

RESULTADOS DE INVESTIGACIONES SOBRE CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO DE LOS RÍOS MENDOZA Y TUNUYÁN

MORABITO J., SALATINO S., BERMEJILLO A., FILIPPINI M., DEDIOL C.,
MASTRANTONIO L., HERNÁNDEZ R., GENOVESE D., STOCCO A.

INA – CRA Belgrano (Oeste) 210, Mendoza

Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo – jmorabito@ina.gob.ar

Universidad Paris-Diderot, Francia

INBA-CONICET Instituto de Investigaciones en Bio-ciencias Agrícolas y Ambientales - UBA

INTRODUCCIÓN



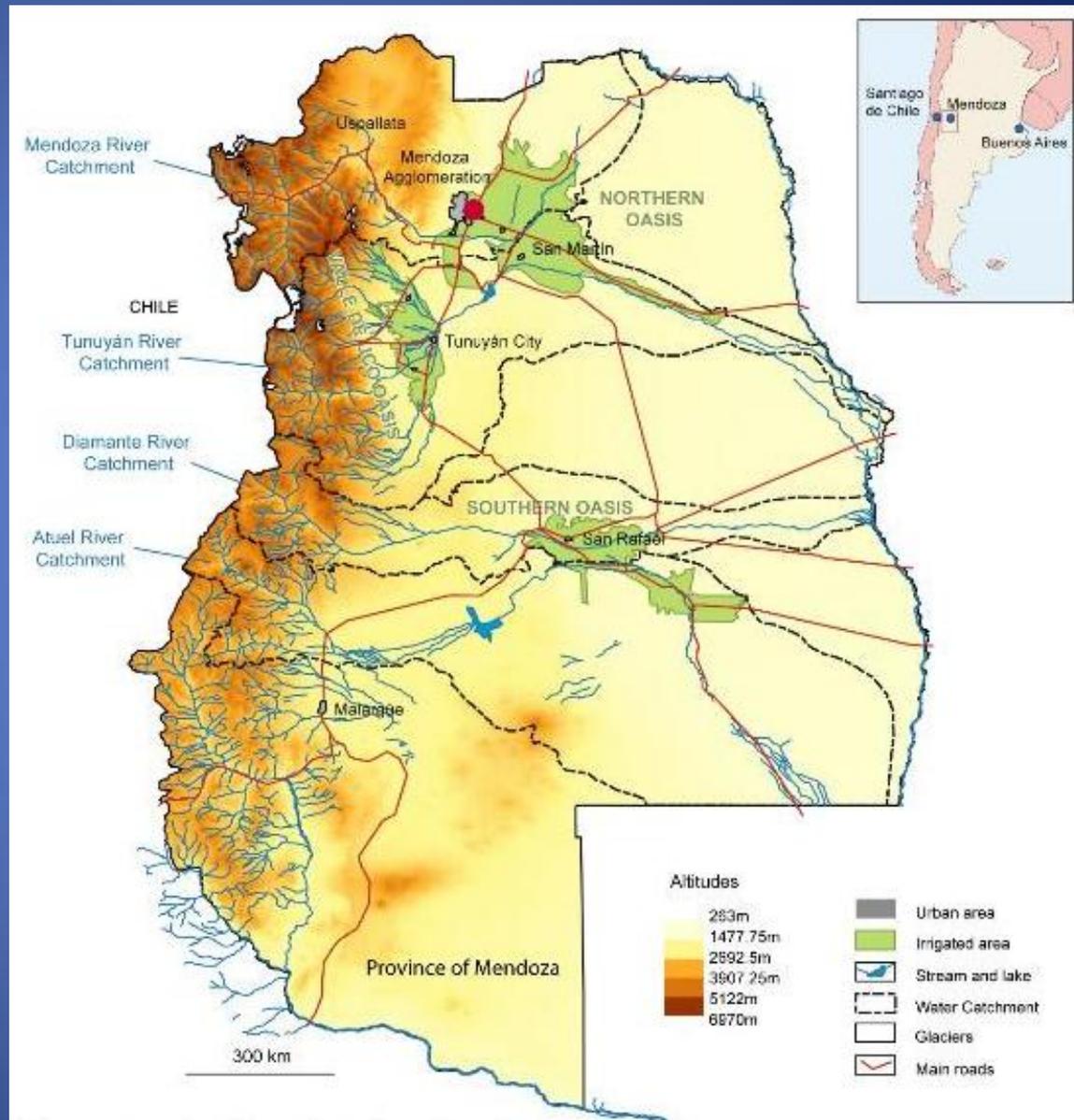
Diagonal Árida Sudamericana

Ríos de régimen nivo-glaciar

3 grandes oasis

- Norte (RM y RTI): 2500 km²
- Centro (Valle de Uco): 800 km²
- Sur: 1600 km²

Asentamiento humanos
(Gran Mendoza 1,2 millones de habitantes)



OBJETIVOS

- (1) conformar una base de datos de registros de parámetros físico-químicos y micro-biológicos
- (2) caracterizar al recurso hídrico de cada cuenca en función de los valores de dichos parámetros
- (3) identificar las fuentes de contaminación de mayor impacto sobre el recurso asociándolas con los distintos usos y con la geografía
- (4) evaluar la evolución temporal y espacial de la contaminación
- (5) aportar a la elaboración de pautas de gestión (políticas de prevención y/o mitigación de los efectos negativos de la contaminación).

HIPÓTESIS

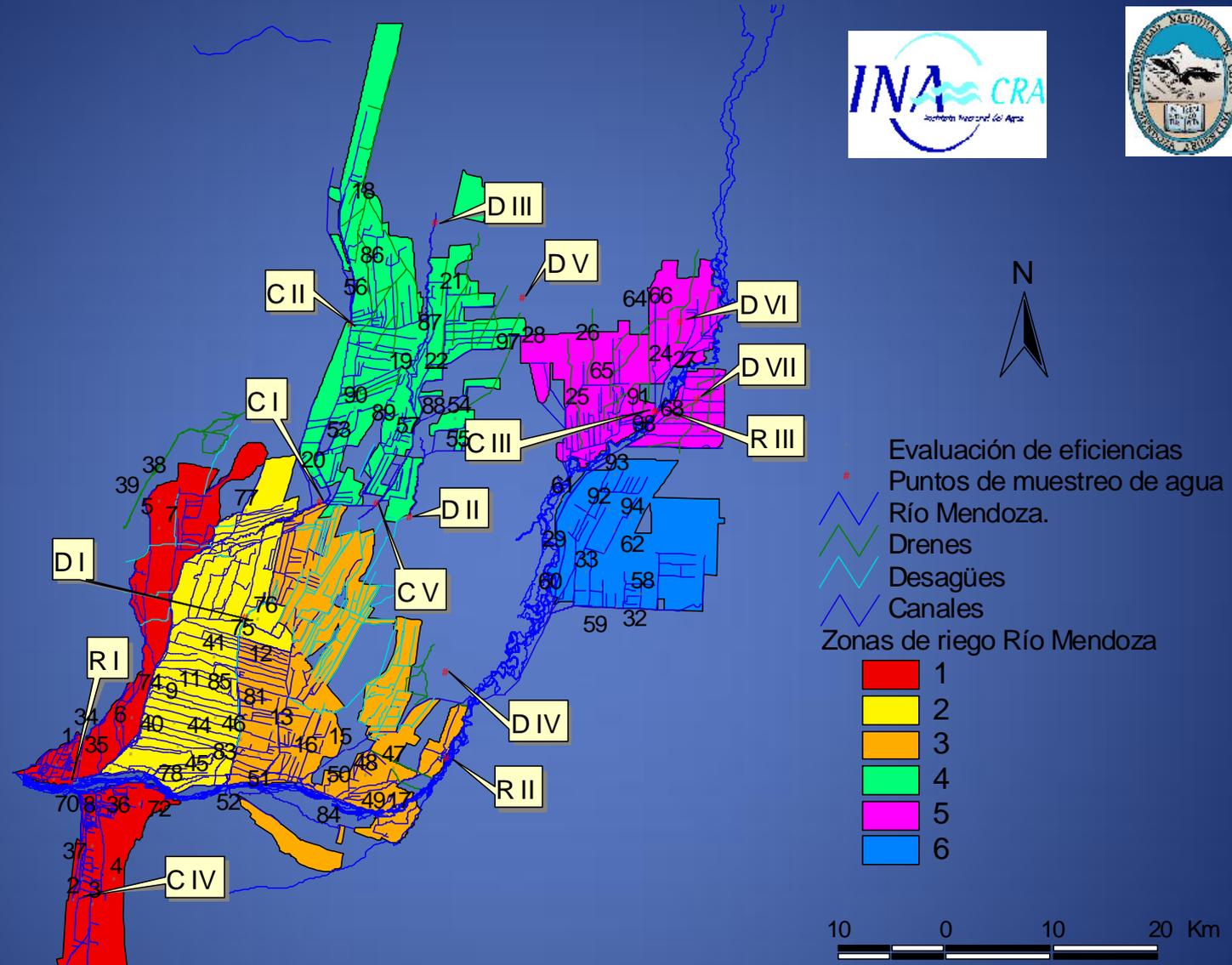
- Existe un grado diferencial de contaminación en el río y en la red de canales
- La calidad del agua disminuye a medida que se aleja de la fuente

MATERIALES Y MÉTODOS

- 16 sitios de muestreo representativos: río (3), canales (5) y drenes (8)
- Muestreo con frecuencia mensual
- Metodología del Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Los parámetros analizados fueron:

- Físico-químicos: temperatura, pH, conductividad eléctrica a 25°C (CE), RAS, aniones, cationes, ST, SS10'
- Micro-biológicos: bacterias aerobias mesófilas (BAM) (ufc.100 mL^{-1}) y Coliformes totales y fecales (NMP.100 mL^{-1}).
- Demanda química de oxígeno (DQO) y oxígeno disuelto (OD).



Río Mendoza: Mapa del área y localización de los puntos de muestreo

RESULTADOS

Parámetros de calidad del agua de riego: media y desviación estándar

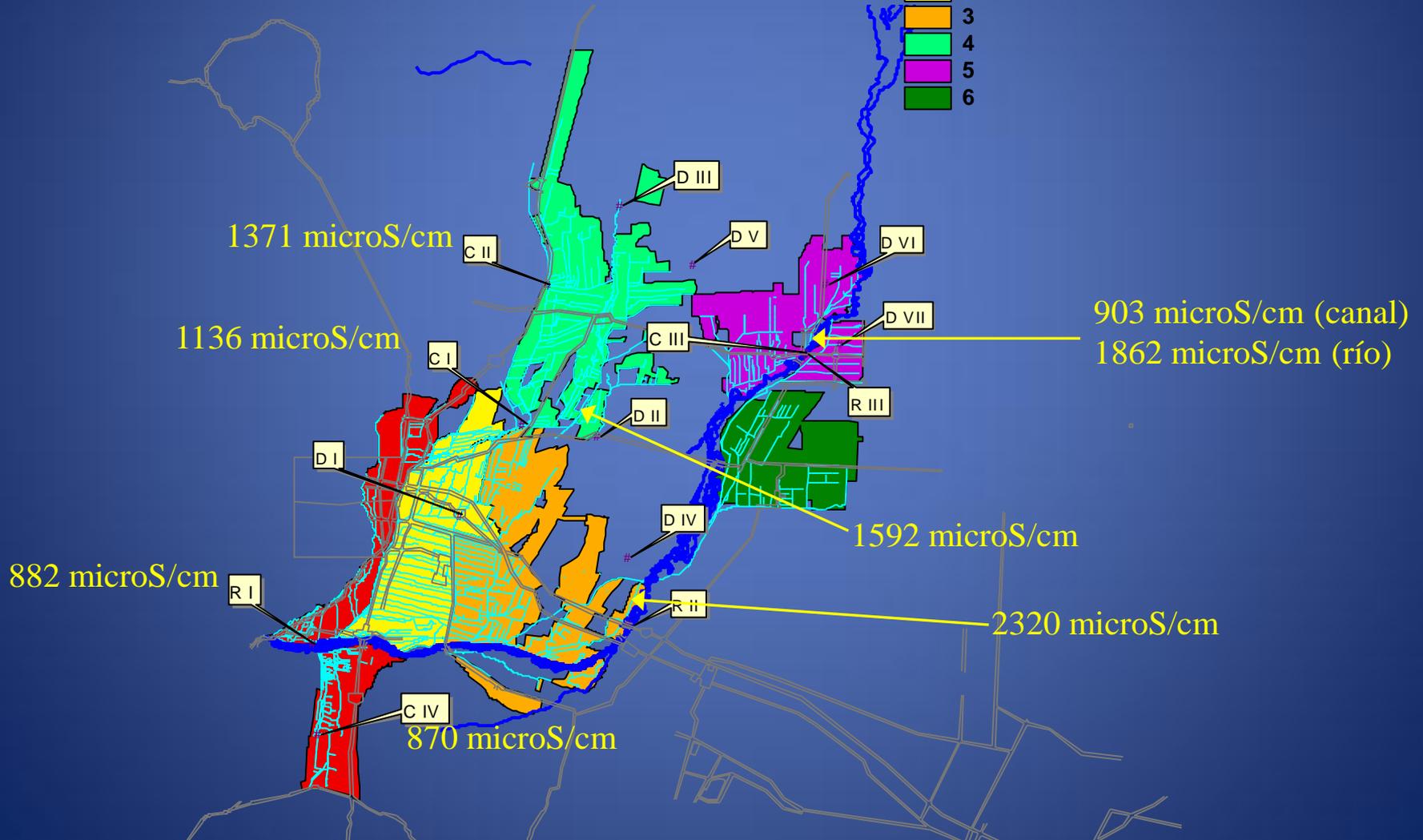
Sitio	T°C	pH	CE	RAS	Na	Cl	SO4	NO3	PO4	Cf	DQO	SS10
			($\mu S/cm$)		(mE^{L-1})	NMP						
R I	15.4	7.66	887	1.07	2.10	1.88	5.80	1.54	0.44	66	17.7	0.01
	3.5	0.45	103	0.25	0.53	0.63	0.82	0.95	0.44	276	23.4	0.06
R II	18.9	7.65	2242	2.03	6.50	4.65	19.01	2.11	1.75	2244	24.8	0.20
	5.2	0.36	422	0.61	2.21	1.40	4.84	0.91	2.30	5282	23.8	0.54
R III	17.1	7.72	1881	2.22	6.22	4.44	13.38	4.83	8.13	1724	60.3	0.21
	6.1	0.44	577	0.79	2.68	1.66	5.38	3.64	5.75	4832	56.0	0.31
C I	15.3	7.66	1102	1.25	2.77	2.47	6.98	4.07	0.95	3289	16.7	0.07
	4.1	0.37	260	0.35	1.03	1.09	2.02	3.64	0.89	6173	12.6	0.12
C II	14.9	7.57	1309	1.88	4.35	3.25	8.41	5.25	2.33	4331	22.0	0.20
	4.0	0.36	433	0.83	2.59	1.87	2.98	4.37	1.87	13474	19.7	0.26
C III	15.1	7.82	983	1.22	2.88	2.60	7.02	1.55	0.33	324	26.4	0.09
	4.3	0.36	339	0.44	1.92	1.50	4.00	0.31	0.11	909	36.7	0.25
C IV	14.6	7.82	885	1.10	2.25	2.15	6.06	2.13	0.46	1186	26.3	16.86
	3.8	0.37	108	0.42	1.83	1.47	4.69	1.10	0.24	2519	32.6	131.36
C V	15.6	7.48	1483	1.44	3.82	3.57	10.18	2.16	1.24	501842	91.2	0.69
	3.7	0.31	498	0.42	1.58	1.56	4.00	1.94	1.03	1420153	93.3	0.69

RESULTADOS

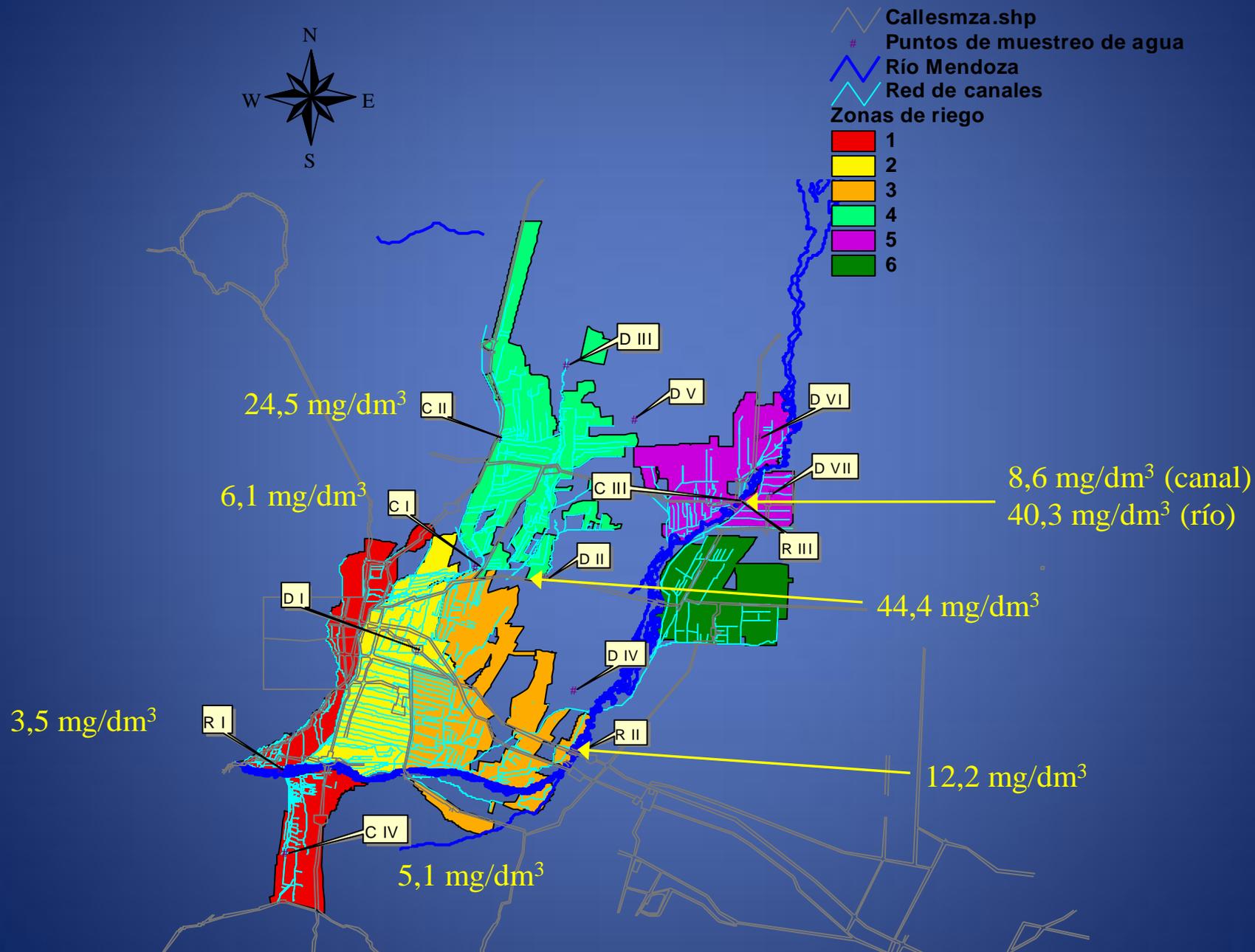
Salinidad del agua de riego en distintos puntos del sistema



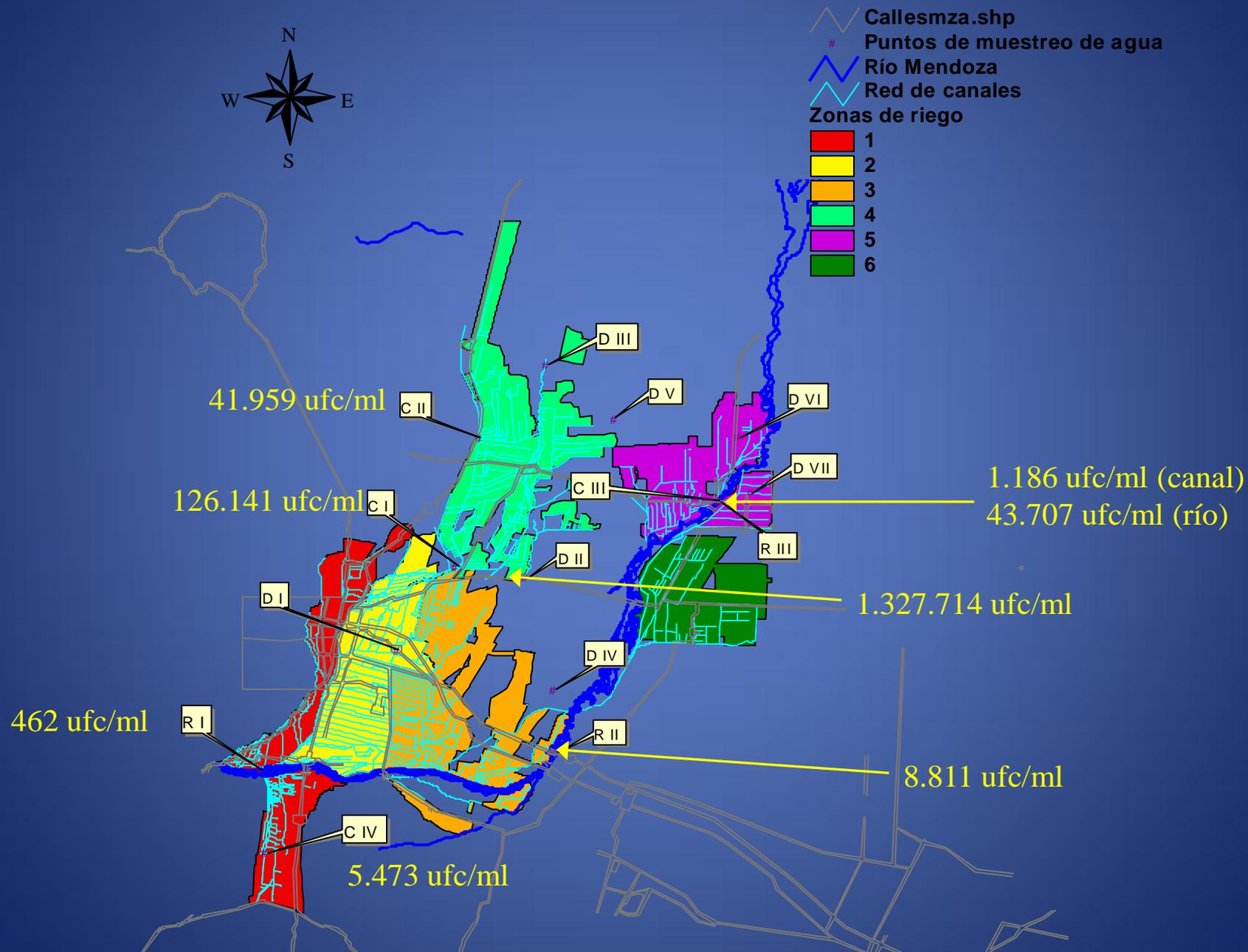
- Callesmza.shp
- Puntos de muestreo de agua
- Río Mendoza
- Red de canales
- Zonas de riego
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6



Demanda Química de Oxígeno en el agua de riego de distintos puntos del sistema



Bacterias Aerobias Mesófilas en el agua de riego de distintos puntos del sistema



Media y nivel de significancia ($\alpha = 0,05$) según prueba de Scheffé para distintas variables medidas en río

Sitio	CE	RAS	DQO (mg L^{-1})	BAM
R_III	1862 b	2,25 a	40,29 a	43707 a
R_II	2320 a	2,06 a	12,24 b	8811 b
R_I	882 c	1,09 b	3,53 b	462 b

Media y nivel de significancia ($\alpha = 0,05$) según prueba de Scheffé para distintas variables medidas en canales

Sitio	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	RAS	DQO (mg L^{-1})	OD (mg L^{-1})	BAM
C_V	1592 a	1,46 b	44,43 a	5,75 c	1327714 a
C_II	1371 ab	2,12 a	24,53 ab	8,09 b	41959 b
C_I	1136 bc	1,32 b	6,12 b	9,46 ab	126141 b
C_III	903 c	1,09 b	8,60 b	9,93 a	1186 b
C_IV	870 c	1,09 b	5,13 b	9,60 ab	5473 b
R_I	882 c	1,09 b	3,53 b	9,11 ab	462 b

CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas de valores medios de salinidad y de RAS entre los distintos puntos del río, entre la cabecera del sistema (R_1) y los canales y entre los drenes entre sí.

En el río existen diferencias significativas entre las medias de DQO. En el caso de R_1 y canales, se observan diferencias significativas entre las medias de DQO y OD.

En río se observan diferencias significativas entre las ufc medias de bacterias aerobias mesófilas. En R_1 y canales se observan diferencias significativas entre el C_V y el resto de los canales.

En río y entre R_1 y canales respecto a las variables bacterias coliformes totales y coliformes fecales, se observan diferencias significativas.

INDICADORES DE DESEMPEÑO

1. Manor S. (1991) presenta “*indicador de desempeño o performance indicator*”, en un seminario internacional desarrollado en Mendoza.
2. Chambouleyron y otros (1991), presentaron indicadores de desempeño físicos, cualitativos y de manejo, para el río Tunuyán inferior.
3. Bos y Chambouleyron (1999) definieron un “parámetro de desempeño ambiental” en función de los valores medidos de cada variable y el valor crítico de las mismas en función de la normativa vigente (máximo permitido, Resol.778/96 del DGI). El río Tunuyán para los ciclos agrícolas 95-96, 96-97 y 97-98 tiene “buena” calidad en el ingreso al sistema y se iba perdiendo por efecto de la contaminación.
4. Bos (2005) y Burton & Molden, resume en sus “Practical guidelines” años de investigación en la búsqueda, definición, selección y aplicación de parámetros de desempeño.
5. Prieto (2006) en Santiago del Estero, hace un prolijo relevamiento de la información disponible y obtiene un set de indicadores relacionados con la evolución histórica del manejo del recurso en esa provincia y con la modernización de las prácticas agrícolas destinadas a conseguir una mayor eficiencia en el uso del agua.

$$\text{INDICADOR} = \text{ICE P - C} = \frac{\text{valor medido}}{\text{valor límite permitido de la normativa}}$$

Valores máximos permitidos y tolerables según resolución 778/96 del DGI

Resolución 778/96 (DGI)	Ítem	Parámetro	Unidades	Máximo Permitido	Máximo Tolerable
Parámetros Físicos	1	Conductividad eléctrica específica	μS (a 25 °C)	900	1800
	2	Temperatura	°C	30	45
Parámetros Químicos	4	Cloruros	mg/l	200	400
	5	Fosfatos	mg/l	0.4	0.7
	6	Nitratos	mg/l	< 45	45
	7	PH	Número	6.5 a 8.2	5.5. a 9.0
	8	RAS	Número	6	Nunca >12
	9	Sodio	mg/l	150	275
	10	Sulfatos	mg/l	250	400

La nomenclatura utilizada para los distintos indicadores permite diferenciar si se trata de valores permitidos (P) y tolerables (T) referidos al río (R) o a los canales (C) de riego o de drenaje (D). Ej.: indicador máximo permitido de CE de canal de riego será: ICE P – C

Simula un práctico sistema de alerta, para cada sitio de muestreo, como un diagrama de barras coloreadas (blanco, **rojo suave** y **rojo fuerte**) aumentando la intensidad del color a medida que se incrementa la contaminación.

INDICADOR < 1

Barra blanca → no contaminado

1 < INDICADOR < 2

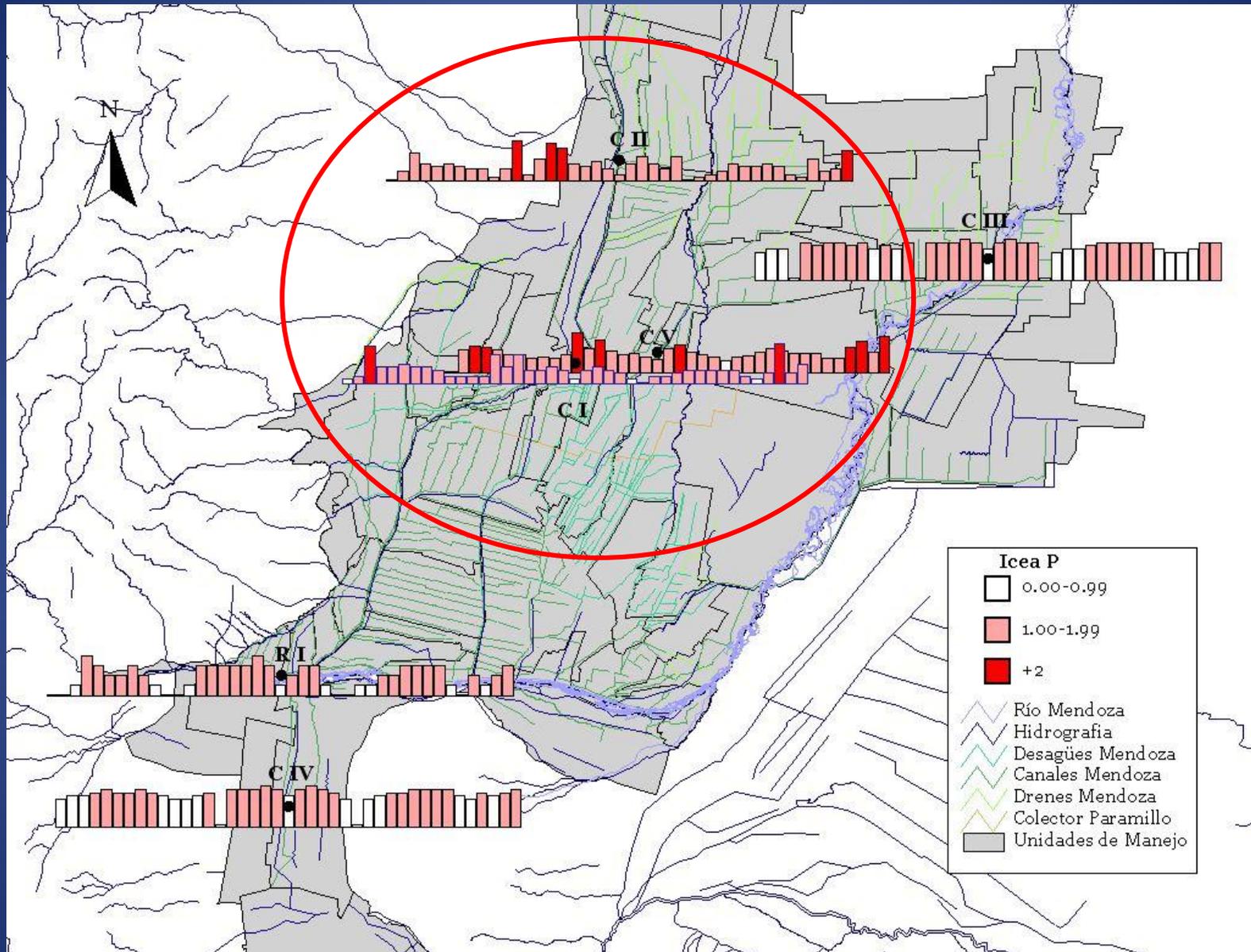
Rojo suave → contaminado

INDICADOR > 2

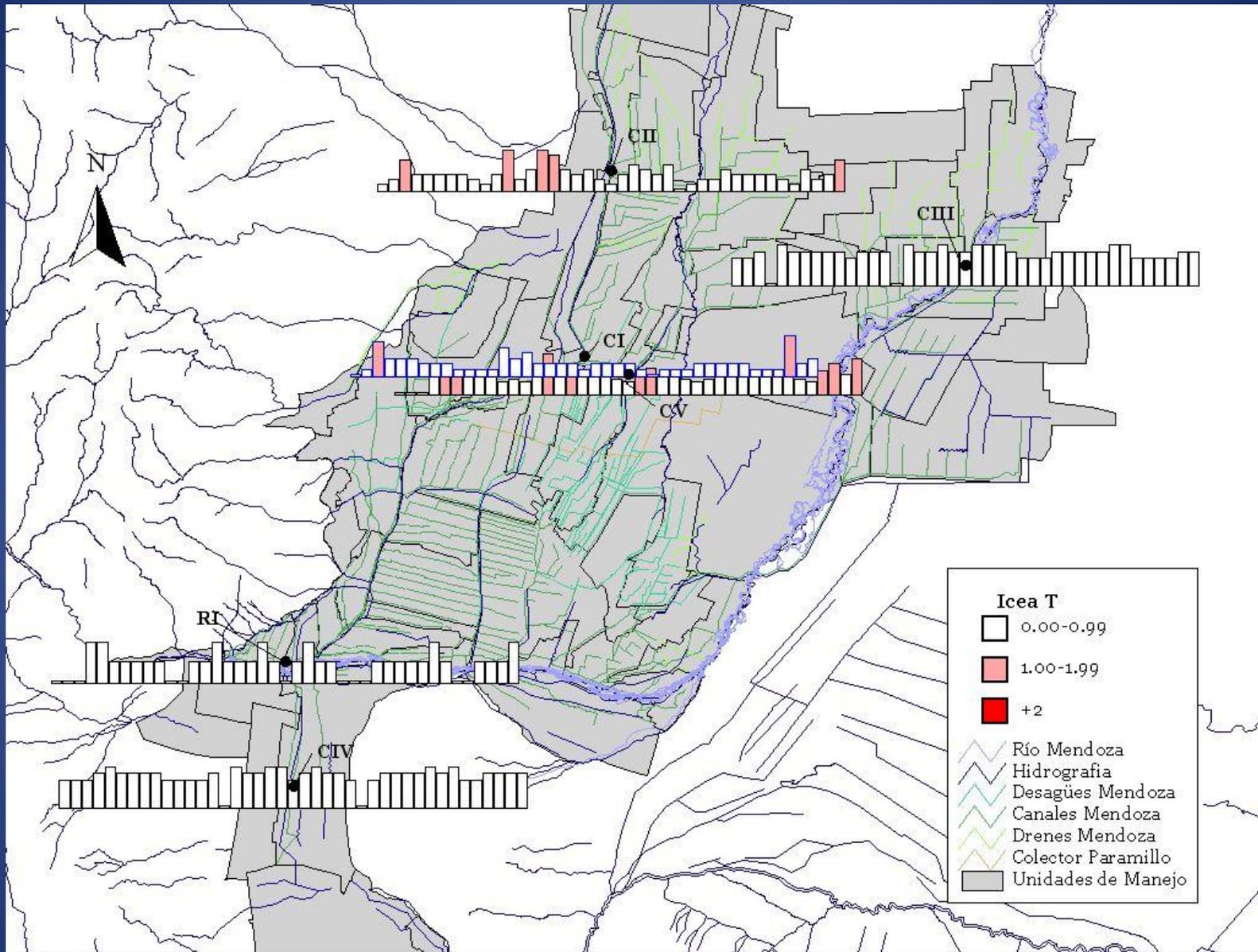
Rojo fuerte → altamente contaminado

La base de datos que origina este sistema de alerta podrá seguir siendo actualizada a medida que es utilizada por el gestor, permitiendo así un oportuno control de los niveles de contaminación que ayudará a una rápida acción de mitigación del/los posibles impactos en cualquier sitio de la red.

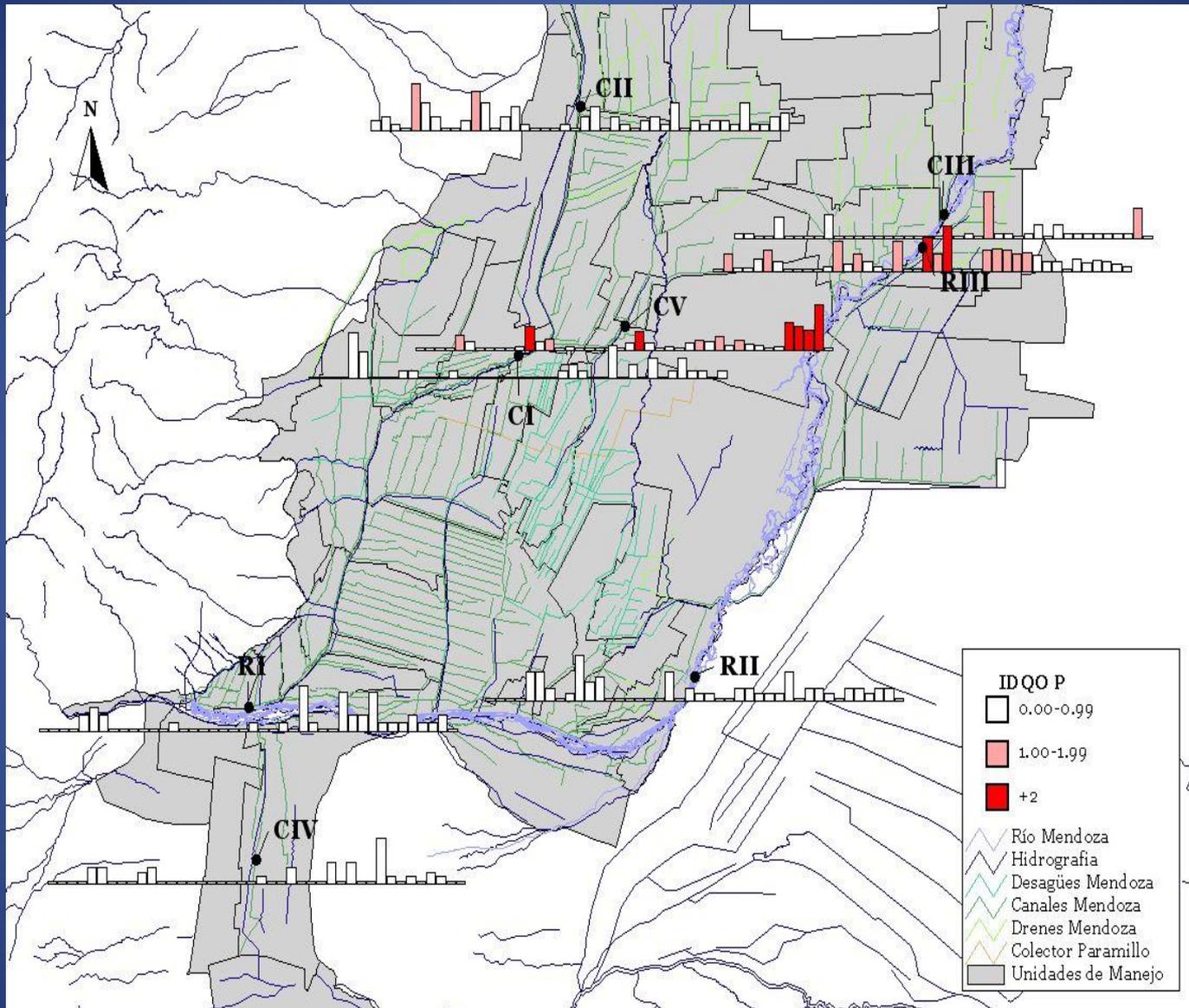
RESULTADOS



Índice CE Máx. Permitido 900 ds/m. Río y Canales (Ice P-RyC)



Índice CE Máx. Tolerable 1800 dS/m. Río y Canales. (Ice T-RyC).



Índice DQO Permitido Demanda Química de Oxígeno (IDQO P)

CONTAMINACIÓN POR FOSFATOS EN EL OASIS BAJO RIEGO DEL RÍO MENDOZA

E. Lavie, J. Morábito, S. Salatino, A. Bermejillo y M. Filippini

Los fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en el agua en cantidad excesiva inducen:

- crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando eutrofización

- estas algas reducen la velocidad de circulación del agua en canales, disminuyendo su capacidad de conducción y aumentando las pérdidas

- cuando las algas mueren, son descompuestas por los microorganismos, que se agotan el oxígeno disuelto y hacen imposible la vida de otros seres vivos

- El fosfato proviene de: fertilizantes y abonos, la materia orgánica, la basura, vuelcos cloacales, los detergentes fosfatados

Se han observado numerosas relaciones entre el consumo de aguas fosfatadas y el aumento de casos de cáncer y enfermedades neuro-degenerativas

Canales de riego



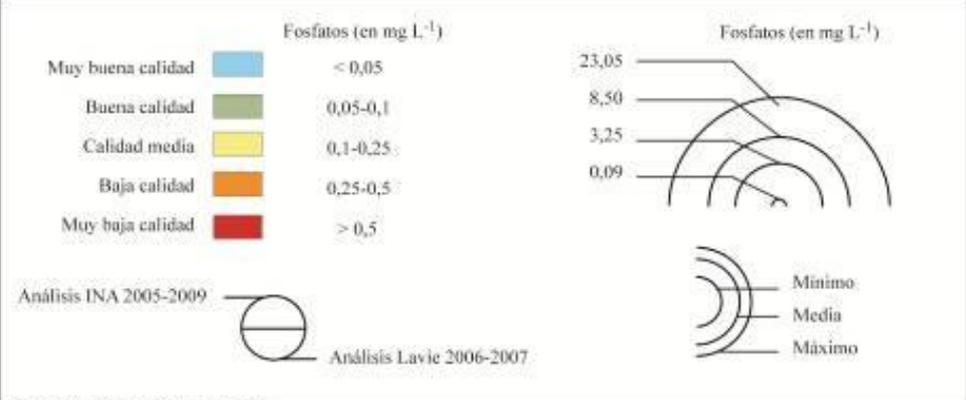
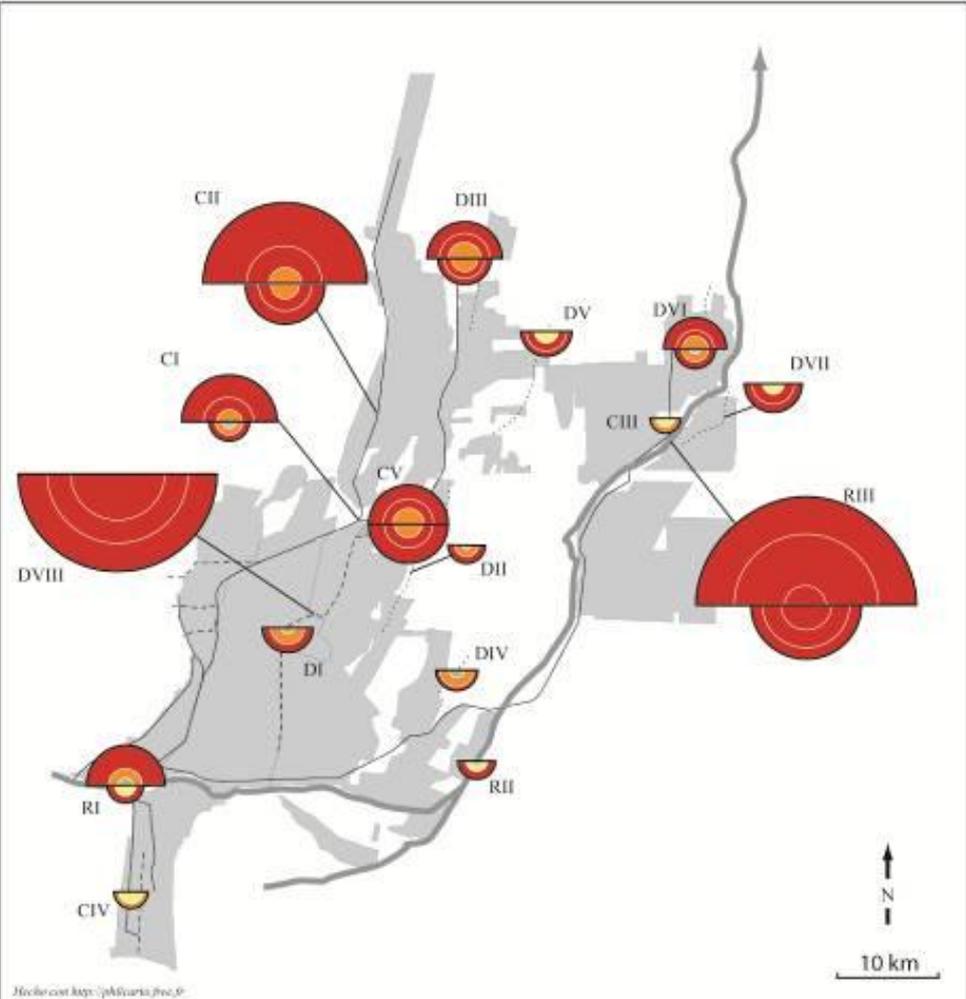
Moderada contaminación por fosfatos.

Se detectaron niveles considerablemente altos de fosfatos en 3 sitios servidos:

- Canales Cacique Guaymallén y Jocolí
- Tramo Colector Pescara-Auxiliar Tulumaya
- La zona del Bajo río Mendoza

Las principales fuentes de contaminación por fosfatos estarían relacionadas a efluentes domésticos e industriales.

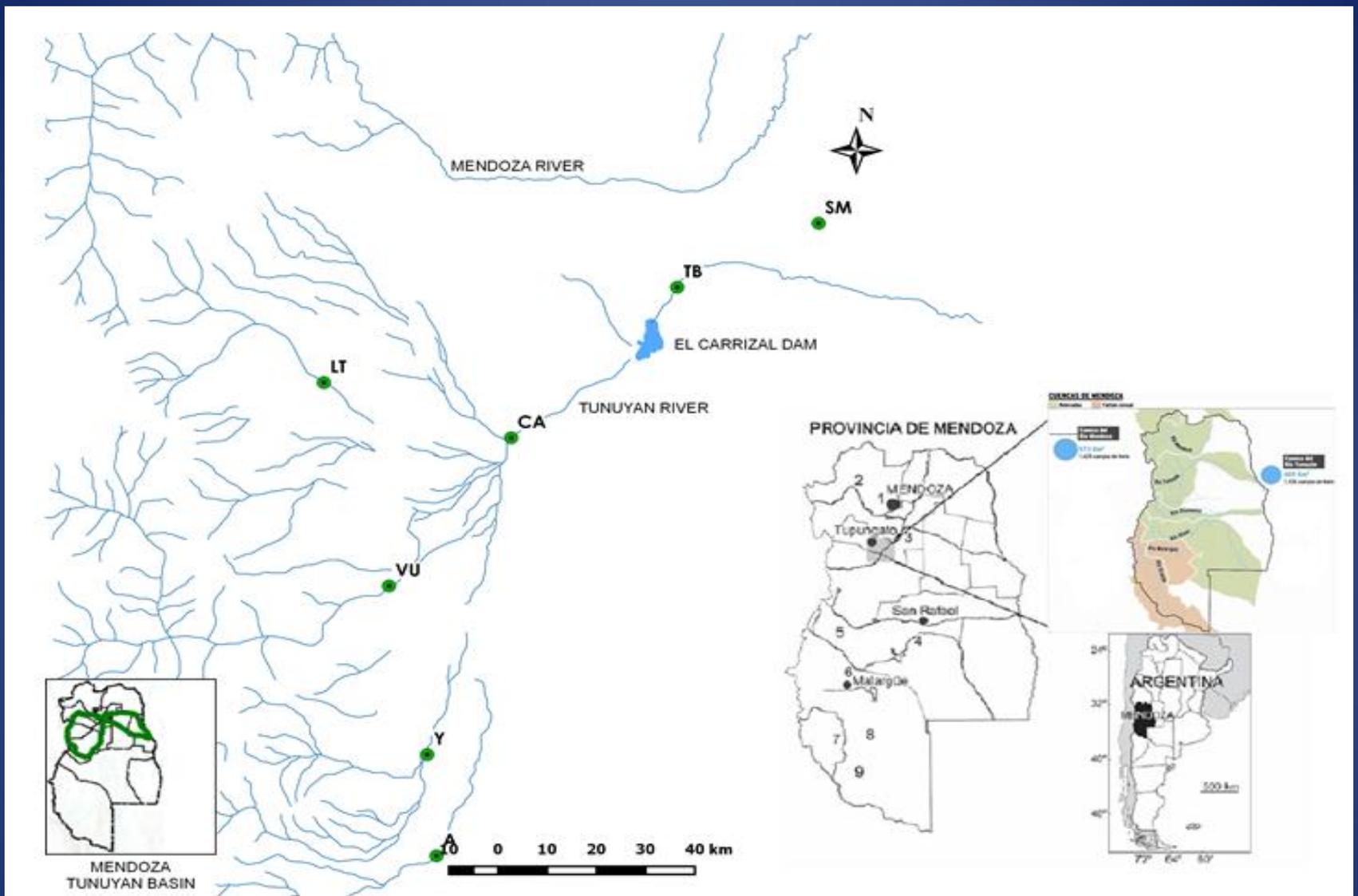
Resolución 778 – DGI, Mendoza
Limite máximo permitido $0,4 \text{ mg L}^{-1}$
Límite máximo tolerable $0,7 \text{ mg L}^{-1}$



Río Tunuyán Superior (Mendoza, Argentina): ocho años de registros de calidad de agua. Análisis evolutivo de la contaminación

S. Salatino, J. Morábito, A. Bermejillo, C. Dediol, A. Stocco, O. Tapia, S. Miralles,
R. Hernández, L. Mastrantonio, D. Genovese y N. Ortiz

Proyecto financiado por SECTyP-UNCuyo y COVIAR



Área de estudio en la cuenca del río Tunuyán y localización de los sitios de monitoreo

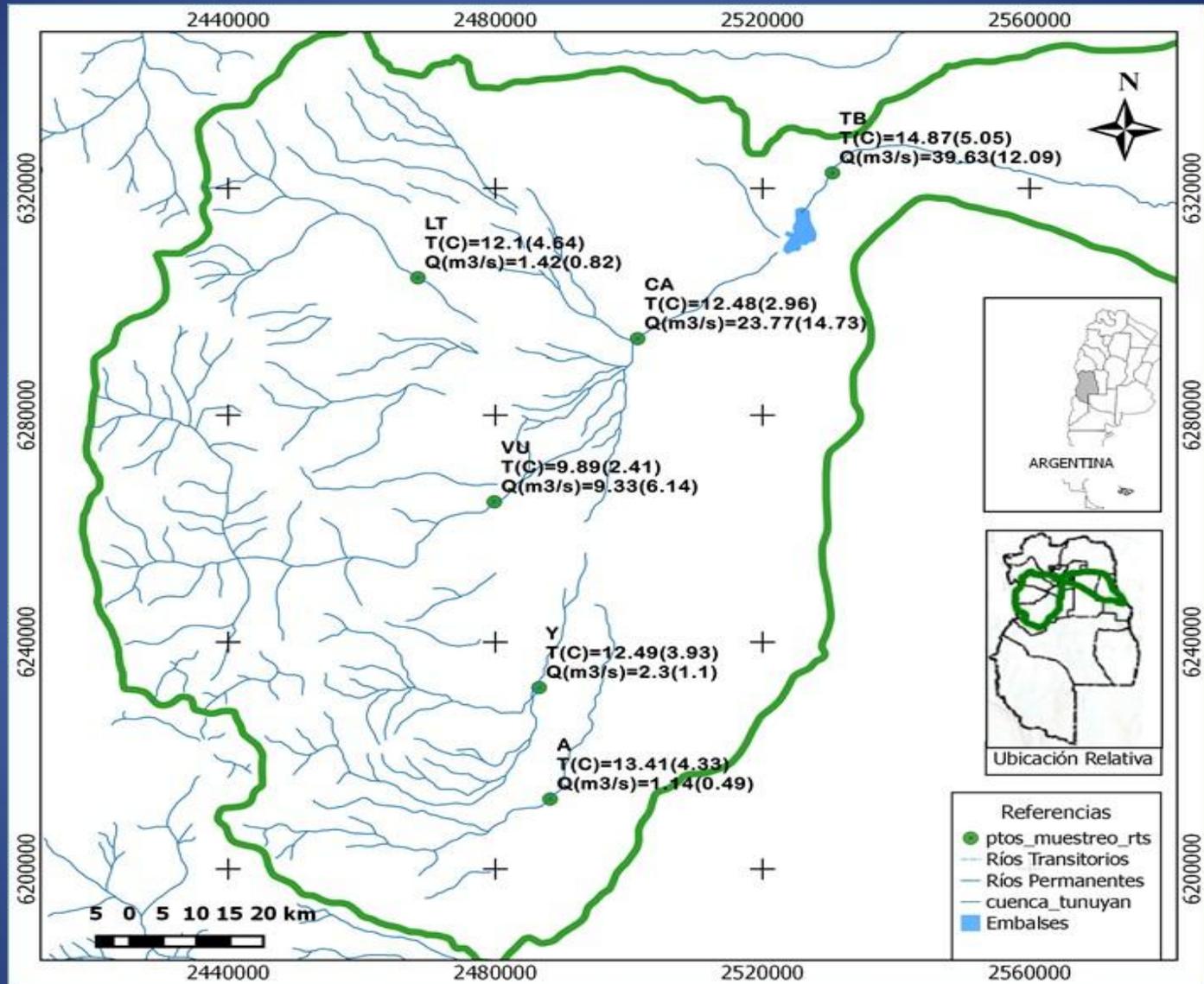
MATERIALES Y MÉTODOS

- 6 sitios de muestreo representativos **VU** (Dique Valle de Uco), afluentes principales **LT** (río Las Tunas), **A y Y** (arroyos Aguanda y Yaucha) y de receptores CA (Costa Anzorena) y Dique Tiburcio Benegas (TB) derivador del río Tunuyán inferior.
- Muestreo con frecuencia mensual
- Metodología del Standard Methods (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Los parámetros analizados fueron:

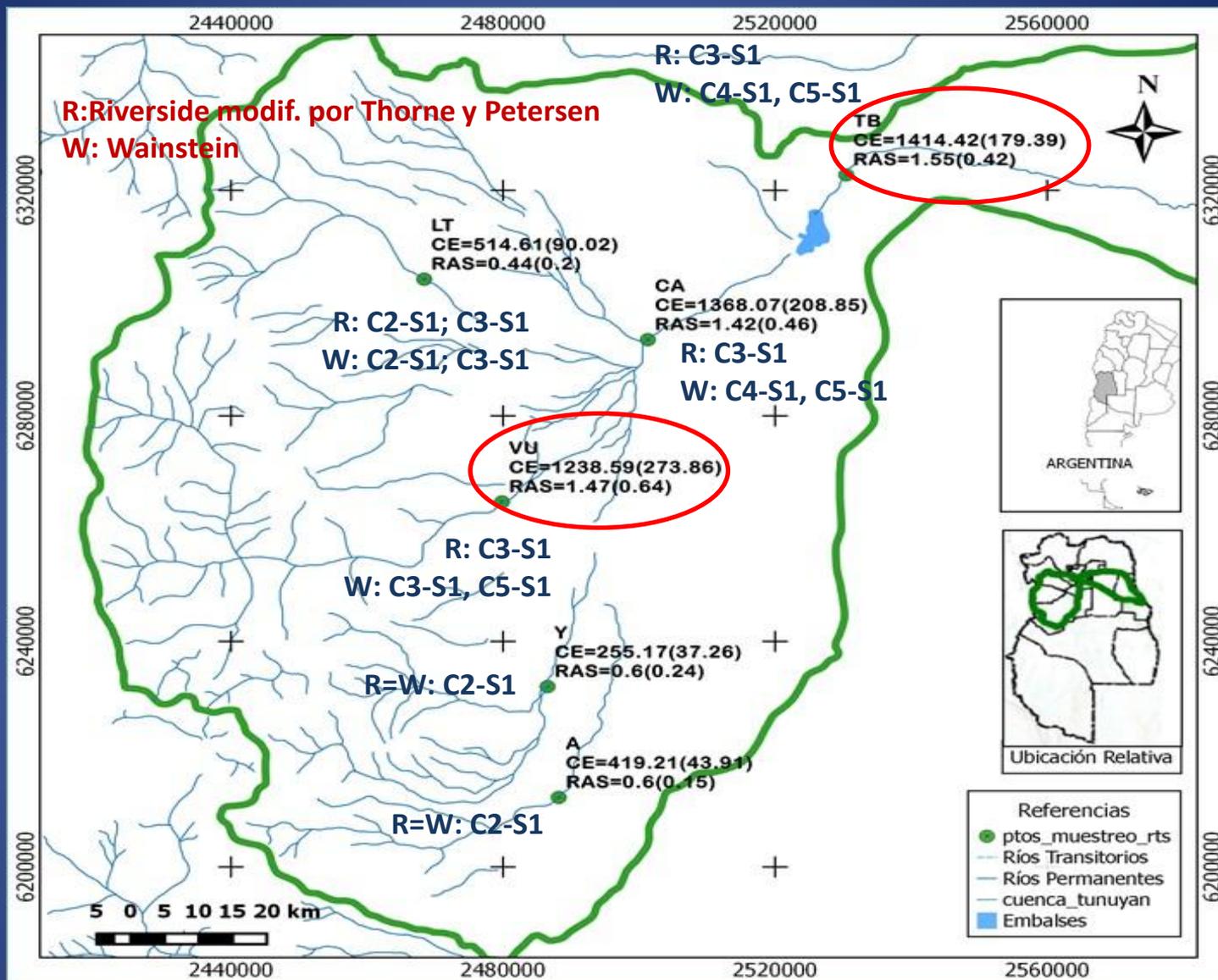
- Físico-químicos: temperatura, conductividad eléctrica a 25°C (CE), RAS, nitratos y fosfatos.
- Micro-biológicos: bacterias aerobias mesófilas (BAM) (ufc.100 mL-1).y Coliformes fecales (NMP.100 mL-1).
- Demanda química de oxígeno (DQO) y oxígeno disuelto (OD).
- En mapas de la cuenca se identificaron los sitios de muestreo y se incluyeron los valores medidos de los diez parámetros estudiados.

RESULTADOS



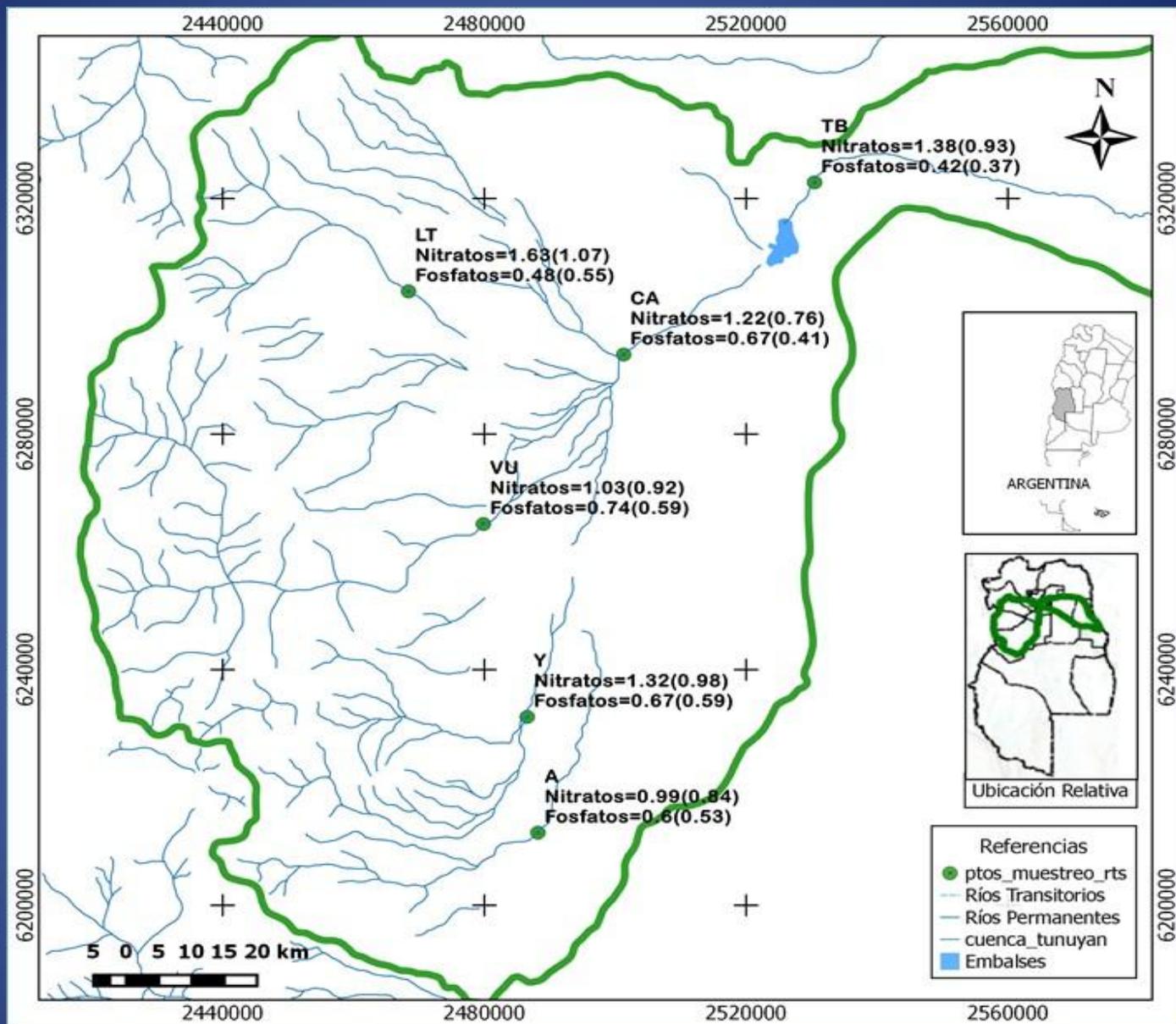
Sitios de muestreo y valores medios de temperatura y caudal

S	E	T °C	Q m ³ .s ⁻¹	CE μS.cm ⁻¹	RAS	NO ₃ mg.L ⁻¹	PO ₄ mg.L ⁻¹	DQO mg.L ⁻¹	OD mg.L ⁻¹	BAM u.f.c 100 mL ⁻¹	CF NMP100 mL ⁻¹
A	N	60	60	68	68	67	60	41	41	68	67
	M	13.4	1.14	419	0.6	0.99	0.6	19.15	8.1	8601	809
	DE	4.3	0.49	43.91	0.15	0.84	0.53	18.1	2.1	16755	3172
	Min	5	0.68	300	0.2	0.44	0.17	2	3.7	9	3
	Max	20	3.54	530	1	4.43	3.98	80	12	100000	24000
CA	N	52	52	67	67	66	60	49	56	70	67
	M	12.5	23.77	1368	1.42	1.22	0.67	44.59	8.14	365307	2154
	DE	3	14.73	208.85	0.46	0.76	0.41	55.56	2.01	2745612	5688
	Min	5	0.95	862	0.49	0.44	0.15	1	4.4	46	3
	Max	17	74.23	1804	2.98	3.54	2.29	262	12	23000000	24000
LT	N	58	58	67	67	67	60	31	58	68	67
	M	12.1	1.42	514	0.44	1.63	0.48	26.03	8.26	307794	41
	DE	4.6	0.82	90.02	0.2	1.07	0.55	25.78	1.66	2424399	45
	Min	2	0.01	350	0.03	0.44	0.01	1	5	10	3
	Max	21	4.1	801	1.38	5.32	2.79	103	11.2	20000000	300
TB	N	55	55	60	60	60	54	26	52	60	59
	M	14.9	39.63	1414	1.55	1.38	0.42	72.88	8.23	673454	1111
	DE	5.1	12.09	179.39	0.42	0.93	0.37	87.77	2.42	5163104	4385
	Min	6	22	986	0.4	0.44	0.11	6	0.7	90	3
	Max	22	61	1804	2.64	4.43	2.51	324	12	40000000	24000
VU	N	61	61	68	68	67	61	25	57	69	68
	M	9.9	9.33	1238	1.47	1.03	0.74	31.08	8.66	28693	192
	DE	2.4	6.14	273.86	0.64	0.92	0.59	31.16	1.77	1711901	641
	Min	5	0.46	799	0.19	0.44	0.12	2	4.5	10	3
	Max	15	41	1793	3.21	3.54	2.63	112	11.6	1400000	4600
Y	N	61	61	69	69	68	61	43	55	70	68
	M	12.5	2.3	255	0.6	1.32	0.67	27.07	8.34	7883	254
	DE	3.9	1.1	37.26	0.24	0.98	0.59	32.73	1.99	22651	711.4
	Min	5	0.29	170	0.02	0.44	0.11	4	4.3	30	3
	Max	19	7.82	344	1.44	4.43	3.25	188	11.5	180000	4600

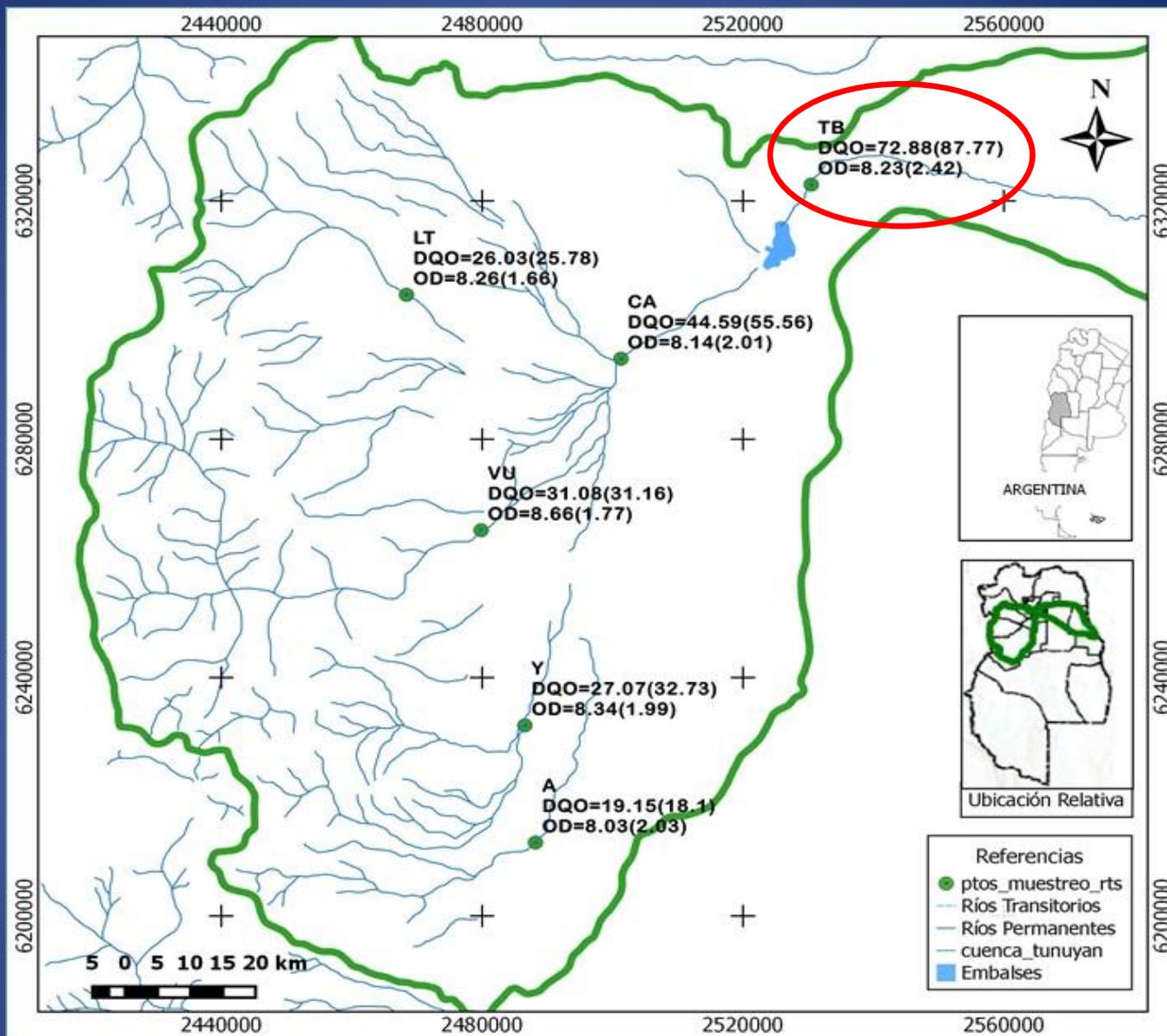


Valores medios de CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) y RAS

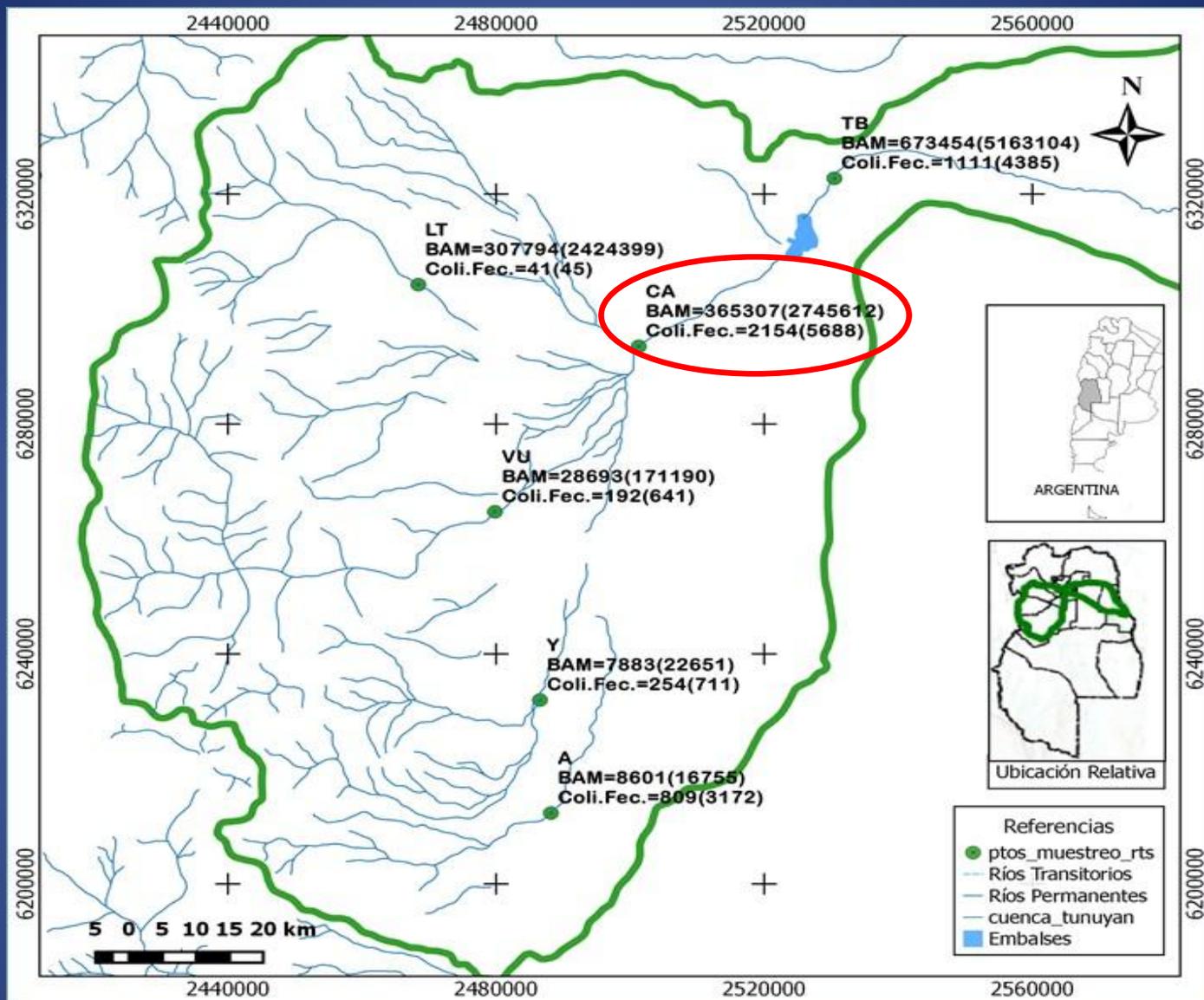
Incremento de agua para lavado, mayor salinidad en la rizosfera, menor producción y diferente calidad



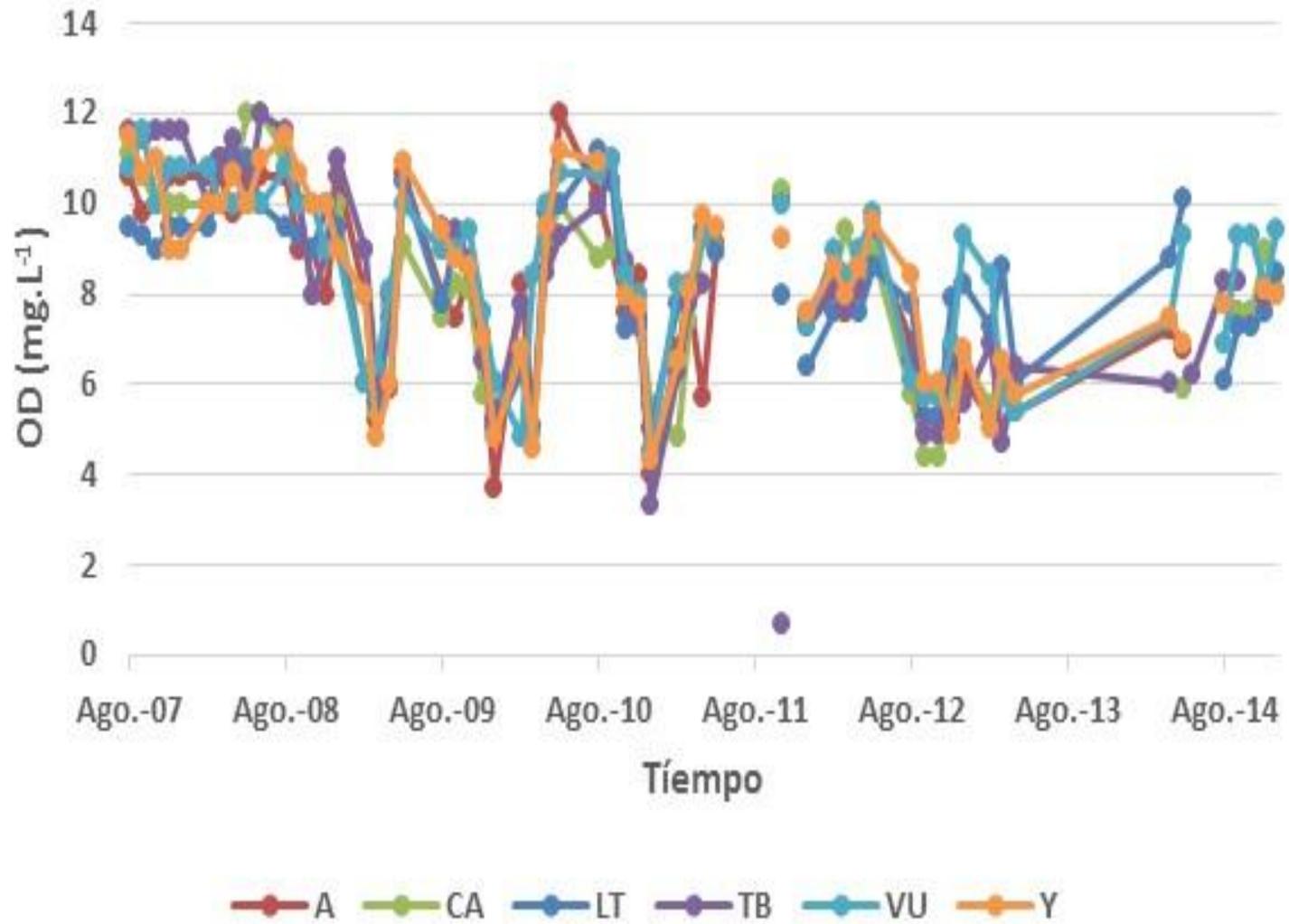
Valores medios de nitratos (<45) y fosfatos (<0.4) (mg.L⁻¹)



Valores medios de DQO (75) y OD (+5) (mg.L⁻¹)



Valores medios de BAM (ufc.100mL⁻¹) y
Coliformes fecales (NMP.100mL⁻¹) < 200



Variación temporal de OD

Comparación estadística de variables (2007-2009 versus 2012-2014)

Variable	Serie 2007-2009	Serie 2012-2014	
Parámetro	Media		Valor p
Temperatura (°C)	12.04	13.04	0.0507 ns
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	825	879	0.4071 ns
RAS	0.94	1.04	0.5760 ns
Caudal ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	14.73	10.39	0.1906 ns
Nitratos (mg.L^{-1})	1.50	1.45	0.9705 ns
Fosfatos (mg.L^{-1})	0.61	0.67	0.3297 ns
DQO (mg.L^{-1})	17.33	33.76	0.0001 *
OD (mg.L^{-1})	9.24	7.2	<0.0001 *
BAM (ufc.mL^{-1})	20593	15933	0.0989 ns
Colif. Fec. (NPMcel%ml)	1187	622	0.0010 *

CONCLUSIONES

La salinidad del agua arrojó valores bajos en subcuenca alta y mayores en VU y en subcuenca baja (CA y TB), comprobándose una tendencia creciente.

Una situación similar se observa con el parámetro RAS.

Los coliformes fecales en CA, TB y A superaron los valores máximos permitidos y tolerados (Res. 778/96 DGI) por vuelcos de efluentes domésticos y actividad ganadera (altos valores de CF y de BAM) y en menor medida por la actividad agrícola.

El análisis estadístico evidencia para DQO y OD una disminución de la calidad del agua. La carga de coliformes fecales mostró mejora (salvo Y).

Se debería asegurar un control más efectivo de los vertidos de las plantas de tratamiento de efluentes urbanos (pautas de gestión)

La educación ambiental fortalecería este objetivo.

Se aconseja continuar e intensificar el monitoreo.

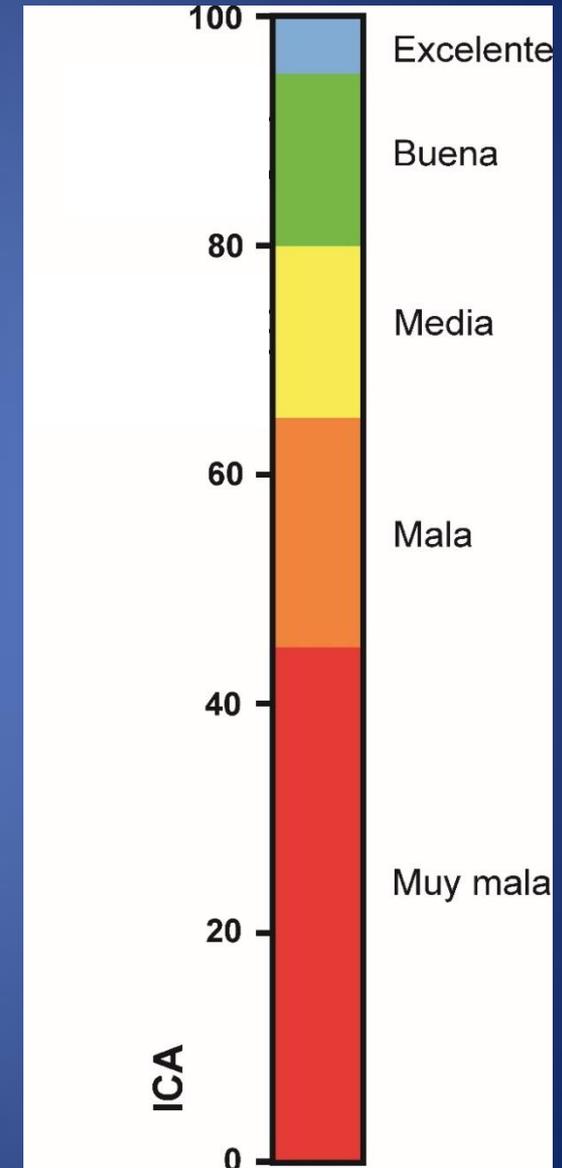
Es importante regular el crecimiento del área cultivada en la cuenca alta para minimizar los impactos negativos sobre la calidad del recurso en la cuenca inferior (aumento progresivo de la salinidad).

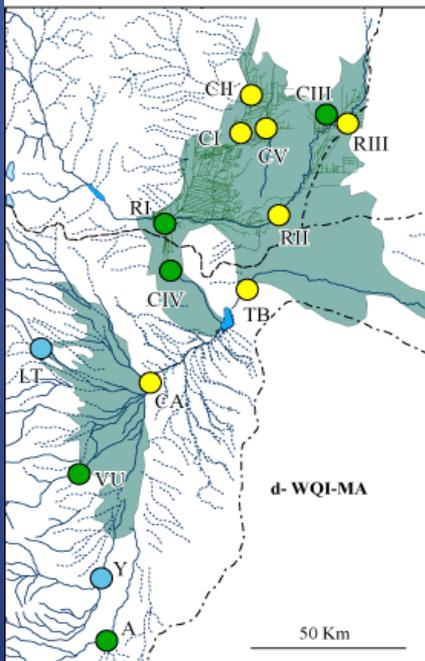
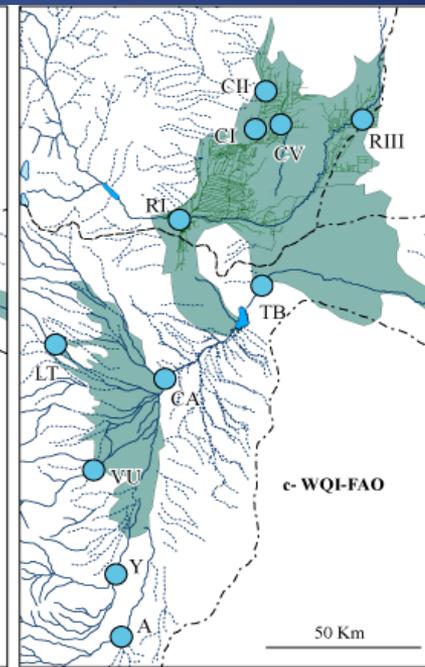
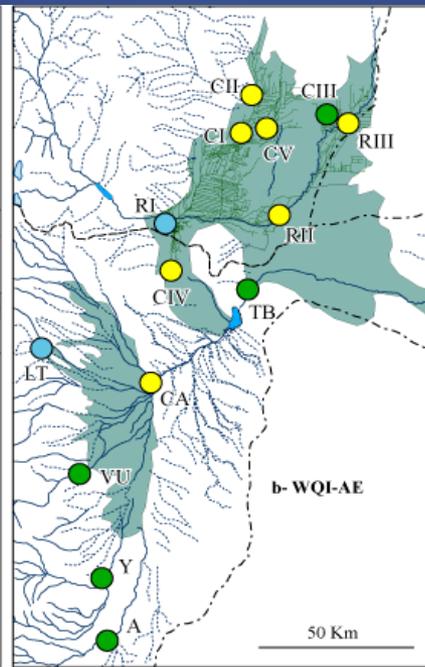
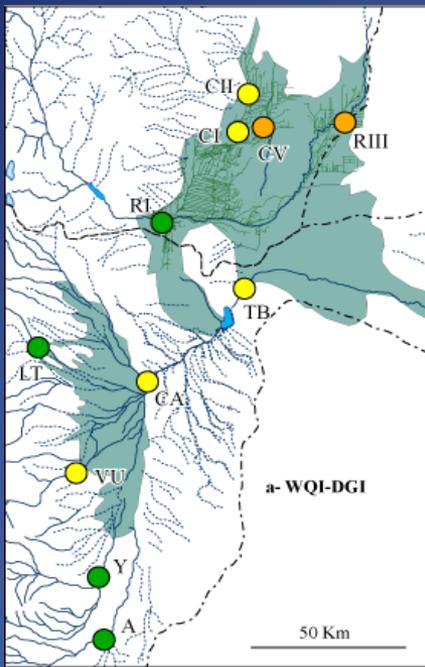
Índice de Calidad de Agua (ICA) de la cuenca del río Tunuyán

Water Quality Index (WQI)

Canadian Council of Ministers of Environment (CCME)

- Herramienta integrada : parámetros fisicoquímicos + bacteriológicos
- ICA CCME con los parámetros T, caudal, pH, CE, RAS, Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} , P, DQO, OD, BAM , CT y CTT
- Diferencia de calidad por cuencas





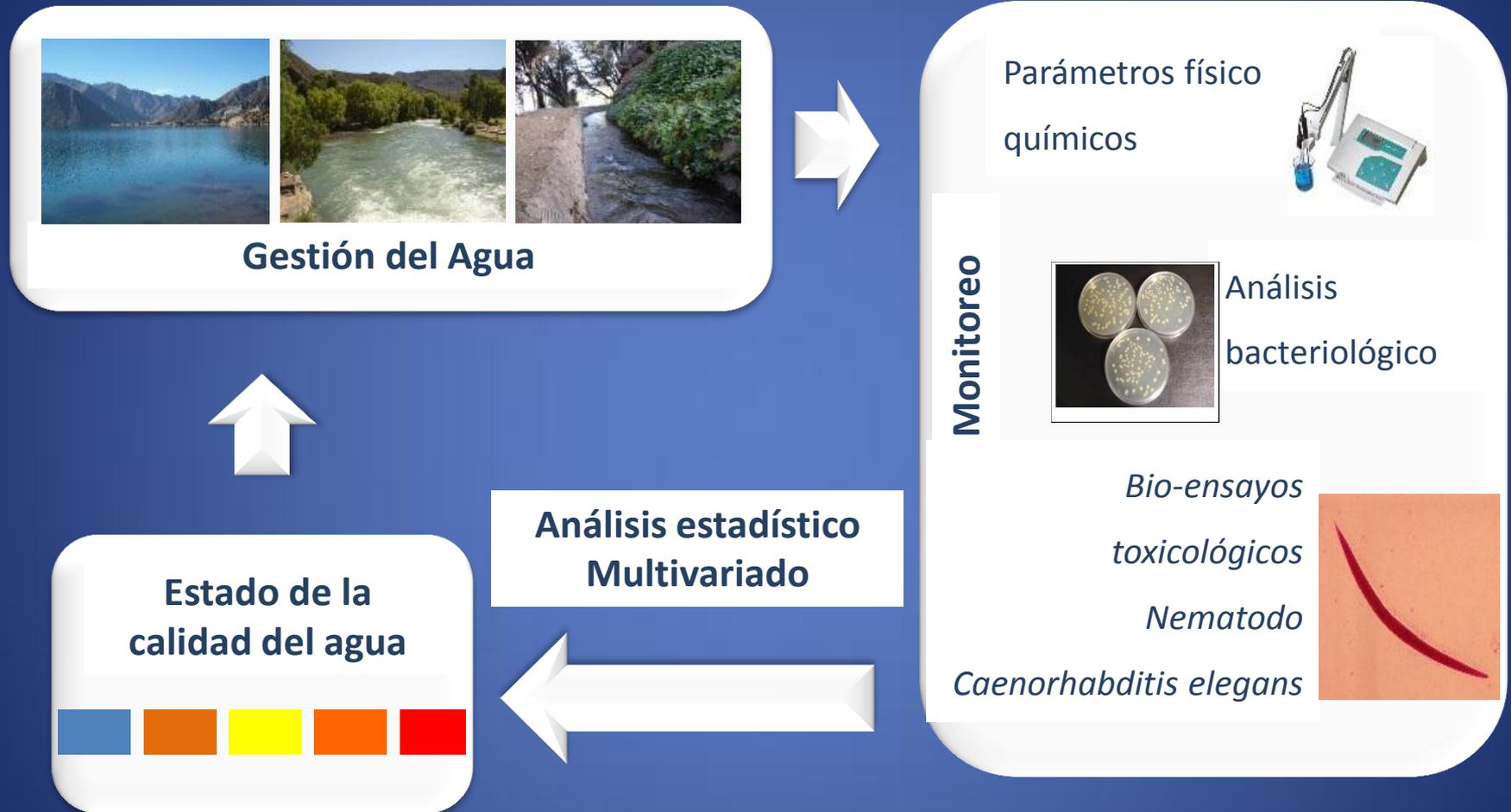
Parámetros	Unidad	Valor Límite elegido
Temperatura	°C	30
pH	-	6,5 a 8,2
Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm a 25°C	900
Relación de adsorción de sodio (RAS)	-	6
Sodio (Na ⁺)	mEq/L	6,52
Cloruros (Cl ⁻)	mEq/L	5,65
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mEq/L	5,21
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mEq/L	45
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	mEq/L	0,4
Coliformes fecales	u/100 mL	200
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	75
Sólidos sedimentables en 10 min	mL/L	0,5

Indicadores integrales de calidad: *Water Quality Index (WQI)*

Conclusiones

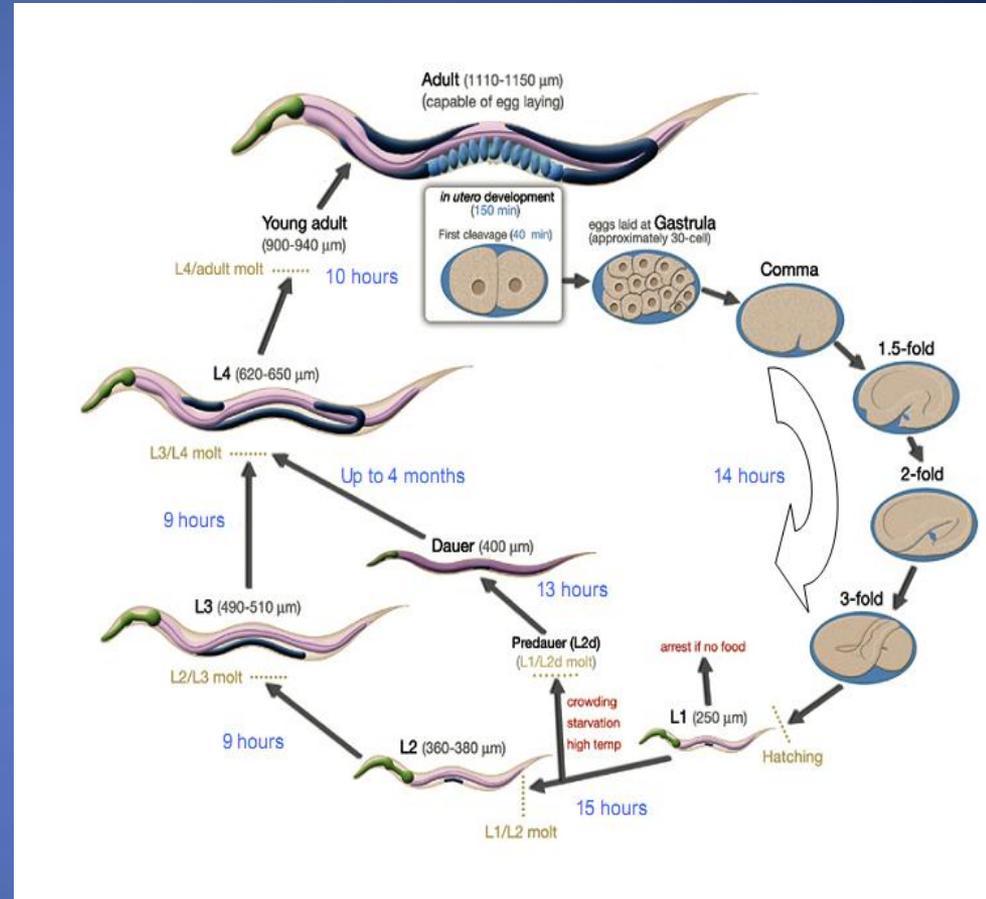
- El índice WQI-DGI permite distinguir sitios con pocos parámetros problemáticos de otros con muchos problemas de calidad pero no refleja la mejora de la calidad entre los sitios CA (antes del embalse) y TB (dique derivador), a pesar de la decantación y diluciones ocurridas en El Carrizal
 - Buena calidad (sólo 2 parámetros: fosfatos y sólidos) en sitios aguas arriba de las actividades antrópicas (R I, LT, Y, A)
 - Aceptable: CI, CII, VU, CA y TB (fosfatos, colif. fec., sulfatos, RAS y CE)
 - Marginal: CV y RIII (fosfatos, colif. fec., sulfatos, RAS, C.E., DQO y sólidos)
con fuerte variabilidad

El nematodo *Caenorhabditis elegans* como modelo biológico de estudios tóxico-moleculares para la evaluación de la calidad de agua



Caenorhabditis elegans como modelo biológico

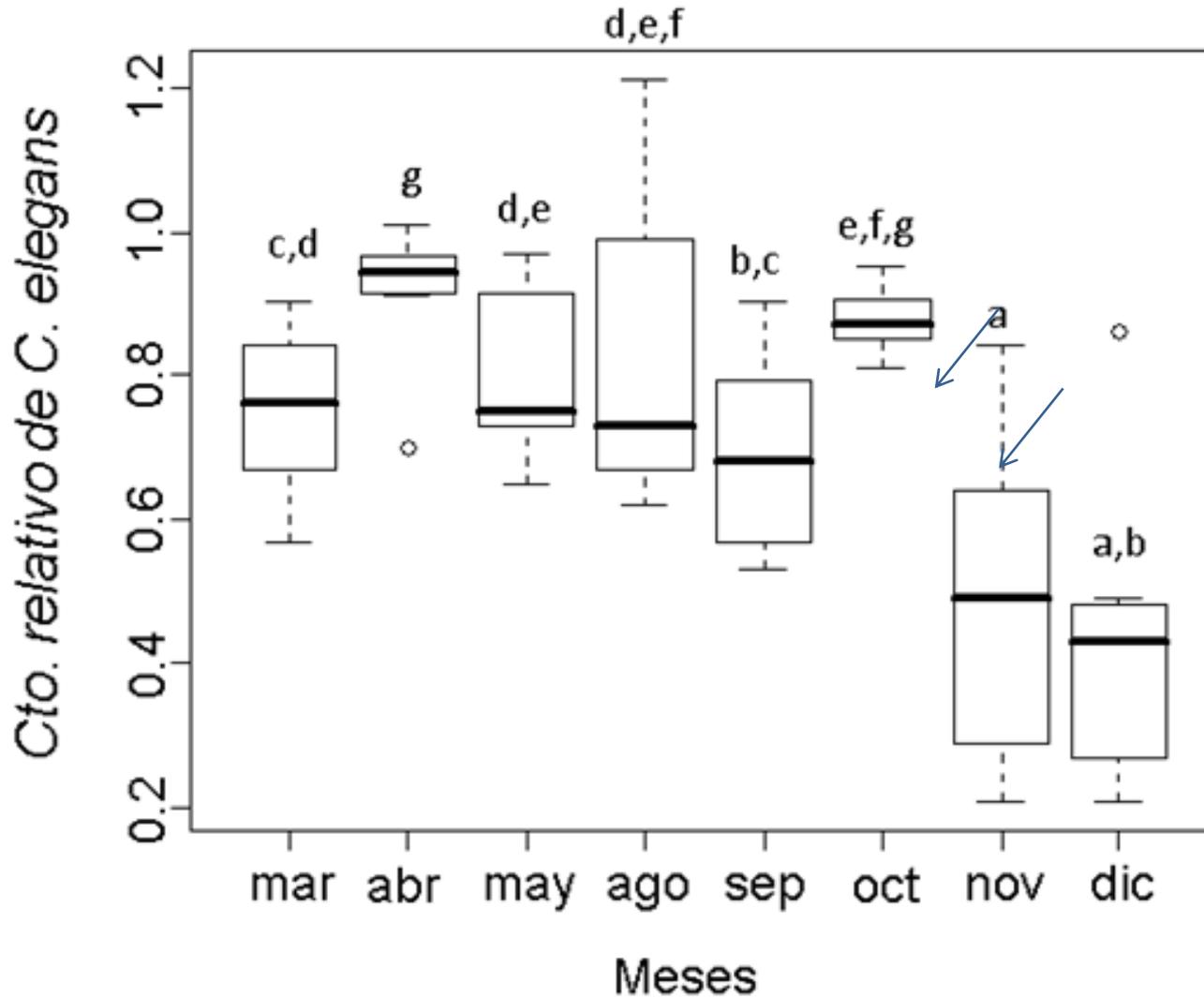
- Ciclo de vida corto (3 a 5 días a 25 ° C)
- Pequeño: 1 mm cuando adulto
- Transparencia corporal
- Mantenimiento sencillo:
 - Se alimenta con *E.coli*
 - Se puede congelar a -80°C
 - Hermafroditismo
- Alta reproducibilidad de los ensayos
- Similitud génica y similitud proteica con el ser humano: 43%



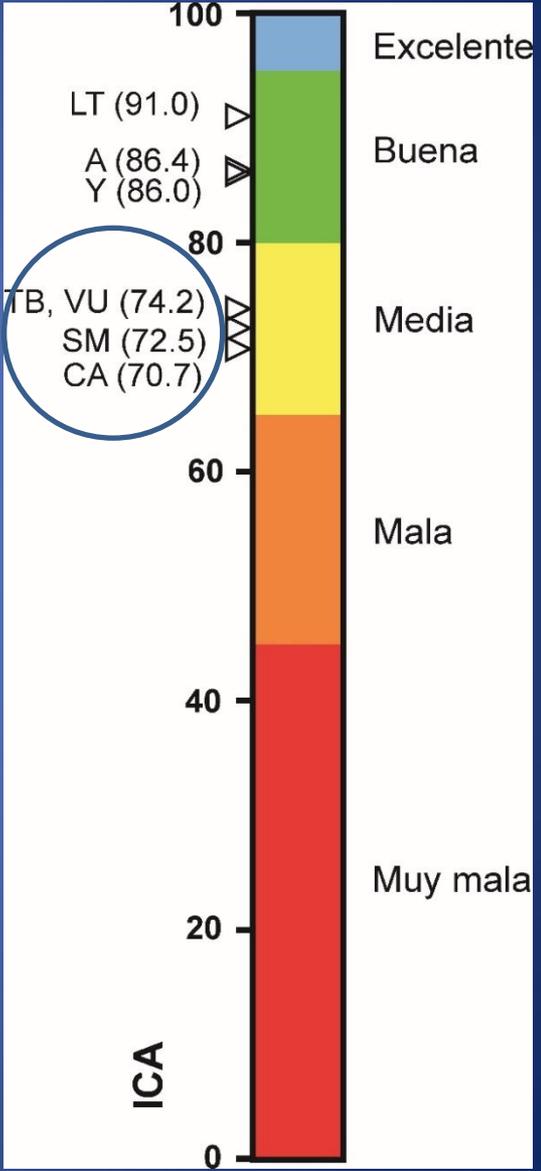
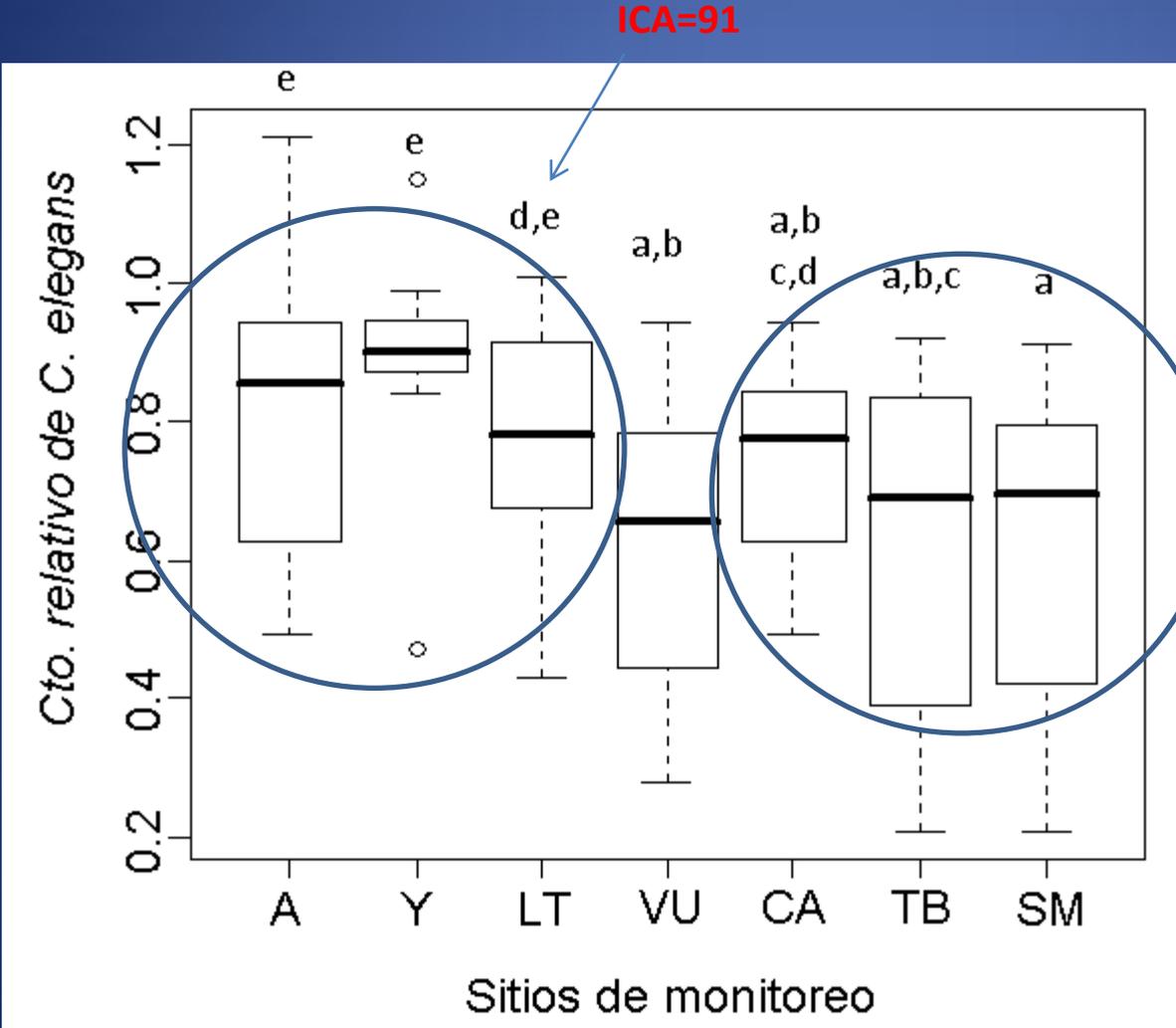
ISO 10872:2010

Water quality -- Determination of the toxic effect of sediment and soil samples on growth, fertility and reproduction of *Caenorhabditis elegans* (Nematoda)

Crecimiento de *C. elegans* a lo largo del año



Crecimiento de *C. elegans* por sitio de muestreo



Conclusiones

- Se definieron dos calidades de agua diferentes, marcando dos subcuencas.
- Un ICA alto no necesariamente refleja la condición toxicológica del agua.
- El bioensayo con *C. elegans* identifica posibles situaciones de riesgo referido a la calidad del agua.
- Queda demostrada la idoneidad del nematodo *C. elegans* como organismo modelo para la evaluación toxicológica integral de la calidad de agua.
- Estos resultados demuestran que los bioensayos ecotoxicológicos, como el crecimiento relativo de *C. elegans*, complementan los análisis clásicos de agua y deben ser incluidos en los monitoreos de rutina para evaluar los efectos de múltiples factores en los ecosistemas.

MUCHAS GRACIAS

