de la presencia de algunos taxa como ciertos morfotipos de Tanytarsini (1A, 1B, 1D), *Chironomus* sp., *Dicrotendipes* sp. y *Ablabesmyia* sp. (ver Fig. 3). Sin embargo, el Lago Moreno Oeste presentó una composición notablemente disímil del resto de los ambientes de este grupo, caracterizado por una alta diversidad y riqueza de especies, y mayor abundancia relativa de ciertos taxa como *Parakiefferiella* sp., *Riethia* sp., *Cryptochironomus* sp., etc.

**Tabla II.** Principales taxa de quironómidos asociados con cada lago y su índice de preferencia relativa (RPI). RPI  $\geq 0.5$  se indican en negrita y subrayados.

	Poly sp.1	Chiro sp.	Parach sp.	Parap sp.	Tani 1B	Tani 1A	Tani 1D	Dicro sp.	Ablab sp.	Apsect sp.	Rieth sp.	Pseud sp. 2	Crico sp.
Toro	<b><u>0,9</u></b>	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Trébol	0,0	0,2	0,1	0,0	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Moreno Oeste	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	<b><u>0,9</u></b>	0,0	0,0
Portezuelo	0,0	<b><u>0,5</u></b>	<b><u>0,9</u></b>	0,0	0,1	0,2	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hualcupén	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	<b><u>0,5</u></b>
Morenito	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,2	<b><u>0,6</u></b>	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Toncek	0,0	0,0	0,0	<b><u>0,6</u></b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b><u>0,7</u></b>	0,0	<b><u>1,0</u></b>	0,3

La figura 3 muestra el diagrama de ordenación resultante del CCA, entre los lagos seleccionados, las características ambientales consideradas y los patrones de distribución de los taxones. Los conjuntos de quironómidos observados en el lago Tonček se ubican en el cuadrante inferior derecho del diagrama, mientras que la fauna de quironómidos del lago El Toro se muestra en el cuadrante superior derecho. Los lagos con cuencas boscosas y estepa arbustiva-graminosa de transición se encuentran cerca del centro del diagrama, con las asociaciones del lago Moreno Oeste ubicadas hacia la derecha. Las variables ambientales se introdujeron como variables suplementarias (pasivas) en este análisis, sin embargo, están fuertemente correlacionadas con la distribución de taxones.

El CCA mostró que los ejes canónicos extraídos explicaron un alto porcentaje de la variabilidad de los taxa de quironómidos. El primer eje describió el 31,8% de la variabilidad y estuvo correlacionado positivamente con la transparencia del agua (Secchi). El segundo eje explicó el 29,3% de la variabilidad y estuvo correlacionado negativamente con la altura y la profundidad máxima, y positivamente con la conductividad y el pH. De acuerdo a estos resultados, el primer y segundo ejes describen el 61 % de las relaciones entre los taxa de quironómidos y los factores ambientales considerados.



**Figura 3.** Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) analizando la relación entre los taxa de quironómidos y las variables ambientales medidas en los lagos estudiados.

## DISCUSIÓN

Los patrones de distribución de quironómidos evidencian la relación entre los distintos taxa y los ambientes lacustres disímiles ubicados en un gradiente climático-ambiental en Patagonia Norte, aumentando el potencial de sus restos cefálicos como indicadores de condiciones limnológicas y climáticas asociadas, y ampliando la información ecológica para este grupo de insectos en la región.

Los análisis estadísticos comparativos entre las comunidades de quironómidos de los lagos, permitieron caracterizar los ambientes lacustres ubicados a lo largo del gradiente climático-ambiental. De esta manera, el lago de altura (Tonček) presentó una comunidad caracterizada por taxa estenotérmicos fríos, la laguna salobre de estepa (El Toro) estuvo dominada por la presencia de taxa asociados a hábitats litorales (Williams et al., 2016) y los ambientes de la zona de bosque mixto y estepa de transición presentaron una comunidad diversa dominada por taxa estenotérmicos templados.

En el lago Tonček, la dominancia de taxones estenotérmicos fríos (*Pseudosmittia* cf. *P.sp.2*, *Assectrotanypus*, *Podonomus* y *Parochlus*-type) identifican a



este ambiente como un lago de altura (Massaferro y Brooks, 2002; Massaferro y Larocque-Tobler, 2013; Williams et al., 2019). Además, este lago se caracteriza por estar cubierto por una capa de hielo durante seis a ocho meses anuales y por su escaso desarrollo litoral y sublitoral debido a la abrupta pendiente hacia la zona más profunda. Por lo tanto, en este tipo de ambiente, factores como la baja temperatura, la cubierta de hielo y la morfometría de la cubeta juegan un papel importante en la determinación de la composición y estructura de la comunidad de quironómidos (Zhang et al., 2012; Williams et al., 2019).

La dominancia de *Pseudosmittia* cf. *P. sp. 2* se asocia con los humedales que rodean el lago Tonček ya que este taxón es predominantemente semiterrestre a terrestre (Wiederholm, 1983). Las larvas de *Cricotopus* viven frecuentemente sobre macrófitas acuáticas, algas y cianobacterias (*Nostoc*), por lo que en este ambiente podrían estar asociadas con musgos de la familia Amblystegiaceae (Motta, 2017; Williams et al., 2019). Las larvas de *Apsectrotanypus* generalmente se encuentran en arroyos fríos y pequeños cuerpos de agua (Wiederholm, 1983). La presencia de la subfamilia Podonominae (*Podonomus*, *Parochlus*-type y Podonominae ind.1) se considera un indicador de ambientes fríos porque este grupo es esencialmente tolerante a las bajas temperaturas y requiere altas concentraciones de oxígeno (Massaferro y Larocque-Tobler, 2013).

La laguna El Toro presenta una cuenca salina endorreica, hidrogeográficamente aislada de los Andes. En este ambiente, la evapotranspiración es el proceso dominante debido al “efecto barrera” de la cordillera y la fuerte radiación solar (Modenutti et al., 1998; Coviaga et al., 2017), siendo frecuentes los cambios en la salinidad del agua. A su vez, las mayores precipitaciones favorecen el ingreso de material alóctono al lago, generando una mayor disponibilidad de nutrientes (Itkonen et al., 1999). Estas condiciones ambientales influyen en la comunidad de quironómidos, la cual debe incluir taxa capaces de tolerar amplios rangos de salinidad, lo que implica elevados niveles de pH y conductividad (Coviaga et al., 2017).

La dominancia de *Polypedilum* sp.1 en este tipo de ambiente puede asociarse con la expansión de los hábitats litorales provocados por las continuas variaciones en el nivel del agua, ya que este taxa ha sido previamente registrado en las áreas vegetadas de las zonas costeras de los lagos (Williams et al. 2016). Otros estudios afirman que este taxa está adaptado a resistir fuertes períodos de sequías, ya que ha sido observado en otras lagunas semipermanentes (Laguna Cháltel y Los Juncos) dentro de la estepa patagónica (Ohlendorf et al., 2014; Fuentes y Donato, 2014). Además, los valores óptimos de salinidad registrados en otros lagos del mundo para *Polypedilum* evidencian elevados rangos en comparación con otros taxa (Por ej.: 573 mg/L en lagos canadienses y 1428 mg/L lagos tibetanos; Walker et al., 1995; Zhang et al., 2007). Considerando estas investigaciones, se afirma que el género *Polypedilum* incluye especies particularmente adaptadas a vivir en este tipo de ambiente.

Los ambientes ubicados en la zona de bosque mixto y estepa arbustiva presentan una composición similar de quironómidos, compuesta por taxa estenotérmicos templados (morfotipos del grupo Tanytarsini, mayormente 1A y 1B), algunos asociados a hábitats litorales con altas temperaturas (*Ablabesmyia* sp.) o bajas (*Dicrotendipes* sp.), y otros comunes en zonas profundas (*Chironomus* sp.) (Williams et al., 2016; 2019). Entre los lagos localizados en la estepa arbustiva-graminosa de transición, se observa que la comunidad de quironómidos del lago Hualcupén se identifica por la presencia de *Chironomus* sp. En cambio, la laguna Portezuelo presenta mayor abundancia de taxa de

hábitos litorales o conocidos por vivir asociados a la vegetación sumergida, tales como *Parapsectrocladius* sp. y *Parachironomus* sp., evidenciando sus diferencias de profundidad.

Si bien el Lago Moreno Oeste presenta una composición similar de especies, se diferencia por una mayor diversidad de taxa, cuya composición es típica de lagos rodeados por bosques de *Nothofagus* spp. dentro del NHNP según Donato et al. (2008) y Añón Suárez (1991). Este lago, al presentar una mayor heterogeneidad espacial, brinda una mayor disponibilidad diversidad de hábitats y de alimentos, áreas de reproducción y refugios contra depredadores, lo que aumenta la coexistencia de un mayor número de especies (Begon et al. 1999; Tolonen et al. 2001; Stoffels et al. 2005). Esto sumado a los distintos tipos de sustrato físicamente complejos (madera, hojas, grava o adoquines, macrófitas, musgos), le brindan a este tipo de ambientes la capacidad de soportar una comunidad zoobéntica más diversa que aquellos estructuralmente simples (Miserendino 2001; Lencioni y Rossaro 2005).

## CONCLUSIONES

Los patrones de distribución de quironómidos evidencian una relación entre los distintos taxa y las características ambientales disímiles de varios lagos dentro de un gradiente climático-ambiental en Patagonia Norte. La información obtenida en este estudio contribuye a nuestra comprensión de la ecología general de la Familia Chironomidae en Patagonia Norte. Además, es considerada de valiosa utilidad para fortalecer los estudios de biomonitorio de condiciones limnológicas y climáticas pasadas en la región.

## REFERENCIAS

- Añón Suarez, D. Distribución del bentos del lago Escondido (Río Negro, Argentina) con especial énfasis en los quironómidos (Diptera: Chironomidae). *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* 26, 149–157 (1991).
- Araneda, A., Cruces, F., Torres, L., Bertrand, S., Fagel, N., Treutler, H.C., Chirinos, L., Barra, R. and Urrutia, R. Changes of sub-fossil chironomids assemblages associated with volcanic deposition in an Andean lake (38°S), Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 80, 141–156 (2007).
- Ariztegui, D., Bianchi, M.M. and Massafiero, J. Interhemispheric synchrony of Late-glacial climatic instability as recorded in proglacial Lake Mascardi, Argentina. *J. Quaternary Sci.* 12, 333–338 (1997).
- Begon, M., Harper, J.L. and Townsend, C.R. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. 3º edición, Ediciones Omega, pp. 1148 (1999).
- Bianchi, M.M., Massafiero, J., Román Ross, G., Amos, A.J. and Lami, A. Late Pleistocene and early Holocene ecological response of Lake El Trébol (Patagonia, Argentina) to environmental changes. *J. Paleolimnol.* 22, 137–148 (1999).
- Brodersen, K.P. and Anderson, N.J. Distribution of chironomids (Diptera) in low arctic West Greenland lakes: Trophic conditions, temperature and environmental reconstruction. *Freshw. Biol.* 47, 1137–1157 (2002).
- Brooks, S.J. Chironomid analysis to interpret and quantify Holocene climate change. En: Mackay A.W., R.W. Battarbee, H.J.B. Birks & F. Oldfield (eds), *Global Change in the Holocene*. Arnold, London, pp. 328–341 (2003).
- Clarke, K.R. and Warwick, R.M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 216, 265–278 (2001).
- Coviaga, C., Rizzo, A., Pérez, P., Daga, R., Poiré, D., Cusminsky, G. and Ribeiro Guevara, S. Reconstruction of the hydrologic history of a shallow Patagonian steppe lake during the past 700 yr, using chemical, geologic, and biological proxies. *Quat. Res.* 87:208–226 (2017).
- Cranston, P.S. Electronic guide to the Chironomidae of Australia (2000).
- Coffman, W.B. and Ferrington, L.C. Chironomidae. En: Merritt, W., Cummings, K.W. (eds.) *An introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Dubuque, Iowa. 2nd ed., pp. 551–643 (1996).

- Donato, M., Massaferró, J. and Brooks, S. Chironomid (Chironomidae: Diptera) checklist from Nahuel Huapi National Park, Patagonia, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 67, 163–170 (2008).
- Epler, J.H. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. EPA Region 4 and Human Health and Ecological Division. North Carolina Department of Environment and Natural Resources. Division of Water Quality. pp. 516 (2001).
- Frey, D.G. What is paleolimnology?. *J. Paleolimnol.* 1, 2–8 (1988).
- Fuentes, M.C. and Donato, M. Review of taxonomic status of *Polypedilum quinquasetosum* (Edwards, 1931) (Diptera, Chironomidae). *Rev. Soc. Entomol. Arge.* 73, 139–144 (2014).
- Grimm, E. A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comput. Geosci.* 13, 13–35 (1987).
- Hofmann, W. Chironomid analysis. En: Berglund, B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley and Sons, Chichester. pp. 715–727 (1986).
- Hofmann, W. The significance of chironomid analysis (Insecta: Diptera) for paleolimnological research. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 62, 501–509 (1988).
- Il'yasuk, E.A. and Il'yasuk, B.P. Analysis of chironomid remains from lake sediments in paleoecological reconstruction. *Water Resour. Bull.* 31, 203–214 (2004).
- Itkonen, A., Martilla, V., Meriläinen, J. and Salonen, V.P. 8000-year history of paleoproductivity in a large boreal lake. *J. Paleolimnol.* 21, 271–294 (1999).
- Jongman, R.H.G., ter Braak, C.J.F. and Van Tongeren, O.F.M. Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Cambridge University Press, Cambridge (1995).
- Kenkel, N.C. and Orloci, L. Applying Metric and Nonmetric Multidimensional Scaling to Ecological Studies: Some New Results. *Ecology.* 67, 919–928 (1986).
- Kruskal, J.B. and Wish, M. Multidimensional scaling. Newbury Park, CA: Sage (1978).
- Lencioni, V. and Rossaro, B. Microdistribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in Alpine streams: an autoecological perspective. *Hydrobiologia.* 533, 61–76 (2005).
- León, R.J.C., Bran, D., Collantes, M., Paruelo, J.M. and Soriano, A. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecol. Austral.* 8, 125–144 (1998).
- Lotter, A.F., Birks, H.J.B., Hofmann, W. and Marchetto, A. Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. I. Climate. *J. Paleolimnol.* 18, 395–420 (1997).
- Massaferró, J. Paleoecología: el uso de los quironómidos fósiles (Diptera: Chironomidae) en reconstrucciones paleoambientales durante el Cuaternario en la Patagonia. *Rev. Soc. Entomol. Arge.* 68, 209–217 (2009).
- Massaferró, J. and Brooks, S. Response of chironomids to late quaternary environmental change in the Taitao Peninsula, southern Chile. *J. Quat. Sci.* 17, 101–111 (2002).
- Massaferró, J. and Larocque-Tobler, I. Using a newly developed chironomid transfer function for reconstructing mean annual air temperature at Lake Potrok Aike, Patagonia, Argentina. *Ecol. Indic.* 24, 201–210 (2013).
- Massaferró, J., Ribeiro Guevara, S., Rizzo, A. and Arribére, M.A. Short-term environmental changes in Lake Morenito (41° S, 71° W, Patagonia, Argentina) from the analysis of sub-fossil chironomids. *Aquat. Conserv.* 15, 23–30 (2005).
- Massaferró, J., Ortega, C., Fuentes, R. and Araneda, A. Guía para la identificación de Tanytarsini subfósiles (Diptera: Chironomidae: Chironominae) de la Patagonia. *Ameghiniana.* 50: 319–334 (2013).
- Massaferró, J., Correa-Metrio, A., Montes de Oca, F. and Mauad, M. Contrasting responses of lake ecosystems to environmental disturbance: a paleoecological perspective from northern Patagonia (Argentina). *Hydrobiologia.* 816, 79–89 (2017).
- Matteucci, S.L. Bosques Patagónicos. En: Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos (2<sup>da</sup> Ed.). Buenos Aires, pp. 547–610 (2018).
- Miserendino, M.L. Macroinvertebrate assemblages in Andean Patagonian rivers and streams. *Hydrobiology.* 444, 147–58 (2001).
- Modenutti, B.E., Balseiro, E., Diéguez, M.C., Queimaliños, C. and Albariño, R. Heterogeneity of fresh-water Patagonian ecosystems. *Ecol. Austral.* 8, 155–165 (1998).
- Montes de Oca, F., Motta, L., Plastani, M.S., Laprida, C., Lami, A. and Massaferró, J. Reconstructing recent environmental changes using nonbiting midges (Diptera: Chironomidae) in two high mountain lakes from northern Patagonia, Argentina. *J. Paleolimnol.* 59, 175–187 (2017).

- Motta, L. Estructura de los ensambles de quironómidos (Diptera: Chironomidae) en gradientes altitudinales: Herramientas para estudiar cambios climáticos y ambientales. Defensa de tesis, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires (2017).
- Ohlendorf, C., Fey, M., Massafiero, J., Habertzetti, T., Laprida, C., Lücke, A., Maidana, N., Mayr, C., Oehlerich, M., Mercu, J.R., Willie, M., Corbella, H., St-Onge, G., Schäbitz, F. and Zolitschka, B. Late Holocene hydrology inferred from lacustrine sediments of Laguna Cháltel (southeastern Argentina). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 411, 229–248 (2014).
- Pinder, L.C.V. Biology of freshwater Chironomidae. *Annu. Rev. Entomol.* 31, 1–23 (1986).
- Paggi, A.C. Diptera: Chironomidae. En: Fernández, H.R. and E. Domínguez (eds.). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, pp. 167–193 (2001).
- Paruelo, J.M., Beltrán, A., Jobbágy, E., Sala, O.E. and Golluscio, R.A. The climate of Patagonia: General patterns and controls on biotic processes. *Ecol. Austral.* 8, 85–101 (1998).
- Puntí, T., Rieradevall, M. and Prat, N. Environmental factors, spatial variation, and specific requirements of Chironomidae in Mediterranean reference streams. *J. North. Am. Benthol. Soc.* 28, 247–265 (2009).
- Ribeiro Guevara, S. and Arribére, M.A.  $^{137}\text{Cs}$  dating of lake cores from the Nahuel Huapi National Park, Patagonia, Argentina: Historical records and profile measurements. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 252, 37–45 (2002).
- Ribeiro Guevara, S., Rizzo, A., Sánchez, R. and Arribére, M.A.  $^{210}\text{Pb}$  fluxes in sediment layers sampled from Northern Patagonia lakes. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 258, 583–595 (2003).
- Ribeiro Guevara, S., Rizzo, A., Daga, R., Williams, N. and Villa, S. Bromine as indicator of source of lacustrine sedimentary organic matter in paleolimnological studies. *Quat. Res.* doi:10.1017/qua.2018.125 (2019).
- Rieradevall, M. and Brooks, S.J. An identification guide to subfossil Tanypodinae larvae (Insecta: Diptera: Chironomidae) based on cephalic setation. *J. Paleolimnol.* 25, 81–99 (2001).
- Rosenberg, D.M. Freshwater biomonitoring and Chironomidae. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 26, 101–122 (1992).
- Saether, O.A. Chironomid communities as water quality indicators. *Holarct. Ecol.* 2, 65–74 (1979).
- Stoffels, R.J., Clarke, K.R. and Closs, G.P. Spatial scale and benthic community organization in the littoral zones of large oligotrophic lakes: potential for cross-scale interactions. *Freshw. Biol.* 50, 1131–1145 (2005).
- ter Braak, C. and Smilauer, P. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer power. Ithaca, N. Y., U. S. A. pp. 352 (1988).
- Tickner, D., Armitage, P.D., Bickerton, M.A. and Hall, K.A. Assessing stream quality using information on mesohabitat distribution and character. *Aquat. Conserv.* 10, 170–196 (2000).
- Tolonen, K.T., Hämäläinen, H., Holopainen, I.J. and Karjalainen, J. Influences of habitat type and environmental variables on littoral macroinvertebrate communities in a large lake system. *Arch. Hydrobiol.* 152, 39–67 (2001).
- Walker, I.R. Chironomidae (Diptera) in paleoecology. *Quaternary Sci. Rev.* 6, 29–40 (1987).
- Walker, I.R., Wilson, S.E. and Smol, J.P. Chironomidae (Diptera): quantitative palaeosalinity indicators for lakes of western Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52, 950–960 (1995).
- Walker, I.R. Midge: Chironomidae and related Diptera. En: Smol, J.P., Birks, H.J.B. and Last, W.M. (eds.), *Tracking environmental changes using lakes sediments. Volume 4: Zoological indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 43–66 (2001).
- Wiederholm, T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part I, Larvae. *Entomol. Scand. Suppl.* 19, 1–457 (1983).
- Williams, N., Rieradevall, M., Añón Suárez, D., Rizzo, A., Daga, R., Ribeiro Guevara, S. and Arribére, M.A. Chironomids as indicators of natural and human impacts in a 700-yr record from the northern Patagonian Andes. *Quat. Res.* 86, 120–132 (2016).
- Williams, N., Añón Suárez, D., Rieradevall, M., Rizzo, A., Daga, R., Arribére, M.A. and Ribeiro Guevara, S. Response of Chironomidae to environmental disturbances in a high mountain lake in Patagonia during the last millennium. *Quat. Res.* doi:10.1017/qua.2019.5 (2019).
- Zhang, E., Jones, R., Bedford, A., Langdon, P. and Tang, H. A chironomid-based salinity inference model from lakes on the Tibetan Plateau. *J. Paleolimnol.* 38, 477–491 (2007).
- Zhang, E., Cao, Y., Langdon, P., Jones, R., Yang, X. and Shen, J. Alternate trajectories in historic trophic change from two lakes in the same catchment, Huayang Basin, middle reach of Yangtze River, China. *J. Paleolimnol.* 48, 367–381 (2012).

# RESPUESTAS DE LAS COMUNIDADES DE QUIRONÓMIDOS (DIPTERA: CHIRONOMIDAE) FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN DOS AMBIENTES CONTRASTANTES DE PATAGONIA NORTE (ARGENTINA)

Williams N.<sup>ab</sup>, Rizzo A.<sup>ab</sup>, Daga R.<sup>ab</sup>, Ribeiro Guevara S.<sup>a</sup>.

<sup>a</sup>Laboratorio de Análisis por Activación Neutrónica, Centro Atómico Bariloche, CNEA, Av. Bustillo km 9.5, 8400 Bariloche.

<sup>b</sup> Centro Científico Tecnológico CONICET. Patagonia Norte

e-mail: [natywilliams86@gmail.com](mailto:natywilliams86@gmail.com)

## RESUMEN

*A lo largo del milenio pasado se han identificado diferentes períodos climáticos en Patagonia: una época fría (1500-1700) asociada con la “Pequeña Edad de Hielo”, y un período más cálido y seco (1740-1900). Estudios previos afirman que los principales cambios en la comunidad pasada de quironómidos estuvieron asociados con los períodos climáticos que afectaron la región. El objetivo de este trabajo es comparar las respuestas de la comunidad de quironómidos de dos lagos de Patagonia con entornos ambientales diferentes frente a los períodos climáticos identificados. El lago Moreno Oeste (MO) es un lago profundo con una costa irregular, con amplias áreas litorales vegetadas y rodeado por un bosque mixto. El lago Tonček (TCK) es un pequeño ambiente de altura con escaso desarrollo de la zona litoral debido a su abrupta pendiente hacia la zona profunda y a la gruesa cubierta de hielo que se forma anualmente. La composición y estructura de las comunidades fueron características de cada tipo de ambiente, observando en el lago MO una comunidad más diversa y compuesta por taxa propios de sitios más templados con zonas litorales vegetadas. En el lago TCK, la comunidad se compone de taxa estenotérmicos fríos, propios de un ambiente de montaña. Aunque en ambos lagos los principales cambios en la comunidad pasada de quironómidos se relacionaron con los períodos climáticos asociados a la temperatura, en el lago TCK el régimen de precipitación regional también ocupó un rol principal. En este lago, las condiciones locales características de un ambiente de altura, limitan la protección frente a los procesos erosivos producto de las precipitaciones. Este estudio demuestra que la resiliencia y la vulnerabilidad de las comunidades de quironómidos frente a los cambios ambientales se relacionan con factores locales como la morfología, la altura y la cobertura vegetal.*

*Palabras Clave:* Cápsulas cefálicas quitinosas, paleolimnología, factores locales, períodos climáticos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático causa importantes efectos sobre las comunidades biológicas a escala global, regional y local, por lo que es considerado una problemática mundial (Heino et al., 2009). Se ha demostrado que es capaz de producir cambios en las asociaciones de organismos, amenazando así el funcionamiento y los servicios del



ecosistema (Jassey et al., 2013; Jiang et al., 2019). En particular, los ecosistemas acuáticos son un componente clave del medio ambiente global, ya que contienen una biota rica, endémica y altamente vulnerable al cambio climático (Heino et al., 2009). Un desafío actual es determinar cómo los factores ambientales locales afectan la estructura y recuperación de la biota acuática tras este tipo de perturbaciones (Poff y Ward, 1990).

En los sistemas acuáticos, los efectos del cambio climático se relacionan con el tipo de ambiente (Schindler, 1997; Poff et al., 2002), por lo que las respuestas biológicas frente a este tipo de perturbaciones dependen de factores locales, tales como el régimen hidrológico, la heterogeneidad de hábitats, la vegetación riparia, etc. (Poff y Ward, 1990; Heino et al., 2009). Además, muchos organismos acuáticos buscan refugio contra perturbaciones y/o tienen adaptaciones que les brindan protección (Angermeier y Schlosser, 1995; Rosenberger y Chapman, 1999). Estos factores ambientales y adaptaciones fisiológicas proporcionan a las poblaciones resistencia frente a las perturbaciones, desempeñando un papel central en el mantenimiento de la biodiversidad de las comunidades acuáticas (Sedell et al., 1990).

La Familia Chironomidae (Insecta: Diptera) comprende uno de los grupos más abundantes, diversos y representativos en los ambientes acuáticos, siendo sus larvas un componente cuantitativamente importante en los sistemas de agua dulce (Walker, 2001). Son un grupo heterogéneo de especies asociadas con una amplia variedad de ambientes y algunas de las cuales representan rangos ecológicos estrechos de temperatura, pH, salinidad, profundidad, etc. (Lencioni y Rossaro, 2005). Además, debido a que las cápsulas cefálicas quitinosas de las larvas son bien preservadas, abundantes en los sedimentos y fáciles de identificar taxonómicamente, éstas son utilizadas en estudios paleolimnológicos para realizar interpretaciones ambientales. Se ha investigado su conexión con el cambio climático, la acidificación, las fluctuaciones del nivel del agua, la salinidad y la eutrofización (Hofmann, 1986; 1988; Walker, 1987; 2001; Brooks, 2003; Il'yasuk e Il'yasuk, 2004).

Estudios dendrocronológicos realizados en el norte de la Patagonia Argentina y análisis multi-proxy en el lago Puyehue en el sur de Chile han identificado dos períodos climáticos importantes en esta región a lo largo del milenio pasado: un período húmedo asociado con el inicio de la Pequeña Edad de Hielo europea (Little Ice Age: LIA) (1490-1700) y otro período caracterizado por un clima seco (1740-1900) (Villalba, 1990, 1994; Lara y Villalba, 1993; Bertrand et al., 2005). Luego, el calentamiento global junto con el aumento de la urbanización y de las actividades humanas, fueron las condiciones dominantes durante el Siglo XX. Asimismo, estudios paleolimnológicos en distintos ambientes lacustres de Patagonia afirman que los principales cambios en la comunidad pasada de quironómidos estuvieron asociados con estos períodos climáticos que afectaron la región.

El estudio del impacto y recuperación de las comunidades acuáticas tras perturbaciones ambientales contribuye a desarrollar importantes ideas conceptuales en ecología (Wrona et al., 2006). Además, la investigación ecológica a largo plazo es crucial para comprender la dinámica de estos impactos durante largos períodos de tiempo y ubicarlas dentro de un contexto regional. Los archivos paleoecológicos de los sedimentos de los lagos son particularmente útiles porque registran los cambios ambientales y las respuestas bióticas en una escala temporal que va más allá del registro histórico. En este contexto, los restos de organismos acuáticos, como las cápsulas cefálicas de quironómidos, tienen la ventaja de registrar los cambios ambientales *in situ*, proporcionando evidencia de la variabilidad ambiental y ecológica (Walker, 2001).

En este contexto, nuestro principal objetivo es estudiar comparativamente las respuestas de la comunidad de quironómidos de dos ambientes lacustres con

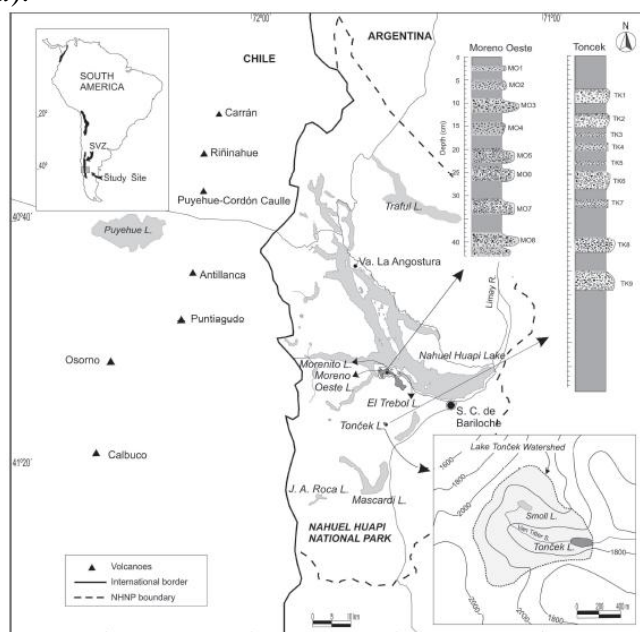
características contrastantes ubicados dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH) (Patagonia, Argentina) frente a los distintos períodos climáticos identificados a lo largo del milenio pasado, como así también a otras posibles perturbaciones que afectaron la región. Se prestará especial atención a los factores ambientales locales que promueven la resiliencia ecológica o la persistencia de las comunidades bióticas, que a su vez son clave para comprender los procesos ecológicos actuales y la dinámica de los lagos.

## MÉTODO EXPERIMENTAL

### ÁREA DE ESTUDIO

Los lagos Moreno Oeste (MO) y Tonček (TCK) se encuentran dentro del Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), situado al norte de la región Andino Patagónica ( $40^{\circ}8'S$  -  $41^{\circ}36'S$ ;  $71^{\circ}2'O$  -  $71^{\circ}6'O$ ) (ver Fig. 1). El lago MO es la rama occidental del lago Moreno ( $41^{\circ}50'S$ ;  $71^{\circ}33'O$ , 758 m s.n.m.) y desemboca en el lago Nahuel Huapi (ver Fig. 1). Este lago tiene una superficie de 6,1 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima de 90 m. Es un sistema ultraoligotrófico y monomíctico cálido, estratificado desde finales de primavera hasta principios del otoño (Queimalinos et al., 1999; Díaz et al., 2007). Este lago se encuentra rodeado por bosques nativos dominados por *Nothofagus dombeyi* y cantidades menores de *Austrocedrus chilensis*.

El lago TCK ( $41^{\circ}12'S$ ;  $71^{\circ}29'O$ , 1750 m s.n.m.) es un pequeño ambiente de altura con una superficie de 0,03 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima de 12 m, de origen glacial, situado en el Cerro Catedral, aproximadamente a 16 km al sur del lago MO, al pie de altos picos con pendientes pronunciadas. Es un sistema ultraoligotrófico y dimíctico, con estratificación directa en verano y con una cubierta de hielo durante 6 a 8 meses que alcanza un espesor de hasta 2 m. El lago posee una forma semicircular con dos sectores diferenciados, una región profunda central de 12 m de profundidad y una región circundante somera de 0,5 m de profundidad y hasta 30 m de diámetro, con una abrupta y pronunciada caída hacia la zona profunda (Modenutti, 1993). La cuenca hidrográfica del lago TCK está dominada por depósitos rocosos y bosques dominados por *Nothofagus pumilio* "krummholz" y vegetación altoandina (*Gaultheria pumila* y *Baccharis magellanica*).



**Figura 1.** Área de estudio. Sección del Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), Patagonia Norte, Argentina. A la derecha se indican las secuencias sedimentarias extraídas de los lagos Moreno Oeste (MO) y Toncek (TCK). Extraído de Ribeiro Guevara et al. (2010).

## **MUESTREO DE LAS SECUENCIAS Y ANÁLISIS DE QUIRONÓMIDOS**

Se extrajo una secuencia sedimentaria del fondo de cada lago mediante un muestreador de gravedad activado con un mensajero. Las secuencias se cortaron longitudinalmente utilizando una sierra circular portátil y se abrieron en dos secciones semicilíndricas deslizando una placa de cobre a través del sedimento. En una primera caracterización se observaron la textura y estructura del registro sedimentario, prestando atención a las diferentes tonalidades y coloraciones. Luego, ambos testigos se submuestrearon cada 1 cm para poder realizar los análisis correspondientes (Daga 2009). Los métodos de datación se detallan en Ribeiro Guevara y Arribére (2002) y Ribeiro Guevara et al. (2003).

Las cápsulas cefálicas de quironómidos fueron separadas del sedimento bajo lupa binocular (400x) y fijadas entre porta y cubreobjetos siguiendo el método estándar de Walker (2001). Luego, fueron identificadas con un aumento de 600-1000 X (microscopio hunda Wetzlar AFL 50/100) hasta la mayor resolución taxonómica posible, comúnmente hasta géneros o morfotipos (sensu Brooks et al., 2007). Las cápsulas cefálicas se determinaron en referencia a la literatura taxonómica disponible (Wiederholm, 1983; Coffman y Ferrington, 1996; Cranston, 2000; Epler, 2001). Además, para identificar a los miembros de Tanypodinae, se utilizó el trabajo de Rieradevall y Brooks (2001) basado en la disposición de las setas cefálicas; y para los morfotipos de la tribu Tanytarsini (Chironominae) se siguió a Massaferrro et al. (2013) basado en el pedestal antenal, premandíbula, mentón y placas ventromentales.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

En cada submuestra de sedimento se calcularon la abundancia, riqueza específica (R) y diversidad de quironómidos mediante el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Begon et al., 1999; Zar, 2010). La abundancia relativa de cada taxón fue calculada para cada submuestra como un porcentaje de la abundancia total mediante el programa TILIA y TILIA GRAPH (Grimm, 1987). Se distinguieron diferentes asociaciones de quironómidos a lo largo de los perfiles mediante un análisis de agrupamientos forzado estratigráficamente mediante la suma de los cuadrados, aplicado a los datos expresados en porcentaje (CONISS). La zonación fue establecida mediante el análisis de las principales diferencias en los agrupamientos realizados por CONISS; la significancia de cambios entre las zonas fue realizada mediante un análisis de similitud (ANOSIM, Clarke y Warwick, 2001) utilizando el programa Primer 6.1.6 (Clarke y Gorley, 2005). Al mismo tiempo, se utilizó el procedimiento de porcentaje de similitud (SIMPER) de la composición de los taxa para determinar cuáles de ellos contribuyen en mayor medida a las diferencias entre los distintos grupos (Primer 6.1.6, Clarke y Gorley, 2005). Los cambios en las asociaciones de quironómidos fueron contrastados con los períodos climáticos identificados para la región (Villalba, 1990, 1994; Lara y Villalba, 1993; Bertrand et al., 2005; Neukom et al., 2011).

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) usando el paquete CANOCO 4.5 (ter Braak y Šmilauer, 1998) para explorar la estructura de la varianza-covarianza de los conjuntos de datos y su posible asociación con mecanismos de forzamiento regionales. Los conjuntos de datos de ambos lagos se incluyeron en un único PCA para evaluar la variabilidad común entre ambos conjuntos de datos.

Los taxa raros, aquellos que no alcanzan una abundancia relativa de  $\geq 1\%$  en al menos dos muestras, no fueron considerados en los análisis estadísticos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS COMUNIDADES DE QUIRONÓMIDOS

Las secuencias de los lagos TCK y MO abarcaron 900 y 700 años, respectivamente. Un total de 1594 y 2343 cápsulas cefálicas fueron identificadas en las secuencias sedimentarias extraídas de los lagos MO y TCK, respectivamente. Como mínimo, 50 cápsulas cefálicas fueron identificadas en la mayoría de las submuestras, excepto en los estratos de ceniza volcánica de granulometría gruesa, donde se registraron muy pocas cápsulas (Williams et al., 2016; 2019). A pesar de que algunos niveles inferiores de la secuencia también registraron pocas cápsulas cefálicas, siempre fueron más de 30, lo cual es suficiente para realizar inferencias paleolimnológicas (Larocque et al., 2009).

En el Lago MO, la composición de quironómidos es típica de lagos rodeados por bosques de *Nothofagus* spp. dentro del PNNH según lo descrito por Donato et al. (2008) y Añón Suárez (1991). A lo largo de la secuencia, los taxa dominantes fueron *Apsectrotanypus*, *Polypedilum* sp.1, *Polypedilum* sp.2, *Dicrotendipes*, *Ablabesmyia* y *Riethia* (ver Tabla I). El principal cambio en las asociaciones de quironómidos del lago MO ocurrió al final del LIA (1500-1700), el cual se caracterizó por una disminución de *Polypedilum* sp. 2 y *Dicrotendipes*, (asociados principalmente con bajas temperaturas) (Massaferro y Larocque-Tobler, 2013). Después de ~1760, se observó una tendencia hacia una comunidad caracterizada por taxa de ambientes templados, representada por un aumento de *Apsectrotanypus* y *Parapsectrocladius*, los cuales se asocian con temperaturas más altas y hábitats litorales (Ashe et al., 1987) (ver Tabla I). Desde comienzos del Siglo XX, la simultaneidad de los eventos, dificulta discernir entre el efecto del cambio climático y la influencia antrópica (primeros asentamientos humanos, la introducción de salmónidos y el aislamiento artificial del lago Morenito) si uno o ambos han ocasionado el cambio en la comunidad.

**Tabla I.** Resumen de las principales zonas de cambio en las asociaciones pasadas de quironómidos del Lago Moreno Oeste. La zona azul indica un período de bajas temperaturas, la roja un período más cálido y seco, y la gris indica un período de calentamiento global junto con una mayor incidencia antropogénica. Extraído y modificado de Williams et al. (2016).

Chironomid assemblage zone	Depth (cm)	Age Period	HC average (HC g <sup>-1</sup> )		Dominant taxon	Subdominant taxa
			All samples	without coarse tephra layers		
B3	4–0	~AD 1940–2000	86	86	<i>Apsectrotanypus</i> (14.9%)	<i>Riethia</i> (14.4%) <i>Ablabesmyia</i> (9.6%) <i>Parapsectrocladius</i> (9.5%)
B2	12–5	~AD 1895–1940	38	53	<i>Apsectrotanypus</i> (38.3%)	<i>Ablabesmyia</i> (6.8%) <i>Tanytarsini</i> 1C (6.8%) <i>Parapsectrocladius</i> (5.6%)
B1	22–13	~AD 1760–1895	46	53	<i>Apsectrotanypus</i> (35.2%)	<i>Polypedilum</i> sp.1 (12.7%) <i>Parapsectrocladius</i> (6.6%) <i>Tanytarsini</i> D2 (5.7%)
A2	34–23	~AD 1500–1760	25	34	<i>Polypedilum</i> sp.2 (31%)	<i>Apsectrotanypus</i> (17.9%) <i>Dicrotendipes</i> (14.2%) <i>Ablabesmyia</i> (6.9%)
A1	43–35	~AD 1400–1500	22	34	<i>Polypedilum</i> sp.2 (20%)	<i>Apsectrotanypus</i> (14.8%) <i>Ablabesmyia</i> (11.1%) <i>Tanytarsini</i> D2 (9.2%)

En el lago TCK, la dominancia de taxones estenotérmicos fríos (*Pseudosmittia* cf. *P.sp.2*, *Podonomus* y *Parochlus*-type) identifican a este ambiente como un lago de altura (Massaferro y Brooks, 2002; Massaferro y Larocque-Tobler, 2013; Williams et

al., 2019) (ver Tabla II). A diferencia del lago MO, en el lago TCK no se observaron reemplazos de los principales taxa (*Pseudosmittia* cf. *P. sp. 2*, *Cricotopus*, *Apsectrotanypus* y *Podonomus*) a lo largo del milenio pasado. Los cambios en las abundancias relativas de los taxa dominantes fueron las variables que determinaron las diferentes zonas a lo largo de la secuencia sedimentaria (ver Tabla II).

**Tabla II.** Resumen de las principales zonas de cambio en las asociaciones pasadas de quironómidos del Lago Tonček. La zona azul indica un período de bajas temperaturas, las rojas períodos más cálidos y secos, y la gris indica un período de calentamiento global junto con una mayor incidencia antropogénica. Extraído y modificado de Williams et al. (2019).

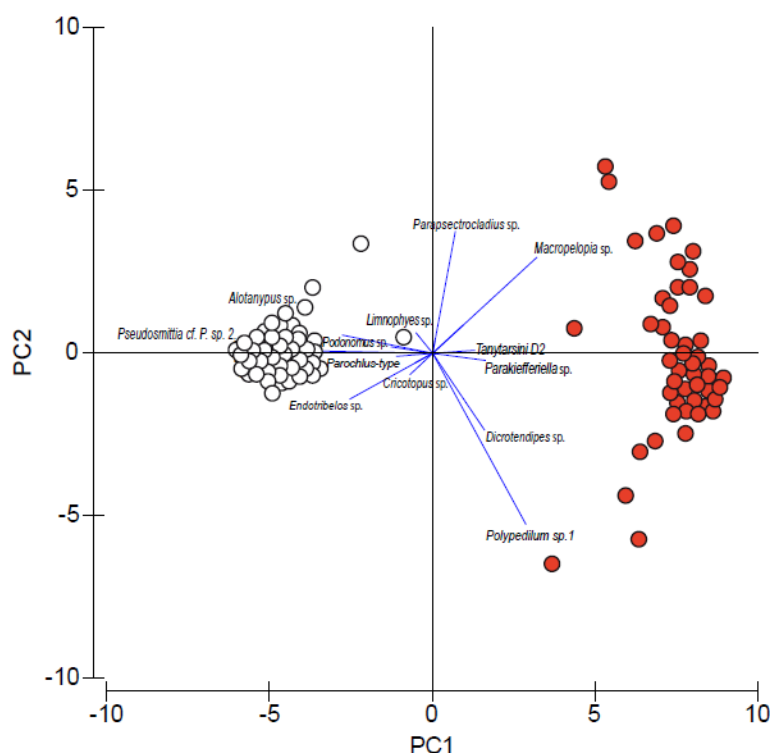
Chironomid assemblage zone	Depth (cm)	Age	HC average (HC/g)		Dominant taxon	Subdominant taxa
			All samples	Without coarse tephra layers		
B3	13–1	AD 1900–2003	90.2	112.7	<i>Pseudosmittia</i> cf. <i>P. sp. 2</i> (43.5%)	<i>Apsectrotanypus</i> (29.7%), <i>Cricotopus</i> (13.3%), <i>Podonomus</i> (8.8%)
B2	24–14	AD 1790–1900	66.2	67.2	<i>Pseudosmittia</i> cf. <i>P. sp. 2</i> (31.8%)	<i>Cricotopus</i> (22.1%), <i>Apsectrotanypus</i> (19.6%), and <i>Podonomus</i> (12.5%)
B1	39–25	AD 1575–1790	61.7	74.8	<i>Pseudosmittia</i> cf. <i>P. sp. 2</i> (37.4%)	<i>Apsectrotanypus</i> (23.5%), <i>Cricotopus</i> (16.6%), and <i>Parochlus</i> -type (10.7%)
A2	47–40	AD 1450–1575	33.7	42.5	<i>Pseudosmittia</i> cf. <i>P. sp. 2</i> (37.1%)	<i>Apsectrotanypus</i> (26.6%), <i>Cricotopus</i> (11.8%), and <i>Podonomus</i> (7.3%)
A1	68–48	AD 1129–1450	75.7	77.7	<i>Pseudosmittia</i> cf. <i>P. sp. 2</i> (26.9%)	<i>Cricotopus</i> (23.1%), <i>Apsectrotanypus</i> (17.4%), and <i>Podonomus</i> (7.6%)

Del mismo modo que en el Lago MO, en el lago TCK, los principales cambios en las asociaciones de quironómidos se relacionan con los períodos climáticos descritos para la Patagonia durante el milenio pasado (Villalba, 1990, 1994; Lara y Villalba, 1993; Bertrand et al., 2005; Neukom et al., 2011). A lo largo de toda la secuencia, el taxa dominante fue *Pseudosmittia* cf. *P. sp. 2*, y durante el período 1450–1790, se observó un aumento en la abundancia relativa del mismo. Este taxa es predominantemente semiterrestre a terrestre (Wiederholm, 1983), por lo que el aumento en su abundancia durante este período probablemente se relacionó con el mayor desarrollo de humedales que rodean el lago durante esta época de menores temperaturas y mayores precipitaciones. Por otro lado, *Cricotopus* sp. es un taxa litoral generalmente asociado con la vegetación acuática. Sus larvas se alimentan de macrófitas, algas y cianobacterias (*Nostoc*). Por lo que el mayor desarrollo de los musgos de la familia Amblystegiaceae (Motta, 2017) durante ~ 1790–1900 dadas las condiciones más cálidas y secas podría haber favorecido el aumento de *Cricotopus* sp. durante este período (Williams et al., 2019). Luego, el aumento de la temperatura desde el Siglo XX, junto con las crecientes actividades humanas en los últimos 50 años, causaron cambios ambientales que incrementaron la productividad del lago (Montes de Oca et al., 2017, Williams et al., 2019). Estos cambios se relacionan con un aumento en la abundancia total de quironómidos y de algunos taxa particulares, tales como *Pseudosmittia* cf. *P. sp. 2*, *Apsectrotanypus* y *Parapsectrocladius*.

Las diferencias entre las comunidades de ambos ambientes son evidentes en el PCA (ver Fig. 2). En este análisis, se observa que la separación de las submuestras de ambos ambientes según sus comunidades de quironómidos, se relaciona con las características disímiles de estos lagos. De este modo, las submuestras del lago MO se ubican hacia los mayores valores del eje 1 del gráfico con una mayor dispersión que aquellas correspondientes al lago TCK, las cuales se ubican hacia el extremo opuesto, más aglomeradas debido a la mayor estabilidad de la comunidad a lo largo de esta



secuencia. La comunidad del lago MO está representada por una mayor diversidad de taxa. Los taxa ubicados hacia el centro de la dispersión (*Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp. y *Parapsectrocladius* sp.) corresponden a aquellos que se encuentran en ambos ambientes.

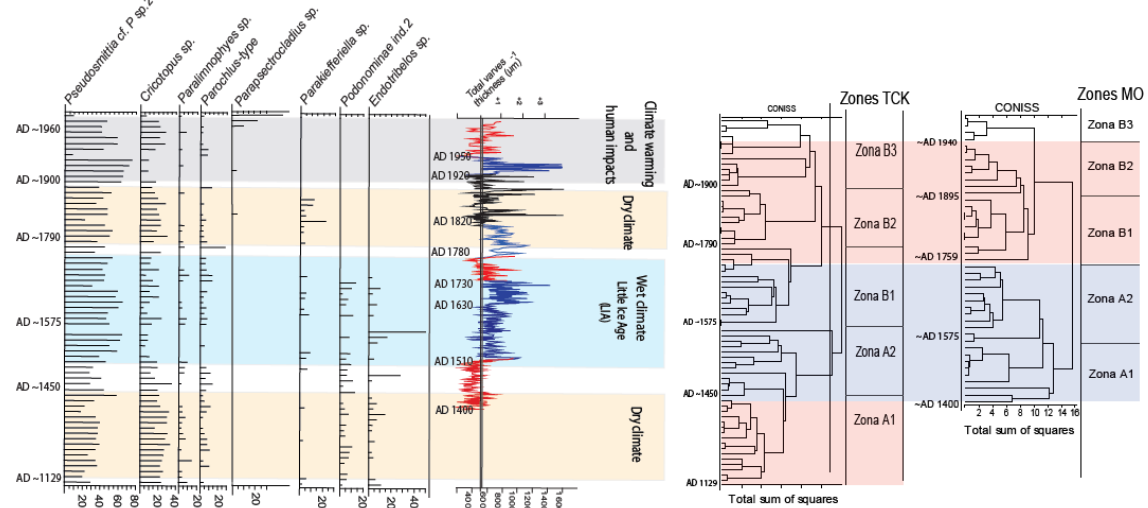


**Figura 2.** PCA biplot. Los puntos blancos y rojos corresponden a las muestras de la secuencia TCK y MO, respectivamente. Se indican los principales taxa que contribuyeron a las diferencias entre las comunidades.

## PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE LAS RESPUESTAS DE LAS COMUNIDADES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Si bien las principales modificaciones en la comunidad pasada de quironómidos de ambos lagos estuvieron asociadas con los periodos climáticos relacionados con cambios de temperatura, en el Lago TCK, el régimen de precipitaciones también jugó un rol esencial en la estructuración de esta comunidad. Por ejemplo, durante el período 1400-1700, ciertos taxa como *Pseudosmittia* cf. *P. sp. 2* y *Apsectrotanytus* sp., probablemente se vieron beneficiados con el aumento en los niveles de precipitaciones. Esto concuerda con los menores valores de materia orgánica y sílice biogénica registrados en la secuencia sedimentaria durante este período, posiblemente asociados a los mayores procesos erosivos a causa de los elevados niveles de precipitación (Massaferro et al., 2017; Chang et al., 2018; Williams et al., 2019). Por lo tanto, las condiciones climáticas de este período produjeron cambios en la disponibilidad de hábitats y alimento, beneficiando así, a aquellos taxa que viven sobre la vegetación acuática, alimentándose de perifiton, o viviendo en los humedales circundantes a la laguna. Entre los años 1920-2000, Boes y Fagel (2008) describen diferentes períodos de precipitación en América del Sur, por ejemplo, entre 1920–1950 se evidencian condiciones más húmedas (ver Fig. 3) y entre 1950-2000, el clima fue más seco y cálido. Esto podría haber generado un mayor desarrollo de la comunidad perifítica y de los humedales que rodean este ambiente, generando una mayor abundancia relativa de

ciertos taxa como *Pseudosmittia* cf. *P. sp. 2*, *Parapsectrocladius* sp. y *Apsectrotanypus* sp. (Williams et al., 2019). Del mismo modo, Michelutti et al. (2016) observaron en Laguna Baños (un pequeño y alto lago andino cerca de Quito, Ecuador) que la comunidad de quironómidos subfósiles respondió principalmente a los cambios en los niveles de precipitación, mostrando un aumento en el número de taxones semiterrestres posiblemente relacionados con condiciones más secas.



**Figura 3.** Se representan los dendrogramas forzados estratigráficamente (CONISS) de los lagos Toncek y Moreno Oeste. Los períodos cálidos y fríos se indican con franjas rojas y azules, respectivamente. A la derecha, se muestran los perfiles de variación de temperatura y de precipitaciones. Sacado y modificado de Williams et al. (2016; 2019).

Otra característica del lago TCK, a diferencia del lago MO, es que algunos taxa, tales como *Endotribelos* sp. y *Podonominae* ind.2, dejaron de observarse a partir de ~1700 (Williams et al., 2019), lo cual también se asoció principalmente con cambios en los niveles de precipitación. De hecho, la ausencia de ambos taxa coincide temporalmente con cambios en el régimen de precipitaciones descritos para otros lagos de Patagonia. Por ejemplo, Boes y Fagel (2008) describen un período con mayores precipitaciones (500 mm) entre 1630-1730, y luego un breve período de menor precipitación regional (ver Fig. 3). Es por esto, que tanto *Endotribelos* sp. como *Podonominae* ind.2, al estar mejor adaptados a condiciones más húmedas y menores temperaturas, probablemente fueron perjudicados durante este período.

El lago TCK, debido a sus características ambientales propias de un ambiente de altura, como las bajas temperaturas, la cubierta de hielo y la morfometría de la cubeta con escaso a nulo desarrollo de zonas litorales, juegan un importante papel en la determinación de la composición y distribución de quironómidos (Zhang et al., 2012). Además, al localizarse por encima de la “treeline, en una zona libre de bosques, este ambiente no posee un mecanismo de protección frente a las perturbaciones ambientales (Massaferro et al., 2017). Los lagos alpinos en regiones montañosas sufren más por el calentamiento en comparación con otro tipo de ambientes (Jiang et al., 2019), ya que se ven afectados a través del deshielo, el derretimiento de los suelos congelados, la duración de las capas de hielo y nieve, y el aumento de la temperatura del agua en verano. Es por esto que tradicionalmente, los ecosistemas de los lagos de montaña, al ser tan sensibles al calentamiento global, son capaces de funcionar como centinelas del cambio climático (Kamenik et al., 2001; Adrian et al., 2009; Williamson et al., 2009).

Por su parte, en el lago MO se observó una mayor diversidad y riqueza de taxa de quironómidos. Este lago, al presentar una elevada heterogeneidad espacial, brinda una mayor disponibilidad de alimentos, áreas de reproducción y refugios contra depredadores, lo que aumenta la coexistencia de un mayor número de especies (Begon et al., 1999; Tolonen et al., 2001; Stoffels et al., 2005). Esto sumado a los distintos tipos de sustratos (madera, hojas, grava, macrófitas, musgos), le brindan a este ambiente la capacidad de soportar una comunidad zoobéntica más diversa que aquellos estructuralmente simples (Miserendino, 2001; Lencioni y Rossaro, 2005). El lago MO, rodeado de un bosque nativo con un importante desarrollo de macrófitas acuáticas y zonas litorales amplias y heterogéneas, mostró mayor resistencia al impacto producto de los cambios en las precipitaciones. Es muy posible que la cubierta vegetal en la cuenca del lago y el anillo de macrófitas protejan el ecosistema acuático, mejorando la resistencia de la comunidad de quironómidos frente a los impactos ambientales, mostrando una alta capacidad de resiliencia en este tipo de ambientes.

## CONCLUSIONES

Si bien las comunidades de quironómidos de ambos lagos respondieron mayormente a los principales períodos climáticos asociados con cambios en la temperatura, en el lago TCK el régimen de precipitación regional también ocupó un rol principal. En este lago, las condiciones ambientales propias de un lago de altura, como la ausencia de vegetación circundante y sumergida, limitan la protección frente a los procesos erosivos producto de las precipitaciones. Por el contrario, en el lago MO, la estructura y composición de la vegetación circundante junto a la presencia de macrófitas y la dinámica de la cuenca parecen haber proporcionado mejores hábitats para la colonización de especies y/o brindando refugio a la comunidad. Este estudio demuestra que la resiliencia y la vulnerabilidad de las comunidades de quironómidos frente a los cambios ambientales se relacionan con factores locales como la morfología, la altura y la cobertura vegetal.

## REFERENCIAS

- Adrian, R., O'reilly, C.M., Zagarese, H., Baines, S.B., Hessen, D.O. and Keller, W. Lakes as sentinels of climate change. *Limnol. Oceanogr.* 54, 2283–2297 (2009).
- Angermeier, P. and Schlosser, I.J. Spatial variation in demographic processes of lotic fishes: conceptual models, empirical evidence, and implications for conservation. *Am. Fish. Soc. Symp.* 17, 392–401 (1995).
- Añón Suarez, D. Distribución del bentos del lago Escondido (Río Negro, Argentina) con especial énfasis en los quironómidos (Diptera: Chironomidae). *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* 26, 149–157 (1991).
- Ashe, P., Murray, D.A. and Reiss, F. The zoogeographical distribution of Chironomidae (Insecta: Diptera). *Ann. Limnol.* 23, 27–60 (1987).
- Begon, M., Harper, J.L. and Townsend, C.R. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. 3º edición, Ediciones Omega. pp. 1148 (1999).
- Bertrand, S., Böes, X., Castiaux, J., Charlet, F., Urrutia, R., Espinoza, C., Lepoint, G., Charlier, B. and Fagel, N. Temporal evolution of sediment supply in Lago Puyehue (Southern Chile) during the last 600 yr and its climatic significance. *Quat. Res.* 64: 163–175 (2005).
- Boes, X. and Fagel, N. Relationships between southern Chilean varved lake sediments, precipitation and ENSO for the last 600 years. *J. Paleolimnol.* 39, 237–252 (2008).

- Brooks, S.J. Chironomid analysis to interpret and quantify Holocene climate change. En: Mackay A.W., R.W. Battarbee, H.J.B. Birks & F. Oldfield (eds), *Global Change in the Holocene*. Arnold, London, pp. 328–341 (2003).
- Chang, J., Zhang, E., Liu, E., Sun, W., Langdon, P.G. and Shulmeister, J. A 2500-year climate and environmental record inferred from subfossil chironomids from Lugu Lake, southwestern China. *Hydrobiologia* 811, 193–206 (2018).
- Clarke, K.R. and Warwick, R.M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 216, 265–278 (2001).
- Clarke, K.R. and Gorley, R.N. PRIMER v.6: User Manual/Tutorial. Primer-E Ltda, Plymouth, UK. (2005).
- Coffman, W.B. and Ferrington, L.C. Chironomidae. En: Merrit, W., Cummings, K.W. (eds.) *An introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Dubuque, Iowa. 2nd ed., pp. 551–643 (1996).
- Cranston, P.S. with updates. *Electronic guide to the Chironomidae of Australian* (2000).
- Daga, R. Tefrocronología aplicada a depósitos lacustres en el ámbito de la Cordillera Patagónica, provincias de Río Negro y Neuquén, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto. pp. 261 (2009).
- Díaz, M., Pedrozo, A., Reynolds, C. and Temporetti, P. Chemical composition and the nitrogen-regulated trophic state of Patagonian lakes. *Limnologica* 37: 17–27 (2007).
- Donato, M., Massaferró, J. and Brooks, S. Chironomid (Chironomidae: Diptera) checklist from Nahuel Huapi National Park, Patagonia, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 67, 163–170 (2008).
- Epler, J.H. Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. EPA Region 4 and Human Health and Ecological Division. North Carolina Department of Environment and Natural Resources. Division of Water Quality. pp. 516 (2001).
- Grimm, E. A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comput. Geosci.* 13, 13–35 (1987).
- Heino, J., Virkkala, R. and Toivonen, H. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biol. Rev.* 84: 39–54 (2009).
- Hofmann, W. Chironomid analysis. En: Berglund, B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley and Sons, Chichester. pp. 715–727 (1986).
- Hofmann, W. The significance of chironomid analysis (Insecta: Diptera) for paleolimnological research. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 62, 501–509 (1988).
- Il'yasuk, E.A. and Il'yasuk, B.P. Analysis of chironomid remains from lake sediments in paleoecological reconstruction. *Water Resour. Bull.* 31, 203–214 (2004).
- Jassey, V. E., Chiapusio, G., Binet, P., Buttler, A., Laggoun-Défarge, F. and Delarue, F. Above- and belowground linkages in Sphagnum peatland: climate warming affects plant-microbial interactions. *Glob. Change Biol.* 19, 811–823 (2013).
- Jiang, Y., Huang, H., Ma, T., Ru, J., Blank, S., Kurmayer, R. and Deng, L. Temperature response of planktonic microbiota in remote alpine lakes. *Front. Microbiol.* doi.org/10.3389/fmicb.2019.01714 (2019).
- Kamenik, C., Schmidt, R., Kum, G., and Psenner, R. The influence of catchment characteristics on the water chemistry of mountain lakes. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 33, 404–409 (2001).
- Lara, A. and Villalba, R. A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in Southern South America. *Science* 260, 1104–1106 (1993).
- Larocque-Tobler, I., Grosjean, M., Heiri, O., Bigler, C. and Blass, A. Comparison between chironomid-inferred July temperatures and meteorological data AD 1850–2001 from varved Lake Silvaplana, Switzerland. *J. Paleolimnol.* 41, 329–342 (2009).
- Lencioni, V. and Rossaro, B. Microdistribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in Alpine streams: an autoecological perspective. *Hydrobiologia*. 533, 61–76 (2005).
- Massaferró, J. and Brooks, S. Response of chironomids to late quaternary environmental change in the Taitao Peninsula, southern Chile. *J. Quat. Sci.* 17, 101–111 (2002).

- Massaferro, J. and Larocque-Tobler, I. Using a newly developed chironomid transfer function for reconstructing mean annual air temperature at Lake Potrok Aike, Patagonia, Argentina. *Ecol. Indic.* 24, 201–210 (2013).
- Massaferro, J., Ortega, C., Fuentes, R. and Araneda, A. Guía para la identificación de Tanytarsini subfósiles (Diptera: Chironomidae: Chironominae) de la Patagonia. *Ameghiniana*. 50: 319–334 (2013).
- Massaferro, J., Correa-Metrio, A., Montes de Oca, F., and Mauad, M. Contrasting responses of lake ecosystems to environmental disturbance: a paleoecological perspective from northern Patagonia (Argentina). *Hydrobiologia* 816, 79–89 (2017).
- Michelutti, N., Lemmen, J.L., Cooke, C.A., Hobbs, W.O., Wolfe, A.P., Kurek, J. and Smol, J.P. Assessing the effects of climate and volcanism on diatom and chironomid assemblages in an Andean lake near Quito, Ecuador. *J. Limnol.* 75, 275–286 (2016).
- Miserendino, M.L. Macroinvertebrate assemblages in Andean Patagonian rivers and streams. *Hydrobiology*. 444, 147–58 (2001).
- Modenutti, B.E. Summer population of *Hexarthra bulgarica* in a high elevation lake of South Andes. *Hydrobiologia* 259, 33–37 (1993).
- Montes de Oca, F., Motta, L., Plastani, M.S., Laprida, C., Lami, A. and Massaferro, J. Reconstructing recent environmental changes using nonbiting midges (Diptera: Chironomidae) in two high mountain lakes from northern Patagonia, Argentina. *J. Paleolimnol.* 59, 175–187 (2017).
- Motta, L. Estructura de los ensambles de quironómidos (Diptera: Chironomidae) en gradientes altitudinales: Herramientas para estudiar cambios climáticos y ambientales. PhD dissertation, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires (2017).
- Neukom, R., Luterbacher, J., Villalba, R., Küttel, M., Frank, D., Jones, P.D., Grosjean, M., Wanner, H., Aravena, J.C., Black, D.E., Christie, D.A., D'Arrigo, R., Lara, A., Morales, M., Soliz-Gamboa, C., Srur, A., Urrutia, R. and von Gunten, L. Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. *Clim. Dyn.* 37, 35–51 (2011).
- Poff, N.L. and Ward, J. Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. *Environ. Manage.* 14, 629–645.
- Poff, N.L., Brinson, M.M. and Day, J.W. Aquatic Ecosystems and Global Climate Change. Potential Impacts on Inland Freshwater and Coastal Wetland Ecosystems in the United States. Pew Center on Global Climate Change, Arlington. <http://www.pewclimate.org/docUploads/aquatic.pdf> (2002).
- Queimaliños, C.P., Modenutti, B.E. and Balseiro, E. Symbiotic association of the ciliate *Ophrydium naumanni* with *Chlorella* causing a deep chlorophyll *a* maximum in an oligotrophic South Andes lake. *J. Plankton Res.* 21, 167–178 (1999).
- Ribeiro Guevara, S. and Arribére, M.A. <sup>137</sup>Cs dating of lake cores from the Nahuel Huapi National Park, Patagonia, Argentina: Historical records and profile measurements. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 252, 37–45 (2002).
- Ribeiro Guevara, S., Rizzo, A., Sánchez, R. and Arribére, M.A. <sup>210</sup>Pb fluxes in sediment layers sampled from Northern Patagonia lakes. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 258, 583–595 (2003).
- Ribeiro Guevara, S., Meili, M., Rizzo, A., Daga, R. and Arribére, M. Sediment records of highly variable mercury inputs to mountain lakes in Patagonia during the past millennium. *Atmospheric Chem. Phys.* 10, 3443–3453 (2010).
- Rieradevall, M. and Brooks, S.J. An identification guide to subfossil Tanypodinae larvae (Insecta: Diptera: Chironomidae) based on cephalic setation. *J. Paleolimnol.* 25, 81–99 (2001).
- Rosenberger, A. and L. Chapman. Hypoxic wetland tributaries as faunal refugia from an introduced predator. *Ecol. Freshw. Fish.* 8: 22–34 (1999).
- Schindler, D.W. Widespread effects of climate warming on freshwater ecosystems in North America. *Hydrol. Process.* 11, 1043–1067 (1997).



- Sedell, J.R., Reeves, G.H., Hauer, F.R., Stanford, J.A. and Hawkins, C.P. Role of refugia in recovery from disturbances: modern fragmented and disconnected river systems. *Environ. Manag.* 14: 711–724 (1990).
- Stoffels, R.J., Clarke, K.R. and Closs, G.P. Spatial scale and benthic community organization in the littoral zones of large oligotrophic lakes: potential for cross-scale interactions. *Freshw. Biol.* 50, 1131–1145 (2005).
- ter Braak, C. and Smilauer, P. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer power. Ithaca, N. Y., U. S. A. pp. 352 (1988).
- Tolonen, K.T., Hämäläinen, H., Holopainen, I.J. and Karjalainen, J. Influences of habitat type and environmental variables on littoral macroinvertebrate communities in a large lake system. *Arch. Hydrobiol.* 152, 39–67 (2001).
- Villalba, R. Climatic fluctuations in Northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records. *Quat. Res.* 34, 346–360 (1990).
- Villalba, R. Tree-ring and glacial evidence for the medieval warm epoch and the little ice age in southern South America. *Clim. Change.* 26, 183–197 (1994).
- Walker, I.R. Chironomidae (Diptera) in paleoecology. *Quaternary Sci. Rev.* 6, 29–40 (1987).
- Walker, I.R. Midges: Chironomidae and related Diptera. En: Smol, J.P., Birks, H.J.B. and Last, W.M. (eds.), Tracking environmental changes using lakes sediments. Volume 4: *Zoological indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 43–66 (2001).
- Wiederholm, T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part I, Larvae. *Entomol. Scand. Suppl.* 19, 1–457 (1983).
- Williams, N., Rieradevall, M., Añón Suárez, D., Rizzo, A., Daga, R., Ribeiro Guevara, S. and Arribére, M.A. Chironomids as indicators of natural and human impacts in a 700-yr record from the northern Patagonian Andes. *Quat. Res.* 86, 120–132 (2016).
- Williams, N., Añón Suárez, D., Rieradevall, M., Rizzo, A., Daga, R., Arribére, M.A. and Ribeiro Guevara, S. Response of Chironomidae to environmental disturbances in a high mountain lake in Patagonia during the last millennium. *Quat. Res.* doi:10.1017/qua.2019.5 (2019).
- Willis, K., Bailey, R., Bhagwat, S. and Birks, H. Biodiversity baselines, thresholds and resilience: testing predictions and assumptions using palaeoecological data. *Trends Ecol. Evol.* 25, 583–591 (2010).
- Williamson, C.E., Saros, J.E. and Schindler, D.W. Sentinels of change. *Science* 323, 887–888 (2009).
- Wrona, F.J., Prowse, T.D., Reist, J.D., Hobbie, J., Lévesque, L. and Vincent, W.F. Climate change effects on aquatic biota, ecosystem structure and function, *Ambio.* 35, 359–369 (2006).
- Zhang, E., Zheng, B., Cao, Y., Gao, G. and Shen, J. Influence of environmental parameters on the distribution of subfossil chironomids in surface sediments of Bosten lake (Xinjiang, China). *J. Limnol.* 71, 291–298 (2012).
- Zar, J.H. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall International, N.J, p. 620 (2010).



ISBN 978-987-1323-64-7



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

**ices**  
INTERNATIONAL CENTER FOR EARTH SCIENCES



Comisión Nacional  
de Energía Atómica