



REHABILITACIÓN DE LAGUNA DEL SAUCE: PERSPECTIVAS DESDE EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE

INSTITUTO SARAS²
Bella Vista
MAYO 2017



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



- **APROXIMACIONES Y FUENTES DE INFORMACIÓN**
- **CONCEPTOS CLAVES Y PROBLEMÁTICA**
- **ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN**
- **ORDENAMIENTO TERRITORIAL: PREVENCIÓN, REHABILITACIÓN Y ANTICIPACIÓN**

- **APROXIMACIONES Y FUENTES DE INFORMACIÓN**
- **CONCEPTOS CLAVES Y PROBLEMÁTICA**
- **ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN**
- **ORDENAMIENTO TERRITORIAL: PREVENCIÓN, REHABILITACIÓN Y ANTICIPACIÓN**



Barreras que limitan la conservación de servicios ecosistémicos: análisis del caso de Laguna del Sauce

Tesis de Maestría, Manfred Steffen. Maestría en Ciencias Ambientales. 2012

Período de trabajo 2009-2012



Aportes para la gestión en la cuenca de Laguna del Sauce

Taller III de la Licenciatura en Gestión Ambiental.
CURE-UdelaR. Joaquín Beder, Paula Bianchi, Felipe
Cedrés, Magdalena Fuentes, Bambou Pittaluga,
Germán Taveira. 2014

Período de trabajo 2013



Controles naturales y antrópicos que condicionan los niveles de nitrógeno y fósforo en la red de tributarios de Laguna de Sauce

Tesis final de la Licenciatura de Gestión
Ambiental.CURE-Facultad de Ciencias

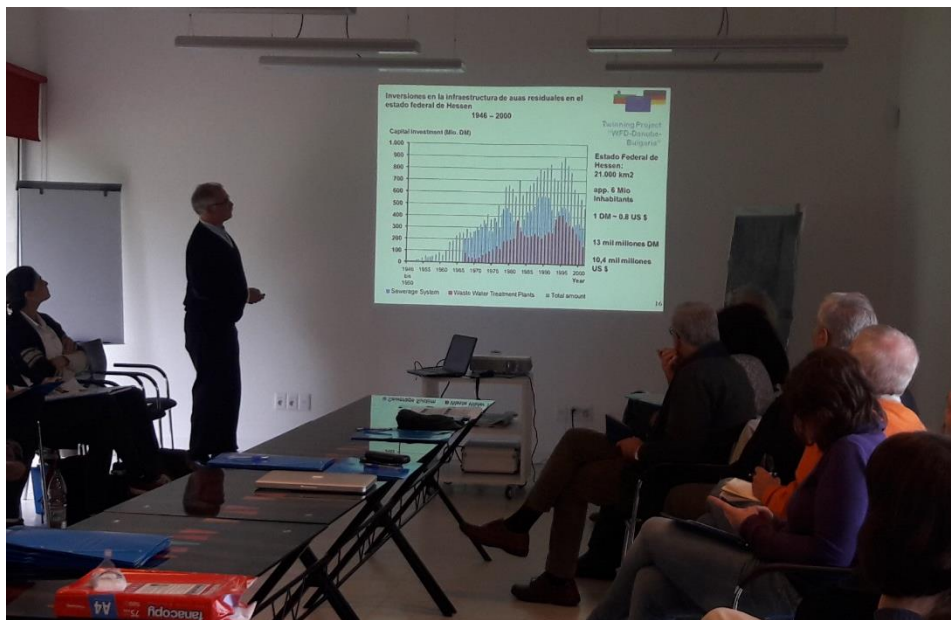
Período de trabajo 2015-2016



Gestión de recursos hídricos en Perú, Brasil y Uruguay

Proyecto de Investigación liderado por la Dra. María Mancilla y Dra. Cristina Zurbriggen. Stockholm Resilience Center e Instituto SARAS

Período de trabajo 2016-2018



Taller: Rehabilitación del Laguna del Sauce, estrategias, avances y desafíos

Taller de discusión técnica organizado por la DINAMA-MVOTMA con apoyo de la Cooperación Alemana. Lugar: Instituto SARAS

Período de trabajo: Agosto 2017

Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada



7 AVANCES, DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES EN EL ACTUAL SISTEMA DE GOBERNANZA

Manfred Steffen, Hugo Inda, José Sciandra, Paula Bianchi, Rubén Puentes, German Taveira, Franco Teixeira de Mello, Guillermo Goyenola, Gustavo Méndez, Juan José Lagomarsino, Juan Clemente, Mariana Nin & Néstor Mazzeo.

Mensajes clave

- Desde el punto de vista normativo, el esquema actual de gobernanza de los recursos acuáticos promueve una gestión integral y participativa del recurso, donde se prioriza el interés común.
- El funcionamiento actual del sistema de gobernanza, pese a la creación de diversas estructuras puente, no cuenta con una vigencia plena del paradigma del manejo integrado.
- La fragmentación, tanto en el análisis, los procesos de toma de decisión, como en el control y fiscalización, representa uno de los principales desafíos a superar.
- La discordancia temporal entre la dinámica del fenómeno de la eutrofización y la dinámica política-electoral representa otra dificultad considerable a superar.
- La incorporación de paradigmas más recientes, como el manejo adaptativo y sus variantes de co-manejo o co-producción, son alternativas distantes en el tiempo, al carecer por el momento de sistemas robustos de monitoreo a escala nacional que permitan evaluar el impacto de las medidas, regulaciones y políticas adoptadas.
- La categorización de suelos, por sí sola, resulta insuficiente para resolver el problema planteado.
- Se recomienda que el proceso de ordenamiento territorial de la cuenca incorpore el mapeo y valoración (económico y social) de los servicios ecosistémicos.

Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el Ordenamiento Territorial de su cuenca. Bianchi P., Taveira G. & Steffen M. (eds). Pag-pag



Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Modelling

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolmodel



Multi-model approach to predict phytoplankton biomass and composition dynamics in a eutrophic shallow lake governed by extreme meteorological events



Carolina Crisci^{a,*}, Rafael Terra^b, Juan Pablo Pacheco^c, Badih Ghattas^d, Mario Bidegain^e, Guillermo Goyenola^c, Juan José Lagomarsino^f, Gustavo Méndez^f, Néstor Mazzeo^c

^a Polo de Desarrollo Universitario Modelización y Análisis de Recursos Naturales, Centro Universitario Regional del Este, Ruta nacional n°9 Intersección con Ruta n°15, CP 27000, Rocha, Uruguay

^b Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Julio Herrera y Reissig 565, CP 11300, Montevideo, Uruguay

^c Departamento de Ecología Teórica y Aplicada, Centro Universitario Regional del Este, Universidad de la República, Tacuarembó entre Av. Artigas y Apartado Saravia, CP 20000, Maldonado, Uruguay

^d Institut de Mathématiques de Marseille, UMR 7373, CNRS, 163 Avenue de Luminy, CP 13288, Marseille, France

^e Instituto Uruguayo de Meteorología, Javier Barrios Amorín 1488, CP 11200, Montevideo, Uruguay

^f Obras Sanitarias del Estado, Unidad de Gestión Desconcentrada, Ruta 12 km 6, CP 20003, Maldonado, Uruguay

**DRIVERS OF CYANOBACTERIA DOMINANCE, COMPOSITION AND
NITROGEN FIXING BEHAVIOUR IN A SHALLOW LAKE WITH
ALTERNATIVE REGIMES IN TIME AND SPACE**

Lucía González-Madina¹, Juan Pablo Pacheco¹, Lilen Yema², Paula de Tezanos², Paula
Levrini¹, Juan Clemente¹, Carolina Crisci³, Juan José Lagomarsino⁴, Gustavo Méndez⁴,
Claudia Fosalba¹, Guillermo Goyenola¹ & Néstor Mazzeo^{1, 5}

Hydrobiologia (2014) 735:263–276

DOI 10.1007/s10750-013-1714-3

FRESHWATER BIVALVES

Alternative food sources of native and non-native bivalves in a subtropical eutrophic lake

**Soledad Marroni · Carlos Iglesias ·
Néstor Mazzeo · Juan Clemente ·
Franco Teixeira de Mello · Juan P. Pacheco**

Interactions between bivalves and zooplankton: competition or intraguild predation? Implications for biomanipulation in subtropical shallow lakes

*Soledad Marroni^A, Néstor Mazzeo^A, Juan Pablo Pacheco^A,
Juan Clemente^A and Carlos Iglesias^{A,B}*

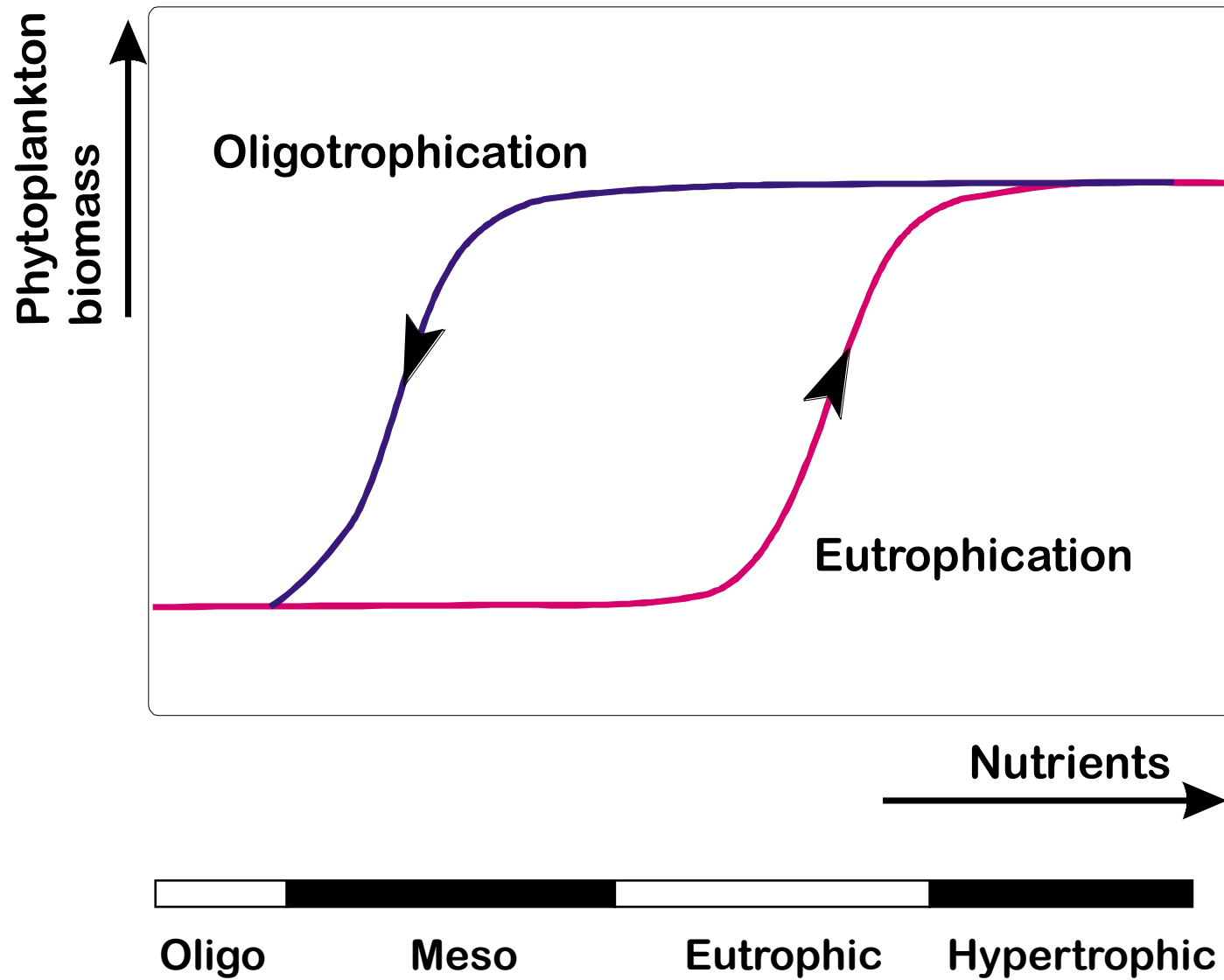
^AGrupo de Ecología y Rehabilitación de Sistemas Acuáticos, Departamento de Ecología Teórica y Aplicada, Centro Universitario de la Región Este-Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Tacuarembó s/n, CP 20000, Maldonado, Uruguay.

^BCorresponding author. Email: caif@cure.edu.uy

- APROXIMACIONES Y FUENTES DE INFORMACIÓN
- **CONCEPTOS CLAVES Y PROBLEMÁTICA**
- ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN
- ORDENAMIENTO TERRITORIAL: PREVENCIÓN, REHABILITACIÓN Y ANTICIPACIÓN

Manejo: Implementación y ejecución de medidas que eliminan o amortiguan las consecuencias adversas de una perturbación o alteración.

Recuperación (restauración o rehabilitación): Medidas o acciones que procuran eliminar o amortiguar las causas de la perturbación o alteración.





Laguna del Sauce, Uruguay

Image © 2013 DigitalGlobe

2008

2008





2013

1989

1993

2010

2017



OSE-VIAK

SEINCO

OSE-UGD
CURE
FACULTAD DE CIENCIAS
SARAS

CONTROLES DEL CRECIMIENTO ALGAL

- + RECURSOS: NUTRIENTES, LUZ
- + PÉRDIDA Y REMOCIÓN DE BIOMASA: SEDIMENTACIÓN, LAVADO, TIEMPO DE RESIDENCIA, HERBIVORÍA

Hydrobiologia

**Dynamics of cyanobacteria blooms are linked to the hydrology of shallow Florida lakes
and provide insight into possible impacts of climate change**

--Manuscript Draft--

Tier 1
(foundational / long-term)

Presence of bloom-forming species of phytoplankton; high concentrations of N and P, lack of consumer control by zooplankton

Tier 2
(climate variability/
years to decades)

Low rainfall



Low runoff



Reduced lake depth and volume



Concentration of nutrients in the water and greater light penetration



Intense blooms

High rainfall



High runoff



Increased lake depth and volume



Dilution of nutrients in the water and reduced light penetration



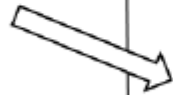
Suppressed blooms

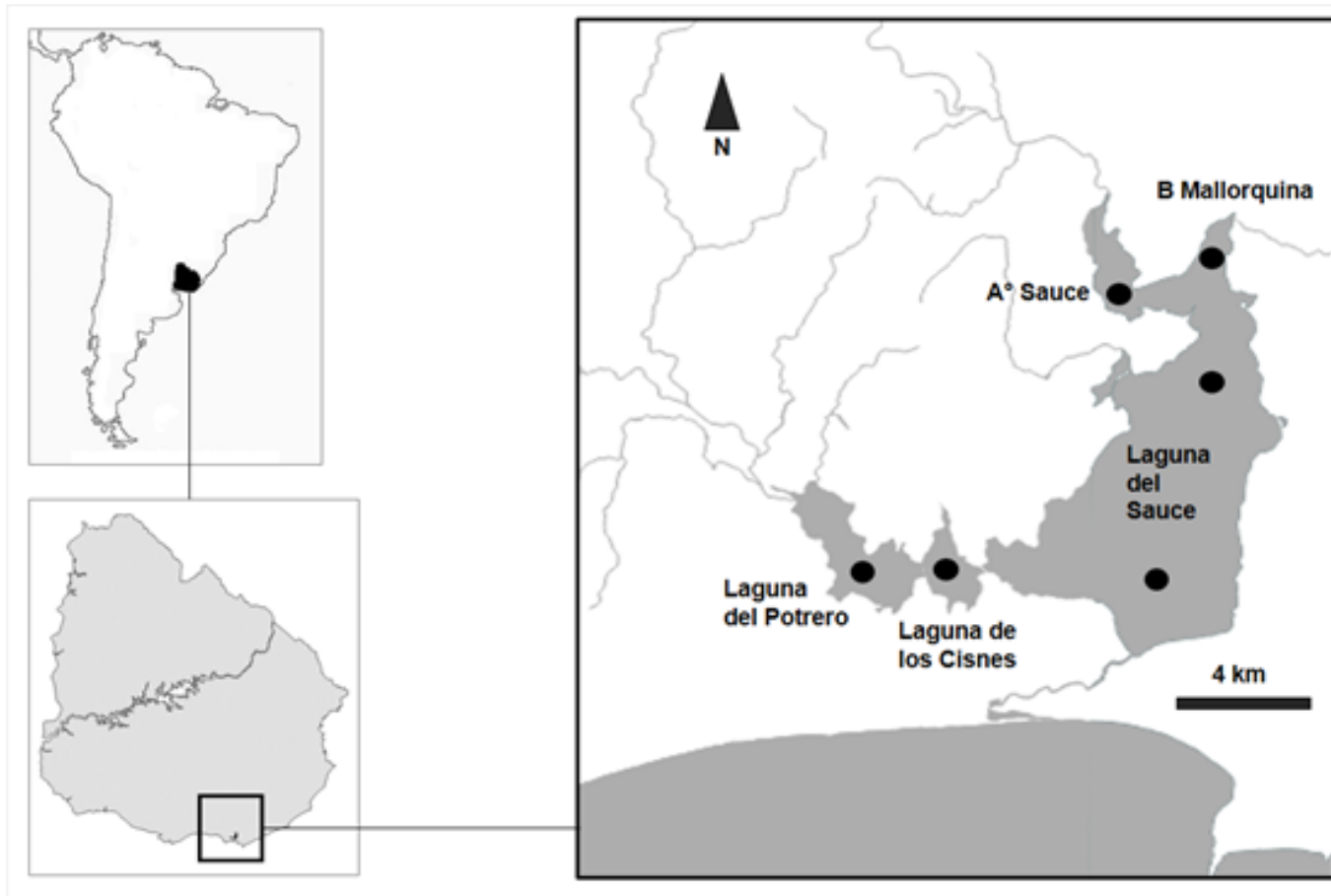
Tier 3
(proximal drivers
days to weeks)

Rainstorms

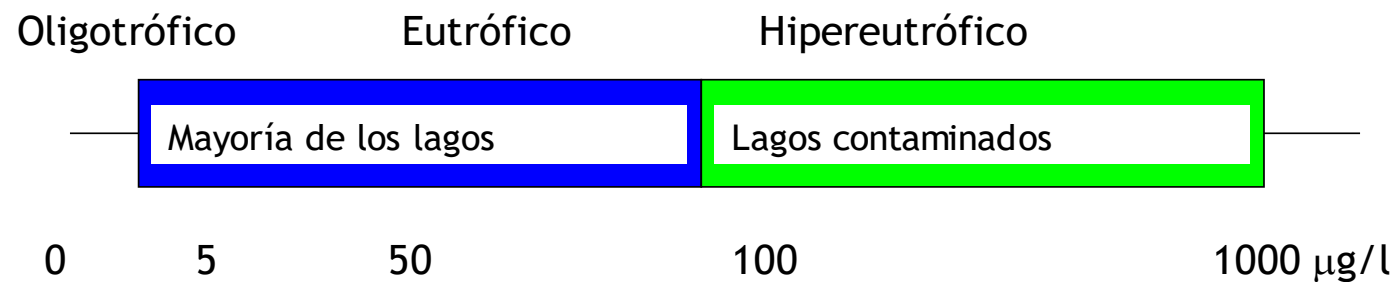


Flushing events disrupt stagnant conditions

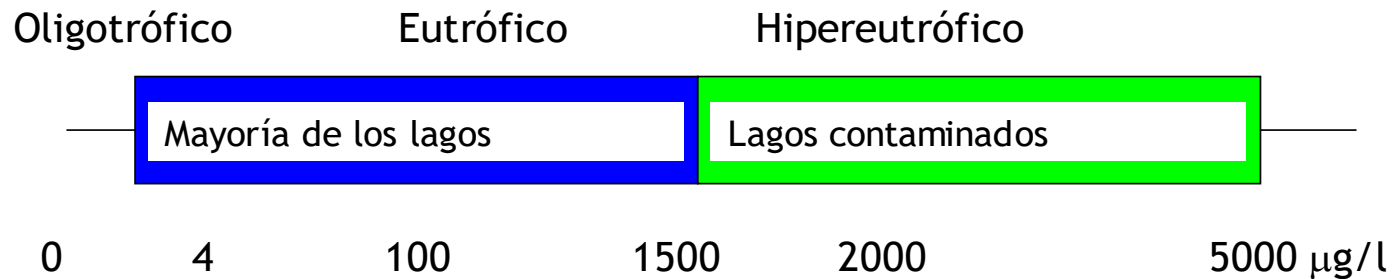


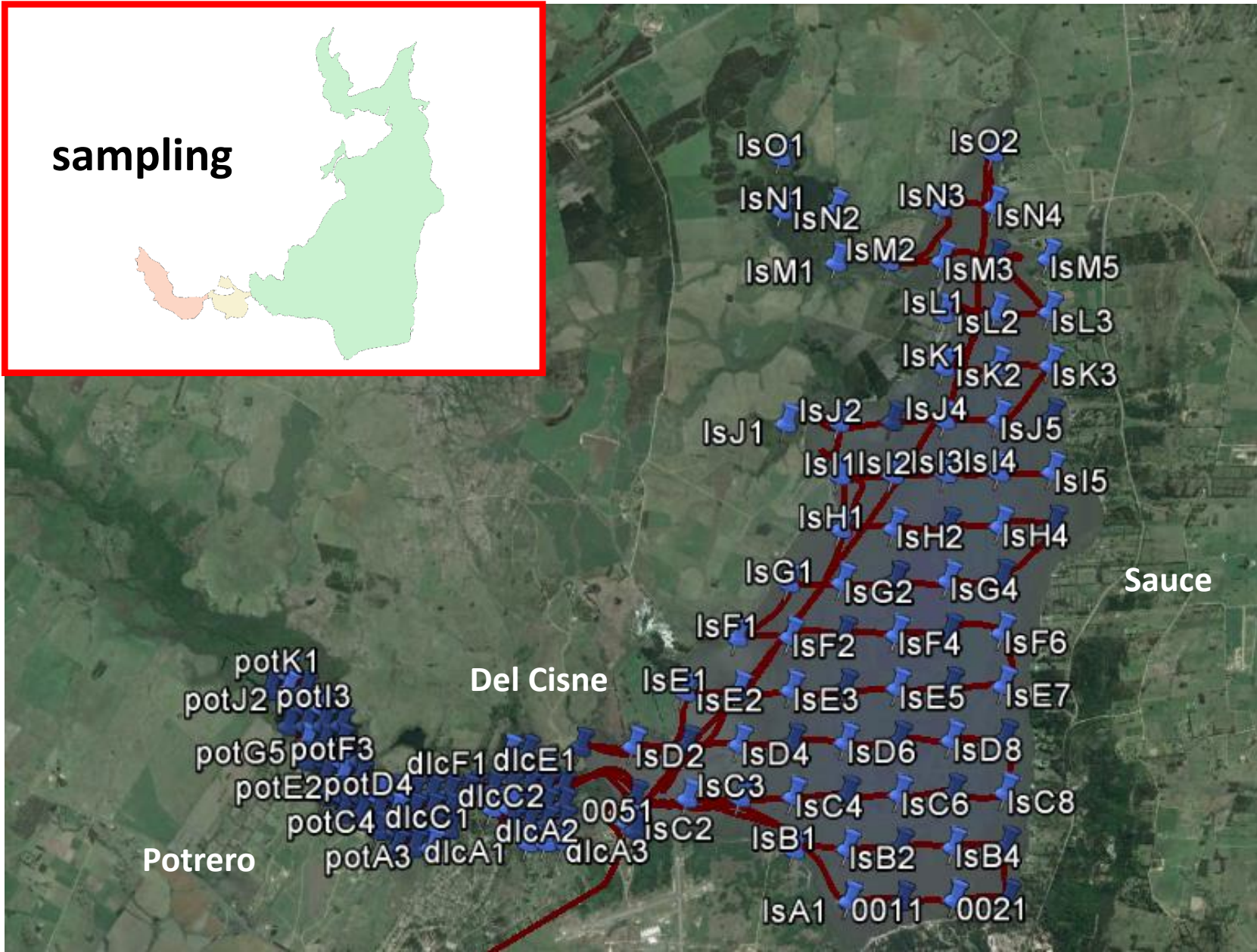


	2015-2016						2016-2017					
	AS	M	SN	SS	C	P	AS	M	SN	SS	C	P
TOTAL PHOSPHOROUS ($\mu\text{g L}^{-1}$)	78.6 (43.7-146.8) 27.5	83.9 (55.8-115.2) 17.6	88.4 (48.4-128.2) 21.8	78.3 (48.4-122.6) 24.8	69.4 (46.5-105) 26.7	53 (24.2-79) 31.1	87.8 (60.4-118.5) 19.6	95.3 (65.7-116.7) 15.1	92.3 (69.2-113.4) 14.6	90.9 (69.2-106.2) 13	84.3 (41.1-100.9) 16.1	77.3 (48.1-107.9) 19.7



	2015-2016						2016-2017					
	AS	M	SN	SS	C	P	AS	M	SN	SS	C	P
TOTAL NITROGEN ($\mu\text{g L}^{-1}$)	686.5 (489.8-930.1) 17.3	779.7 (457.8-1106.2) 25.2	908.4 (513.9-1362.4) 32.9	789.5 (497.9-1242.3) 34.1	592.8 (410-786) 18.1	542.5 (433.8-818.1) 19.6	515.2 (334.7-945.9) 34.8	529 (342.7-889.6) 34.7	482.2 (342.7-736.8) 26.3	503.6 (286.4-801.1) 27.3	533 (286.4-752.9) 29.5	542.9 (342.7-889.6) 27.8





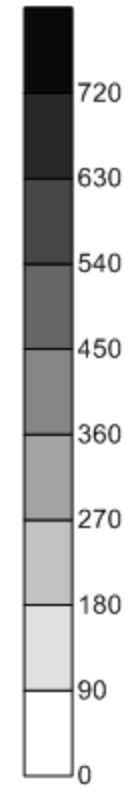
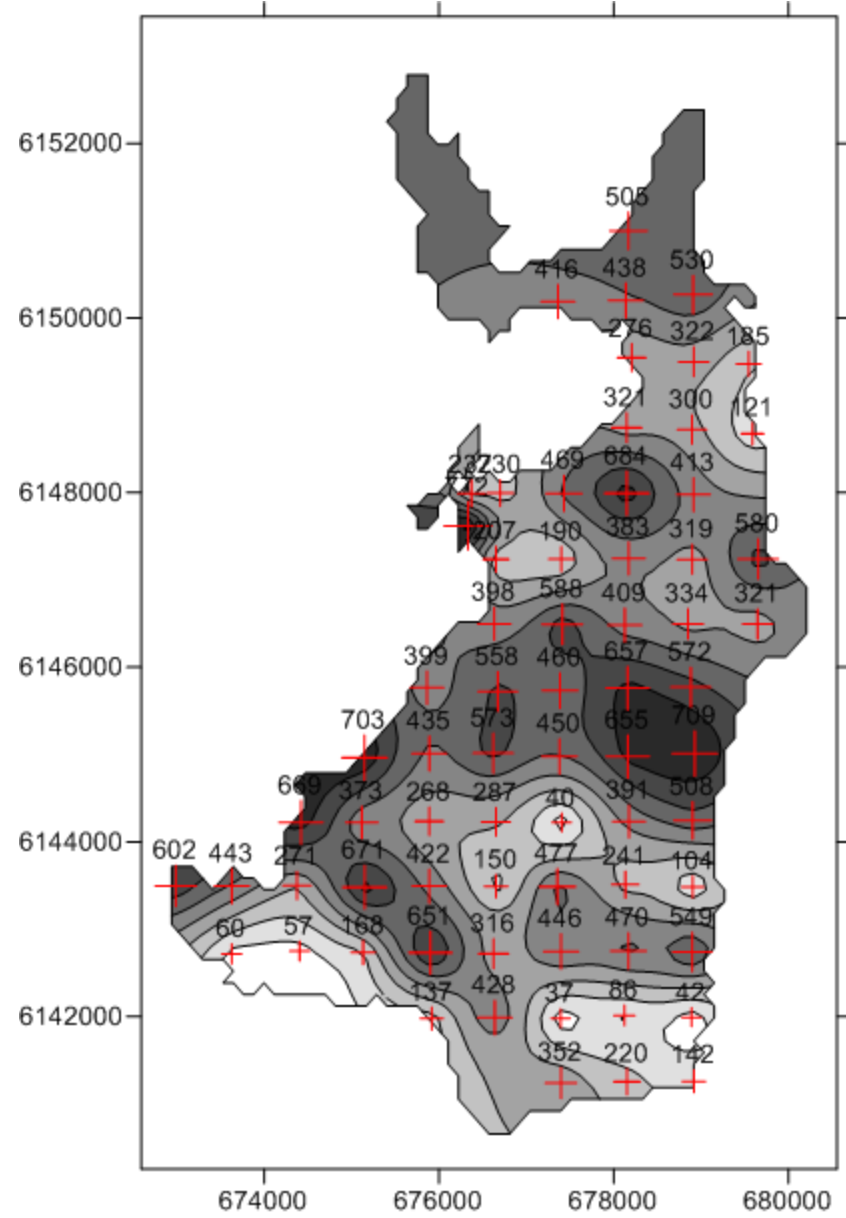
Reference level (Estación Lag Sauce 45.0-DINAGUA); level = -0.22cm April 2015

sampling



April 2015

Spatial distribution of phosphorous content (ug/gDW) in Laguna del Sauce



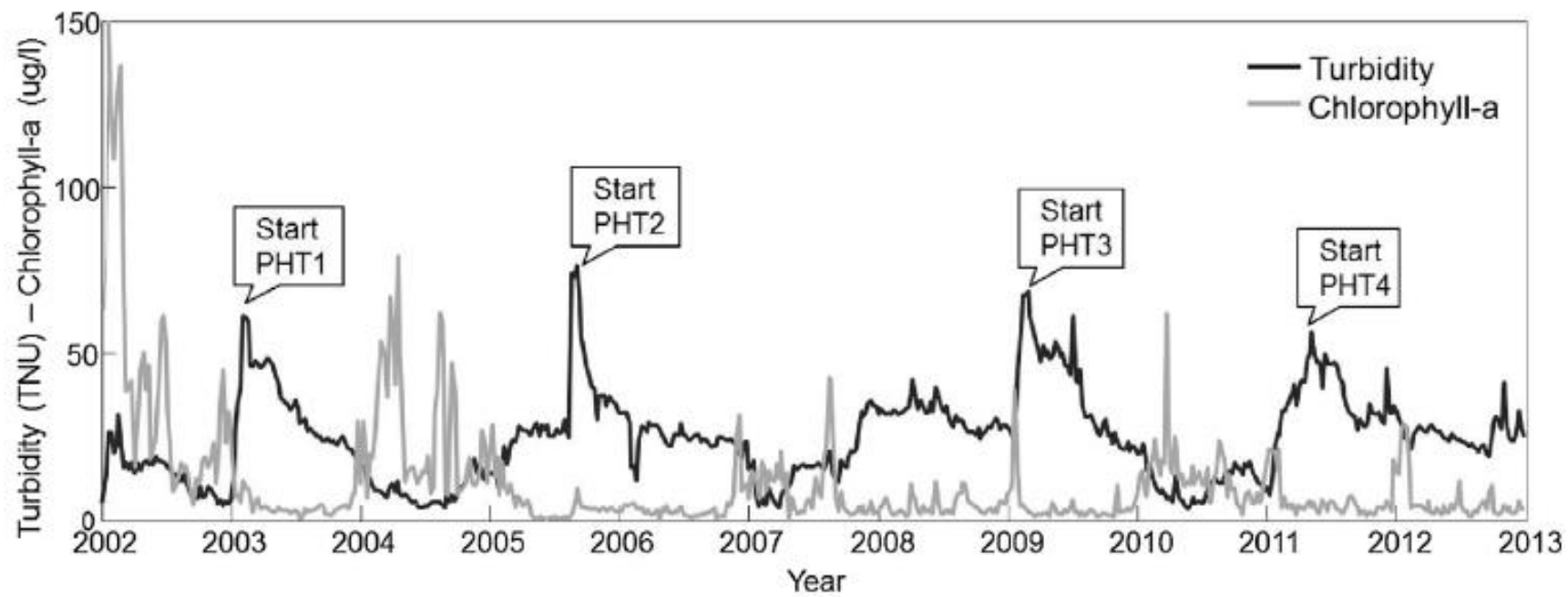


Fig. 3. Turbidity and chl-a time series during the study period (2002–2012). Series are presented considering weekly averages over daily data to avoid gaps associated with missing data during weekends. The starting of each PHT is indicated.

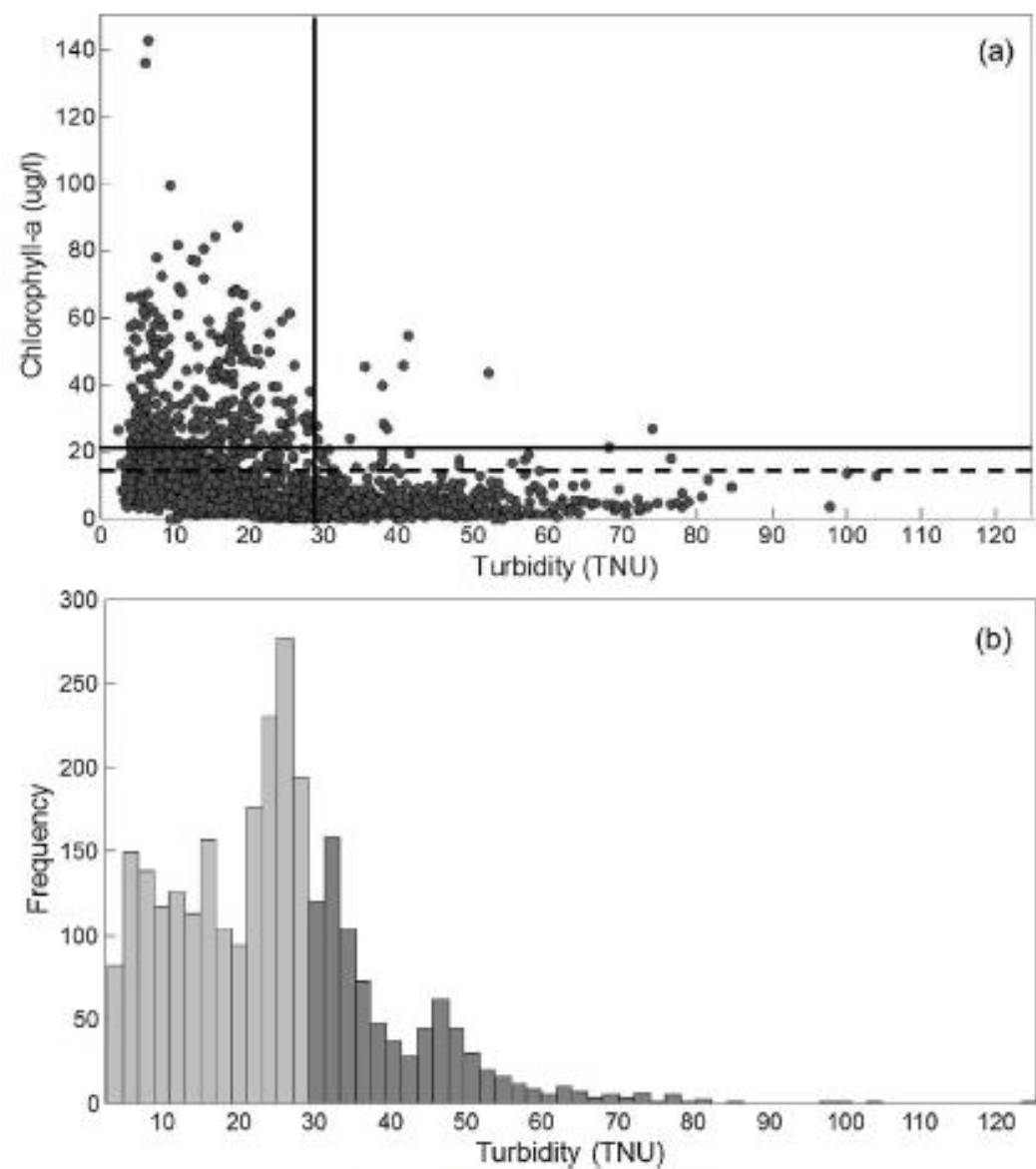


Fig. 4. (a) Scatterplot of chl-a vs turbidity. A threshold of turbidity of 29 TNU was identified (vertical black line, see Fig. S1 of the supplementary material), that separates a region with both low and high values of chl-a from one in which chl-a remains with low values ($\sim 20 \mu\text{g/l}$ –horizontal black line–, but most values are below $\sim 15 \mu\text{g/l}$ –horizontal dashed line–). (b) Distribution of turbidity values, dark grey bars represent samples with turbidity values above the identified threshold while light grey values correspond to turbidity values below the 29 TNU threshold. The data point with very high turbidity (i.e. 125 TNU) does not appear in the scatterplot since the chl-a value was missing in that sample.

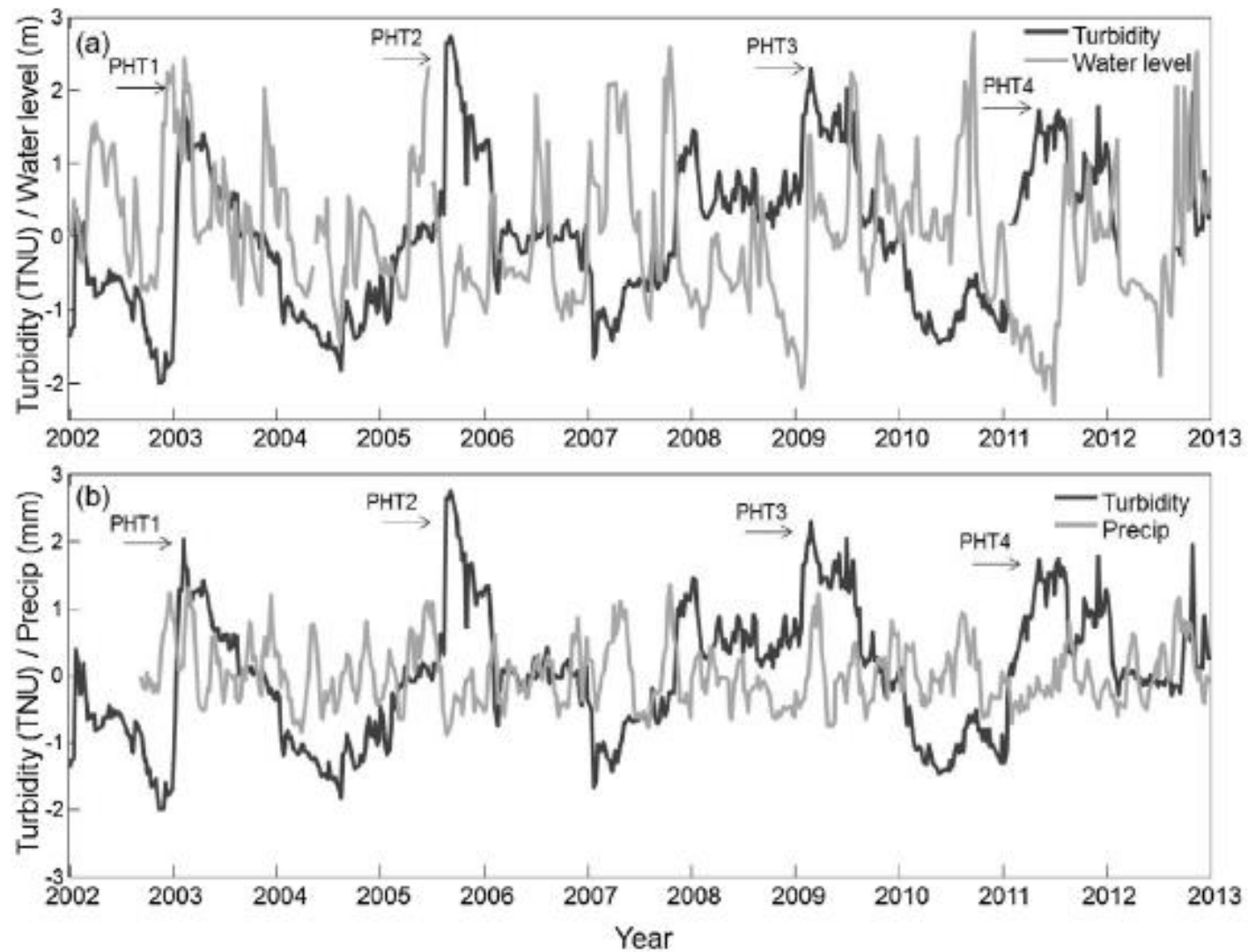


Fig. 6. (a) Standardized anomalies of turbidity and water level time series, (b) Standardized anomalies of turbidity and precipitation time series, Standardized anomalies were considered to visualize variables in the same scale. Series are presented considering weekly averages of daily data. The onset of each PHT is indicated.

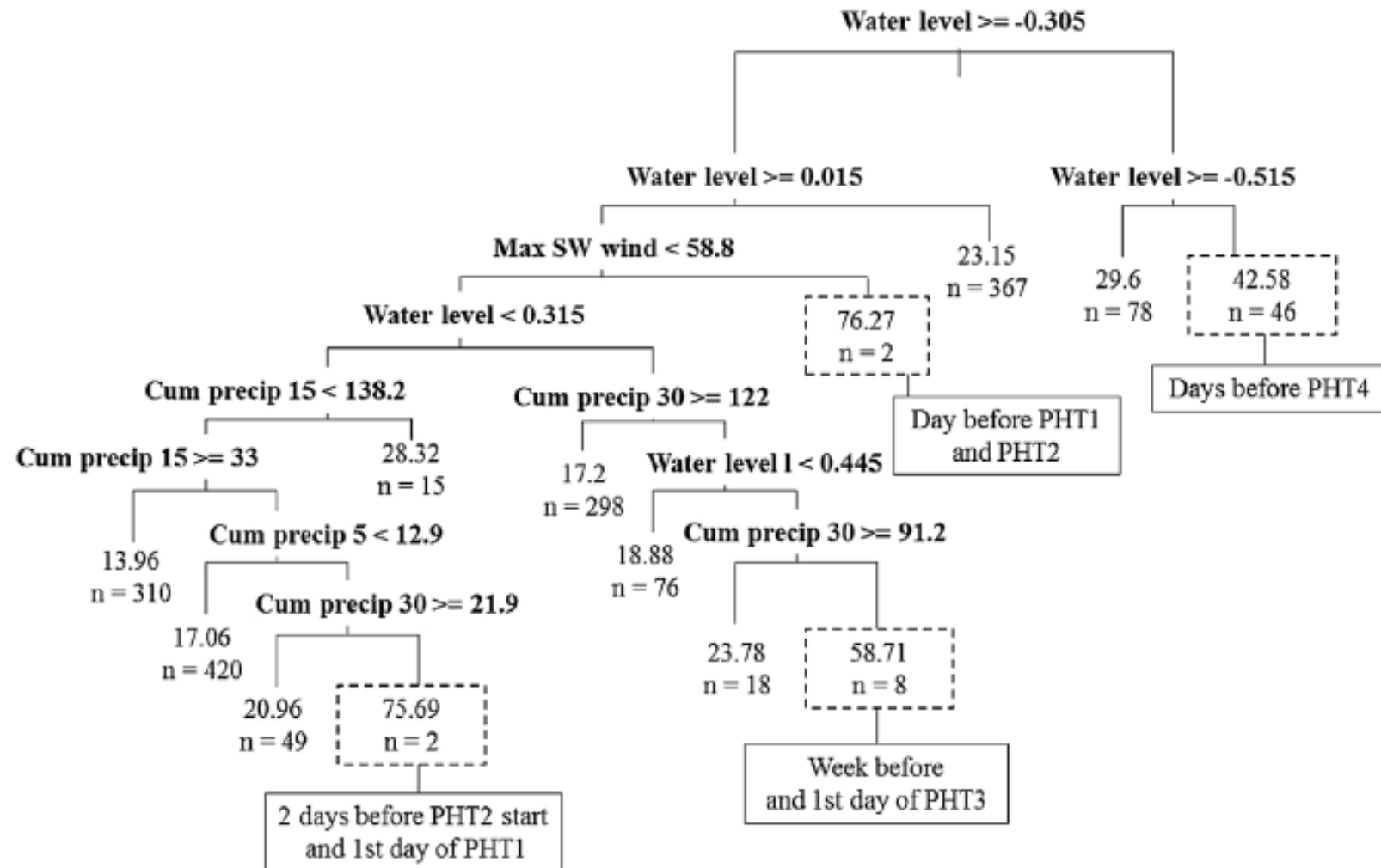


Fig. 5. CART output for the prediction of abrupt peaks of turbidity that lead to PHTs. Dashed rectangles indicate well predicted extreme turbidity events associated to the onset of PHTs. The solid line rectangles describe the observations that fall in the terminal nodes with extreme turbidity values.

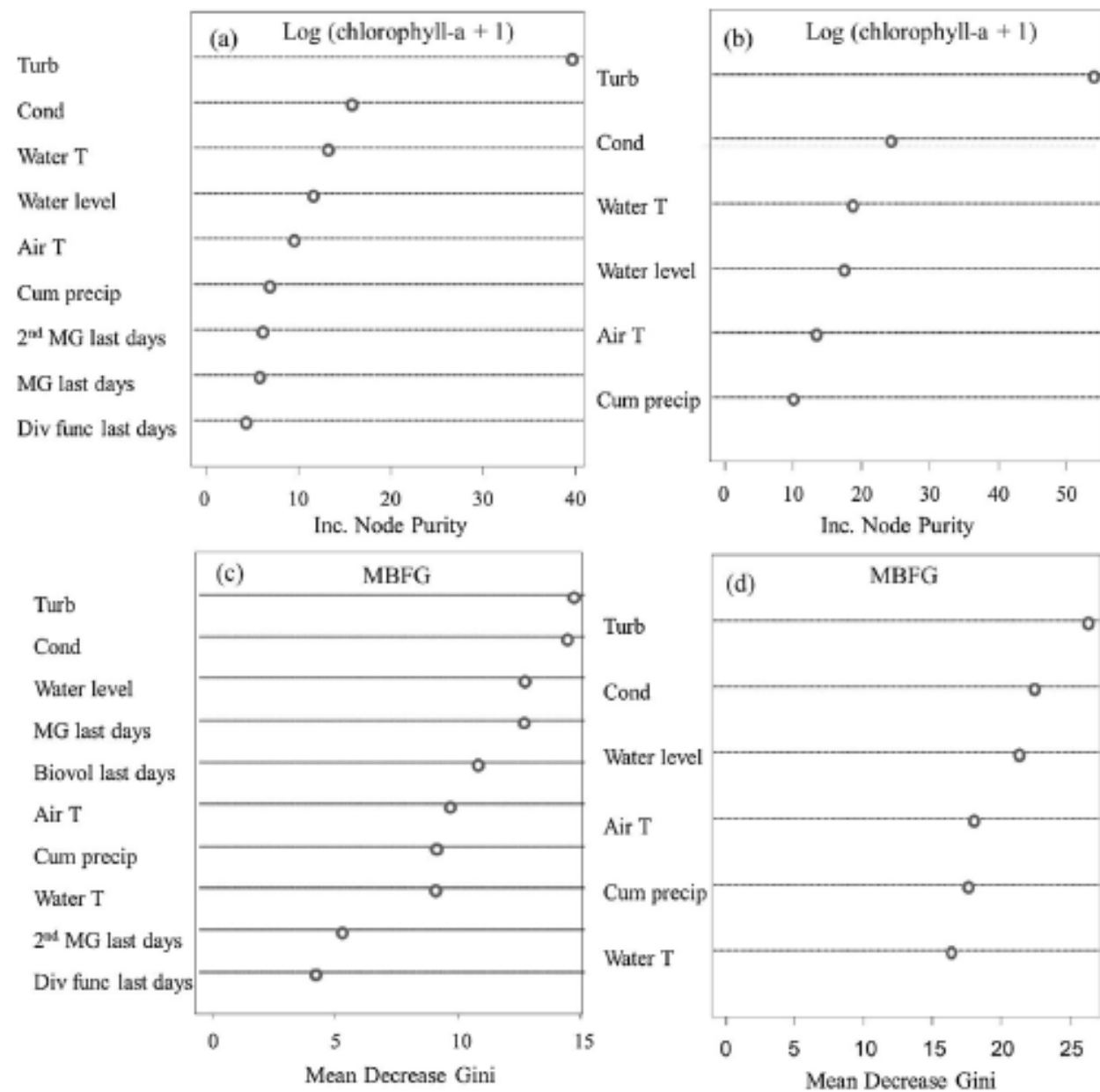
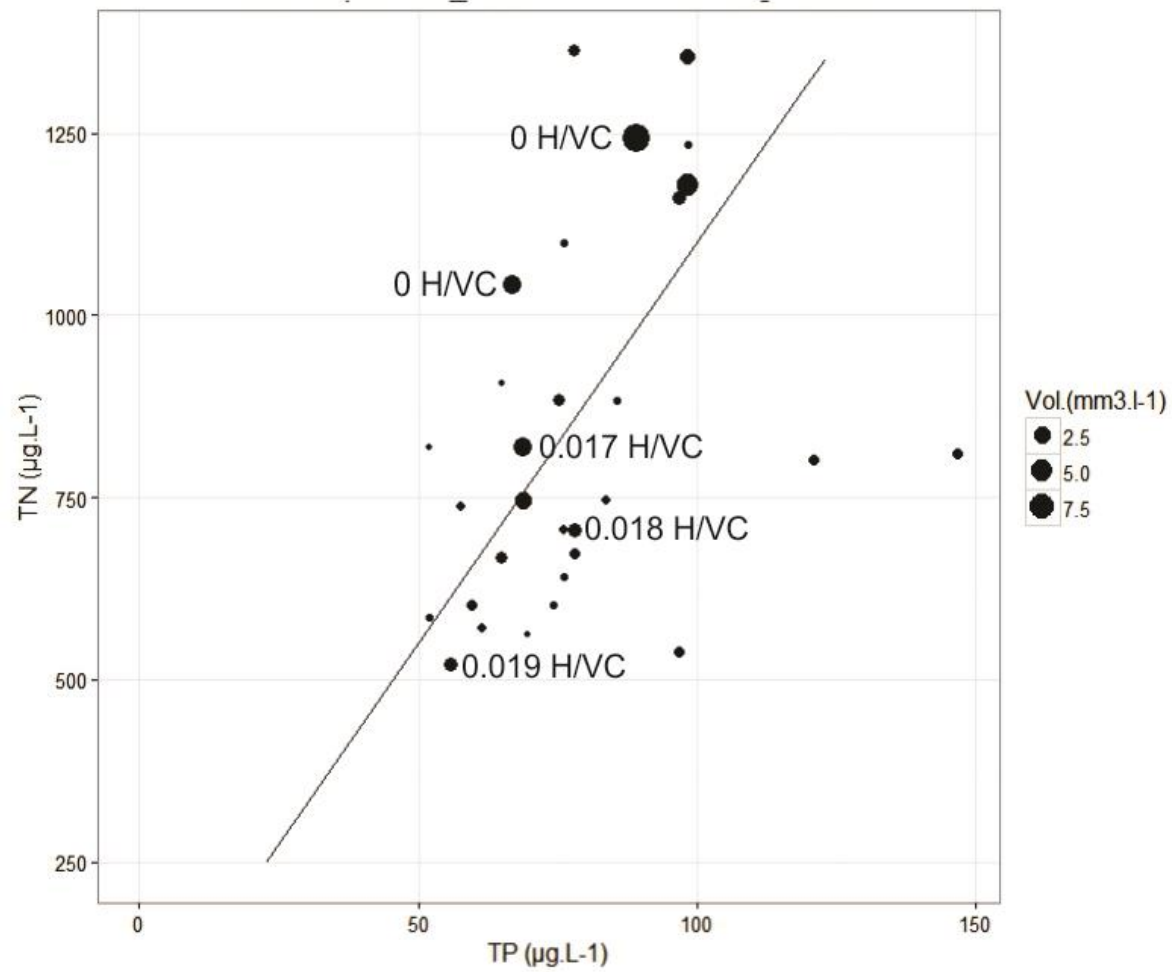


Fig. 8. Random Forests variable importance plots. Variables importance for data set 1 (a) and data set 2 (b) considering the $\log(\text{chl-a} + 1)$ response variable; variables importance for data set 1 (c) and data set 2 (d) considering the MBFG variable. The measure of variable importance (Increase in node purity for regression and Mean Decrease Gini for classification) corresponds to the total decrease in node impurities from splitting on a particular variable, averaged over all the trees of the forest. For classification, the node impurity is measured by the Gini index. For regression, it is measured by the residual sum of squares.

Dolichospermum crassum

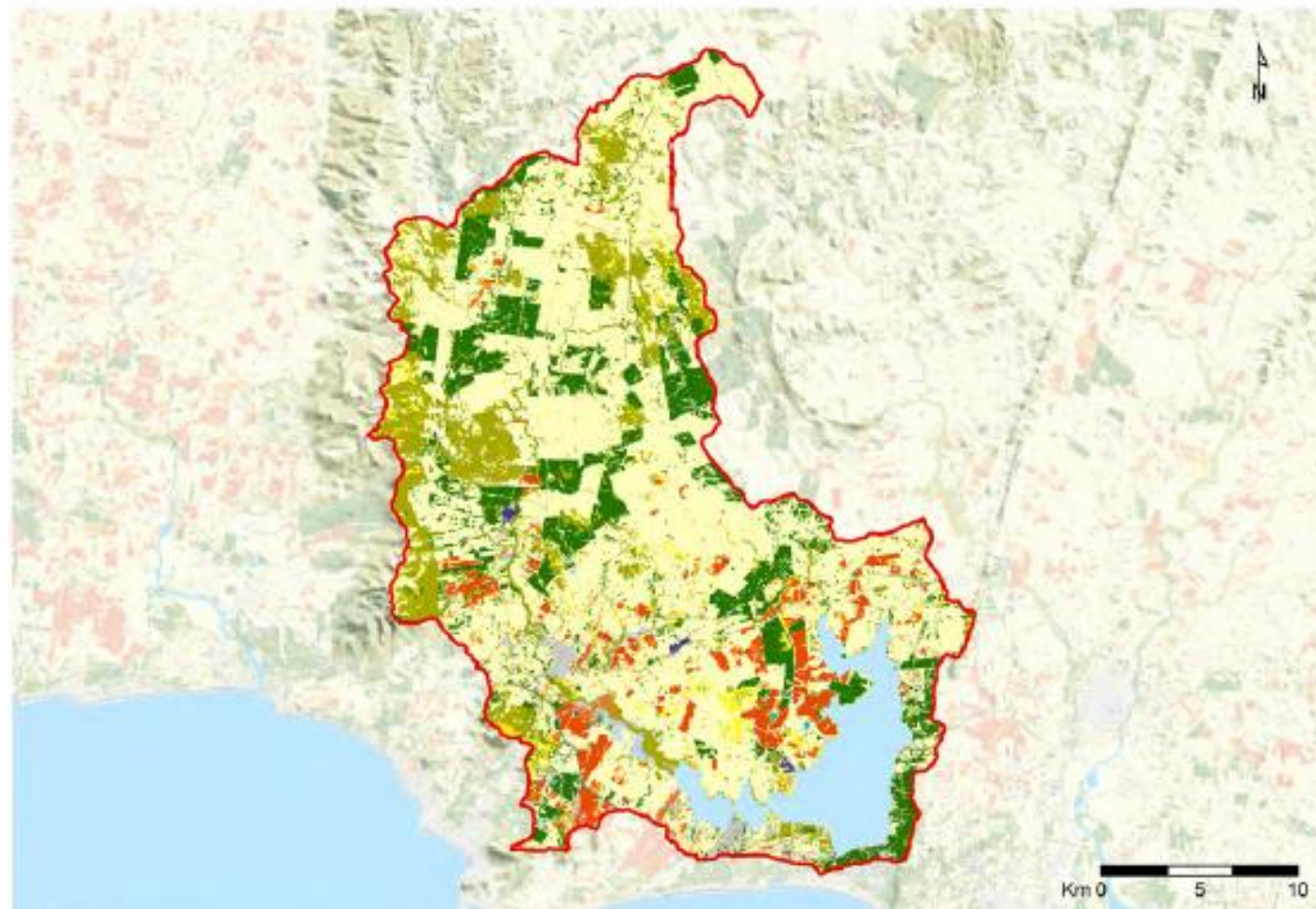



















Controles naturales y antrópicos que condicionan los niveles de nitrógeno y fósforo en la red de tributarios de Laguna de Sauce

Tesis final de la Licenciatura de Gestión
Ambiental.CURE-Facultad de Ciencias

Período de trabajo 2015-2016



Leyenda

- | | | |
|---|---|--|
|  Espejos de agua |  Areas Desnudas |  Cultivos de Secano > 4-5 has |
|  Cuenca Laguna del Sauce |  Areas Naturales Inundadas |  Equipamiento Urbano |
|  Aguas Artificiales |  Areas Urbanas Dispersas |  Herbáceo |
|  Aguas Naturales |  Canteras, Areneras, Minas a Cielo Abierto |  Monte Nativo |
|  Area Urbana |  Cultivos Regados y de Secano < 4-5 has |  Plantación Forestal |

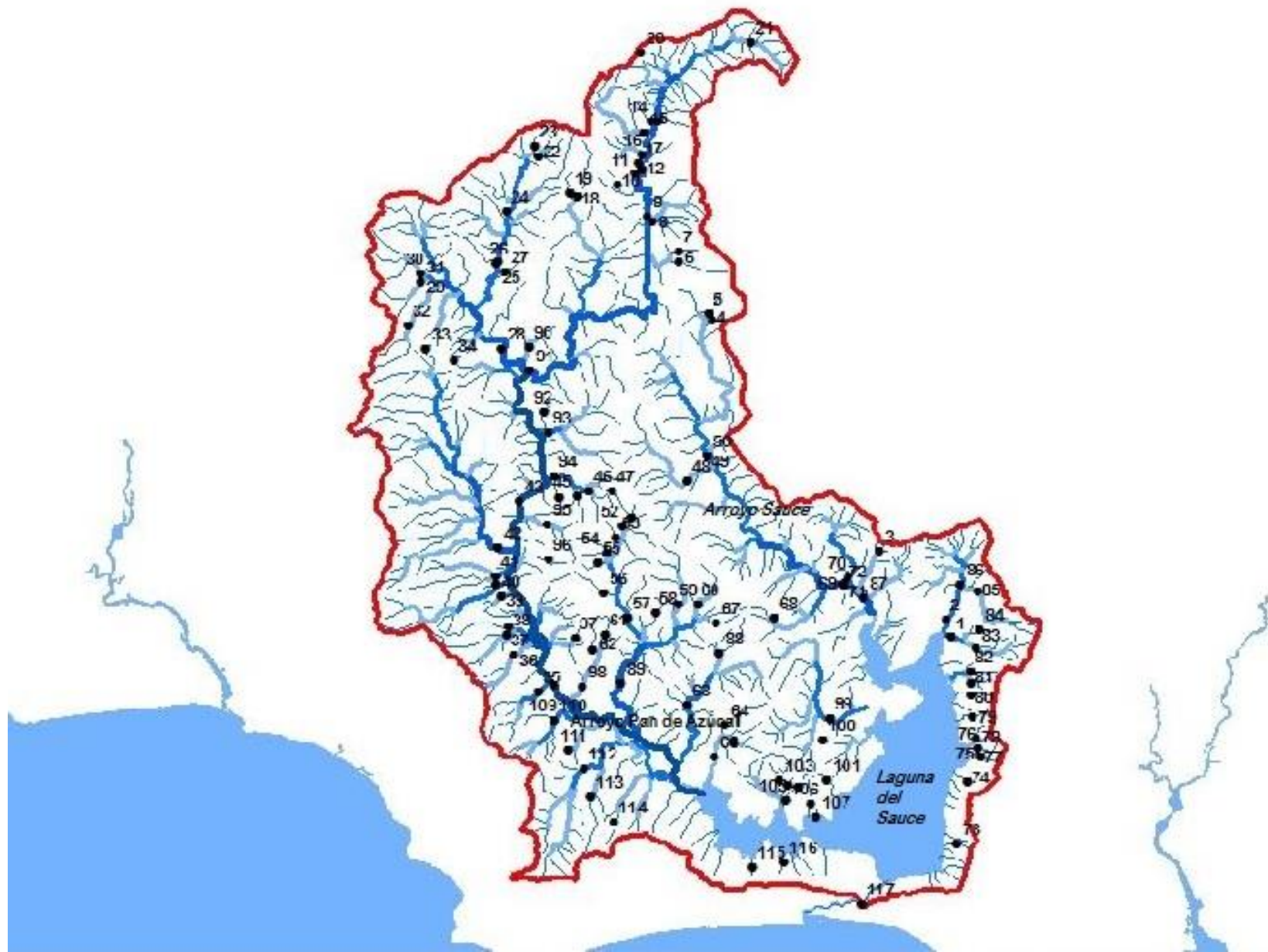


Tabla 1. Valores mínimos (Min), máximos (Max), medios (Media) y coeficientes de variación en % (Coef. variación) de los parámetros físico-químicos: temperatura (Temp, °C), conductividad (K, $\mu\text{S}/\text{m}$), STD (sólidos totales disueltos, mg/l), pH, OD* (oxígeno disuelto, %), OD (oxígeno disuelto, mg/l), alcalinidad (Alc, mg/l CaCO_3), turbidez (NTU), NH_4 (amonio, $\mu\text{g}/\text{l}$), NO_3 (nitrato, $\mu\text{g}/\text{l}$), PRS (fósforo reactivo soluble, $\mu\text{g}/\text{l}$), NT (nitrógeno total, $\mu\text{g}/\text{l}$), PT (fósforo total, $\mu\text{g}/\text{l}$), STS (sólidos totales en suspensión mg/l), MOS (materia orgánica en suspensión, mg/l), MOS* (materia orgánica en suspensión, %) tanto para invierno como para verano.

INVIERNO	Min	Max	Media	Coef. variación	VERANO	Min	Max	Media	Coef. variación
Temp	9,8	19,3	13,1	15,8	Temp	18,1	30,3	20,6	9,3
K	44	1299	214	82,3	K	45	979	257	68,8
STD	0,036	1,157	0,181	84,4	STD	0,005	0,713	0,185	69,8
pH	6,0	8,2	7,2	6,2	pH	5,8	9,3	7,3	7,6
OD*	46	135,3	94,3	14,2	OD*	16,4	188,5	82,7	35,3
OD	5,2	14,1	9,9	13,5	OD	1,5	16,7	7,4	33,7
Alc	16	442	119	79,2	Alc	18	440	114	74,0
NTU	0,7	56,0	9,3	88,1	NTU	0,3	256,6	13,5	234,2
NH₄	0,0	80,4	8,4	151,0	NH₄	0,0	352,3	37,5	122,4
NO₃	0,0	464,6	155,1	59,9	NO₃	64,3	810,5	204,8	58,3
PRS	0,0	223,6	17,1	174,5	PRS	0,0	854,8	28,2	364,3
NT	143,8	1586,1	503,7	51,9	NT	193,7	3900,0	647,8	72,5
PT	10,4	410,8	42,1	116,3	PT	0,0	1260,8	73,2	210,4
STS	0,6	85,4	7,1	130,2	STS	0,1	202,5	12,5	215,1
MOS	0,2	10,5	2,0	92,4	MOS	0,1	47,5	4,2	176,8
MOS*	3,5	100,0	35,6	52,2	MOS*	8,7	100,0	45,7	56,9

Tabla 2. Correlaciones de Spearman del período de invierno entre las propiedades físico-químicas: temperatura (Temp, °C), conductividad (K, $\mu\text{S}/\text{m}$), STD (sólidos totales disueltos, mg/l), pH, OD* (oxígeno disuelto, %), OD (oxígeno disuelto, mg/l), alcalinidad (Alc, $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$), turbidez (NTU), NH_4 (amonio, $\mu\text{g}/\text{l}$), NO_3 (nitrato, $\mu\text{g}/\text{l}$), PRS (fósforo reactivo soluble, $\mu\text{g}/\text{l}$), NT (nitrógeno total, $\mu\text{g}/\text{l}$), PT (fósforo total, $\mu\text{g}/\text{l}$), STS (sólidos totales en suspensión mg/l), MOS (materia orgánica en suspensión, mg/l), MOS* (materia orgánica en suspensión, %) .

	Temp	K	STD	pH	OD*	OD	Alc	NTU	NH_4	NO_3	PRS	NT	PT	STS	MOS	MOS*
Temp		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STD	-0,246 **	0,996 ***		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	0,679 ***	0,676 ***		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OD*	0,385 ***	-0,307 ***	-0,327 ***	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OD	-	-0,293 ***	-0,285 **	-	0,872 ***		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alc	-0,256 **	0,961 ***	0,966 ***	0,721 ***	-0,296 ***	-0,245 **		-	-	-	-	-	-	-	-	-
NTU	-	-0,564 ***	-0,554 ***	-0,420 ***	-	-	-0,556 ***		-	-	-	-	-	-	-	-
NH_4	-	-0,200 *	-0,198 *	-	-	-	-0,242 **	0,520 ***		-	-	-	-	-	-	-
NO_3	-	0,212 *	0,217 *	-	-0,235 *	-0,254 **	0,232 **	0,247 **	0,295 **		-	-	-	-	-	-
PRS	-0,253 **	-	-	-	-0,187 *	-	-	-	0,215 *	0,386 ***		-	-	-	-	-
NT	-	0,308 ***	0,310 ***	0,202 *	-	-	0,344 ***	-	-	0,416 ***	0,336 ***		-	-	-	-
PT	-	-	-	-	-0,202 *	-0,213 *	-	0,272 **	0,362 ***	0,452 ***	0,756 ***	0,285 **		-	-	-
STS	0,231 *	-	-	-	-	-	-	0,544 ***	0,378 ***	0,342 ***	-	-	0,388 ***		-	-
MOS	0,185 *	-0,231 *	-0,234 *	-0,251 **	-	-	-0,270 **	0,591 ***	0,474 ***	0,269 **	-	-	0,379 ***	0,831 ***		-
MOS*	-	-0,224 *	-0,210 *	-	-	-	-0,222 *	-	-	-0,204 **	-	-	-	-0,438 ***	-	-

Tabla 17. Principales resultados de los modelos de regresión lineal múltiple, elaborados para las variables de respuesta log (NT invierno-primavera), log (PT invierno-primavera), log (NT verano-otoño) y log(PT+1 verano-otoño). Se presenta cada variable de respuesta con las variables predictoras correspondientes al modelo óptimo obtenido por la función stepAIC. Por último, se indican los valores de R² y de R² ajustado de cada modelo.

Período	Variable de respuesta	Variables predictoras	R ²	R ² ajustado
Invierno-primavera	log (NT)	Sue. Prof., Monte nativo, Á. Inundable, Sue. Liv., Pastizal, Cultivos	0.38	0.35
	log (PT)	Pastizal, Sue. Liv., Cultivos, Sue. Prof., Sue. Sup., STS	0.50	0.47
Verano-otoño	log (NT)	Sue. Liv., Sue. Prof., STS, Sue. Sup.	0.39	0.37
	log (PT+1)	Sue. Liv., Z. riparia, STS, OD	0.35	0.32

- + Los análisis de correlación indican que las microcuencas con mayor porcentaje de suelos superficiales y textura liviana, presentan los menores valores de turbidez, concentración de material en suspensión así como contenido de materia orgánica del material en suspensión.
- + Los arroyos y cañadas que corren por suelos superficiales presentan los menores niveles de nutrientes disueltos y particulados en ambos períodos.
- + En sentido contrario, los arroyos y cañadas que drenan cuencas con suelos profundos registran las mayores concentraciones de nitrógeno total, nitrato, fósforo total y fósforo reactivo soluble tanto en invierno como verano (con la excepción de nitrato)

+ Los cursos de agua con menor turbidez, menor concentración de material en suspensión y menor contenido de materia orgánica en el material en suspensión ocurre en microcuencas con mayor cobertura de monte serrano y pastizales.

+ Los cursos de agua que drenan cuencas con mayor área de humedales, áreas urbanas y agricultura cuentan con el mayor contenido de material en suspensión (y su contenido de materia orgánica) y menor turbidez.

+ Los cursos de agua con menor concentración de nutrientes, tanto disueltos como particulados, predominan en zonas con mayor cobertura de monte serrano para ambos períodos.

+ Las microcuencas con mayor cobertura de pastizales cuentan con las menores concentraciones de fósforo total, fósforo reactivo soluble y nitrato.

+ Los cursos de agua que drena microcuencas con mayor cobertura de humedales, áreas urbanas y de agricultura presentan las mayores concentraciones de nutrientes, específicamente fósforo total, fósforo reactivo soluble y nitrato en invierno, nitrógeno total y fósforo reactivo soluble en verano.

+ Los arroyos y cañadas con mayor grado de conservación de la vegetación riparia presentan pH más básicos en el invierno; menor concentración de material en suspensión (y contenido de materia orgánica) en ambos períodos; menor concentración de fósforo total y amonio en invierno, estas últimas relaciones son estadísticamente más fuertes en verano cuando se agrega el nitrógeno total.

- APROXIMACIONES Y FUENTES DE INFORMACIÓN
- CONCEPTOS CLAVES Y PROBLEMÁTICA
- **ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN**
- ORDENAMIENTO TERRITORIAL: PREVENCIÓN, REHABILITACIÓN Y ANTICIPACIÓN

Rehabilitación de Laguna del Sauce

Disminuir el riesgo (elevada concentración de nutrientes en agua y presencia de cianobacterias potencialmente tóxicas) de interferencias en el suministro de agua potable en el menor tiempo posible.

Las **estrategias de rehabilitación** de los cuerpos de agua eutróficos se pueden incluir en cuatro grandes categorías:

A) Control de la carga externa

B) Control de la carga interna

C) Biomanipulación

D) Otros mecanismos de remoción de la biomasa algal

- APROXIMACIONES Y FUENTES DE INFORMACIÓN
- CONCEPTOS CLAVES Y PROBLEMÁTICA
- ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN
- **ORDENAMIENTO TERRITORIAL: PREVENCIÓN, REHABILITACIÓN Y ANTICIPACIÓN**

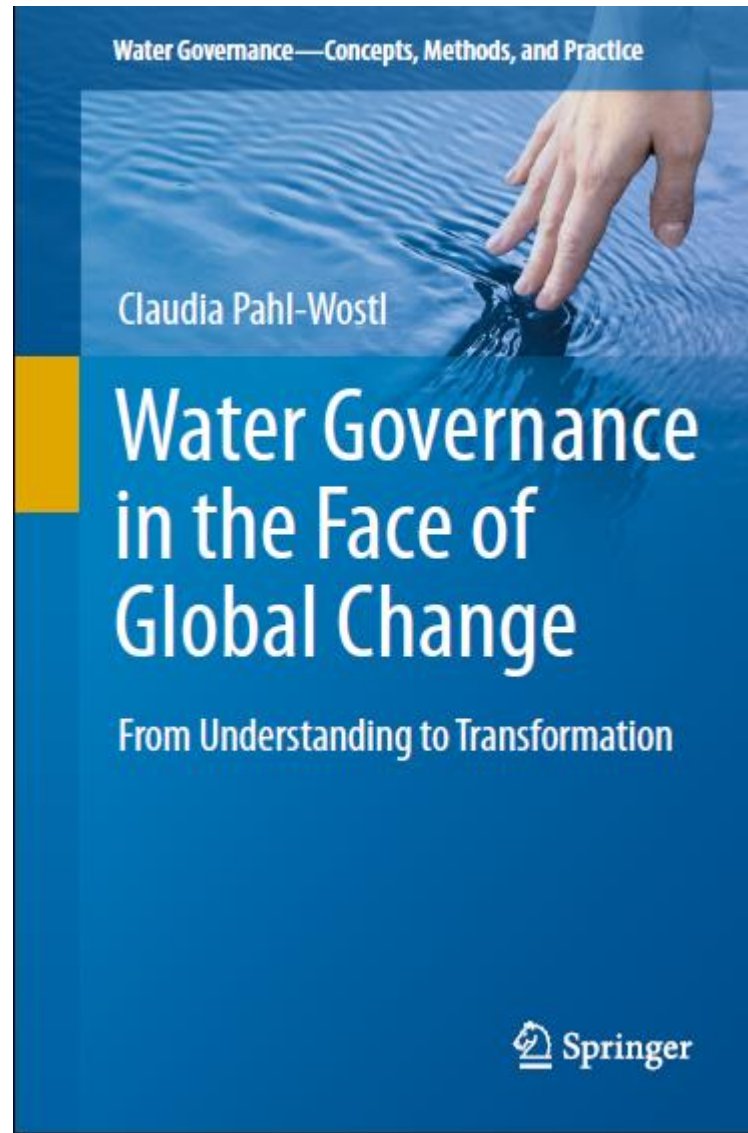
- **DIAGNÓSTICO ROBUSTO**
- **CAJA DE HERRAMIENTAS AMPLIAMENTE CONOCIDA**
- **NO EXISTEN DUDAS SOBRE QUE HACER, SI SOBRE COMO HACERLO**

DESARROLLO DE LOS PRINCIPALES PARADIGMAS



Superación de la fragmentación en el análisis y toma de decisión

Incorporación y manejo adecuado de la incertidumbre y promoción del aprendizaje social



El problema analizado es fundamentalmente un desafío organizacional y cómo se administra y gestiona los diferentes intereses en juego.