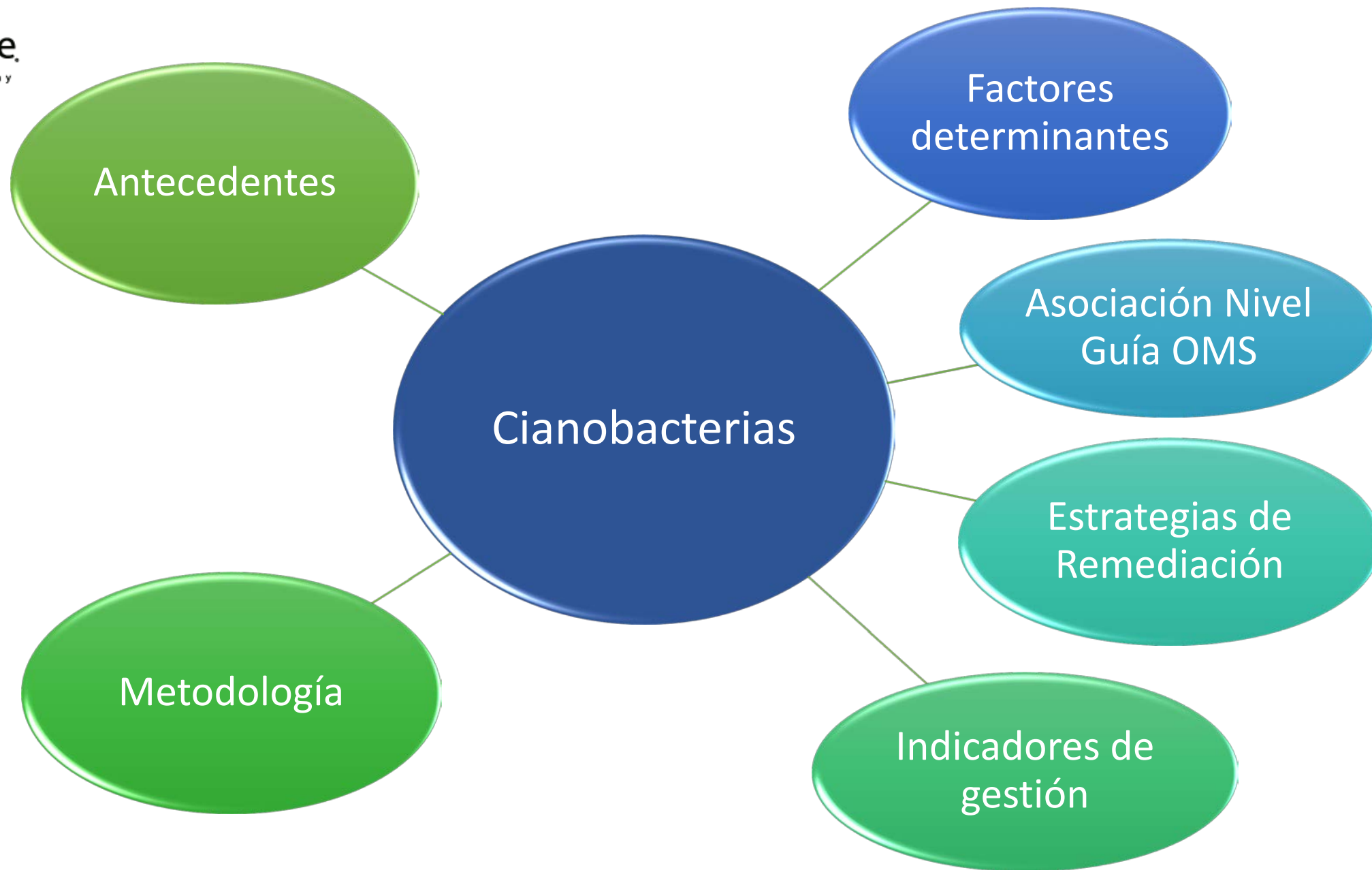


**Foro sobre Mitigación  
de Eutrofización y  
Taller sobre Cianobacterias**

**Cianobacterias: Gestión en Salto Grande.  
“Una década sintomática”**

27, 28 y 29 de noviembre de 2019  
Complejo Hidroeléctrico de Salto Grande  
Argentina-Uruguay  
[www.saltogrande.org/jece](http://www.saltogrande.org/jece)



# Cuenca hidrográfica Río Uruguay

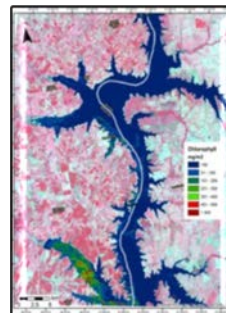
**CUENCA DE SALTO GRANDE  
(244.700 km<sup>2</sup>)**

**70% Brasil  
20% Argentina  
10% Uruguay**



***Lo que hacemos aquí afecta a las vidas de los demás ...***

# Antecedentes



Embalse de Salto Grande

Diferencias entre zona central y brazos;  
verano > lenítico, invierno > tipo río con baja biomasa.

**P** ingresa por el río en la cola del embalse  
**N** ingresa por brazos vía drenaje

Tendencia a la eutrofización  
P > 60 µg/l  
Q < 2000 m<sup>3</sup>/seg  
} floraciones

↑ Antecedentes

↑ Estudios de campo



### Características morfológicas de brazos

Itapebí >Q, > Z mezcla  
Galeguaycito <Q, < Z estratificación

Mejillón dorado



Conde *et al*, 1996; Otaegui, 1997  
De León & Chalar 2003  
Chalar *et al*. 2002, Chalar 2009

Boltovskoy *et al*, 2013

*Anabaena* spp. (*Dolichospermum*)  
*Raphidiopsis mediterranea*  
*Microcystis*  
Sin estratificación  
*Presencia Ceratium*





## Eutrofización, embalses y floraciones

- Fuentes difusas de contaminación

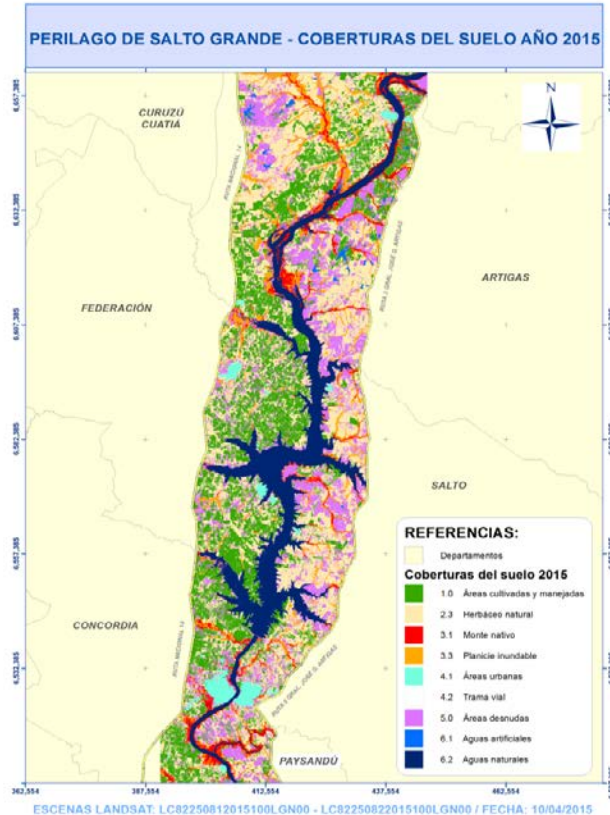


- Descargas puntuales de Efluentes cloacales e industriales



## Antecedentes

Exceso de nutrientes de origen antropogénico



## Objetivos

- **Contribuir al conocimiento del embalse, como activo del complejo SG**
- **Identificar y analizar los procesos y las variables que regulan los cambios espacio-temporales de las cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas y formadoras de floraciones en el Embalse Salto Grande.**
- **Identificar indicadores de rápida determinación del desarrollo algal.**
- **Proponer medidas preventivas de manejo y de discusión del impacto sobre la gestión integral del embalse.**



Largo del Embalse: 110 Km  
Perímetro: 1190 Km

- Periodo Histórico 2007 a 2011:
- 17 sitios: Playas, tributarios, canal
- 5 periodos cálidos: Diciembre a Marzo
- Frecuencia: cada 7-10 días
- Muestras de superficie (0,3m)

¿Como lo hicimos?  
En un principio....



## Análisis de Laboratorio:

En cada sitio:

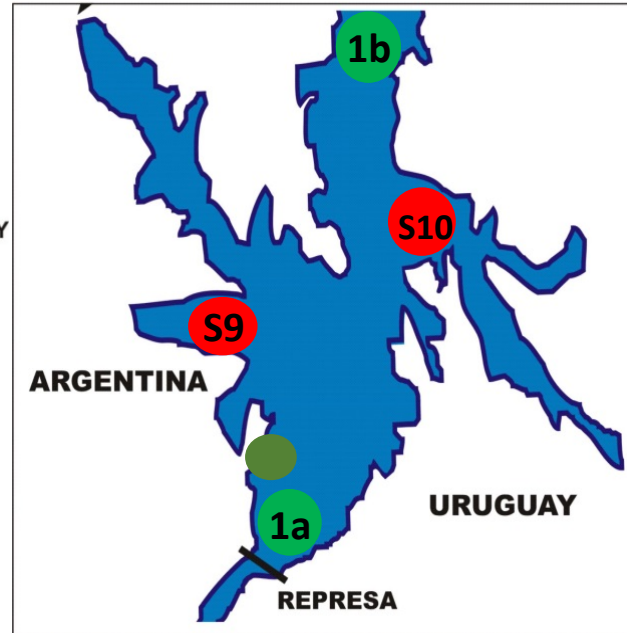
- Identificación cuali-cuantitativa de cianobacterias
- Clorofila "α",
- Sólidos inorgánicos suspendidos
- Fco-QCOS (nutrientes en algunos sitios)
- Variables hidrológicas







**Focalizamos:**  
Viento, caudal y nivel hídrico  
Grupos fitoplanctonicos dominantes



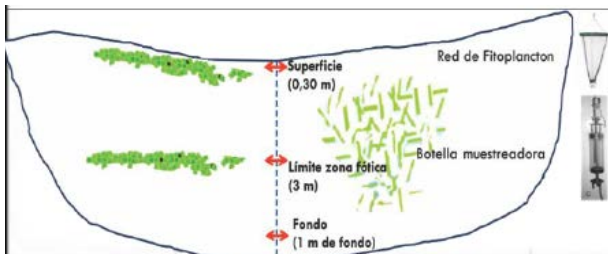
**5 sitios Embalse:**

- 2 zona central
- 2 brazos cercanos a la presa.
- 1 Playa

**perfiles *in situ*:**

- temperatura,
- pH,
- Conductividad
- OD
- Secchi.
- . Clorofila
- . Fitoplancton
- . Nutrientes
- . **Microcistina**

¿Como lo hicimos?

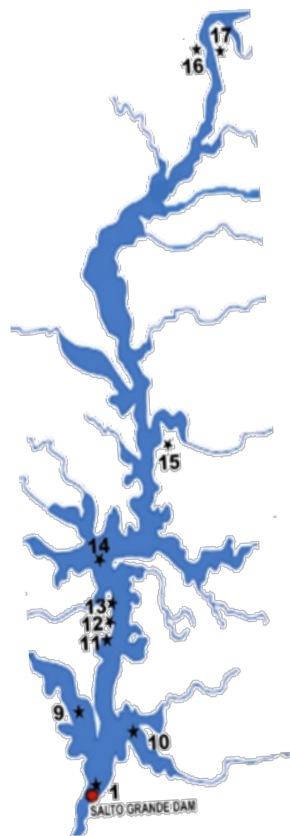


**Profundidad sitio:**

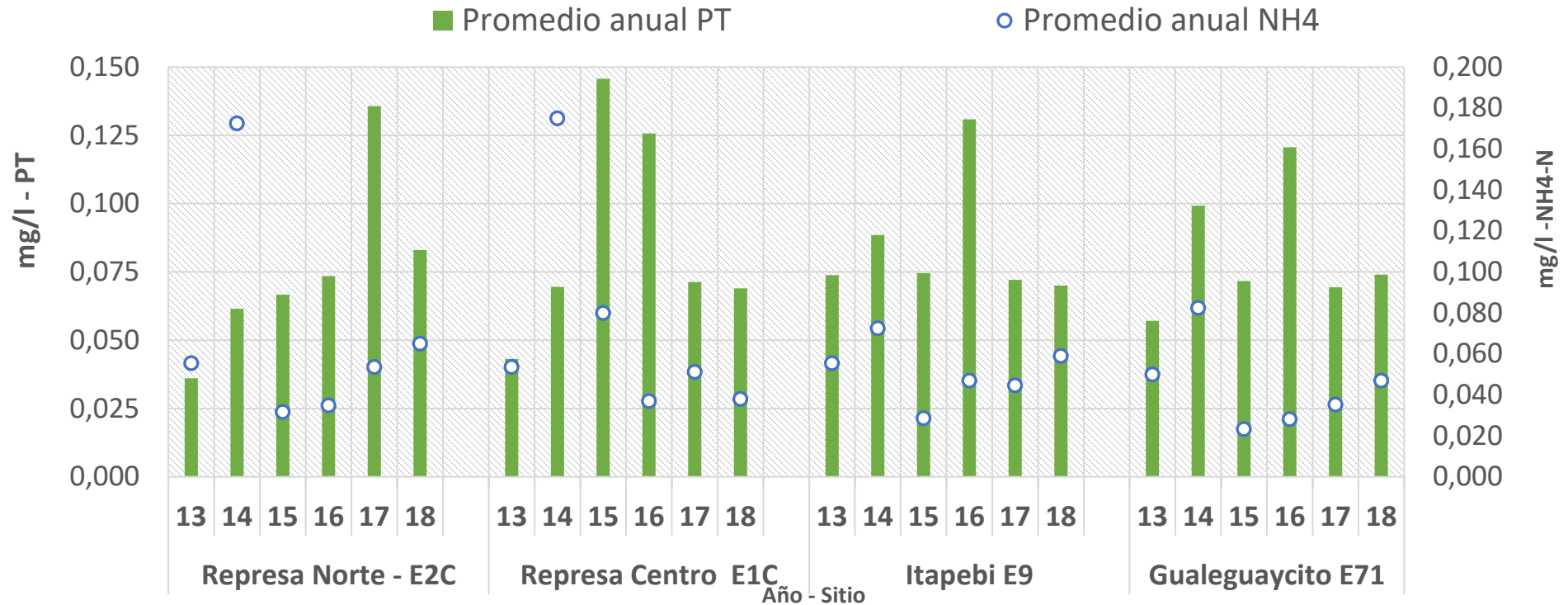
- 1b = 15,5 m
- 1a = 29,7 m
- S9 = 8,0 m
- S10 = 11,1 m



## Volumen de datos limnológicos del Embalse Salto Grande analizados a escalas espacial y temporal



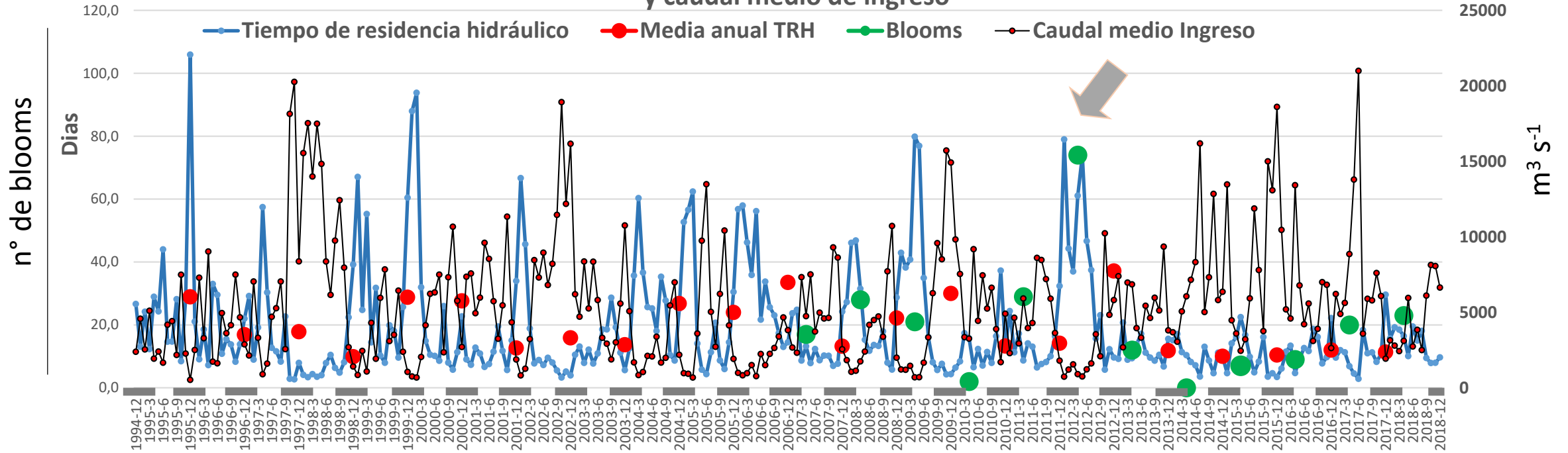
	Sitio	Año											Total	Margen Centro	Playa Canal
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017			
1	BUnion			24	24	21	30	22	17	22	25	9	194	I	P
2	MCaser			25	24	21	29	21	17	11	5	0	153	D	P
3	MC/BU				12	10	13	11	9	16	25	13	109	C	C
4	Belen			13	5	8	15	10	13	6			70	T	P
5	BelC				12	10	14	10	8	2			56	C	C
6	S/F Federac			6	12	18	14	11	7	7	3	2	80	C	C
7	PG Gde	10	10	10	20	19	20	11	18	15	8		141	D	P
8	PS Sur	10	10	10	6				1	13	8		58	D	P
9	PB Bali	10	10	10	7	13	10	5	1	13	8		87	D	P
10	Constit							9	20	17	27	12	85	I	C
11	E2C Rep Ctr						4	11	5	7	10	10	47	C	C
12	E9 Itapebi	10	10	14	19	19	21	19	15	28	34	19	208	C	C
13	E71Gualcyto	5	9	26	25	23	28	23	20	21	19	15	214	I	C
14	CVA CdaVA			4	16	14	4	4		13	13	9	77	D	C
15	E1C Rep Ctr	10	10	25	22	24	20	14	18	29	35	19	226	D	C
16	LPal	12	12	16	25	23	19	19	12	14	23	15	190	D	P
17	LM	12	11	16	14	13	15	10	13	10	19	16	149	D	P
18	Lper	12	12	16	25	23	16	13	13	10	15	15	170	D	P
19	Psol	2	12	16	14	13	13	12	12	10	15	17	136	D	P
20	PLNE										8	16	24	I	P
21	Lpi	12	12	15	16								55	I	P
22	IMS Int Salto	12	12	16	24	22	11	11	12	11	19	16	166	I	P
23	LT MI Toma	11	12	16	23	23	18	14	12	16	27	17	189	I	P
24	E11 Rep Ab						3	10	4		2		19	C	C
25	Yerua 1							9	22	27	27	13	98	D	C
26	Dayman							9	22	27	27	13	98	I	C
	<b>Total</b>	<b>128</b>	<b>142</b>	<b>278</b>	<b>345</b>	<b>317</b>	<b>317</b>	<b>288</b>	<b>291</b>	<b>345</b>	<b>402</b>	<b>246</b>	<b>3099</b>		



El fósforo total muestra valores promedios anuales superiores al *umbral según norma* de *0,025 mg/l PT* (Decreto 253/79 ROU) en los últimos 6 años en todo el área de influencia del embalse para todos sus usos (abastecimiento, recreativo y vida acuática), con un promedio histórico de **PT > 0,07 mg/l**.

El Nitrógeno ingresa por brazos vía drenaje, y los valores promedios de N-NH<sub>4</sub>, superan hace 6 años *el umbral según norma* *0,019 mg/l NH<sub>4</sub>-N* (Digesto CARU), con un promedio histórico en el embalse de **0,06 mg/l NH<sub>4</sub>-N**.

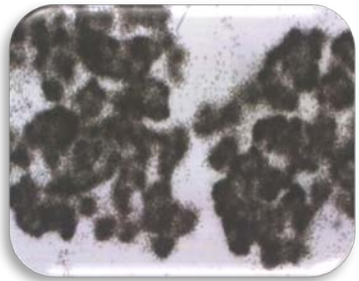
Registro Historico Periodo 1994 -2018.  
Tiempo Residencia Hidraulico (TRH), anual,  
Numero de Blooms por temporada estival (enero, febrero, marzo y abril)  
y caudal medio de ingreso



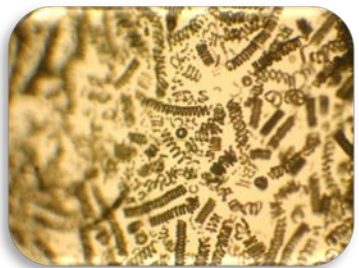
*Diferencias interanuales de la intensidad de las floraciones estivales responden principalmente a las variaciones de caudal del río y de la cota del embalse*



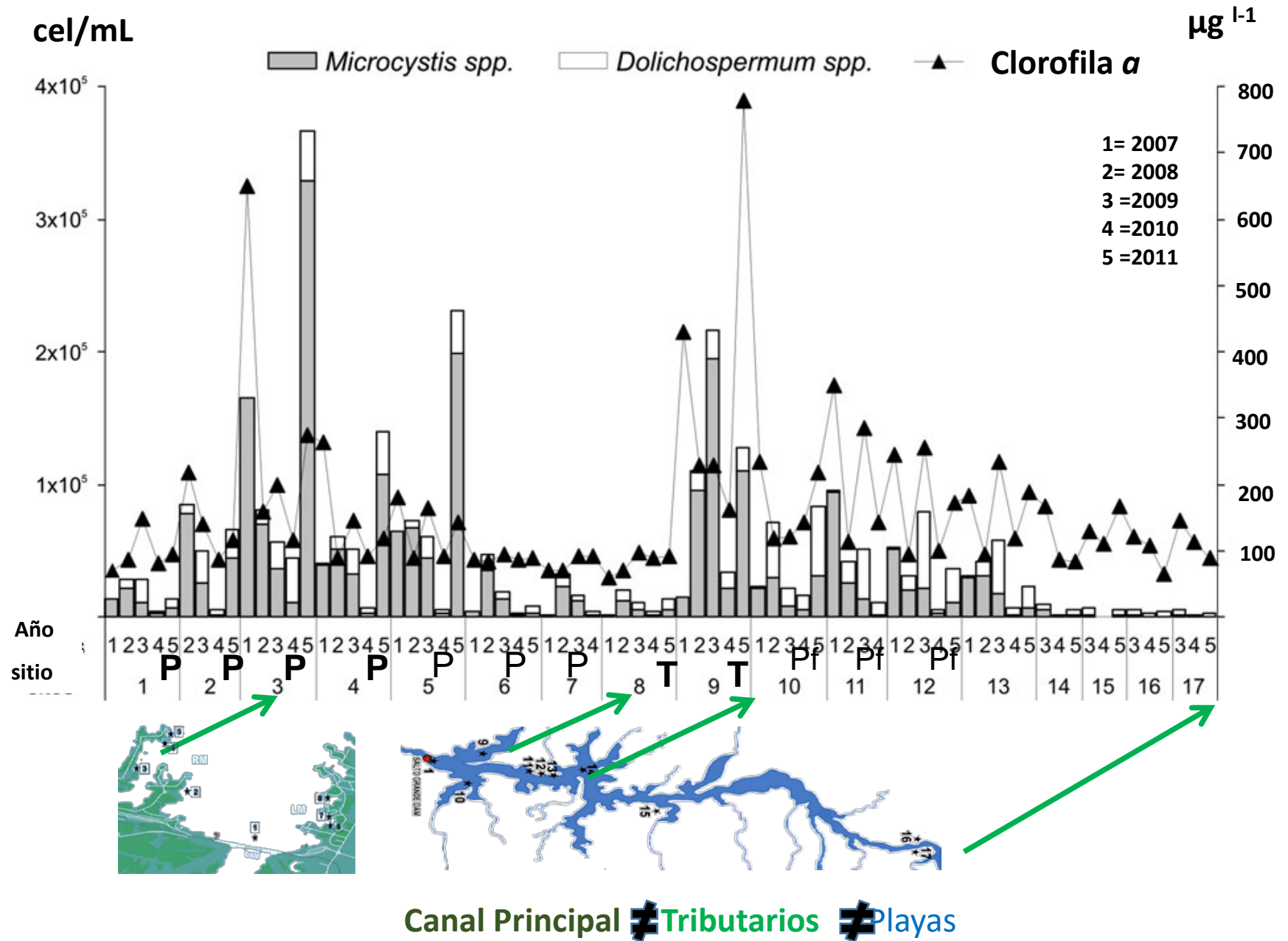
Periodo histórico



Microcystis



Dolichospermum





Factores determinantes

*Influencia de la luz y régimen de mezcla en las floraciones*

Influencia ppal.:

Se determinó la **influencia de los factores ambientales (caudal, viento y nivel hídrico) en la abundancia y distribución vertical de los grupos dominantes del fitoplancton que forman floraciones**



**Temperatura**



**viento**



**caudal**

Valores umbrales de factores físicos que impiden floraciones de Cyanobacteria

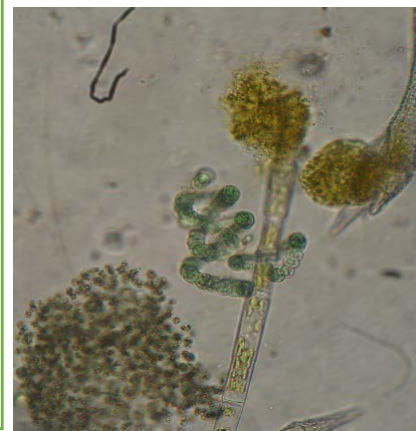
>12,5 m s<sup>-1</sup> viento,  
>9900 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>,  
>35 m nivel hidrico  
< 16,5 °C.

***Dolichospermum***

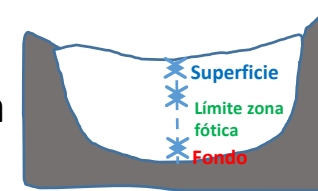
Columnas más cortas,  
más mezcladas , <temp

***Microcystis***

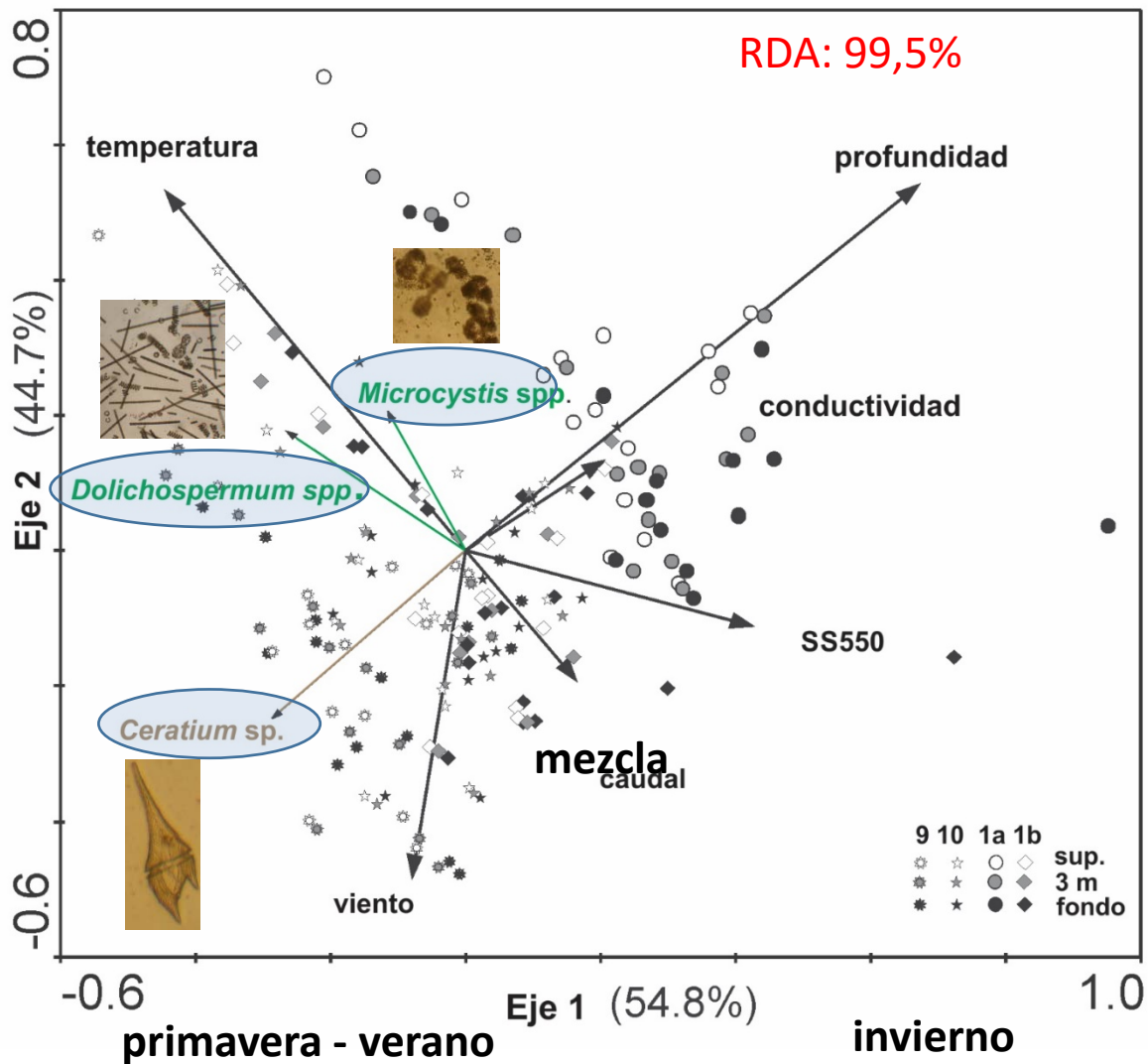
columnas más largas,  
menos mezcladas,  
>temp



***Ceratium*** se favorece a menores temperaturas, a partir de 16 °C en sitios <10 m (S9) con caudal <3500 m<sup>3</sup>/s vientos > 12,5 m/s en columnas más mezcladas



calma



-*Microcystis*- altas temperaturas y escaso viento, aguas transparentes, columnas poco mezcladas.

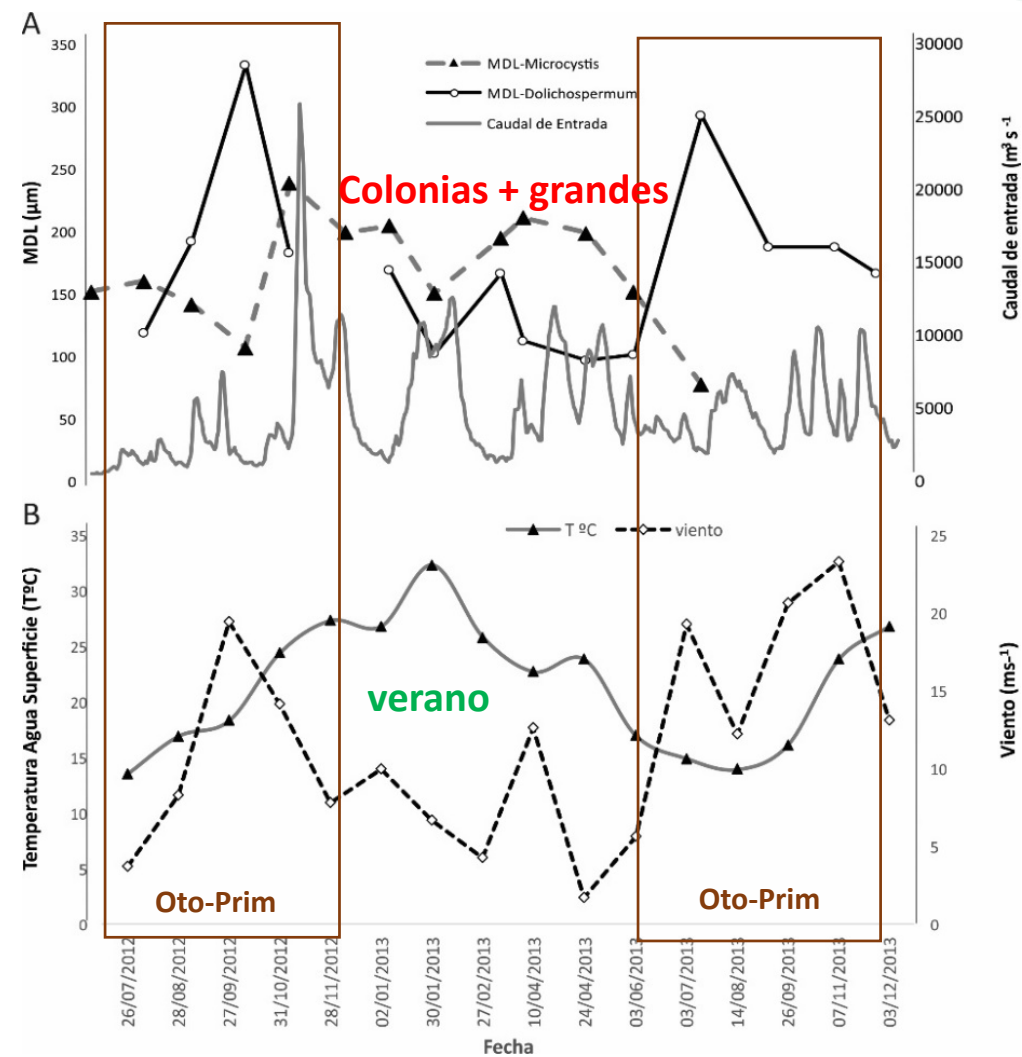
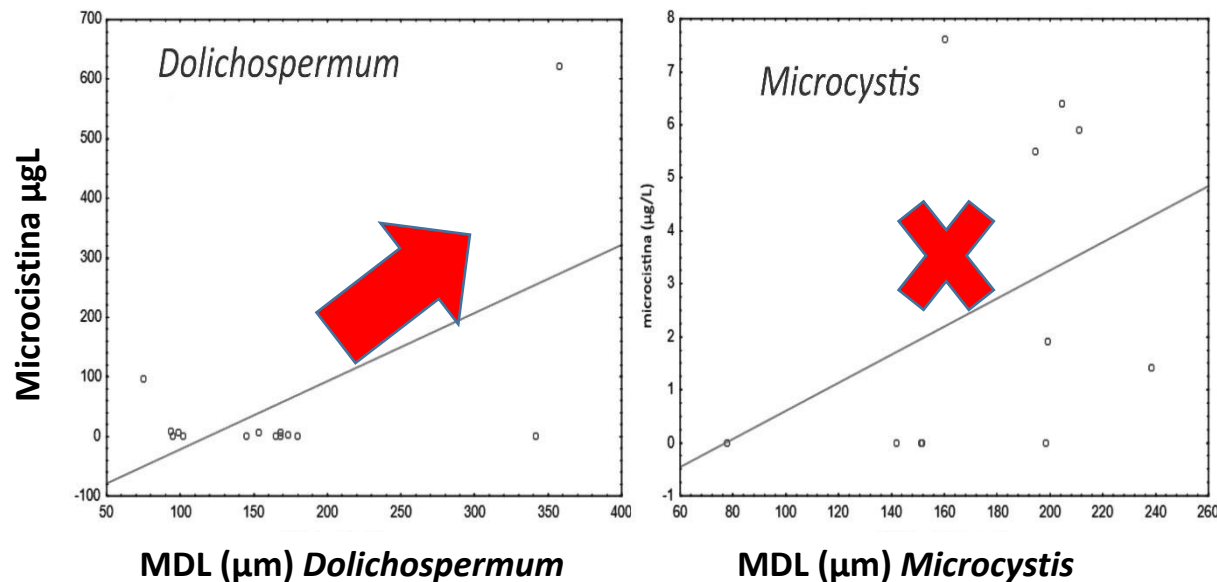
-*Dolichospermum*- altas temperaturas y días más ventosos, aguas transparentes con niveles hídricos menores.

- *Ceratium*- temperaturas menores, columnas de agua largas y turbias, con días ventosos.

*Los controles por nutrientes de las floraciones están subordinados a factores físicos (temp., Q, cota, vientos).*

**Estudio complementarios**  
**Rasgos morfológicos - Indicadores**

Relación entre el tamaño de los individuos (MDL de filamentos y colonias) de los complejos *Dolichospermum* y *Microcystis* y la concentración de microcistina total.



Se requieren mas datos



Factores  
determinantes



Consideraciones :

- **Dos complejos de cianobacterias dominan el embalse de Salto Grande, *Microcystis* y *Dolichospermum*.**
- **Su distribución se ve muy afectada por las fluctuaciones hidrológicas y la morfología del embalse.**
- La abundancia de estos complejos difiere a lo largo de los 100 km de longitud del embalse, entre sus márgenes y durante los años de monitoreo (2007-2017) también se detectaron grandes variaciones a lo largo de cada época estival.
- **Las mayores abundancias y el aumento de la frecuencia de floraciones intensas se ubican río abajo, cerca de la represa, en los tributarios (brazos) y en las playas situadas en el margen derecho.**
- **Las condiciones hidrológicas actúan como las principales fuerzas reguladores del desarrollo de cianobacterias en el estrato superficial durante la época estival.** La temperatura y los nutrientes estarían subordinados a los aportes (caudal de ingreso) y a la cota (nivel del agua).





Factores  
determinantes

**Consideraciones:**

- La influencia conjunta de la temperatura y las condiciones meteorológicas e hidrológicas que determinan los **regímenes de luz y mezcla, afecta la distribución de los componentes dominantes del fitoplancton**, revelando una respuesta diferencial a una fuerza prevaleciente o a una combinación de agentes.
- ***Microcystis* spp. desarrolla floraciones más densas en períodos donde la intensidad de los vientos disminuye y la columna de agua está estratificada.**
- **Altas temperaturas promueven más el desarrollo de los complejos de Cianobacteria en comparación a los dinoflagelados, dentro de los grupos del fitoplancton formadores de floraciones.**
- ***Dolichospermum* spp. evidencia mayores abundancias que *Microcystis* spp. en periodos de menor nivel hídrico.**

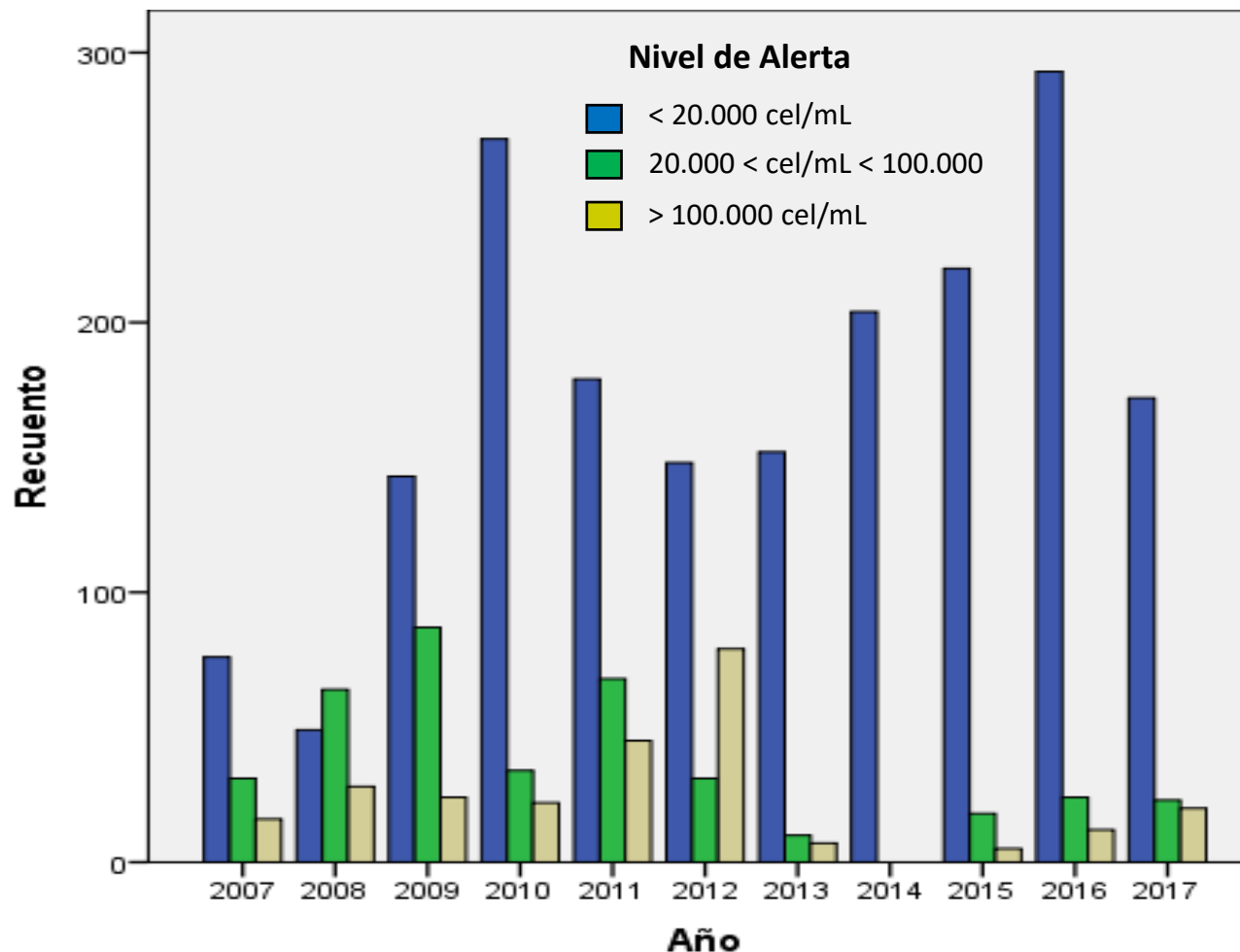
Factores  
determinantes

## Consideraciones

- El enfoque ecológico de la obtención de valores umbrales dependientes del hábitat que promueven o impiden floraciones con diferentes eco-estrategias proporciona las pautas correctas para predecir/controlar las floraciones y discutir las medidas adecuadas en los embalses.
- **El estudio sugiere la importancia de tomar en cuenta valores umbrales de la intensidad del viento, caudal y temperatura para confeccionar un protocolo de alerta.**
- La producción de toxinas estaría relacionada con las dimensiones de los filamentos y las colonias, variando a lo largo del ciclo de crecimiento de las poblaciones de cianobacterias del embalse.
- **Las condiciones ambientales con altas temperaturas y mayor estabilidad física del agua en el embalse promueven el crecimiento de poblaciones de cianobacterias y estimularían la producción de microcistina.**

## Asociación de los niveles de alerta de OMS en el tiempo

De **las 2552 muestras** con cianobacterias registradas, los mayores porcentajes ocurrieron en 2016 y 2010 (13%),



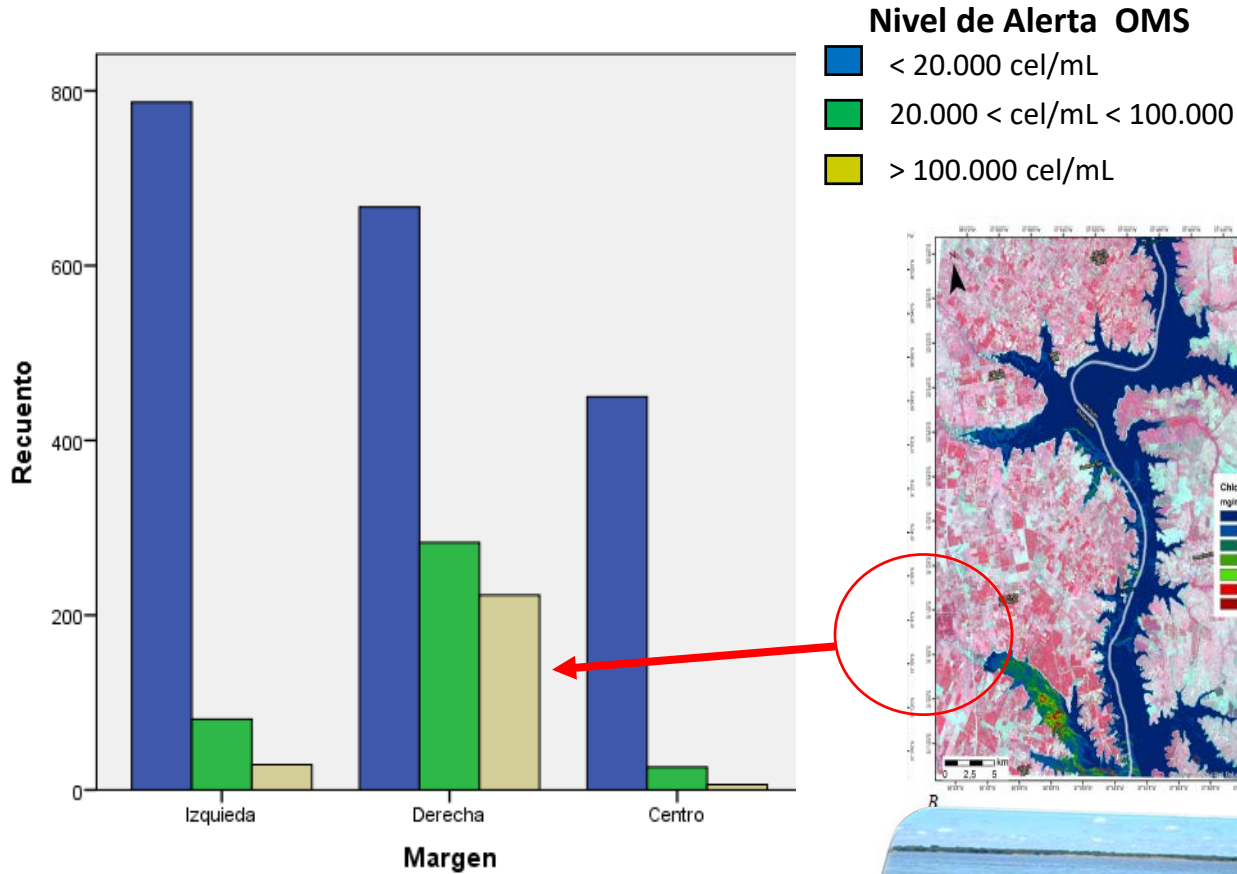
En los años 2008, 2011 y 2012 se observaron los mayores porcentajes de floraciones de **NA2 (de 11 a 31%)**.

Los años que presentaron menores porcentajes de floraciones de NA1 y NA2 fueron 2013, 2014 y 2015.

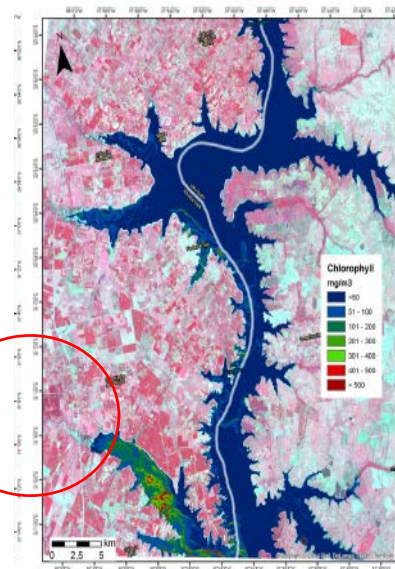
En **2014 no se registraron** floraciones con densidades mayores a 20.000 cel/mL.

En 2013 y 2015 los porcentajes de floraciones de NA1 y NA2 oscilaron entre 2 y 4%.

Asociación Nivel  
Guía OMS



Áreas del embalse



Las diferencias entre niveles de alerta resultaron significativas en ambas márgenes y en el centro ( $p=0.0001$ ).

**En el centro solo el 5,4% de las muestras en que se registraron cianobacterias alcanzaron nivel de alerta 1 (NA1) y el 1,2% nivel de alerta 2 (NA2).**

En la margen izquierda el 9% alcanzó NA1 y el 3,2% NA2, mientras que en la **margen derecha el 24% de las muestras en que se registraron cianobacterias alcanzó NA1 y el 19% NA2**

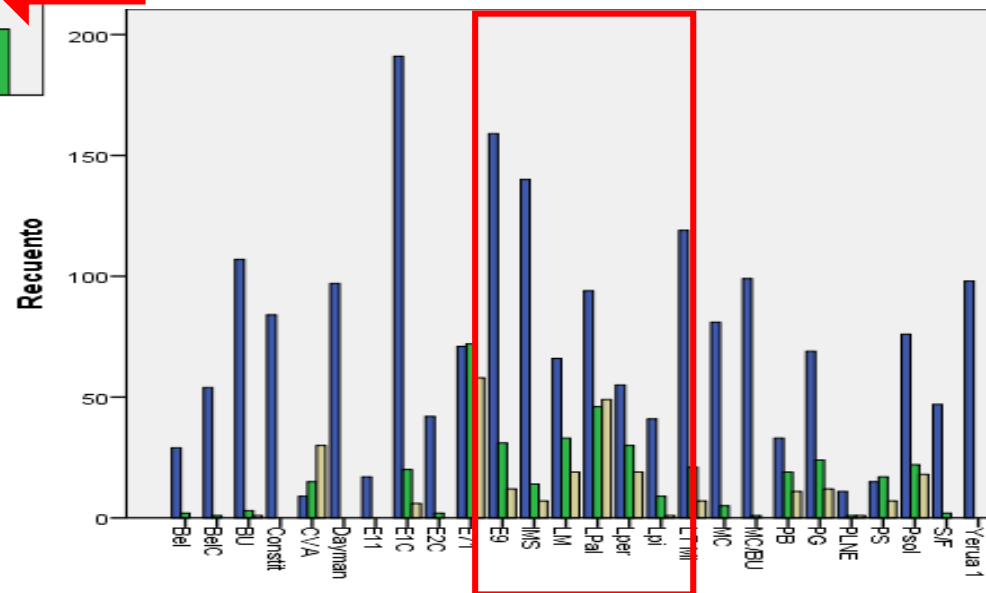
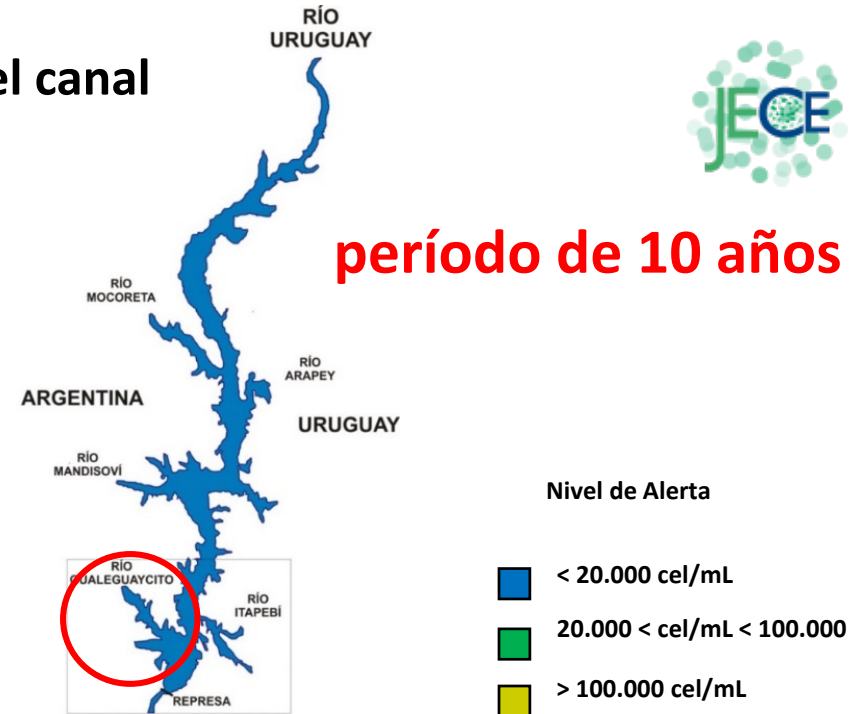
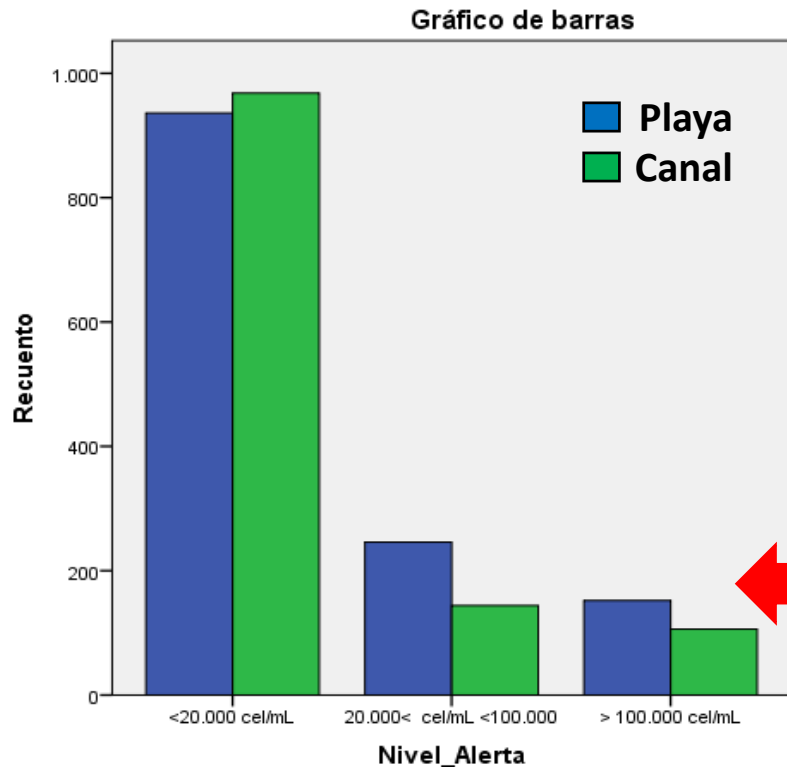
Asociación Nivel  
Guía OMS



Se encontró asociación altamente significativa entre los niveles de alerta de OMS y las playas del embalse (p=0.0001).

De las **390 floraciones de NA1** detectadas, el **63%** ocurrió en play

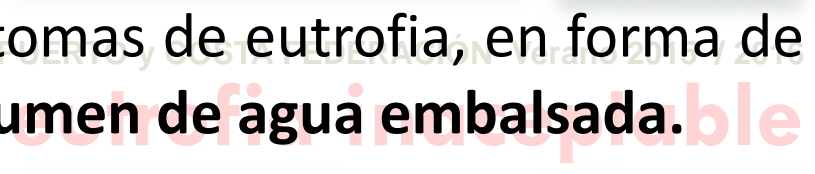
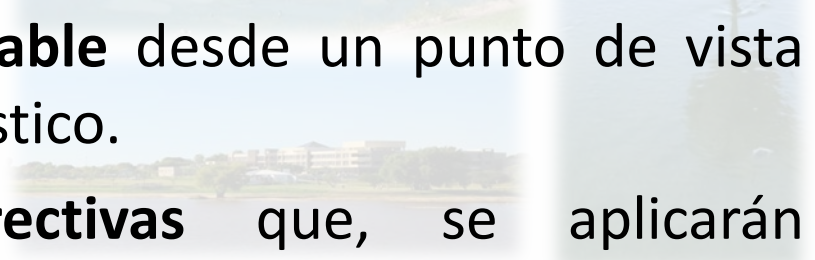
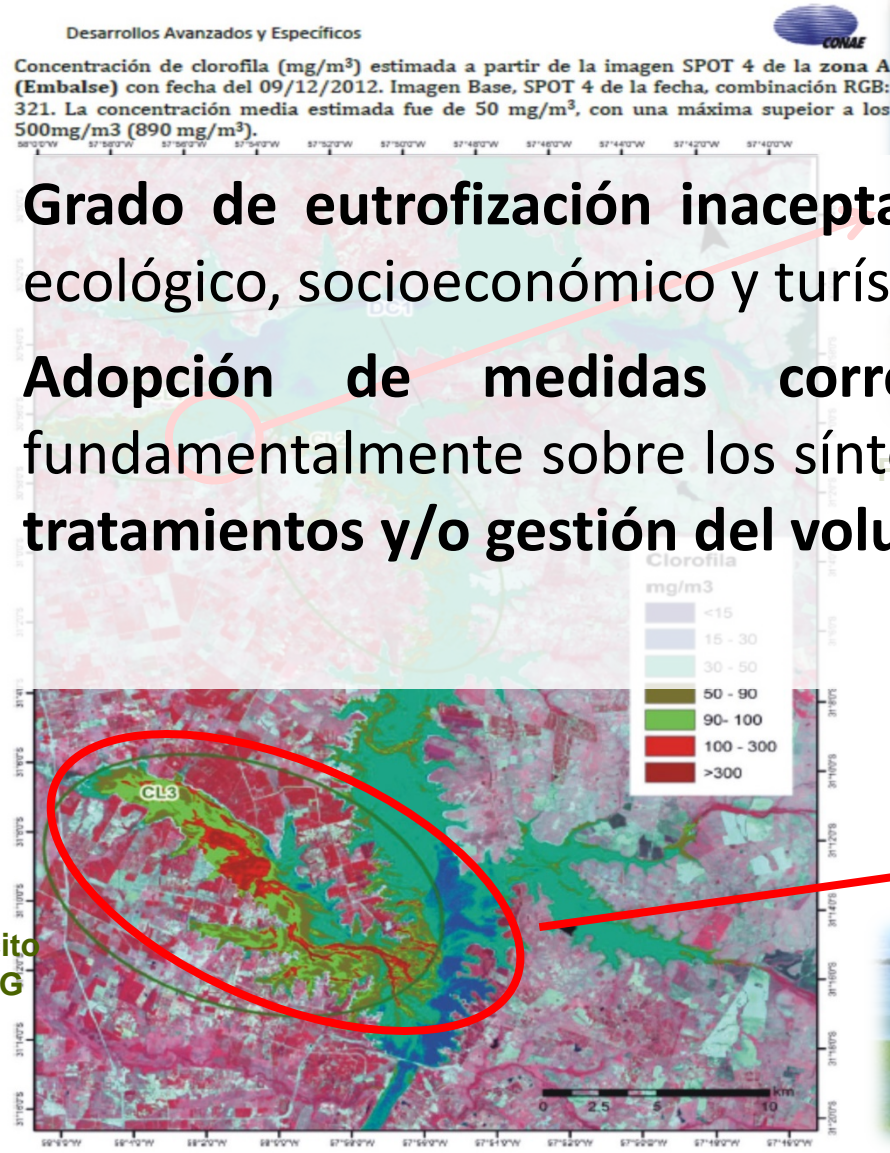
De las **258 floraciones de NA2** detectadas, el **59%** ocurrió en play



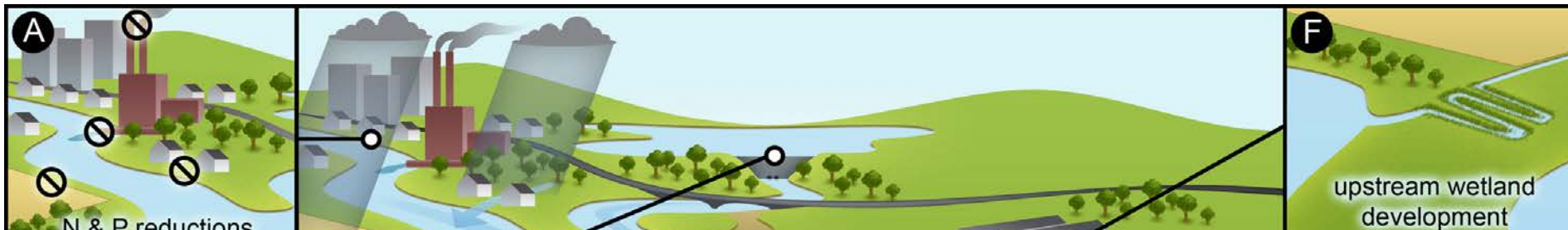
# ¿Cuáles son los desafíos actuales?

Estrategias de Remediación

- **Grado de eutrofización inaceptable** desde un punto de vista ecológico, socioeconómico y turístico.
- **Adopción de medidas correctivas** que, se aplicarán fundamentalmente sobre los síntomas de eutrofia, en forma de **tratamientos y/o gestión del volumen de agua embalsada.**





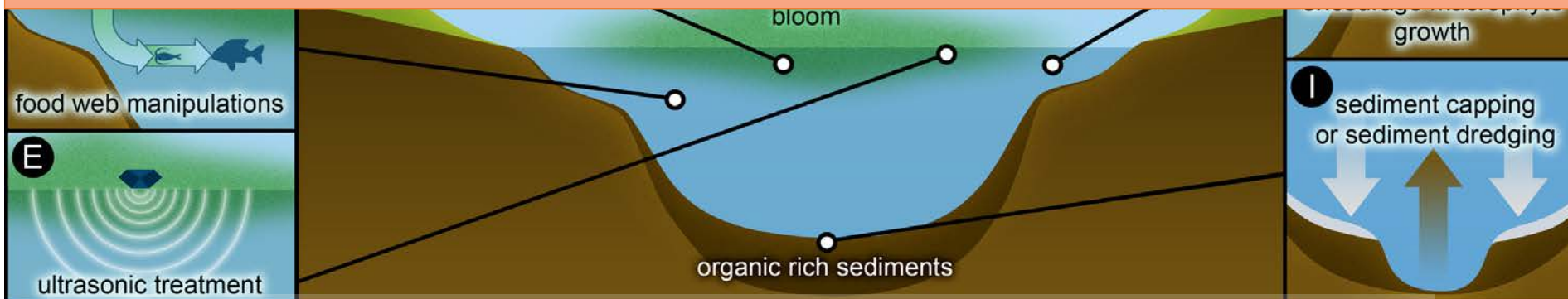


## FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

Llevar a cabo un Estudio Piloto donde se aplicarán medidas de actuación desde la perspectiva de Gestión de las causas de los afloramientos y el Tratamiento de los mismos cuando se produzca un afloramiento de cianobacterias.

### OBJETIVO

Estudiar la viabilidad técnica de metodologías de Corrección (Gestión y/o Tratamiento) de floraciones de cianobacterias en sitios de interés sanitario y recreativo del embalse de Salto Grande.



Hans Paerl, 2016. Mitigating cyanobacterial harmful algal blooms in aquatic ecosystems impacted by climate change and anthropogenic...

Estrategias de  
Remediación

# SITIO PILOTO PROGRAMA CONTROL DE ALGAS PUERTO DE FEDERACIÓN

<http://www.mpc-view.com/Account/Login>

Trabajamos por una gestión participativa por el agua

**PARTICIPACIÓN COMUNITARIA-  
GESTIÓN ASOCIADA**

Nuevo equipo de vigilancia de la calidad del agua y control de algas

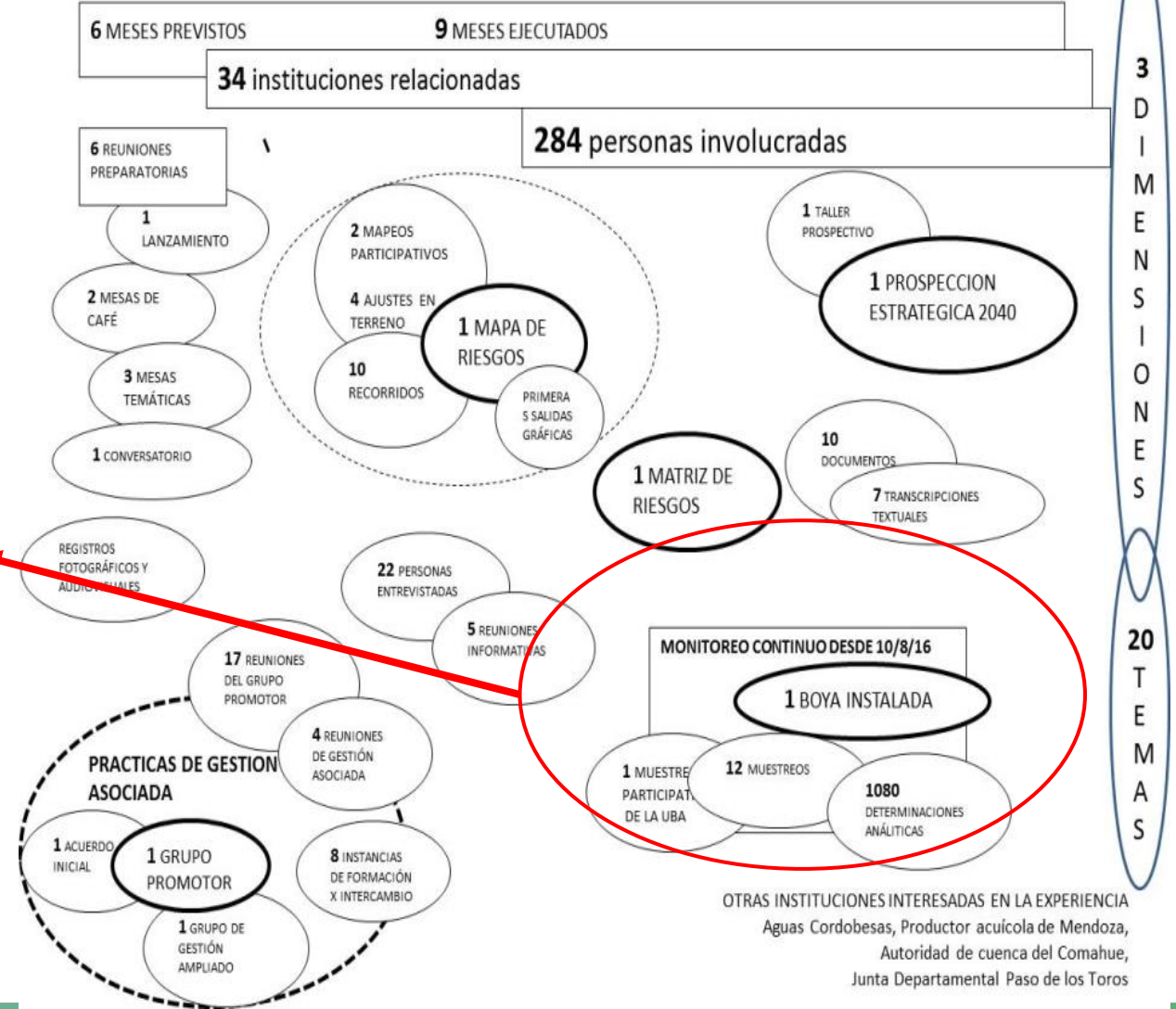
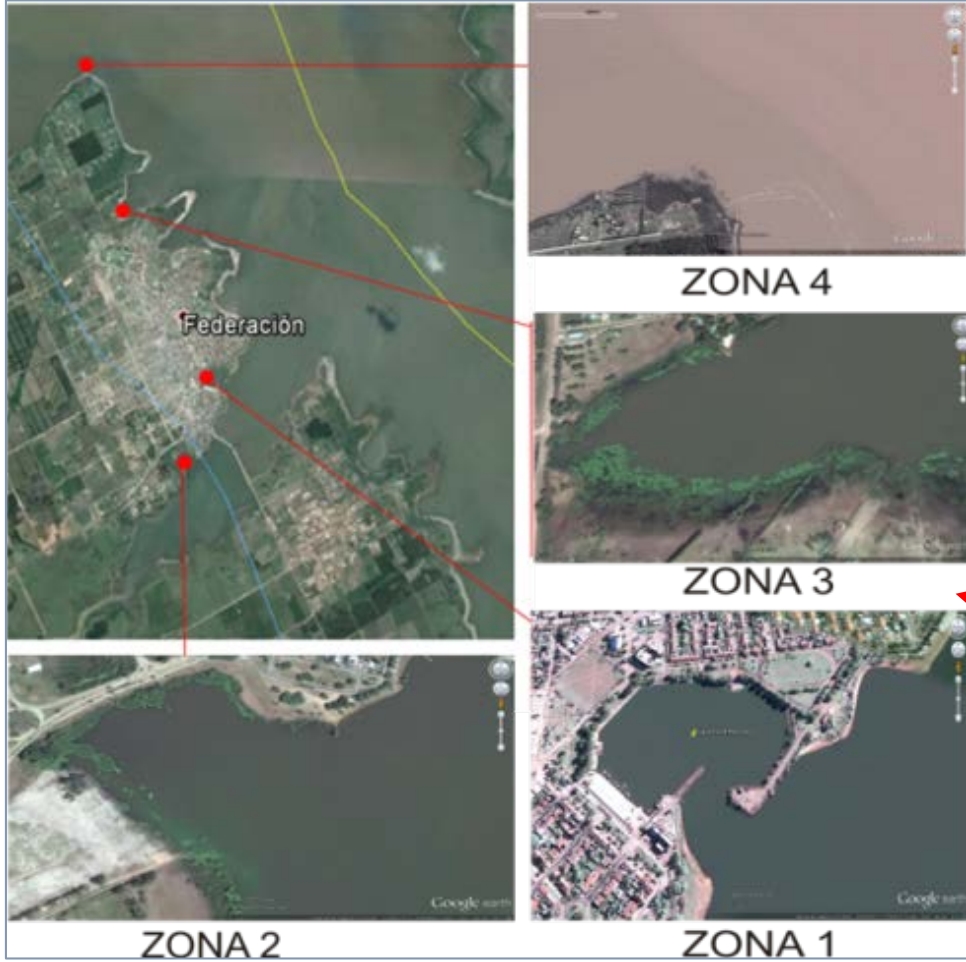
**MPC-Prueba piloto de eficiencia y efectividad del monitoreo continuo y en el control de cianobacterias**

Logo of the Municipality of Federación and Salto Grande Argentina-Uruguay.

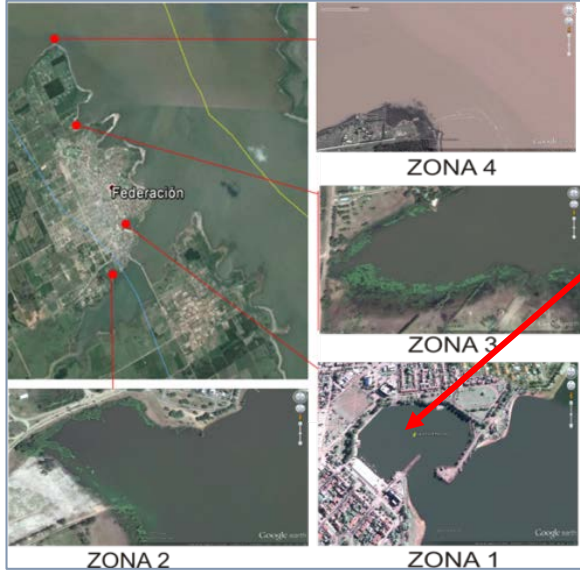
Google earth



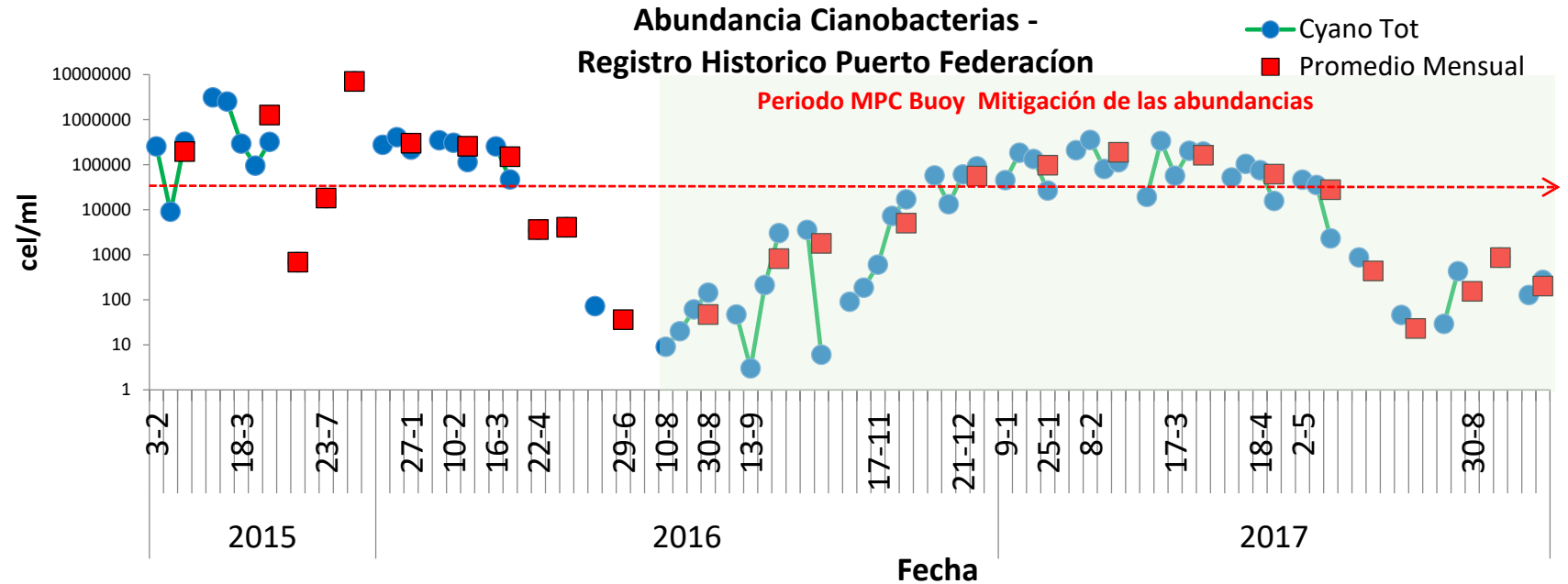
# Diseño de muestreo







Sitio	Promedio de cel/mL	Promedio de myc total	Máx. de myc total	Mín. de myc total	(n)
Puerto Z1P1	109.594	13,4	72,6	0,8	18
Puerto Z1P1 1m	69.337	11	92,3	1,3	15
Puerto Z1P2	300.925	47,6	395,0	2,1	16
Puerto Z1P3	181.454	18,4	107,7	1,4	14
Ar. La Virgen Z2P1	188.067	39,1	172,0	2,5	14
Ar. Las Garzas Z3P1	75.845	14,8	77,7	2,4	7
Paso La Barca Z4P1	72.566	23,80	64,5	1,5	3



Estrategias de Remediación

Hipótesis	Resultado
Existe diferencia de comportamiento en cuanto a densidades entre fechas de floraciones	No existe $p=0,01$
Existe diferencia de comportamiento en cuanto a las densidades entre sitios de muestreos	Si existe $p=0,01$
Existe diferencia en cuanto a densidades de cianobacterias entre sitios Puerto Z1P1 (boya) y Puerto Z1P3 (entrada)	No existe, no se encontraron diferencias significativas en la densidad entre Z1P1 y Z1P3. ( $p<0.05$ )
Existe un comportamiento similar entre la densidad en Puerto Z1P1 (boya) y Puerto Z1P3 (entrada) es la mismas que Puerto Z1P2 (borde) y Ar. La Virgen Z2P1	No existe, la densidad en Z1P1 y Z1P3, resultó significativamente menor que en Z1P2 y Z2P1 ( $p<0,05$ ).
La mayor densidad de cianobacterias se encuentra en el Puerto Z1P1 1m	No, la densidad en Z1P1 1m, en Z4P1 y en Z3P1 resultó significativamente menor que en los otros sitios muestreados ( $p<0,05$ ).
No existe diferencia entre la densidad de células a 1m de profundidad en la zona de la boya (Z1P1 1m) y subsuperficial (Z1P1) en ese sitio	Si existe, la densidad de células a 1m de profundidad en la zona de la boya (Z1P11m) resultó significativamente menor que la subsuperficial (Z1P1) en ese sitio y de similar magnitud a la subsuperficial en los sitios testigos de aguas abiertas (Z4P1) y del semiconfinado a la salida del efluente termal (Z3P1).

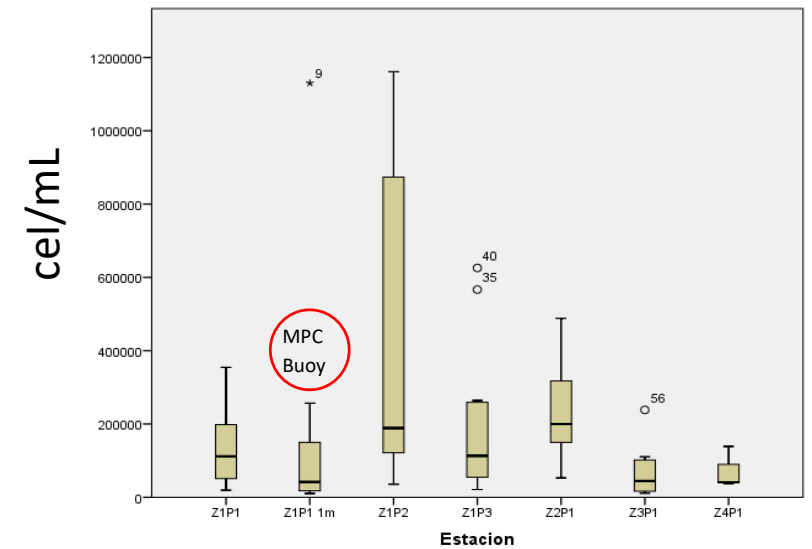
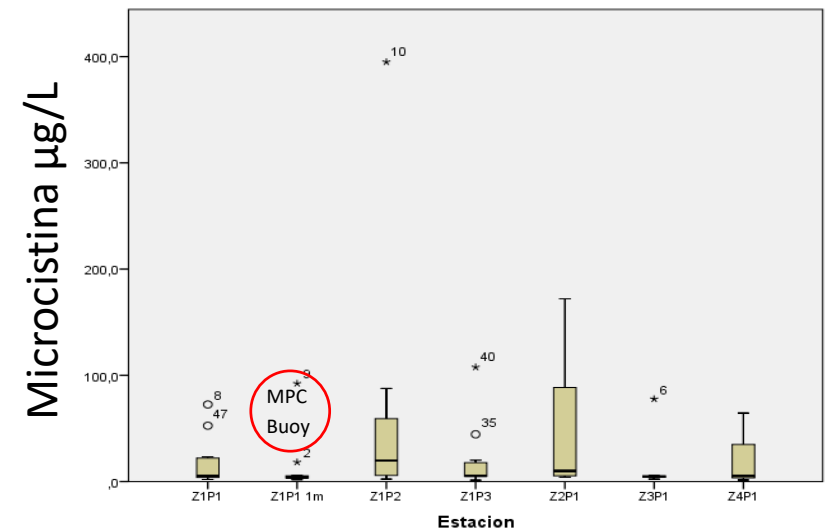
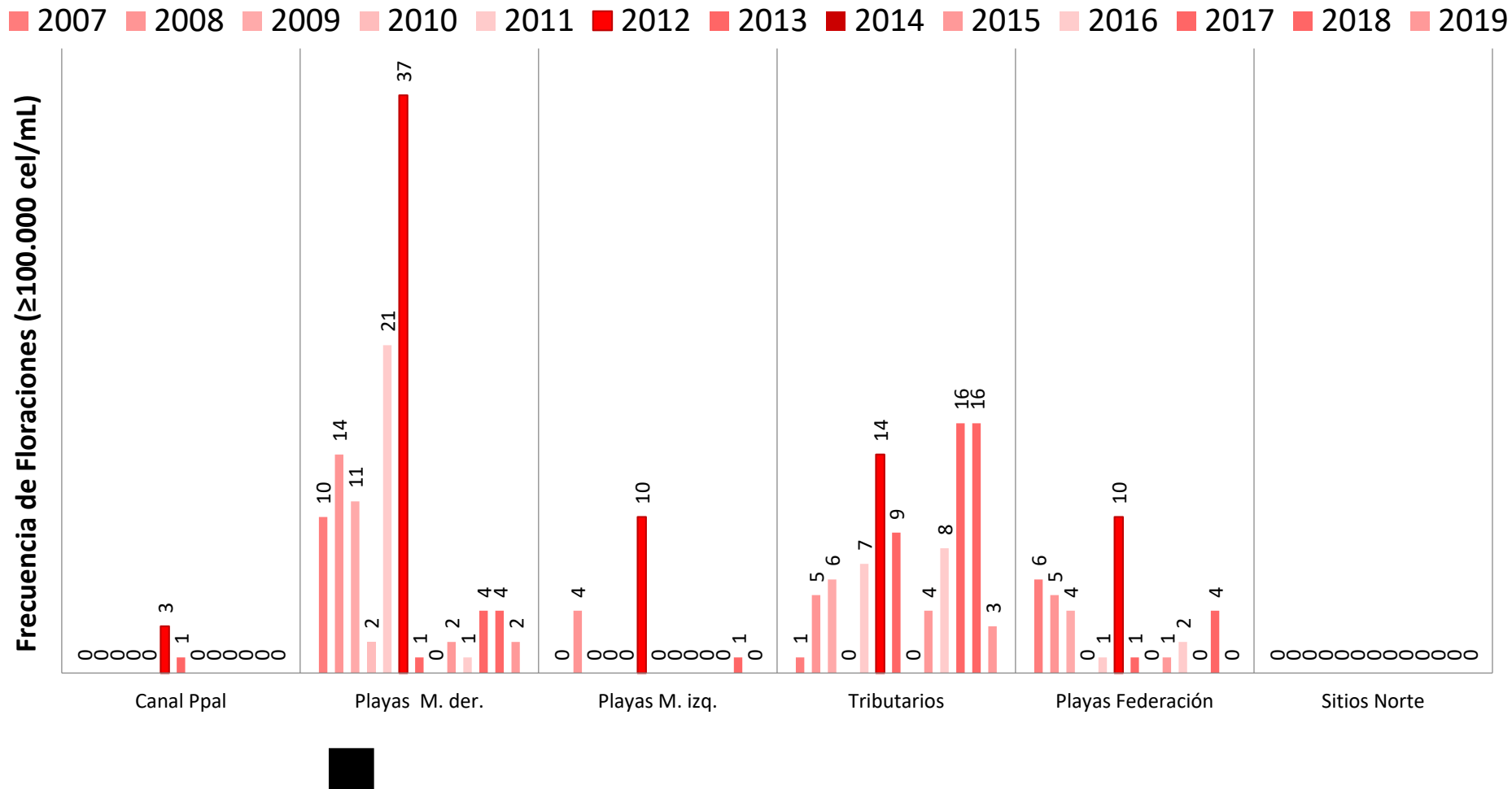


Figura. Diagrama de cajas donde se muestran la mediana y la desviación intercuartil de la **densidad celular (cél/ml)** para cada sitio. Estadísticos no-paramétricos no influenciados por los valores extremos, los que se muestran como puntos aislados. Círculo rojo: Sitios del MPC-Buoy





Floraciones



Indicadores de gestión

**¡Muchas gracias!**

Dr. Facundo Bordet

[bordet@saltogrande.org](mailto:bordet@saltogrande.org)

