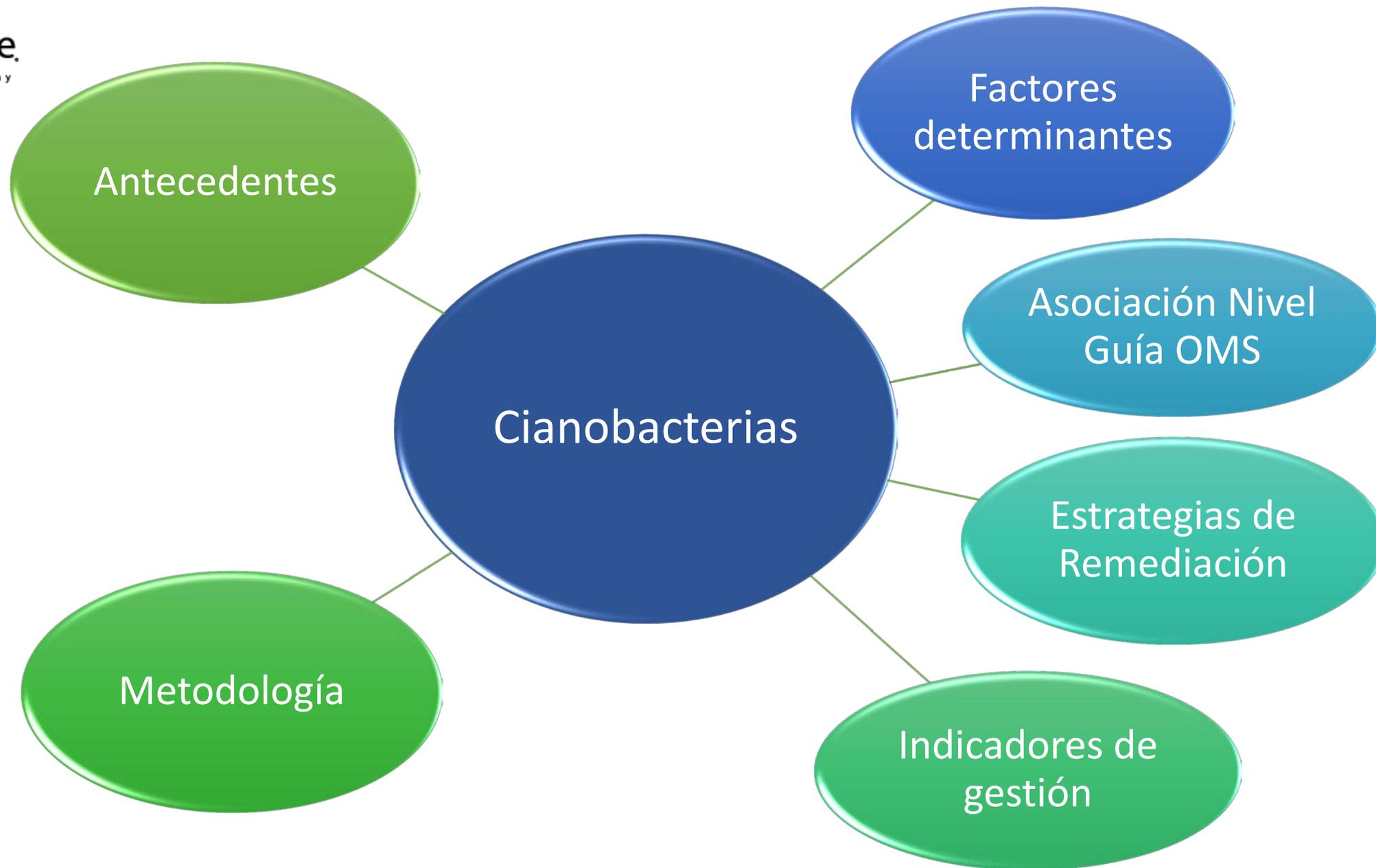


**Foro sobre Mitigación
de Eutrofización y
Taller sobre Cianobacterias**

**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



Cuenca hidrográfica Río Uruguay

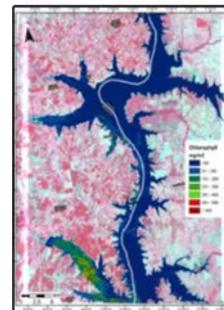
**CUENCA DE SALTO GRANDE
(244.700 km²)**

**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 m³/seg
} floraciones

↑ Antecedentes
↑ Estudios de campo



Características morfológicas de brazos

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

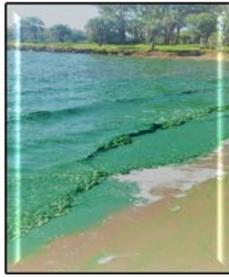
Conde *et al*, 1996; Otaegui, 1997
De León & Chalar 2003
Chalar *et al*. 2002, Chalar 2009

Mejillón dorado



Boltovskoy *et al*, 2013

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



Eutrofización, embalses y floraciones

- Fuentes difusas de contaminación

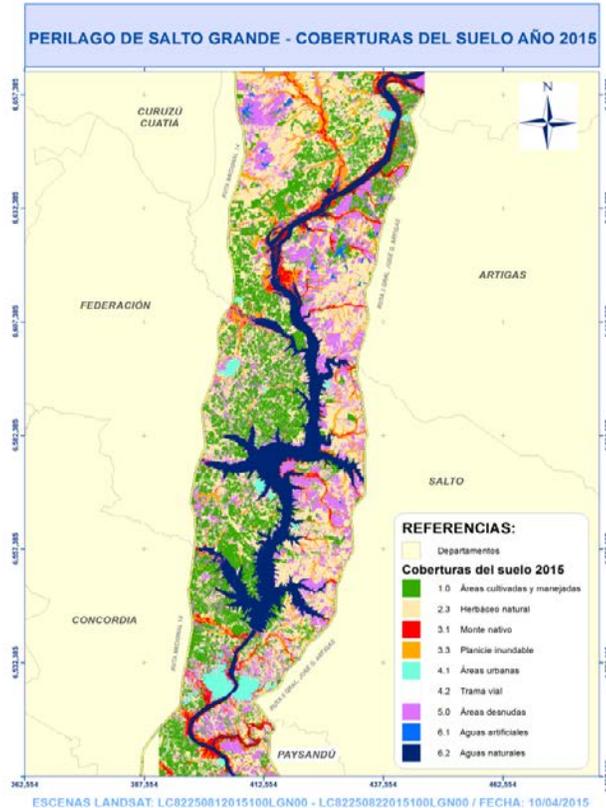


- Descargas puntuales de Efluentes cloacales e industriales



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:

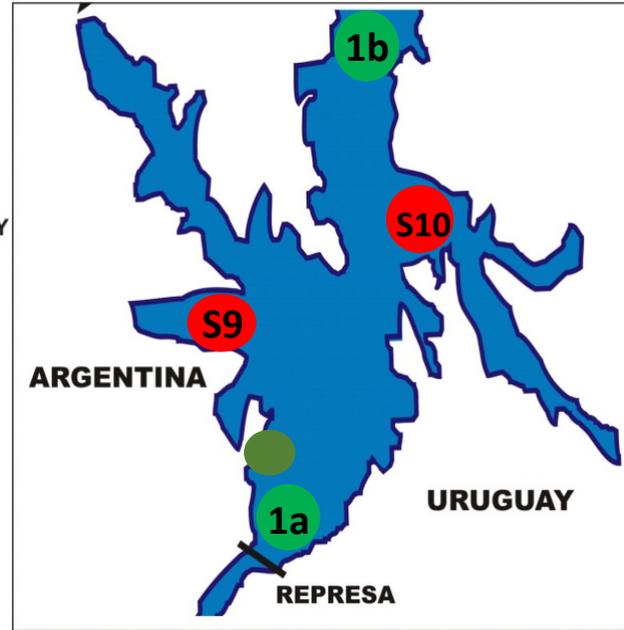
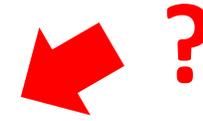
En cada sitio:

- 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

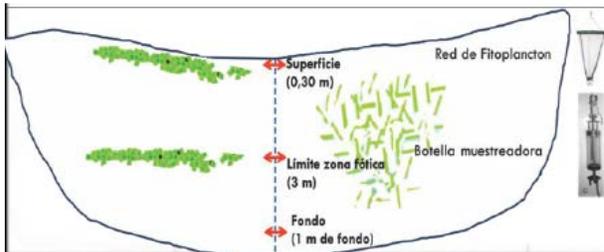


- 5 sitios Embalse:**
- 2 zona central
 - 2 brazos cercanos a la presa.
 - 1 Playa

perfiles *in situ*:

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

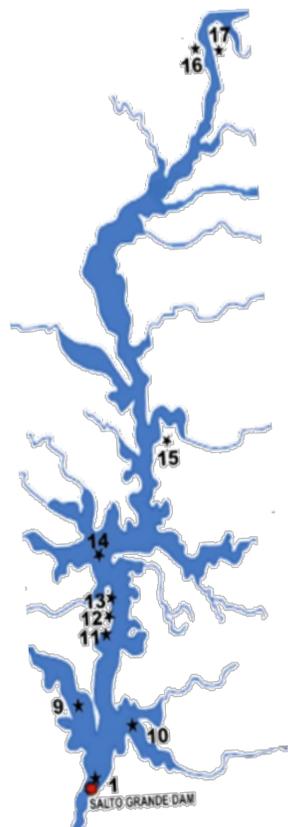
¿Como lo hicimos?



Profundidad sitio:

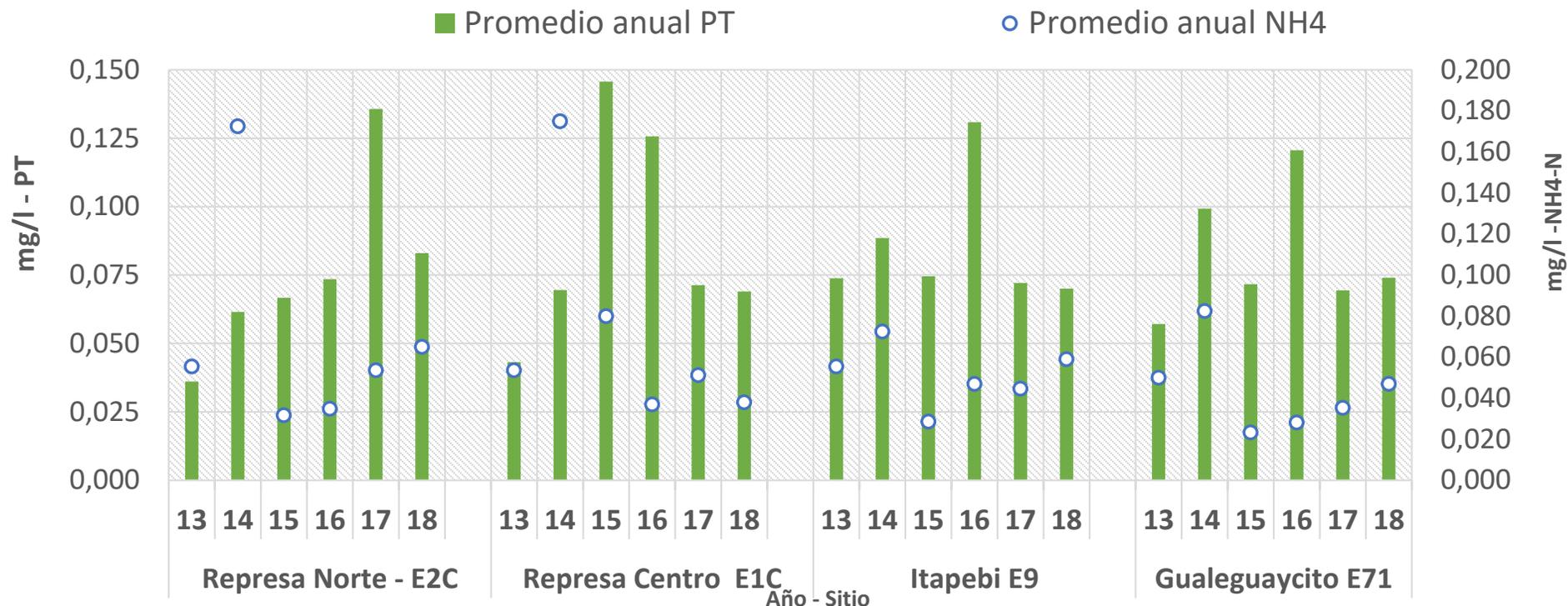
- 1b = 15,5 m
- 1a = 29,7 m
- S9 = 8,0 m
- S10 = 11,1 m

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 |
| | Total | 128 | 142 | 278 | 345 | 317 | 317 | 288 | 291 | 345 | 402 | 246 | 3099 | | |

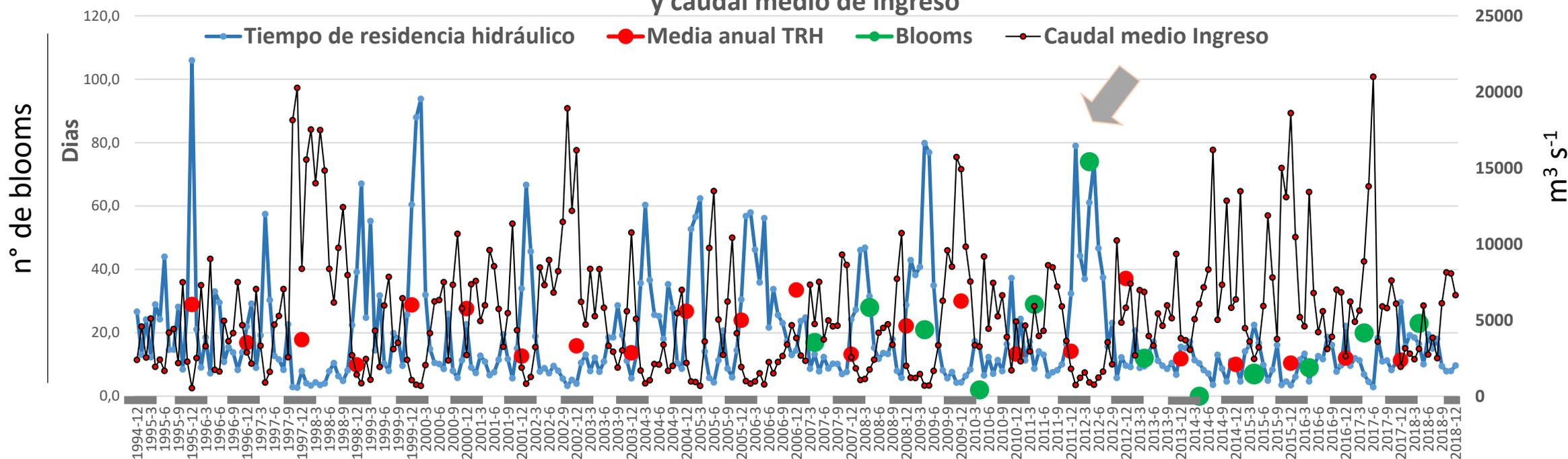
NUTRIENTES
HISTÓRICO 2013 - 2018
EMBALSE DE SALTO GRANDE



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-NH₄, superan hace 6 años *el umbral según norma* *0,019 mg/l NH₄-N* (Digesto CARU), con un promedio histórico en el embalse de **0,06 mg/l NH₄-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



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⁻¹ viento,
>9900 m³s⁻¹,
>35 m nivel hidrico
< 16,5 °C.

Dolichospermum

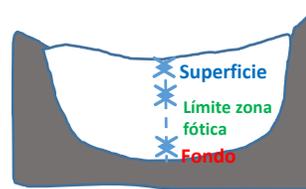
Columnas más cortas,
más mezcladas , <temp

Microcystis

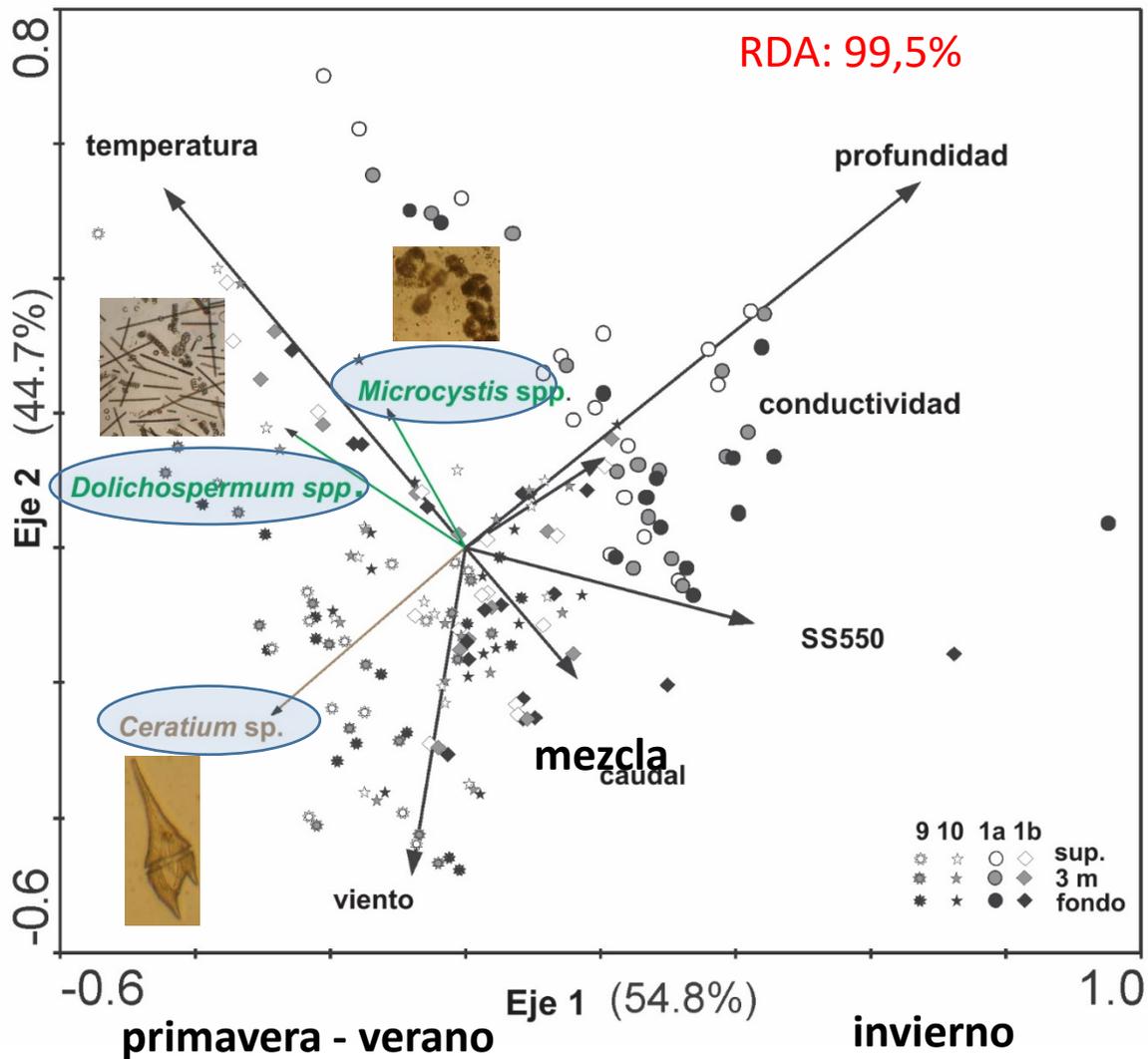
columnas más largas,
menos mezcladas,
>temp



Ceratium se favorece a menores temperaturas, a partir de 16 °C en sitios <10 m (S9) con caudal <3500 m³/s vientos > 12,5 m/s en columnas más mezcladas



calma

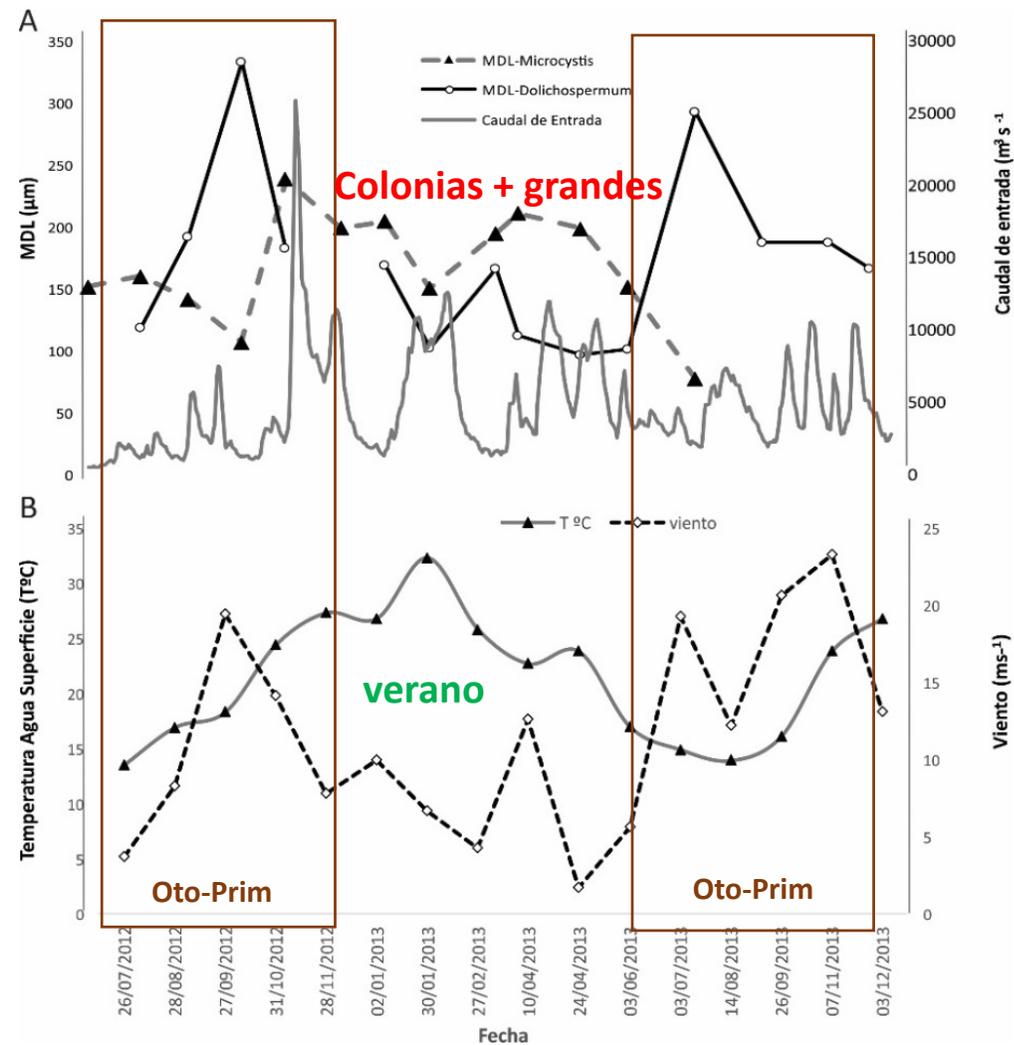
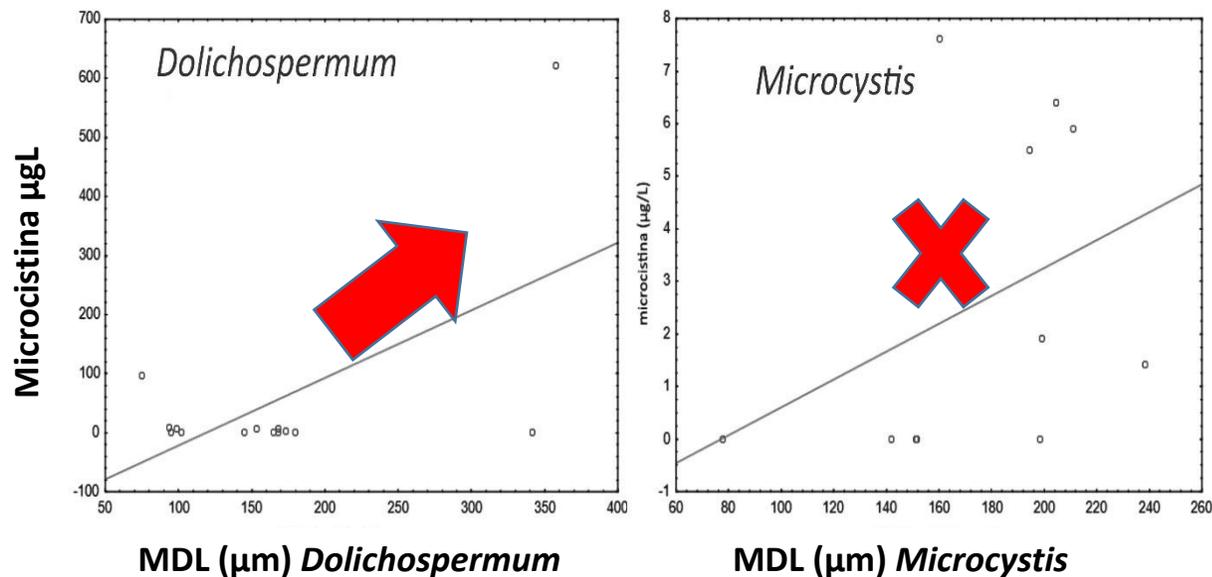


- Microcystis**- altas temperaturas y escaso viento, aguas transparentes, columnas poco mezcladas.
- Dolichospermum**- altas temperaturas y días más ventosos, aguas transparentes con niveles hídricos menores.
- **Ceratium**- temperaturas menores, columnas de agua largas y turbias, con días ventosos.

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.**

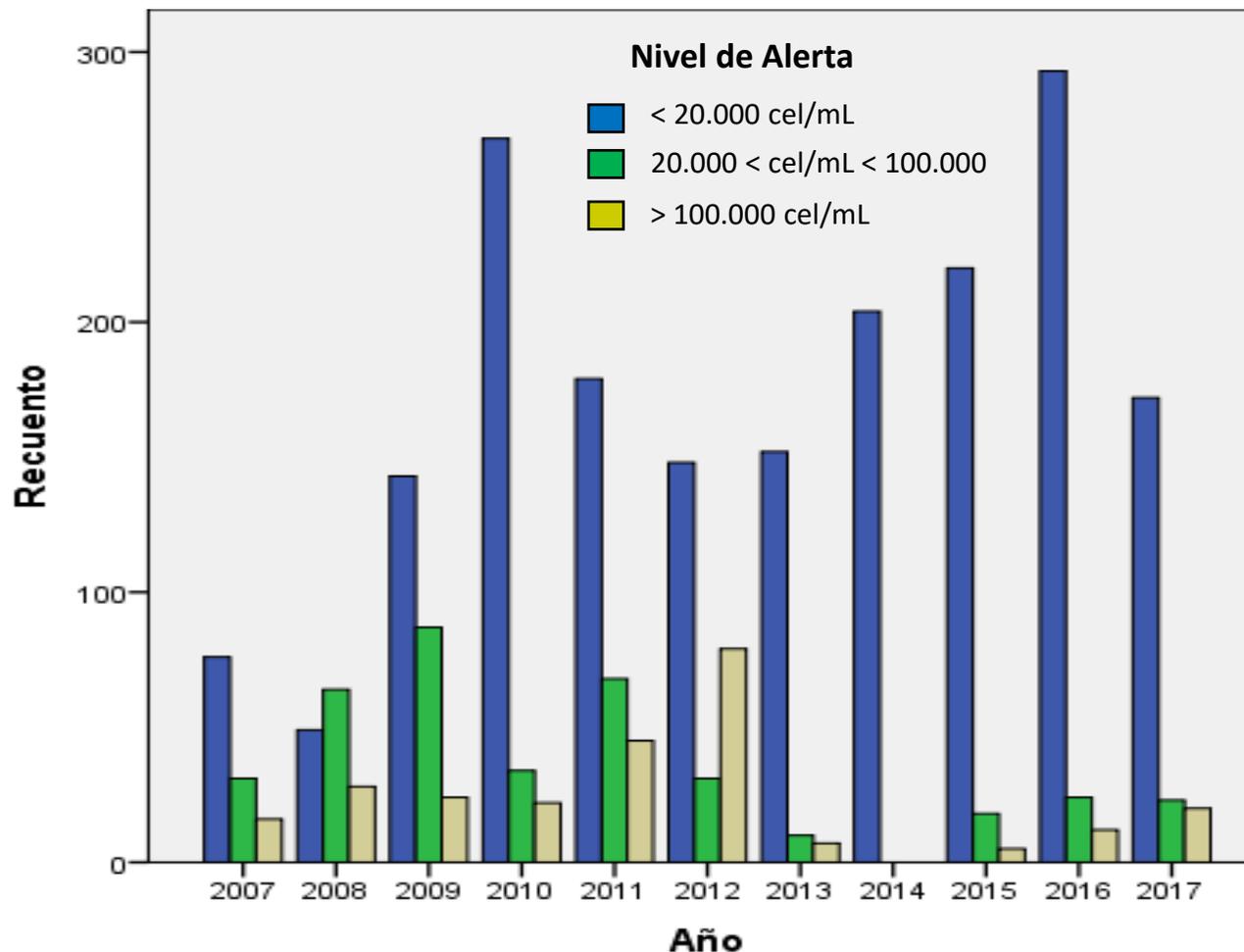
Factores
determinantes

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%)**.

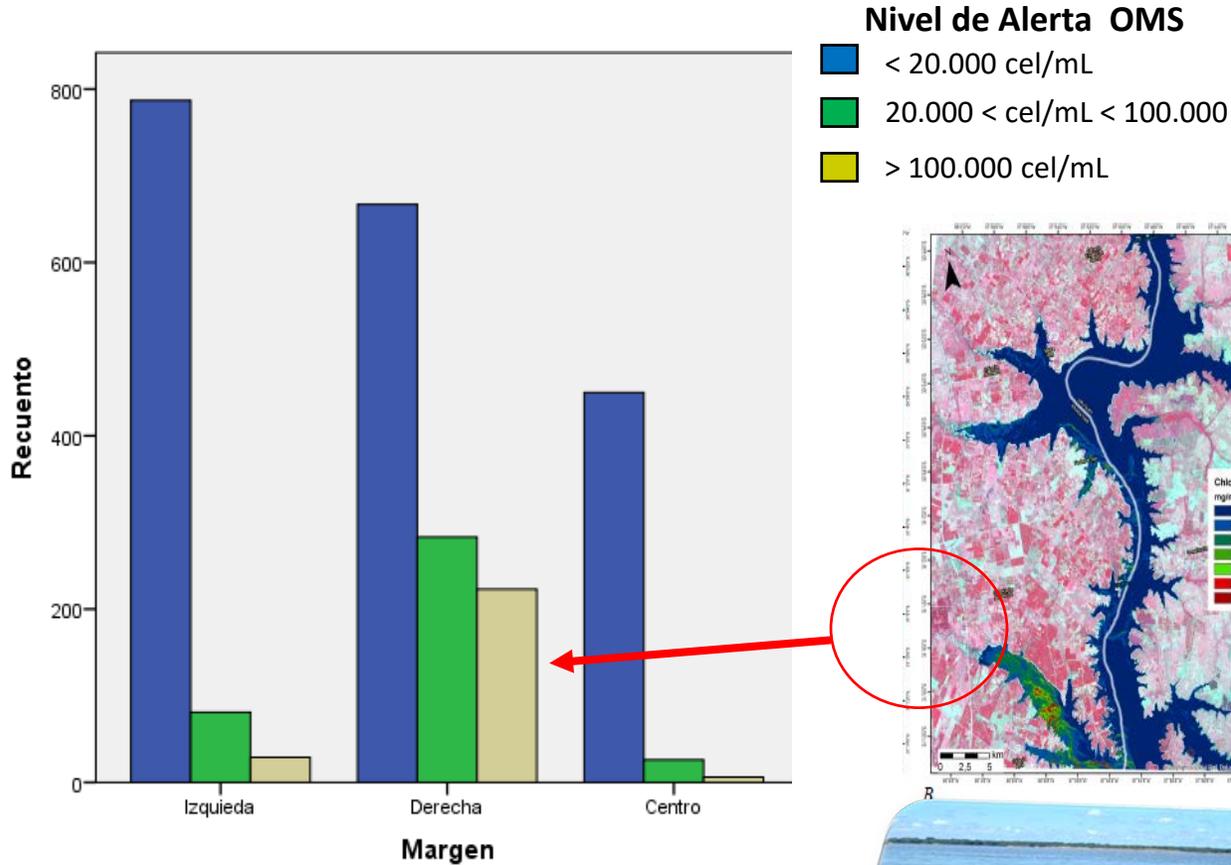
Los años que presentaron menores porcentajes de floraciones de NA1 y NA2 fueron 2013, 2014 y 2015.

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

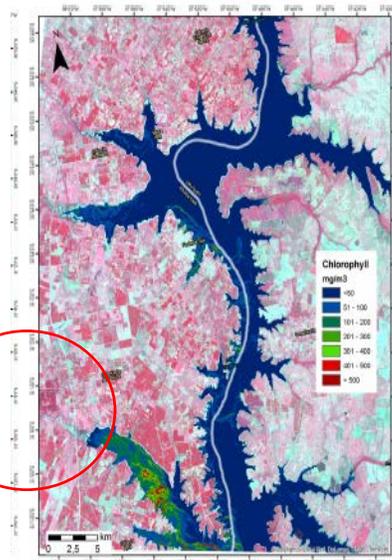
En 2013 y 2015 los porcentajes de floraciones de NA1 y NA2 oscilaron entre 2 y 4%.

Asociación Nivel
Guía OMS

Asociación de los niveles de alerta de OMS con las márgenes y el centro del cauce/embalse Salto Grande durante el período 2006 a 2017



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).

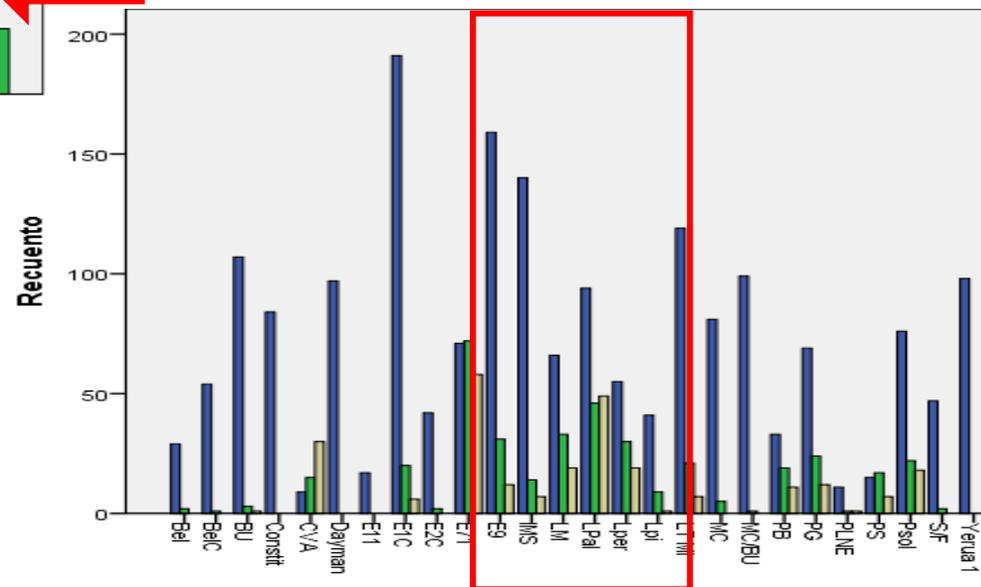
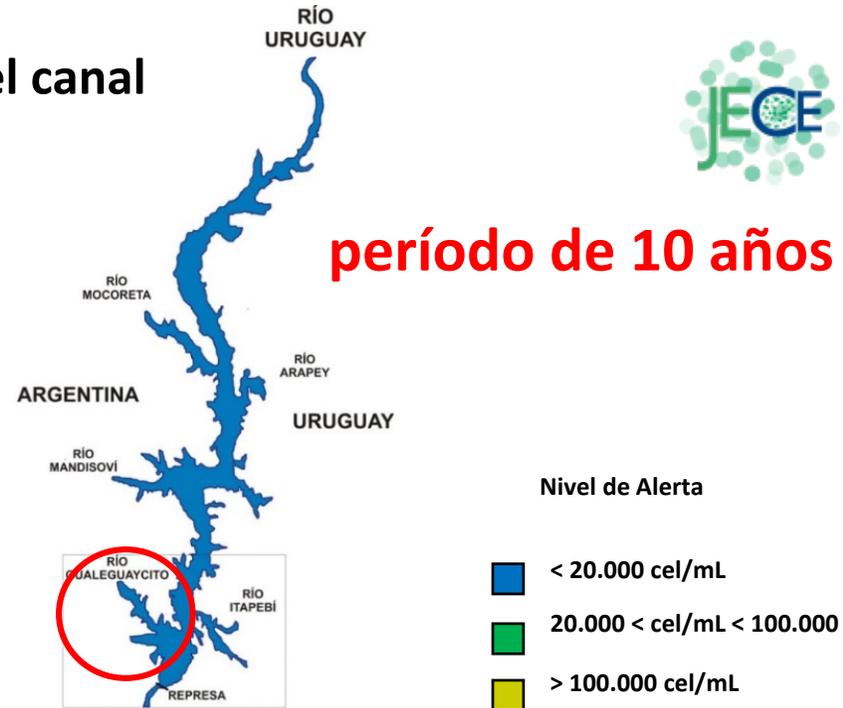
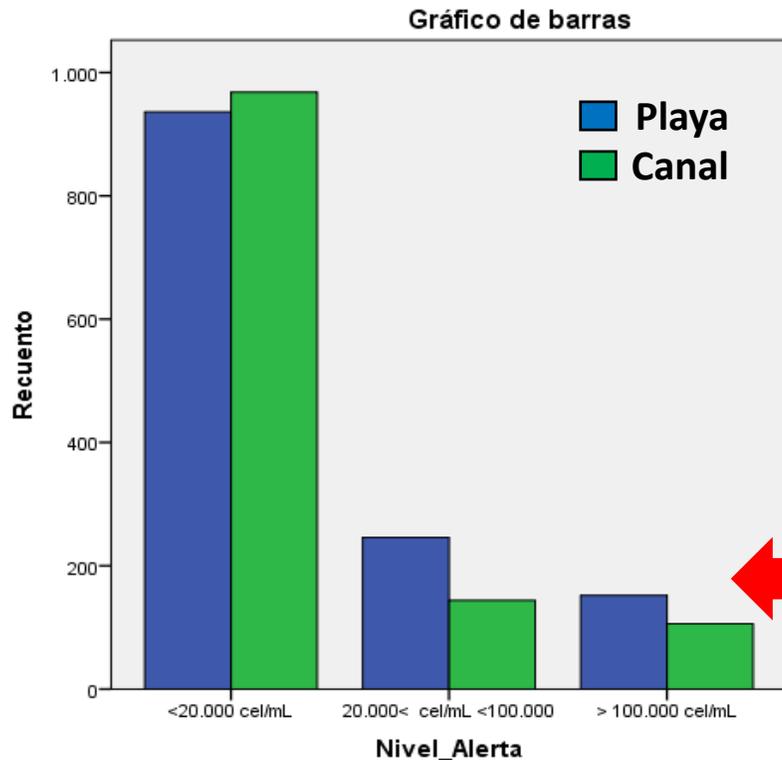
En la margen izquierda el 9% alcanzó NA1 y el 3,2% NA2, mientras que en la **margen derecha el 24% de las muestras en que se registraron cianobacterias alcanzó NA1 y el 19% NA2**

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

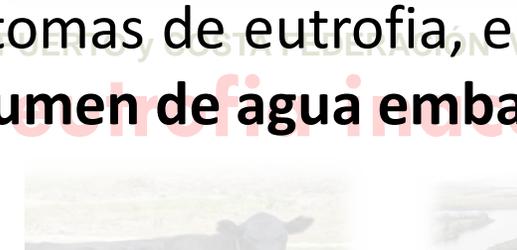
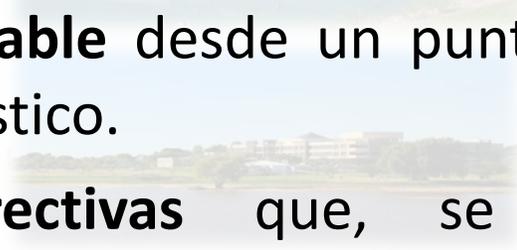
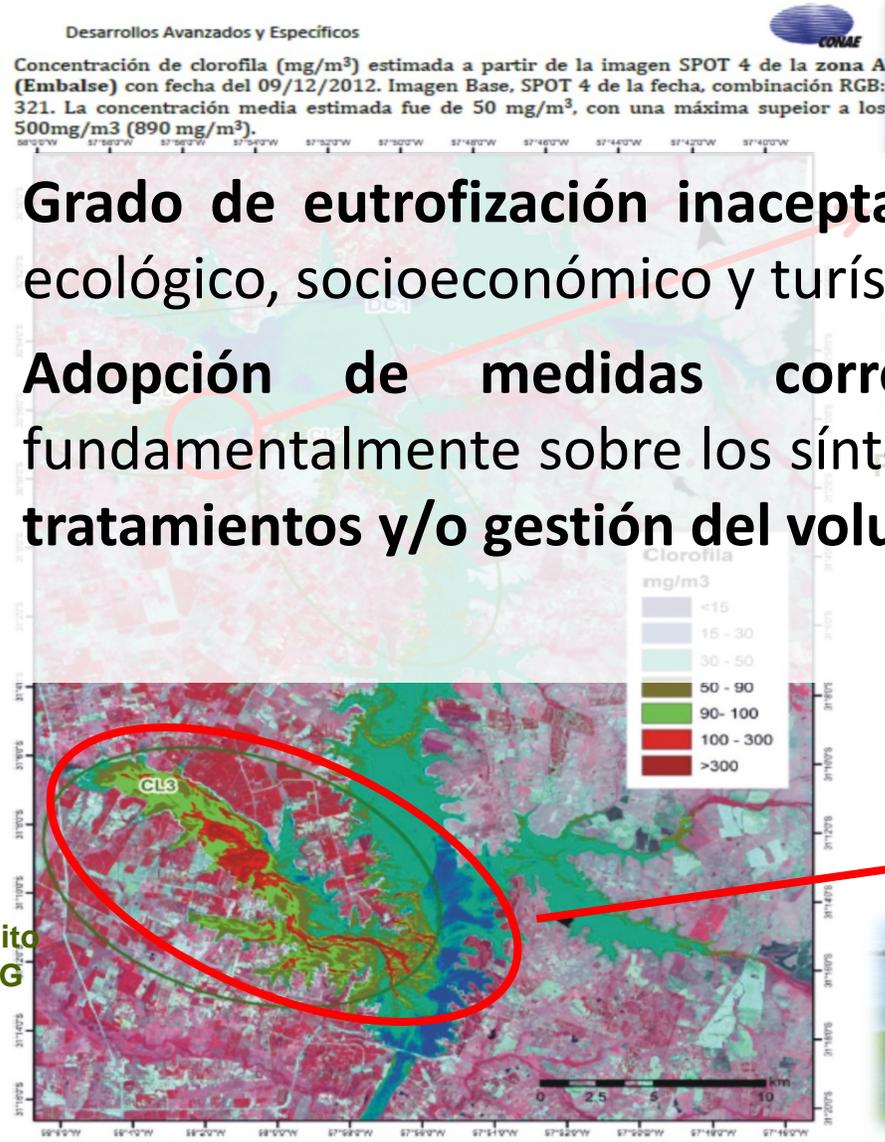
De las **258 floraciones de NA2** detectadas, el **59%** ocurrió en play



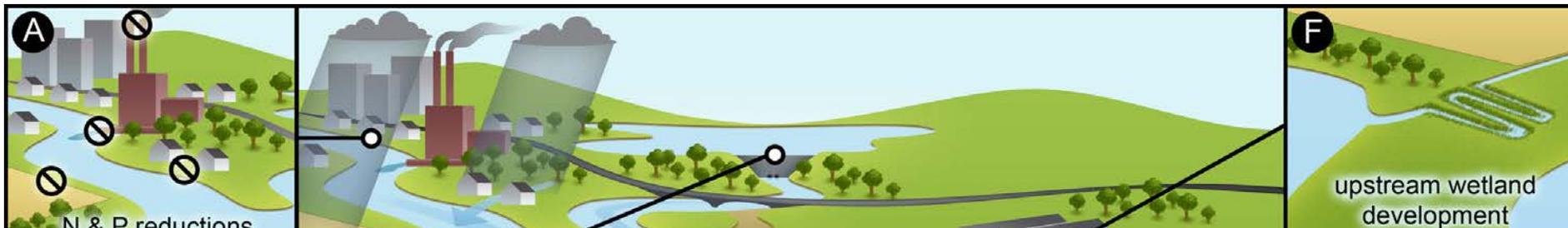
¿Cuáles son los desafíos actuales?

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.**



Brazo Gualeguaycito Embalse SG

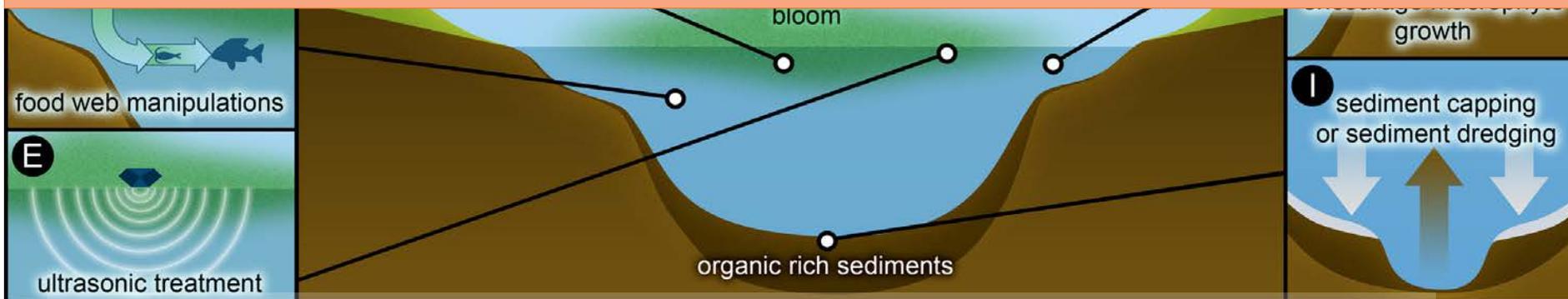


FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

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

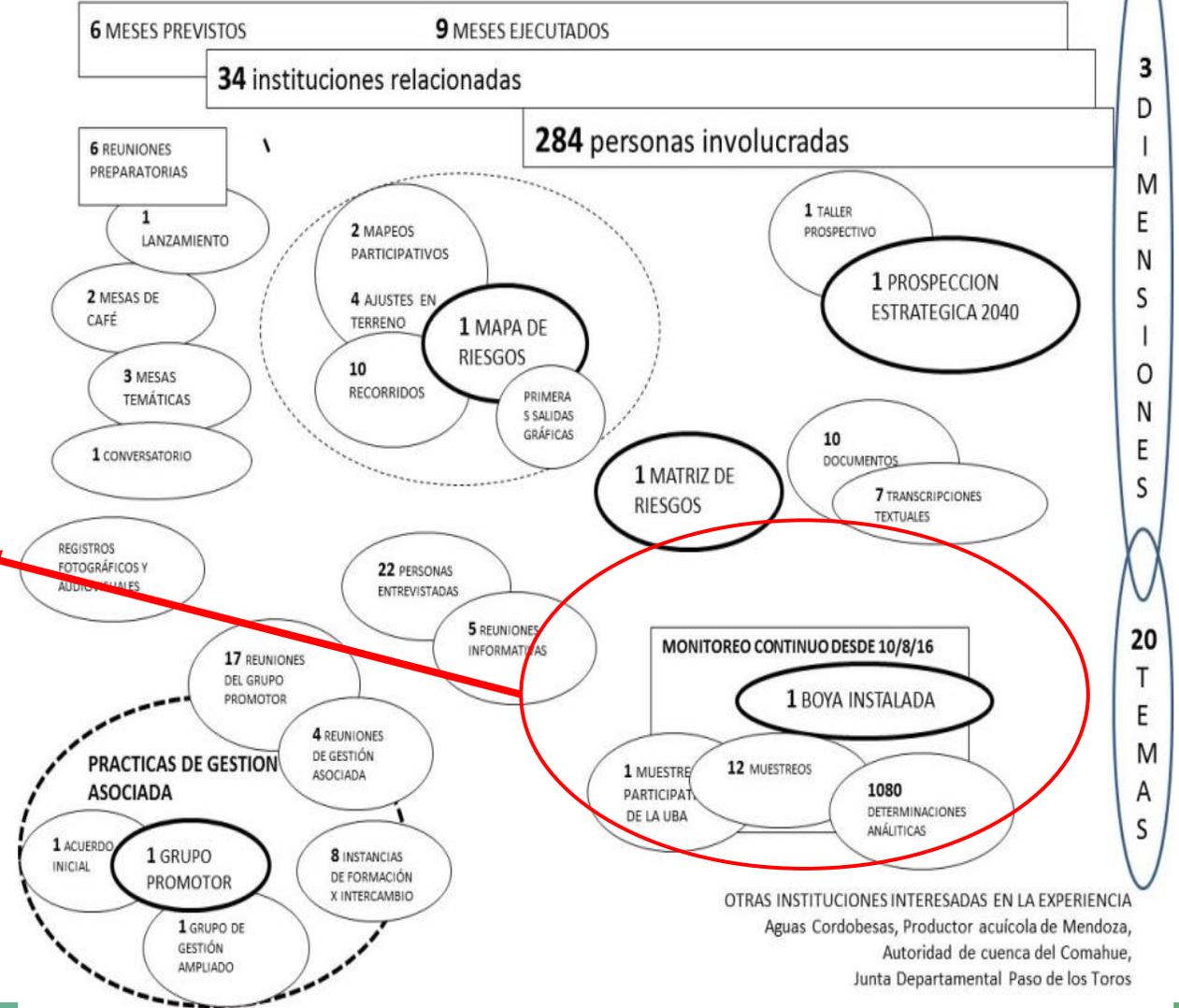
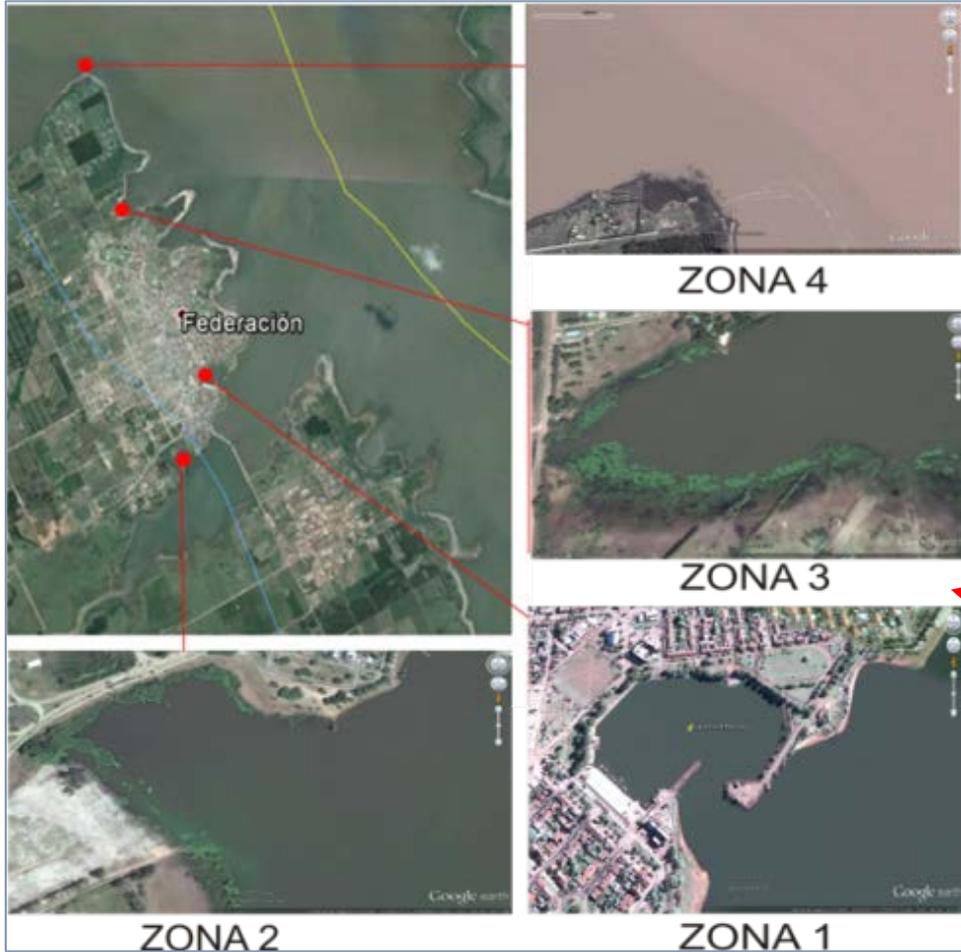
**PARTICIPACIÓN COMUNITARIA-
GESTIÓN ASOCIADA**

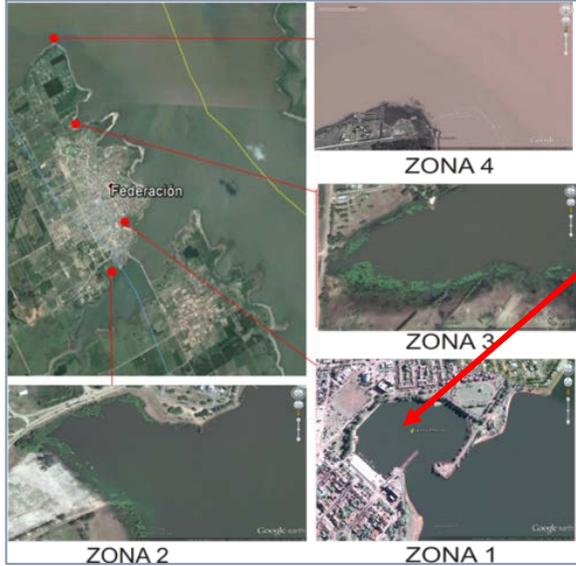
Nuevo equipo de vigilancia de la calidad del agua y control de algas

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

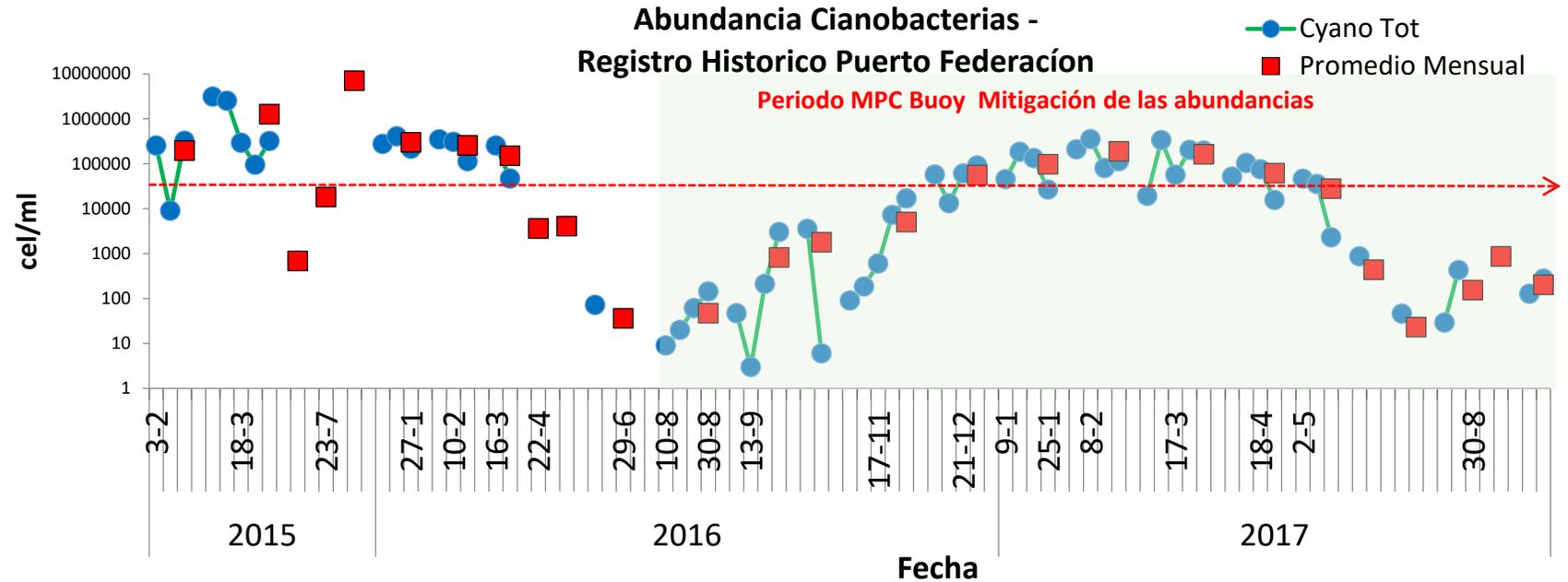
Google earth

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). |

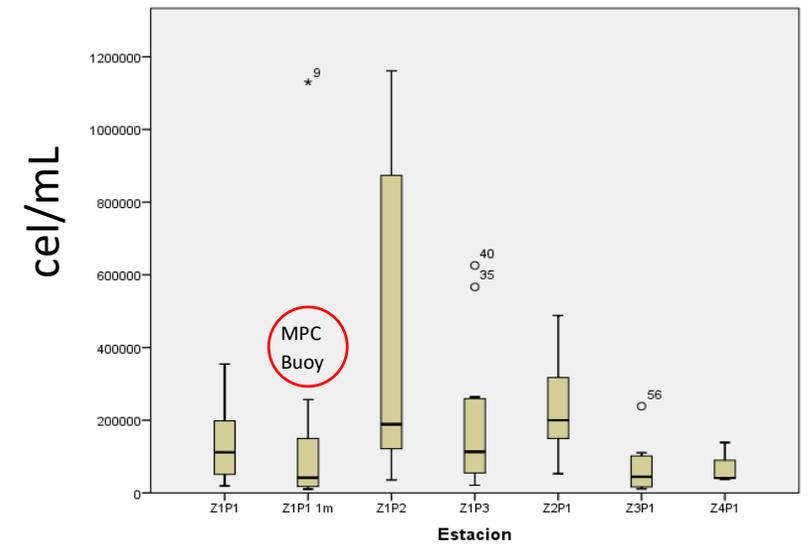
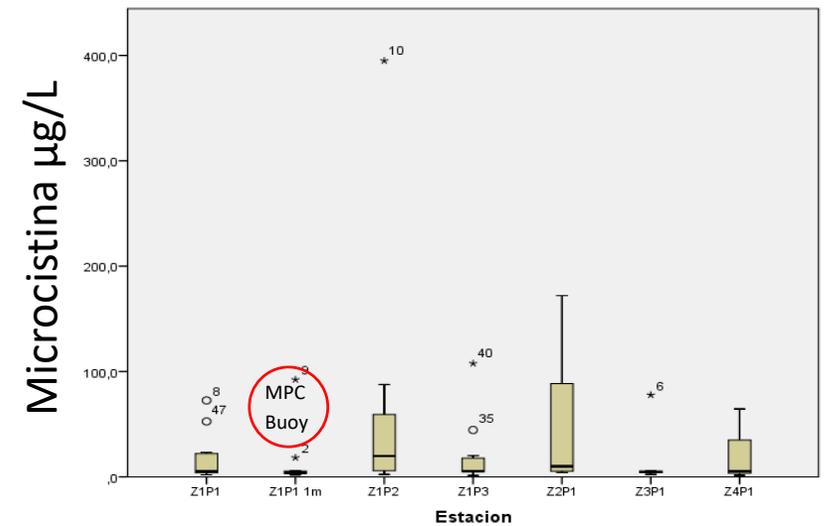
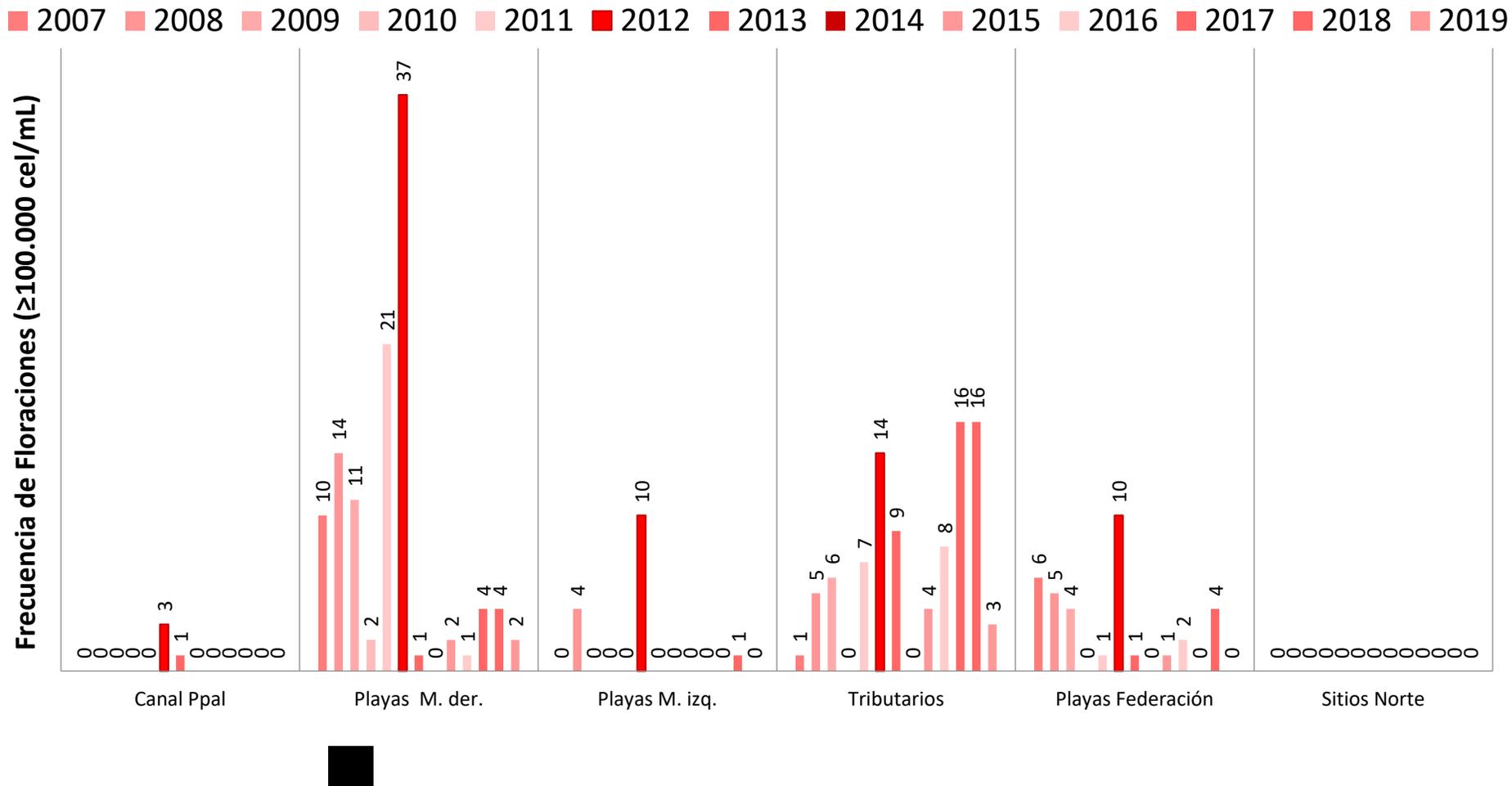


Figura. Diagrama de cajas donde se muestran la mediana y la desviación intercuartil de la **densidad celular (cél/ml)** para cada sitio. Estadísticos no-paramétricos no influenciados por los valores extremos, los que se muestran como puntos aislados. Círculo rojo: Sitios del MPC-Buoy





Floraciones



Indicadores de gestión

¡Muchas gracias!

Dr. Facundo Bordet

bordet@saltogrande.org

