



MINISTERIO  
DE FOMENTO  
MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE,  
MEDIO RURAL Y MARINO

**CEDEX**

Centro de Estudios Hidrográficos

# CIANOBACTERIAS EN AGUAS DULCES: IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y TOXICIDAD

Caridad de Hoyos

Centro de Estudios  
Hidrográficos del CEDEX



## Cianobacterias en embalses. Visión Global del problema

- Cantidad de Cianobacterias. Niveles de riesgos según la OMS
- Distribución geográfica de las cianobacterias
- Relación con la presión/estado trófico/tipología
- Conclusiones

## Trabajos del CEDEX sobre cianobacterias para la DGA

- Objetivos
- Embalses estudiados
- Metodología
- Resultados
  - Presentación de los resultados. Fichas por embalse
  - Listado de especies de cianobacterias.
  - Relación entre el grado trófico, cianobacterias y toxinas
  - Relación entre toxinas y toxicidad
  - Variación interanuales y espaciales
- Conclusiones

# Cianobacterias en embalses

**CEDEX**

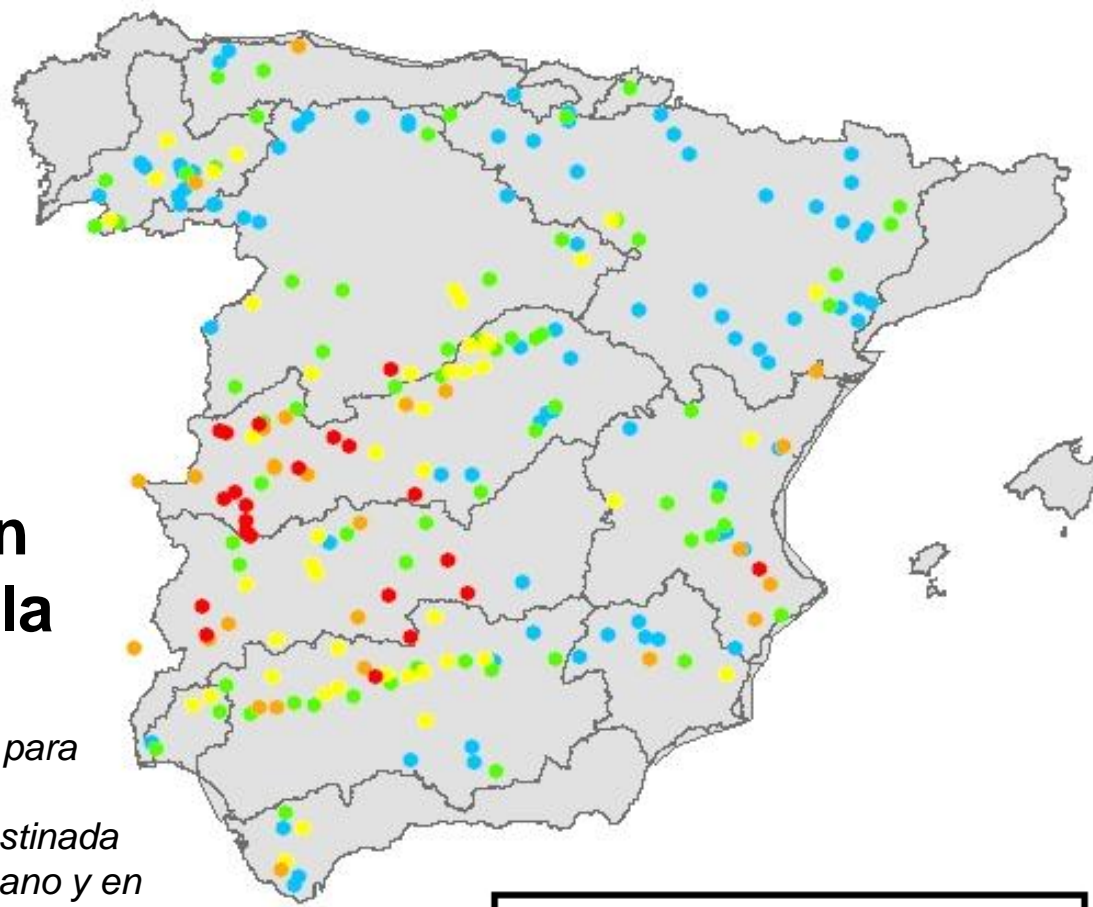
Centro de Estudios Hidrográficos

278 embalses

Datos de la base de datos BD CEMAS de la DGA (Años 2006-2009)

## Mayores problemas en el oeste de la península

*Valores de cianobacterias que da la OMS para valorar los niveles de riesgo para la salud producidos por cianobacterias en agua destinada a la producción de agua de consumo humano y en aguas de baño según Chorus & Bartram (1999).*



Consumo humano	Baño	Cianobacterias (mm <sup>3</sup> /l)
<b>Nivel de Vigilancia</b>		<b>&gt; 0,02</b>
<b>Nivel de Alerta I</b>		<b>&gt; 0,2</b>
	<b>Nivel guía I</b>	<b>&gt; 2</b>
<b>Nivel de Alerta II</b>	<b>Nivel guía II</b>	<b>&gt;10</b>

### Biovolumen cianobacterias

- Embalses > 10 mm<sup>3</sup>/L
- Embalses 2 - 10 mm<sup>3</sup>/L
- Embalses 0,2 - 2 mm<sup>3</sup>/L
- Embalses 0,02 - 0,2 mm<sup>3</sup>/L
- Embalses < 0,02 mm<sup>3</sup>/L

*Niveles de la OMS para valorar los riesgos para la salud producidos por cianobacterias en agua destinada a la producción de agua de consumo humano y en aguas de baño (Chorus & Bartram 1999).*

## Aguas destinadas a la producción de agua potable

- **Nivel de Vigilancia** (0,02 mm<sup>3</sup>/l): Si se sobrepasa ⇒ aumentar la frecuencia de muestreo.
- **Nivel de Alerta 1** (0,2 mm<sup>3</sup>/l): la **concentración de microcistinas en el agua podría exceder el nivel guía de la OMS para microcistinas-LR (1 µg/l)** ⇒ consulta con las autoridades sanitarias y **análisis de toxinas** en el agua de consumo.
- **Nivel de Alerta 2** (10 mm<sup>3</sup>/l): con presencia de toxinas confirmada describe un bloom tóxico ⇒ **incremento significativo de riesgo de efectos adversos para la salud** si el agua no es tratada o es tratada con un sistema ineficaz.

## Aguas de baño

- **Nivel Guía 1** (2 mm<sup>3</sup>/l): **bajas probabilidades de efectos adversos** para la salud. Irritaciones y alergias. Se pueden esperar de 2 a 4 µg/l de microcistinas (hasta 10 µg/l) ⇒ **informar a los bañistas** sobre el peligro.
- **Nivel Guía 2** (10 mm<sup>3</sup>/l): **moderadas probabilidades de efectos adversos** para la salud. Irritación de la piel elevada. Concentraciones de toxinas pueden ser altas (hasta 20 veces el nivel recomendado por la OMS) ⇒ En estos casos la **restricción del baño** puede ser apropiada.



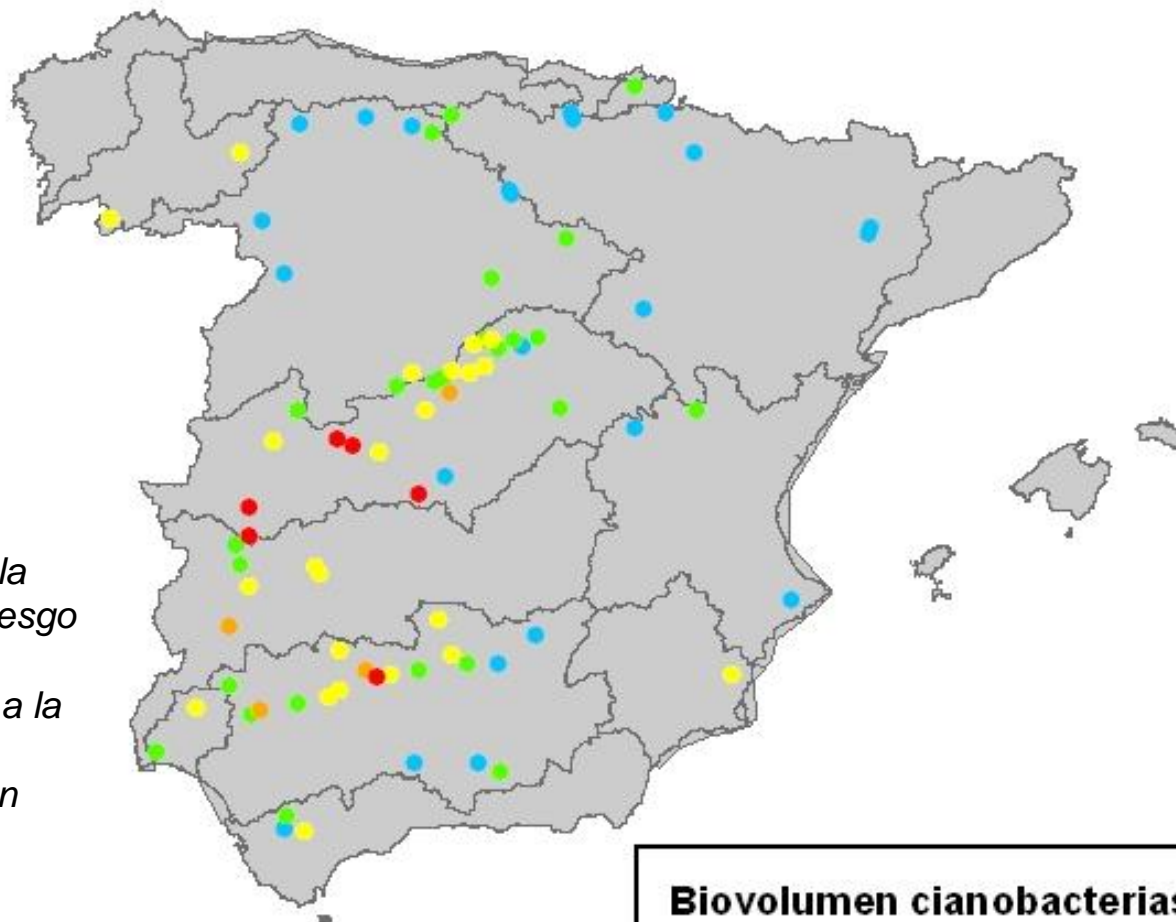
# Embalses de baño y/o abastecimiento

**CEDEX**

93 embalses

(Datos de la base  
de datos BD  
CEMAS de la DGA.  
Años 2006-2009)

*Valores de cianobacterias que da la OMS para valorar los niveles de riesgo para la salud producidos por cianobacterias en agua destinada a la producción de agua de consumo humano y en aguas de baño según Chorus & Bartram (1999).*



## Biovolumen cianobacterias

- Embalses > 10 mm<sup>3</sup>/L
- Embalses 2 - 10 mm<sup>3</sup>/L
- Embalses 0,2 - 2 mm<sup>3</sup>/L
- Embalses 0,02 - 0,2 mm<sup>3</sup>/L
- Embalses < 0,02

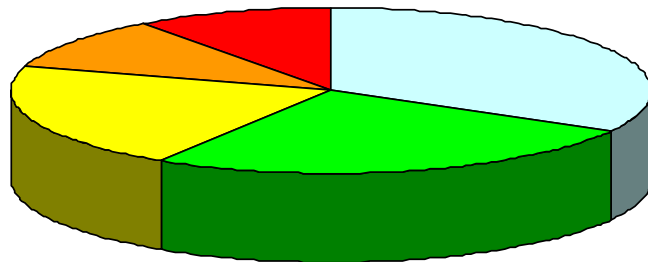
Consumo humano	Baño	Cianobacterias (mm <sup>3</sup> /l)
<b>Nivel de Vigilancia</b>		<b>&gt; 0,02</b>
<b>Nivel de Alerta I</b>		<b>&gt; 0,2</b>
	<b>Nivel guía I</b>	<b>&gt; 2</b>
<b>Nivel de Alerta II</b>	<b>Nivel guía II</b>	<b>&gt;10</b>

# Proporción de embalses según los niveles de riesgo

**CEDEX**

Centro de Estudios Hidrográficos

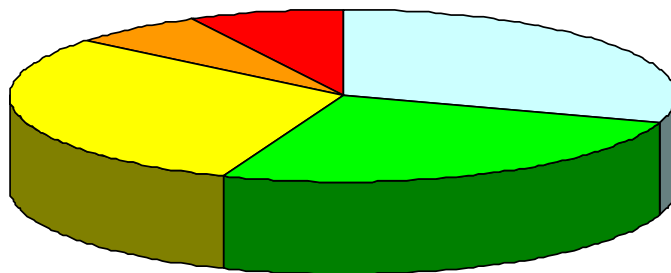
**278 embalses**



- < 0,02 mm3/l
- 0,02-0,2 mm3/l
- 0,2-2 mm3/l
- 2--10 mm3/l
- >10 mm3/l

Niveles de Riesgos (OMS)	Porcentaje
< 0,02 mm3/l	33,09
> Nivel de Vigilancia	25,90
> Nivel de Alerta I	20,86
> Nivel Guía I	10,07
> Nivel Guía II/Alerta II	10,07

**93 embalses de abastecimiento y/o baño**



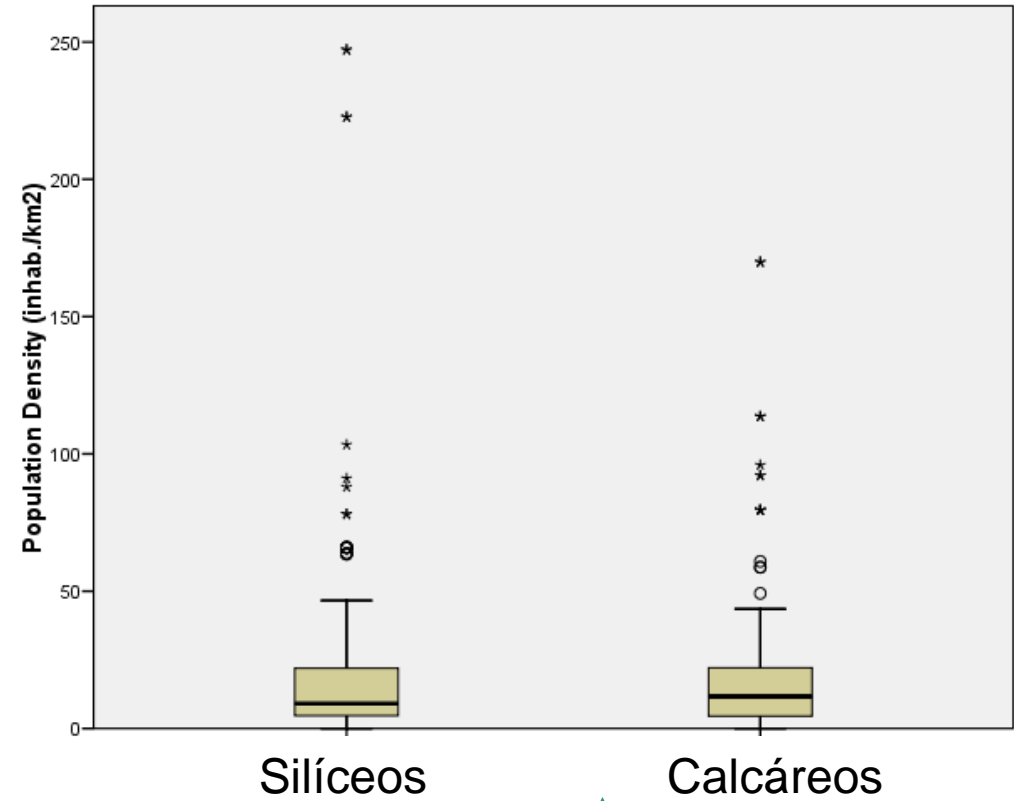
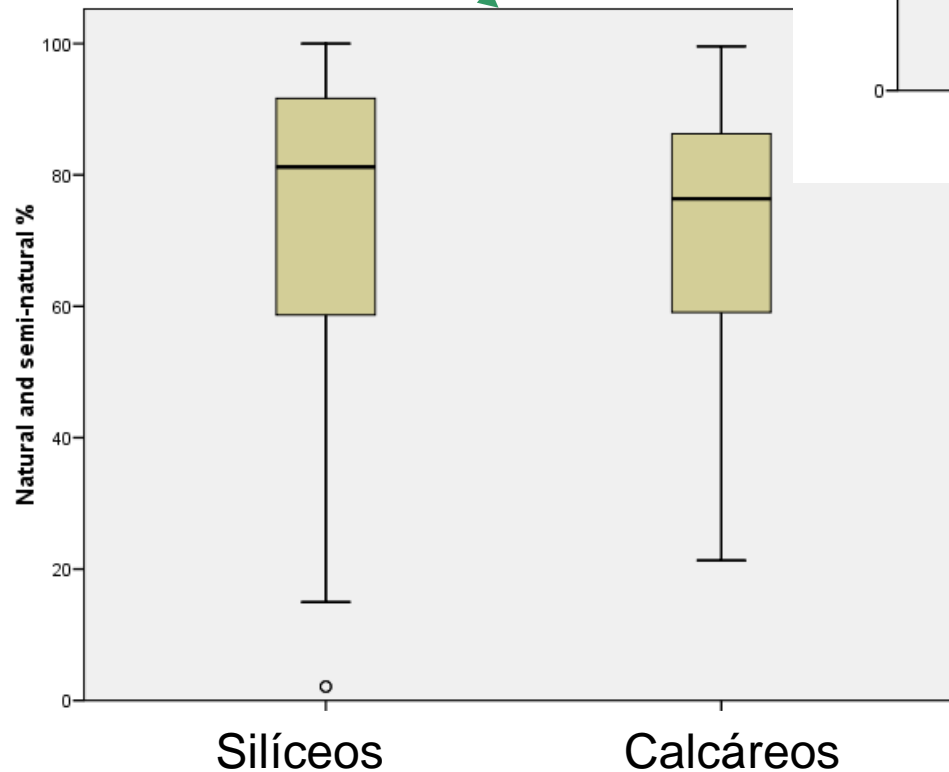
- < 0,02 mm3/l
- 0,02-0,2 mm3/l
- 0,2-2 mm3/l
- 2--10 mm3/l
- >10 mm3/l

Niveles de Riesgos (OMS)	Porcentaje
< 0,02 mm3/l	30,11
> Nivel de Vigilancia	25,81
> Nivel de Alerta I	30,11
> Nivel Guía I	6,45
> Nivel Guía II/Alerta II	7,53

(Datos de la base de datos BD CEMAS de la DGA)

## Presiones a las que están sometidos los embalses:

- Porcentaje de cobertura natural y semi-natural de la cuenca

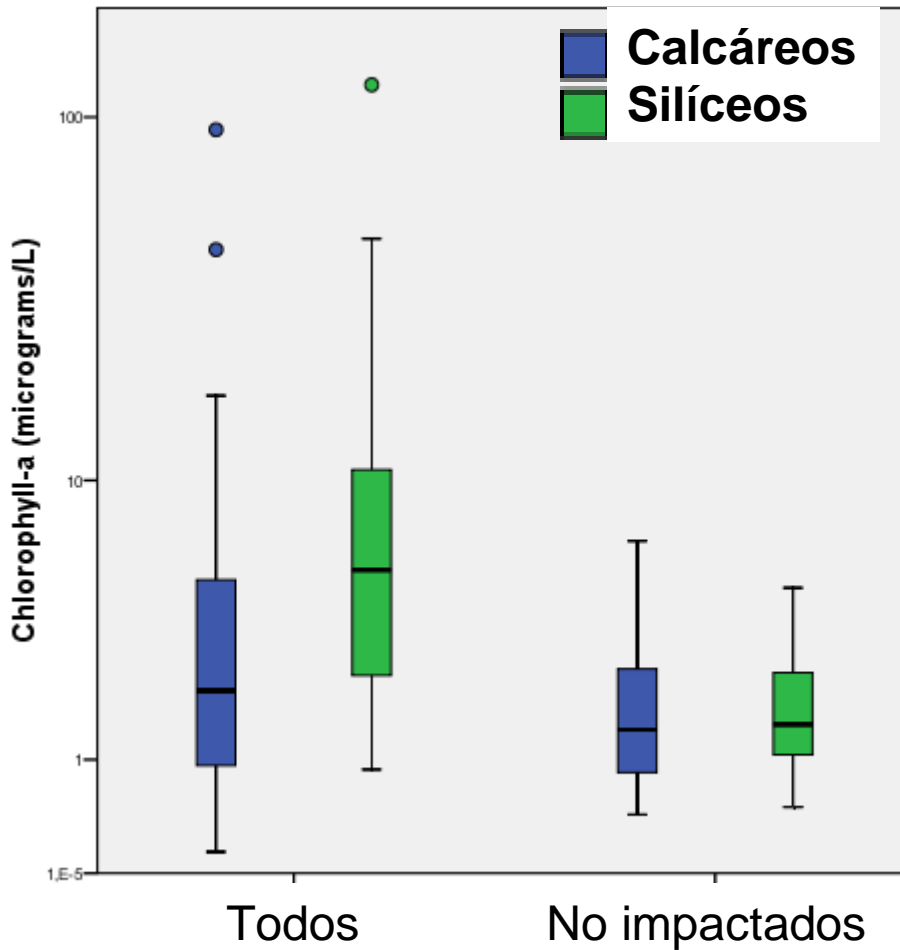


- Densidad de población de la cuenca

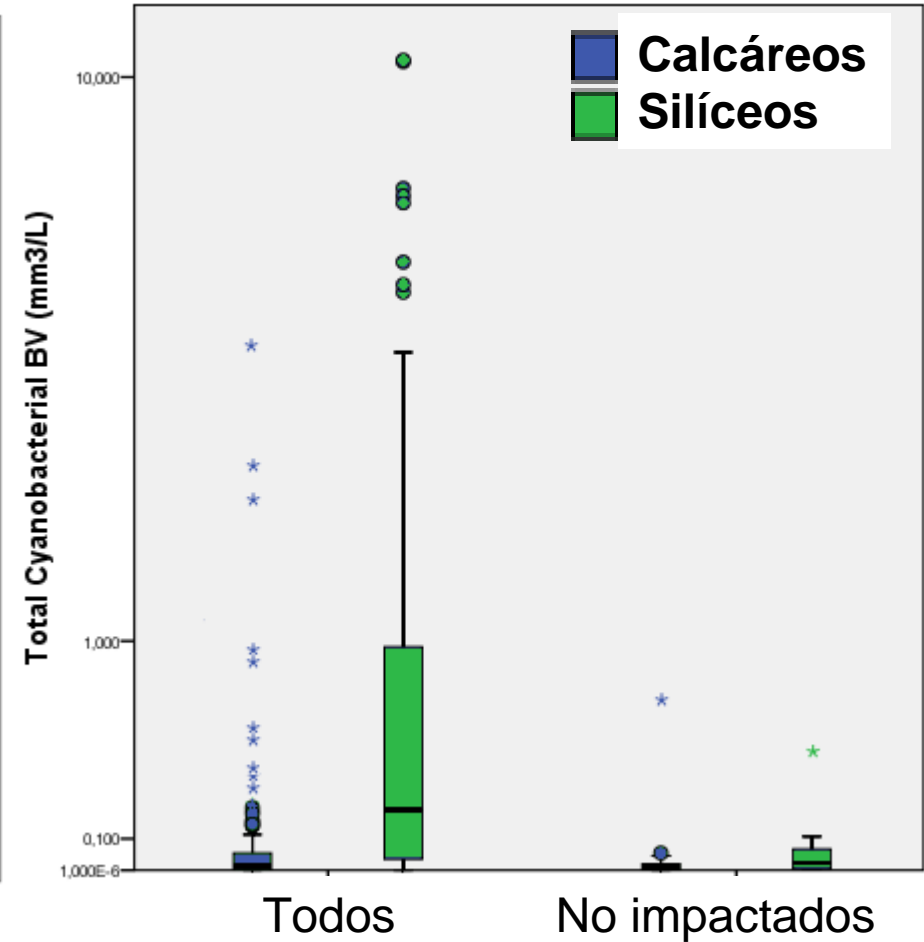
(Datos de la base de datos BD CEMAS de la DGA)  
Embalses de más de 15 m de profundidad media

# Clorofila y cianobacterias en embalses silíceos y calcáreos

Clorofila a ( $\mu\text{g/l}$ )



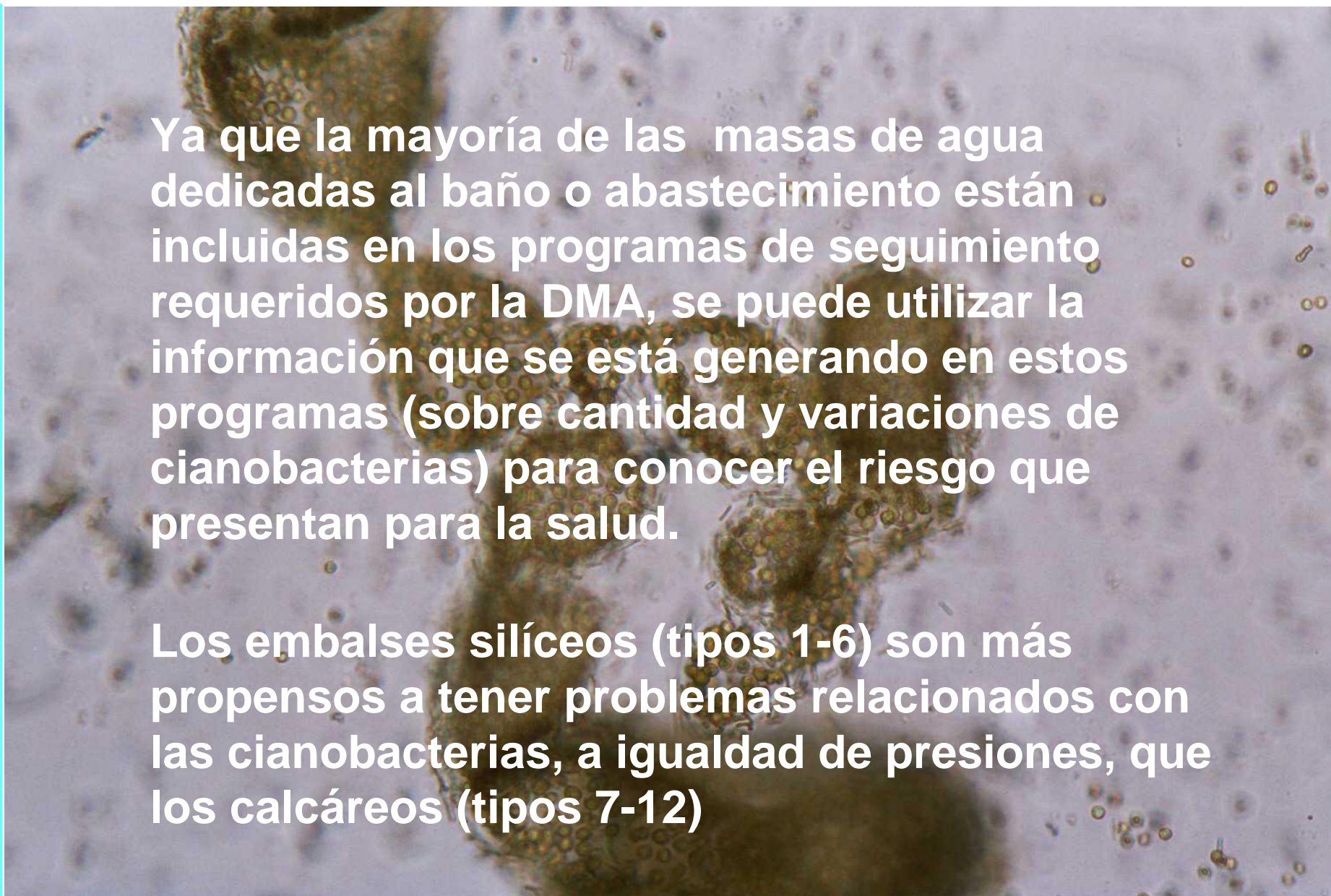
Biovolumen de cianobacterias ( $\text{mm}^3/\text{l}$ )



(Datos de la base de datos BD CEMAS de la DGA)  
Embalses de más de 15 m de profundidad media



## Conclusiones



Ya que la mayoría de las masas de agua dedicadas al baño o abastecimiento están incluidas en los programas de seguimiento requeridos por la DMA, se puede utilizar la información que se está generando en estos programas (sobre cantidad y variaciones de cianobacterias) para conocer el riesgo que presentan para la salud.

Los embalses silíceos (tipos 1-6) son más propensos a tener problemas relacionados con las cianobacterias, a igualdad de presiones, que los calcáreos (tipos 7-12)

## Trabajos sobre cianobacterias realizados para el MARM en el CEDEX en Convenios de Colaboración y Encomiendas de gestión (2000-2011)

Determinación de la toxicidad debida a cianobacterias. Aplicación al embalse de La Cuerda del Pozo (2001-2002)

Determinación de la toxicidad debida a cianobacterias y estudios de eutrofización de embalses (2004-2007)

Identificación molecular de cianobacterias potencialmente tóxicas, análisis de cianotoxicidad y bioensayo de toxicidad mediante nuevos métodos (2007-2011)

## Embalses muestreados

**CEDEX**

### Número de embalses muestreados

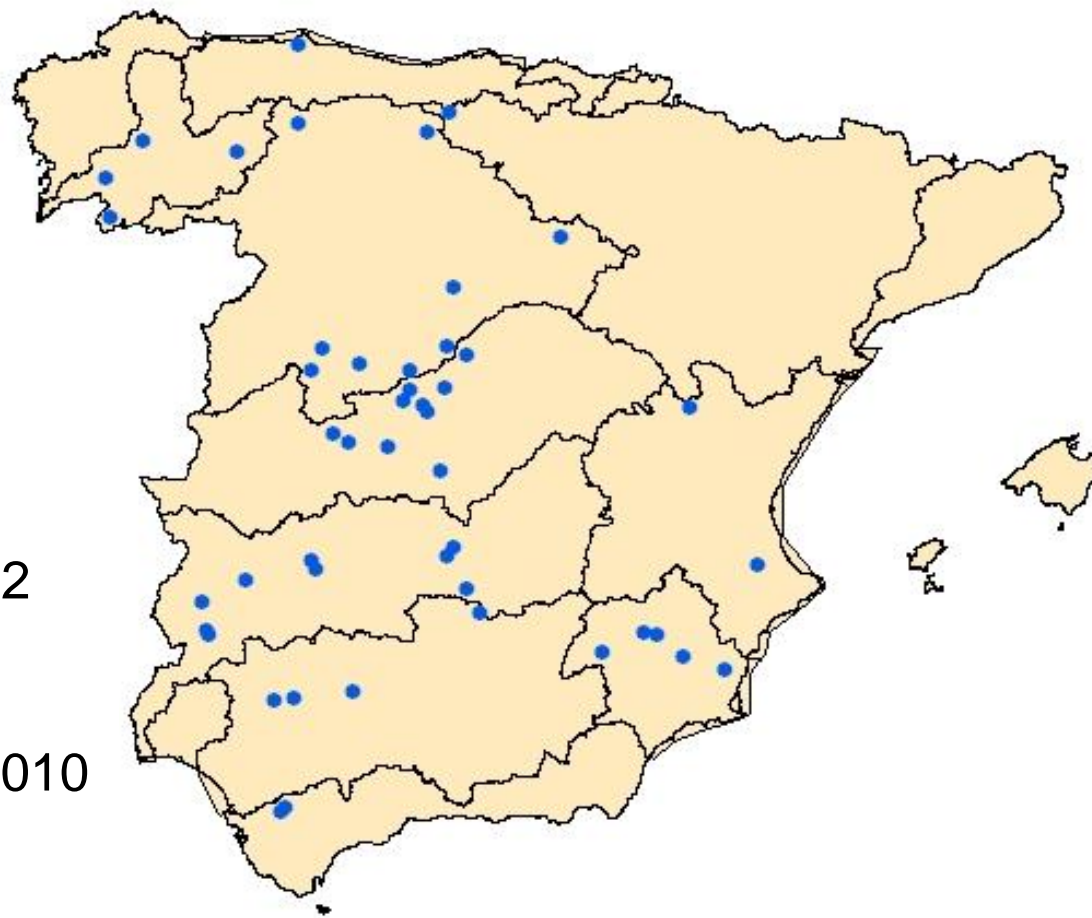
49 embalses (casi todos baño o abastecimiento)

### Periodo de muestreo:

- Cuerda del Pozo: 2001-2002 (frecuencia mensual)
- Resto de embalses: 2004-2010 (de 1 a 7 muestreos en el periodo mayo-octubre)

### Nº de años muestreados:

- De 1 a 6 años





## Embalses muestreados

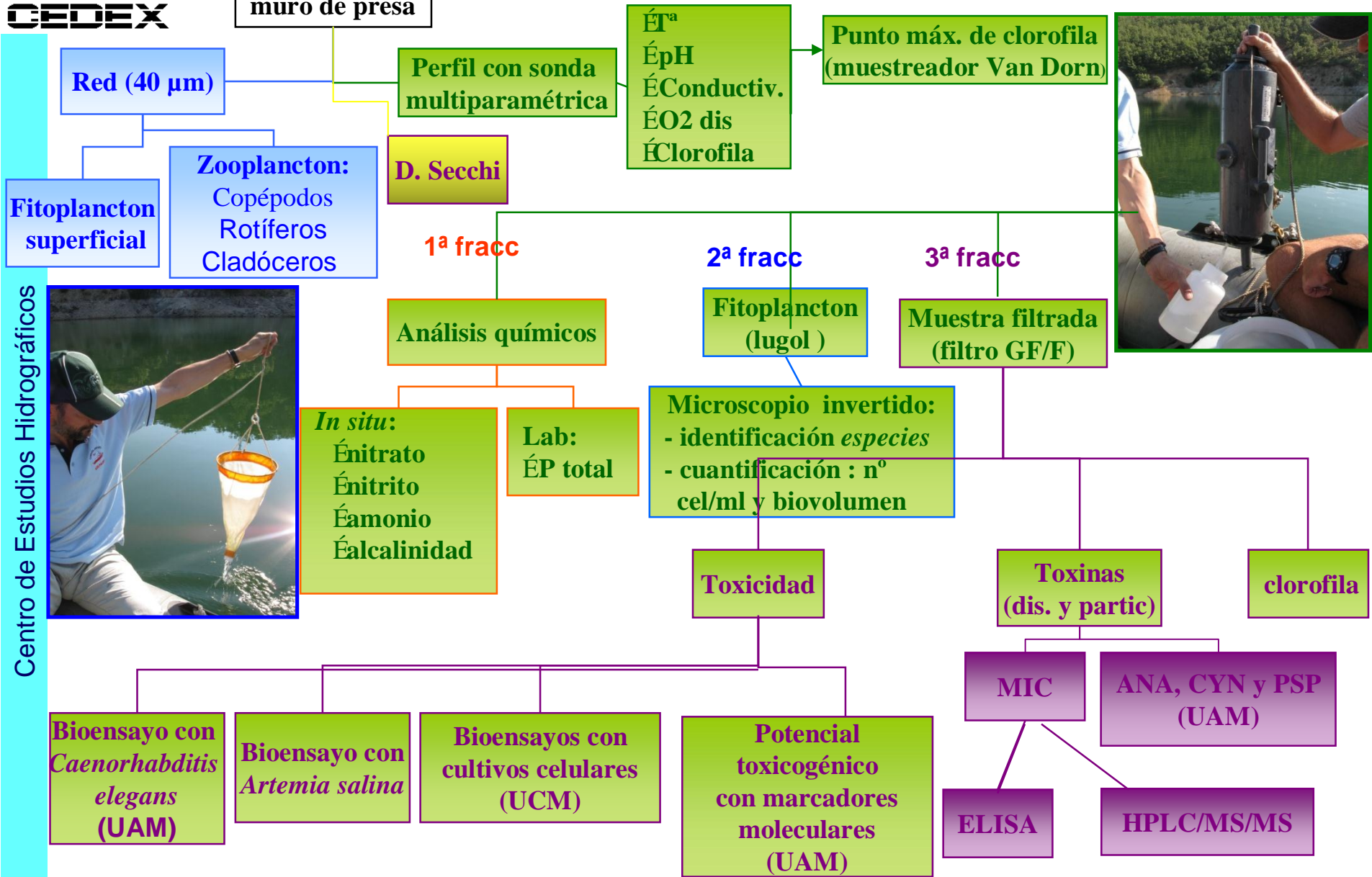
**CEDEX**

Centro de Estudios Hidrográficos

Confederación Hidrográfica	Número embalses
Norte	1
Duero	12
Ebro	1
Guadalquivir	5
Guadiana	9
Júcar	2
Miño-Sil	4
Segura	5
Tajo	10
<b>TOTAL</b>	<b>49</b>

Seguimiento interanual		
nº años	Embalse	Confederación Hidrográfica
6	Vega de Jabalón	Guadiana
5	Cuerda del Pozo	Duero
4	Arcos	Guadalquivir
	Rosarito	Tajo
3	Cogotas	Duero
	El Vicario	Guadiana
	Cazalegas	Tajo
	Miraflores	Tajo
2	Trasona	Cantábrico
	Fuentes Claras	Duero
	Santa Teresa	Duero
	Villagonzalo	Duero
	Bornos	Guadalquivir
	Alange	Guadiana
	Navalcán	Tajo
	Picadas	Tajo
	San Juan	Tajo

# Protocolo de muestreo



# Presentación de resultados: Fichas embalses

	<b>Rosarito</b>	<b>Valmayor</b>
<b>Media del biovolumen de fitoplancton (mm<sup>3</sup>/l)</b>	26,89	9,39
<b>Estado trófico del embalse</b>	<b>Hipertrófico</b>	<b>Eutrófico</b>
<b>Mediana Cianobacterias (mm<sup>3</sup>/l)</b>	27,94	0,08
<b>Max Cianobacterias (mm<sup>3</sup>/l)</b>	30,33	0,73
<b>Niveles de riesgo para la salud</b>	<b>Nivel alerta II</b> <b>Nivel Guía II</b>	<b>Nivel de Vigilancia</b>
<b>Toxinas</b>	MC-LR MC-RR MC-YR Anatoxina a	-
<b>Taxones de cianobacterias a destacar (en rojo especies potencialmente tóxicas)</b>	<i>Planktothrix agardhii</i> <i>Limnothrix cf. redekei</i> <i>Planktolyngbya spp</i> <i>Anabaena aphanizomenoides</i> <i>Anabaena flos-aquae</i> <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> <i>Raphidiopsis mediterranea</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>



# Listado de cianobacterias

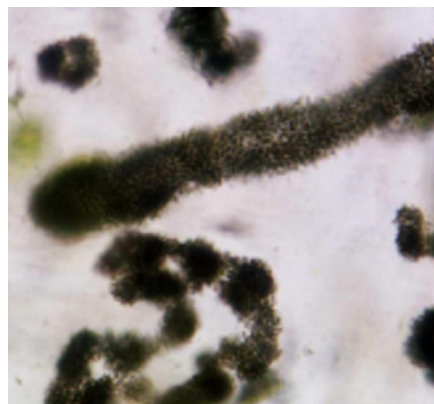
**CEDEX**

Centro de Estudios Hidrográficos

	Nº Taxones
<b>Chroococcales</b>	<b>62</b>
<b>Nostocales</b>	<b>34</b>
<b>Oscillatoriales</b>	<b>45</b>
<b>Total</b>	<b>141</b>



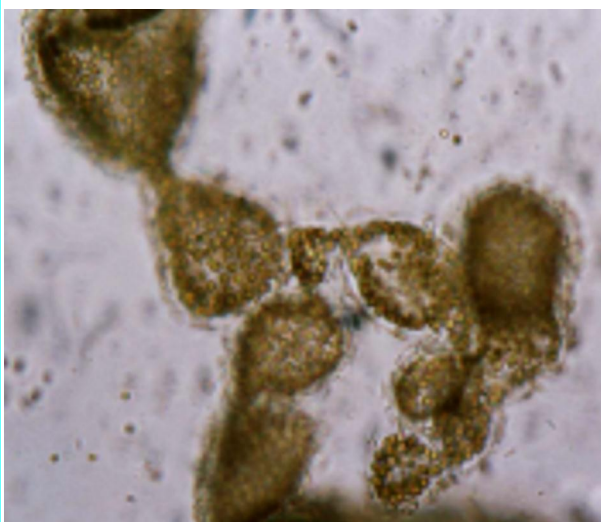
*Aphanizomenon ovalisporum*



*Microcystis aeruginosa*



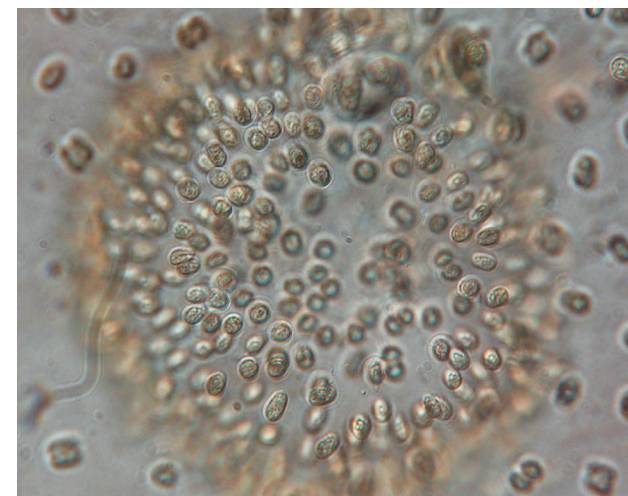
*Aphanizomenon aphanizomenoides*



*Microcystis wesenbergii*



*Cylindrospermopsis raciborskii*



*Woronichinia naegeliana*

# Relación entre la clorofila, las cianobacterias y las toxinas

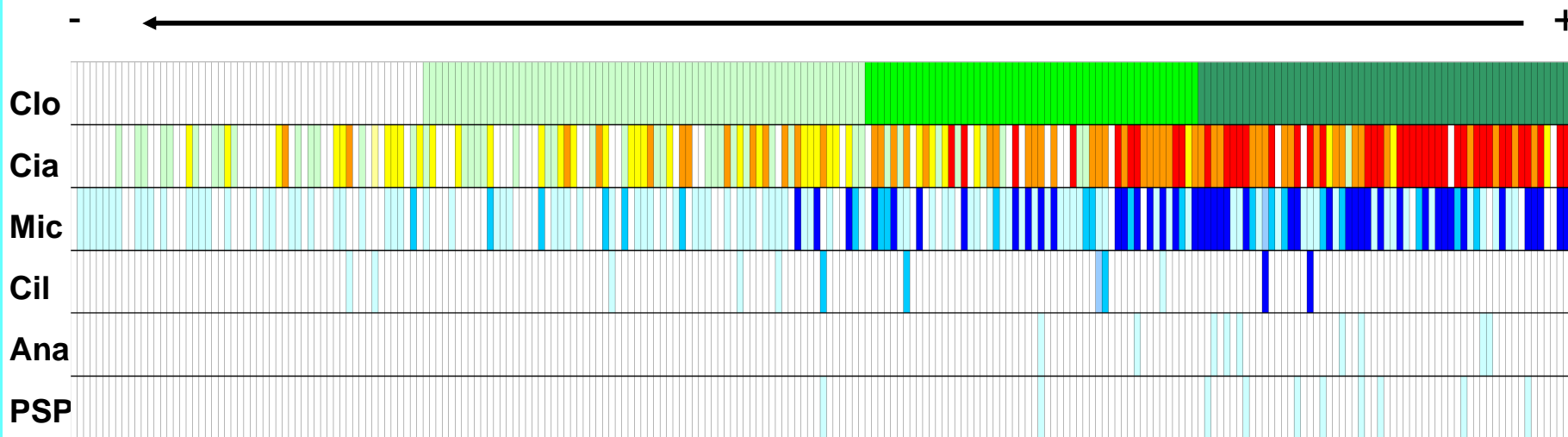
**CEDEX**

**Clo-** Clorofila a  
**Cia-** Cianobacterias  
**Mic-** Microcistinas (Equiv. MC-LR)

**Cil-** Cilindropermopsina  
**Ana-** Anatoxina a  
**PSP**

**232 muestras ordenadas según la concentración de clorofila (2004-2010)**

Centro de Estudios Hidrográficos

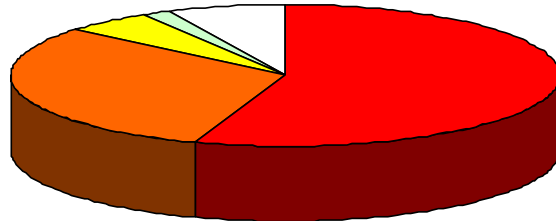
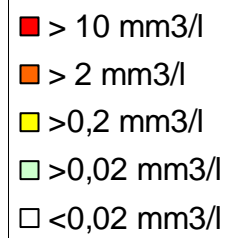


Clorofila a	Consumo humano	Baño	Cianobacterias (mm <sup>3</sup> /l)	Toxinas
> 75 µg/l			< 0,02	> 1 µg/l
25 - 75 µg/l	Nivel de Vigilancia		> 0,02	0-5-1 µg/l
8 - 25 µg/l	Nivel de Alerta I		> 0,2	<0,5 µg/l
<8 µg/l		Nivel guía I	> 2	No detectada
	Nivel de Alerta II	Nivel guía II	>10	

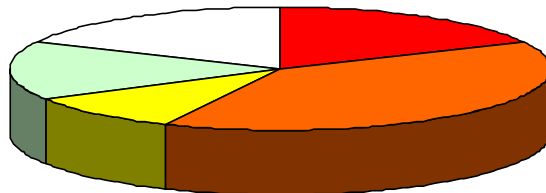
# Relación entre la clorofila, las cianobacterias y las toxinas

## Niveles de riesgos según la cantidad de cianobacterias

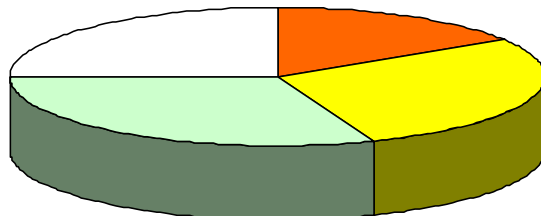
Muestras con más de 75 µg/l clorofila



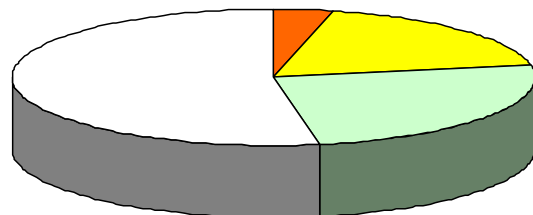
Muestras con 25-75 µg/l de clorofila



Muestras con 8-25 µg/l clorofila

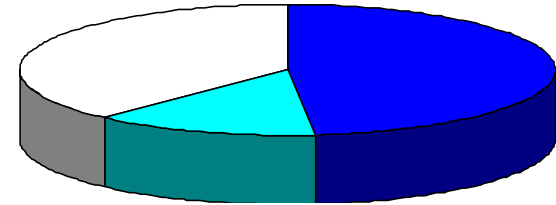
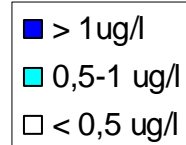


Muestras con menos de 8 µg/l de clorofila

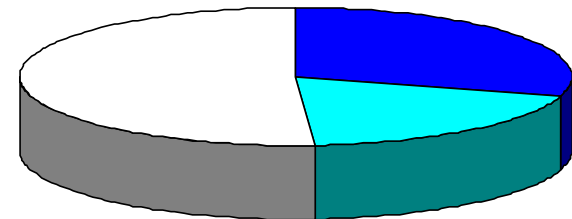


## Cantidad de toxinas

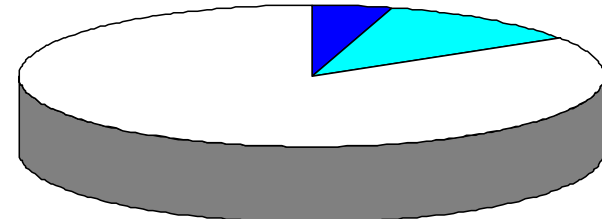
Muestras con más de 75 µg/l de clorofila



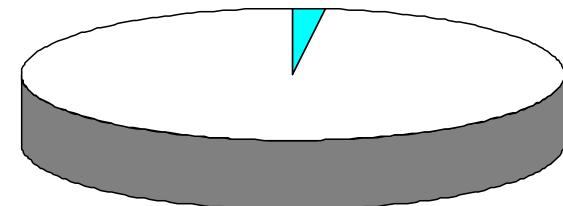
Muestras con 25-75 µg/l clorofila



Muestras con 8-25 µg/l clorofila

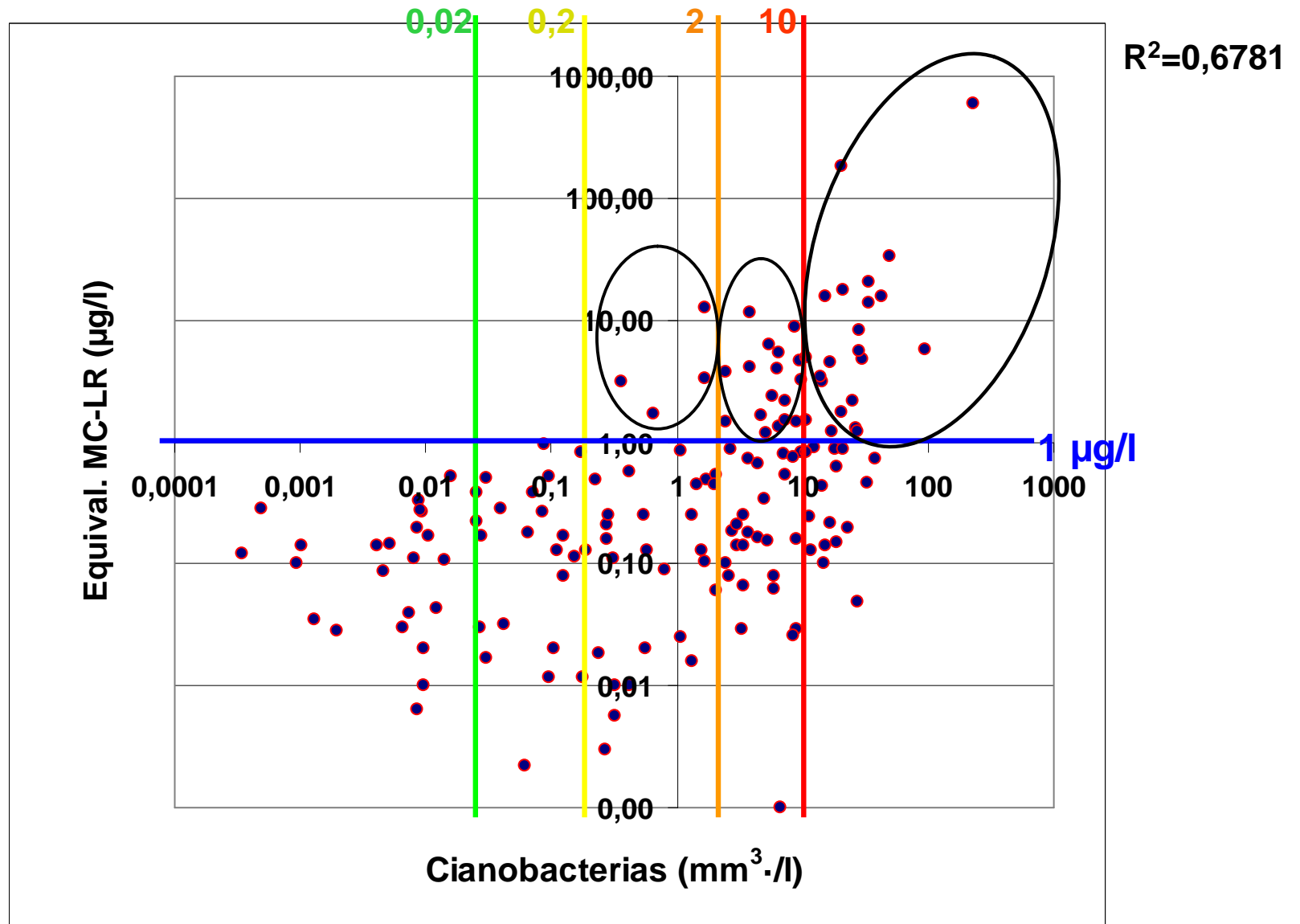


Muestras con menos de 8 µg/l de clorofila





## Relación entre las cianobacterias y las microcistinas



Existe una buena relación entre la cantidad de cianobacterias y las microcistinas (fracción particulada)

*Niveles de la OMS para valorar los riesgos para la salud producidos por cianobacterias en agua destinada a la producción de agua de consumo humano y en aguas de baño (Chorus & Bartram 1999).*

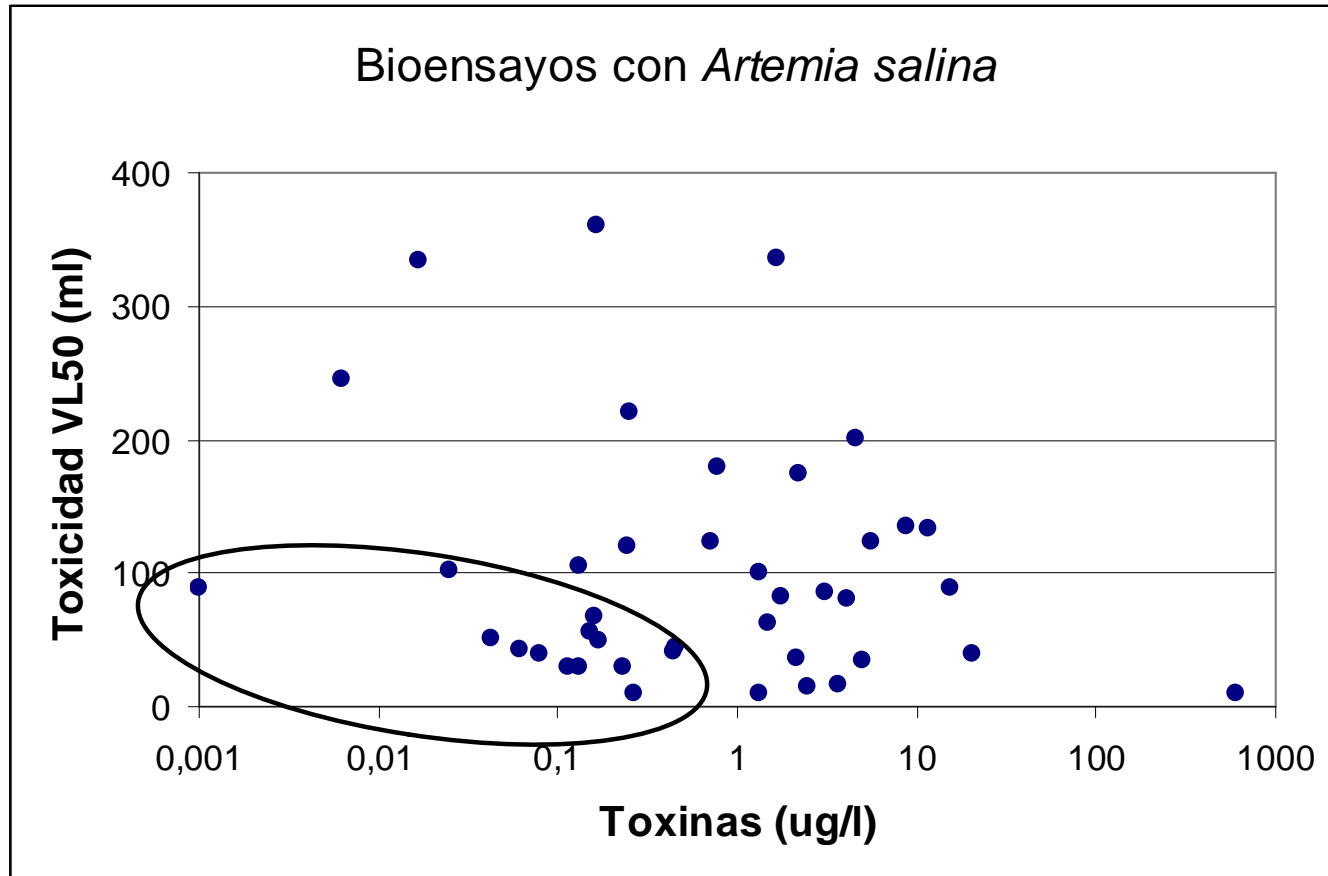
## Aguas destinadas a la producción de agua potable

- **Nivel de Vigilancia** (0,02 mm<sup>3</sup>/l): Si se sobrepasa ⇒ aumentar la frecuencia de muestreo.
- **Nivel de Alerta 1** (0,2 mm<sup>3</sup>/l): la **concentración de microcistinas en el agua podría exceder el nivel guía de la OMS para microcistinas-LR (1 µg/l)** ⇒ consulta con las autoridades sanitarias y **análisis de toxinas** en el agua de consumo.
- **Nivel de Alerta 2** (10 mm<sup>3</sup>/l): con presencia de toxinas confirmada describe un bloom tóxico ⇒ **incremento significativo de riesgo de efectos adversos para la salud** si el agua no es tratada o es tratada con un sistema ineficaz.

## Aguas de baño

- **Nivel Guía 1** (2 mm<sup>3</sup>/l): **bajas probabilidades de efectos adversos** para la salud. Irritaciones y alergias. Se pueden esperar de 2 a 4 µg/l de microcistinas (hasta 10 µg/l) ⇒ **informar a los bañistas** sobre el peligro.
- **Nivel Guía 2** (10 mm<sup>3</sup>/l): **moderadas probabilidades de efectos adversos** para la salud. Irritación de la piel elevada. Concentraciones de toxinas pueden ser altas (hasta 20 veces el nivel recomendado por la OMS) ⇒ En estos casos la **restricción del baño** puede ser apropiada.

## Relación entre las toxinas y la toxicidad

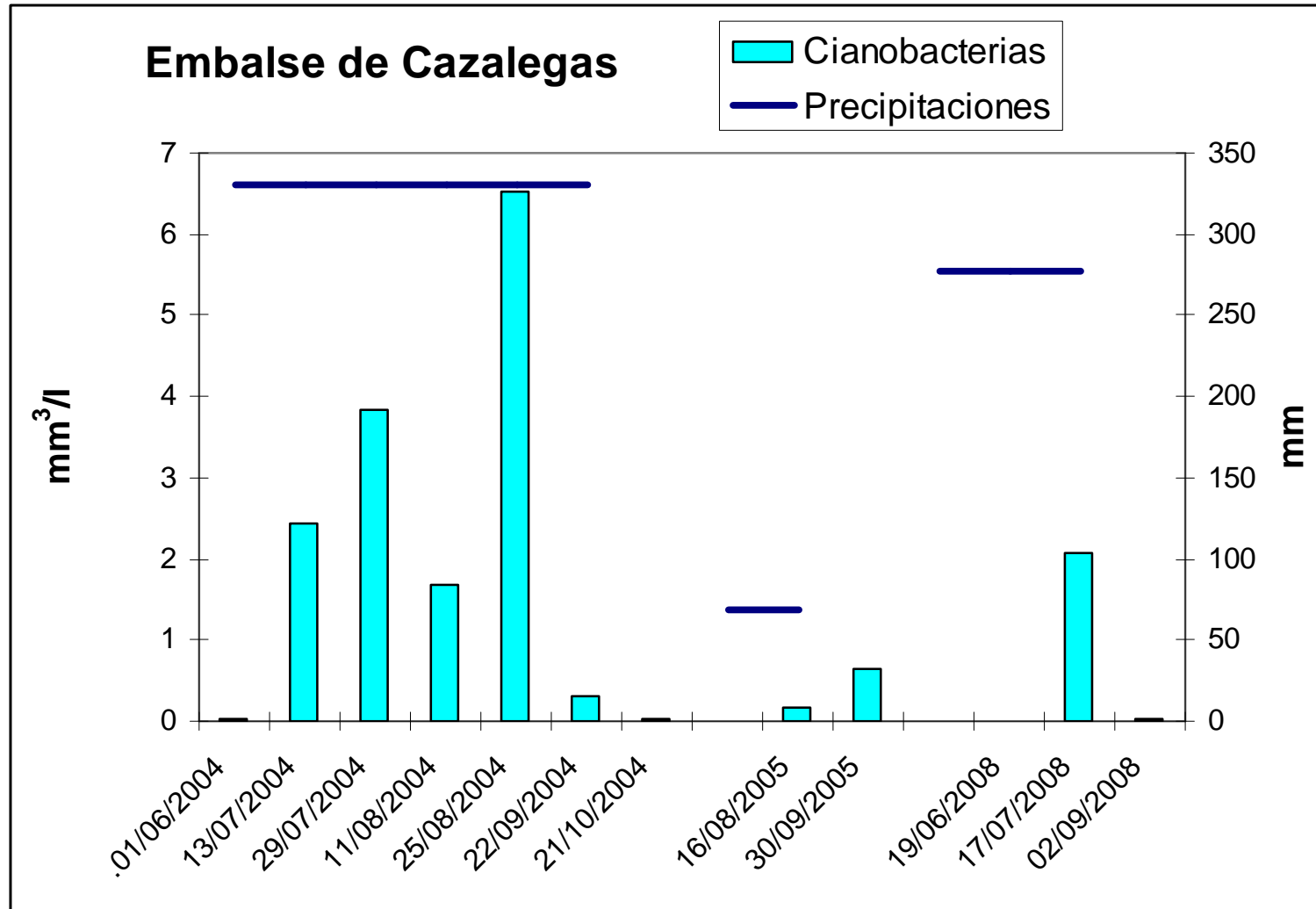


No hay relación significativa entre las toxinas y la toxicidad (bioensayos con *Artemia salina*)

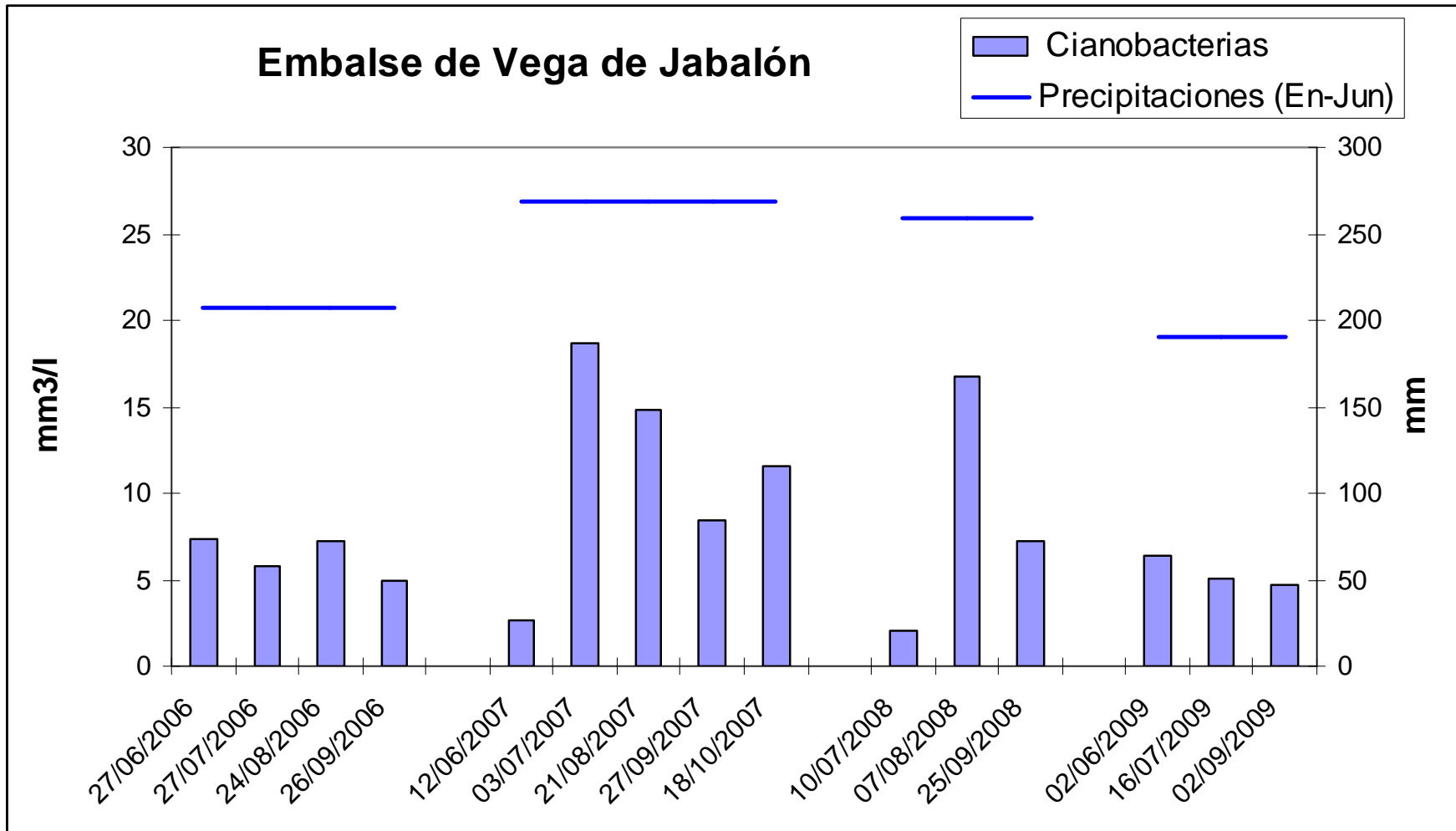
El 47 % de muestras con más de 1 $\mu$ g/l de toxinas no presentó toxicidad



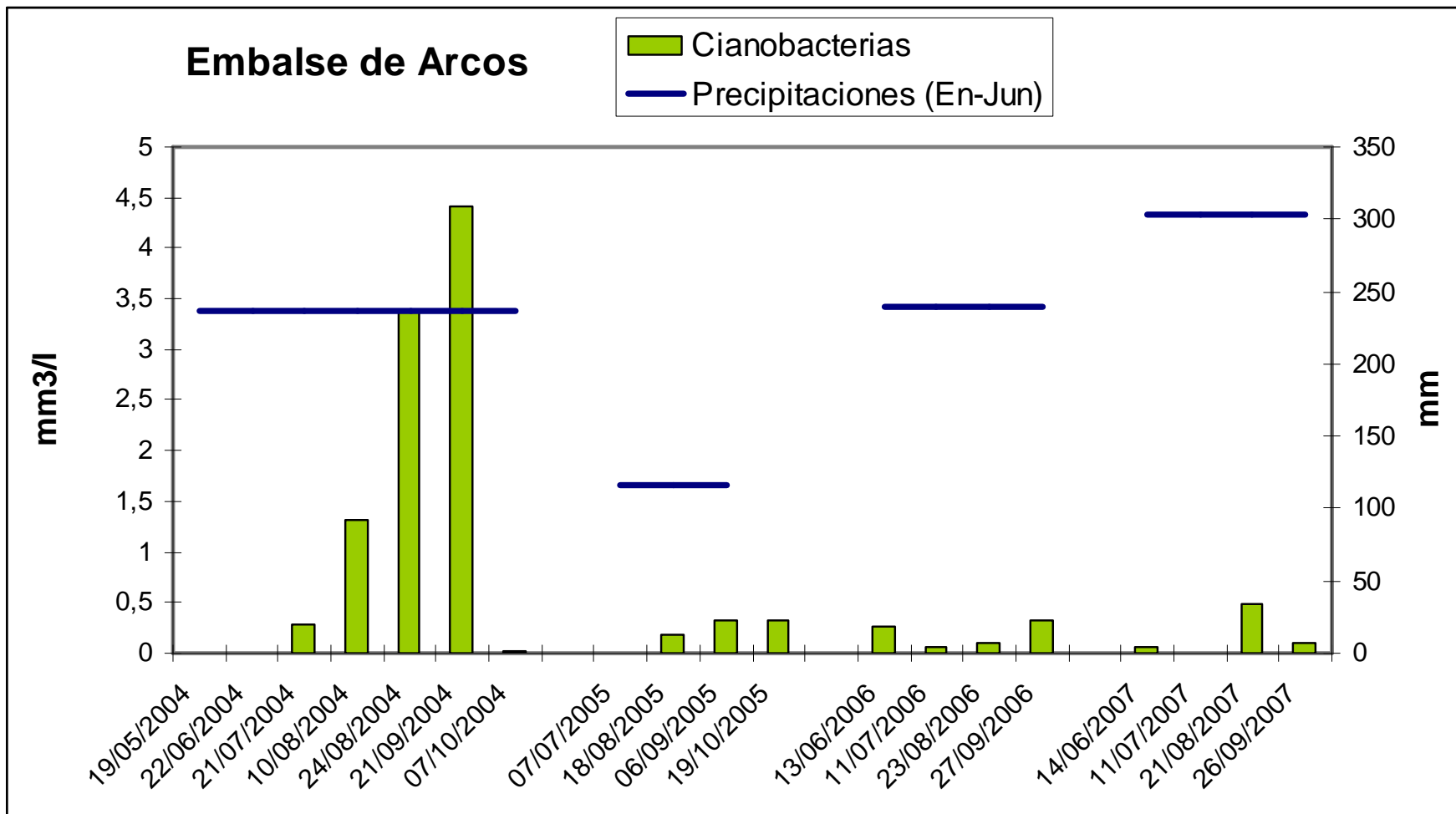
# Variaciones interanuales de cianobacterias



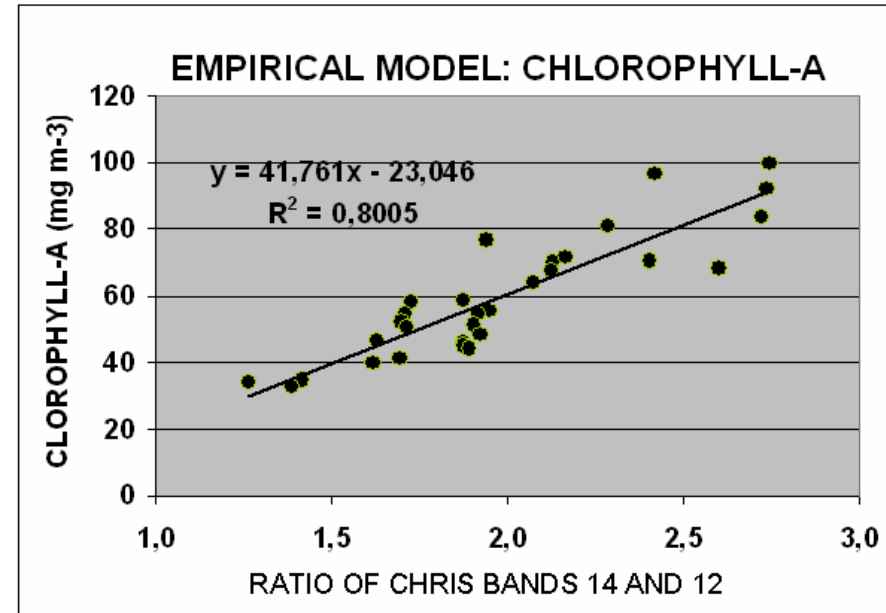
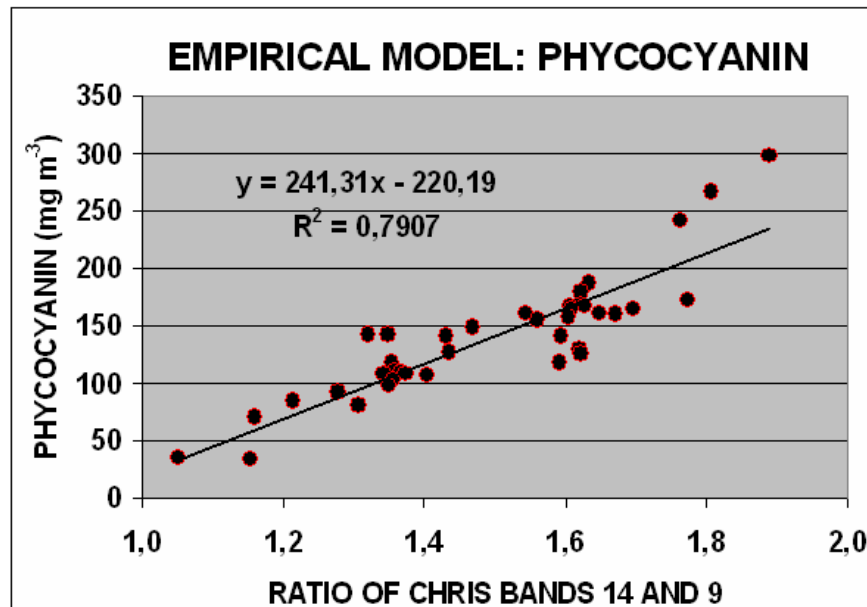
# Variaciones interanuales de cianobacterias



# Variaciones interanuales de cianobacterias



# Variaciones espaciales y temporales de cianobacterias. Posibilidades de la teledetección



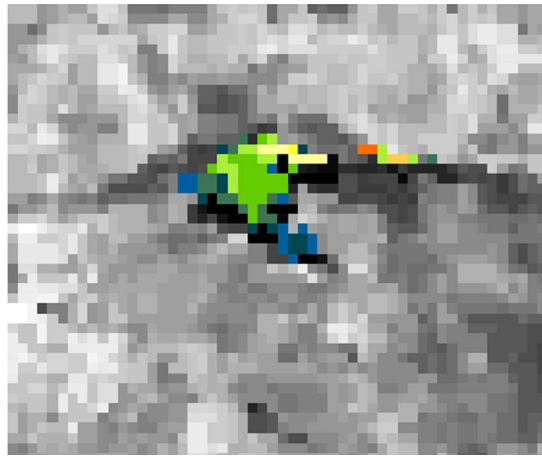
Se han desarrollado algoritmos que relacionan las concentraciones de los pigmentos obtenidas a partir de los muestreos (realizados de forma simultánea a la obtención de la imagen) con la reflectancia medida por distintas regiones espectrales (bandas) del sensor



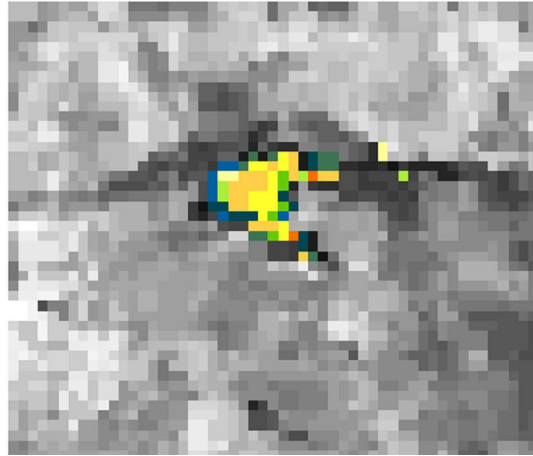
**Sensor: MERIS del satélite Envisat-1 (300 m de resolución espacial)**

[Cla](mg/m<sup>3</sup>)

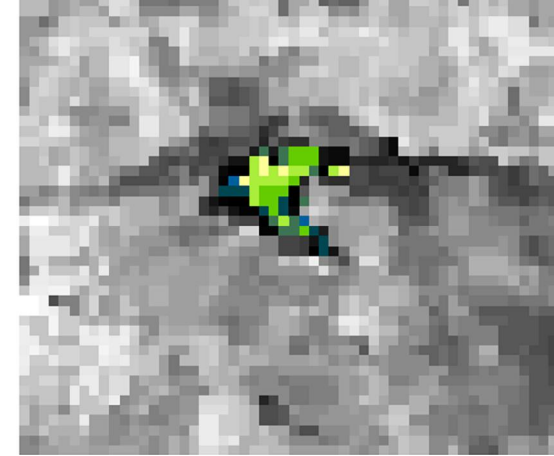
Centro de Estudios Hidrográficos



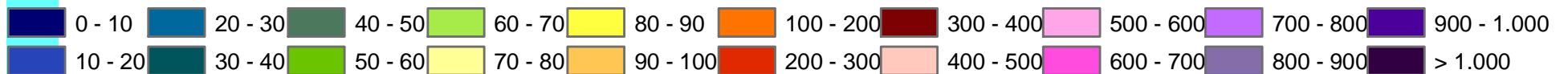
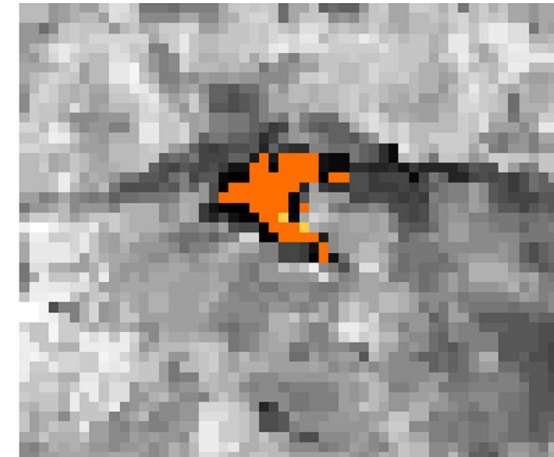
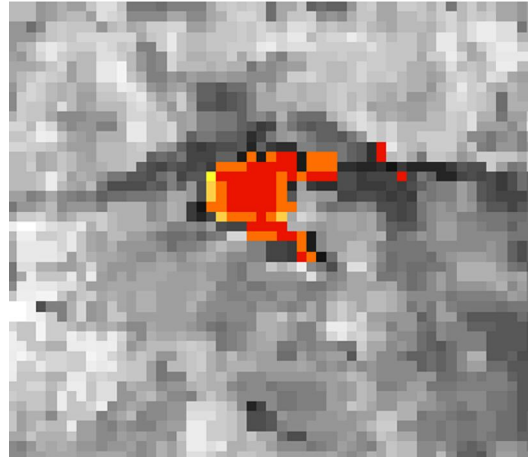
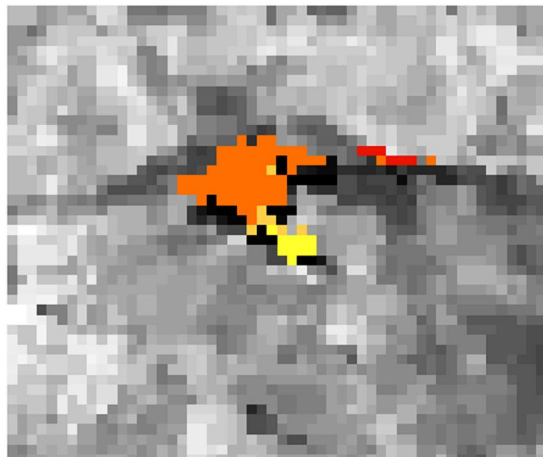
[PC](mg/m<sup>3</sup>) **04/08/2008**



**17/08/2008**



**27/08/2008**

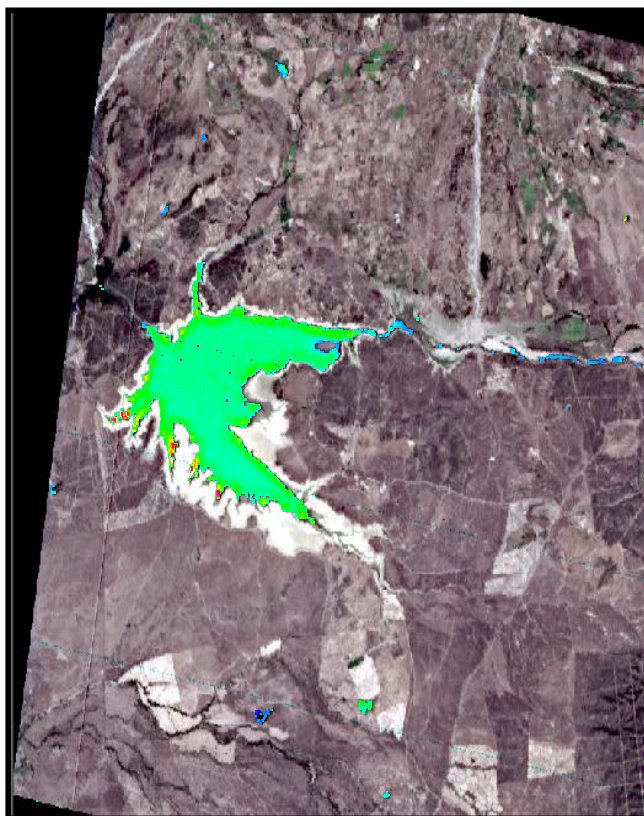


Sensor: CHRIS del satélite Proba (17 m de resolución espacial)

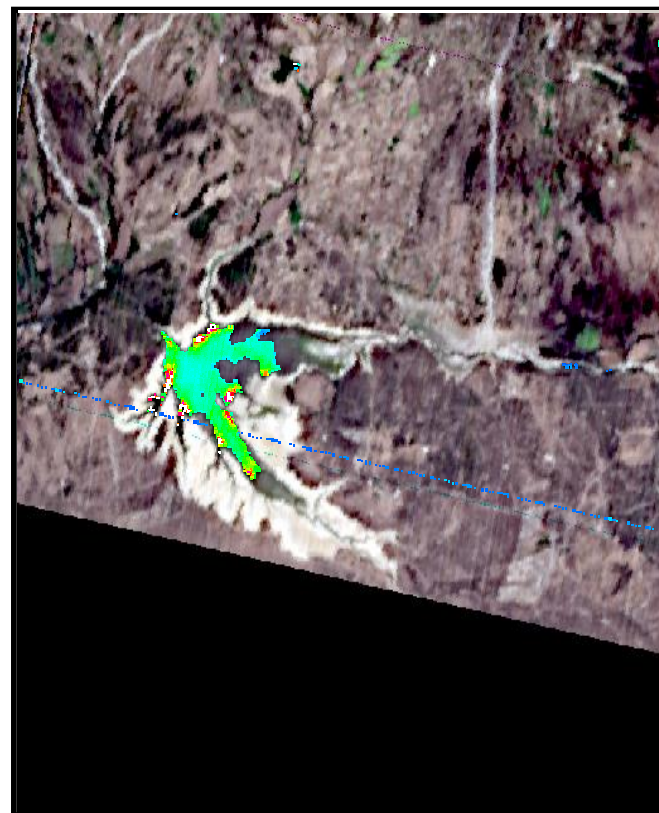
CEDEX

Centro de Estudios Hidrográficos

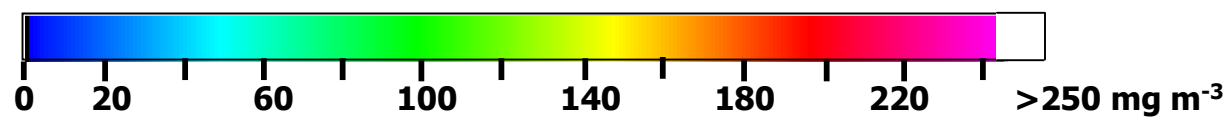
27/08/04



22/09/04



Clorofila a

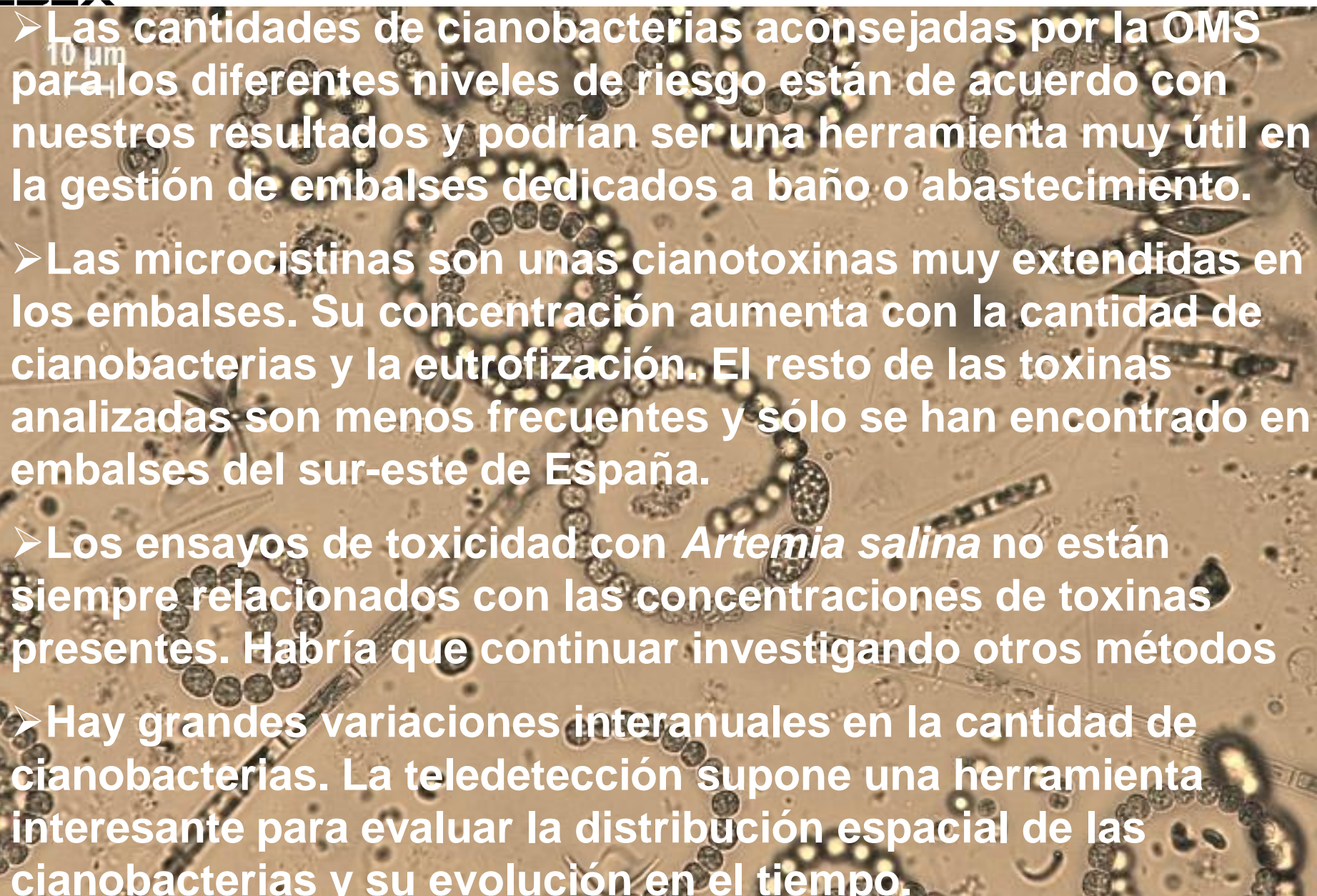




## Conclusiones

**CEDEX**

Centro de Estudios Hidrográficos

- 
- Las cantidades de cianobacterias aconsejadas por la OMS para los diferentes niveles de riesgo están de acuerdo con nuestros resultados y podrían ser una herramienta muy útil en la gestión de embalses dedicados a baño o abastecimiento.
  - Las microcistinas son unas cianotoxinas muy extendidas en los embalses. Su concentración aumenta con la cantidad de cianobacterias y la eutrofización. El resto de las toxinas analizadas son menos frecuentes y sólo se han encontrado en embalses del sur-este de España.
  - Los ensayos de toxicidad con *Artemia salina* no están siempre relacionados con las concentraciones de toxinas presentes. Habría que continuar investigando otros métodos
  - Hay grandes variaciones interanuales en la cantidad de cianobacterias. La teledetección supone una herramienta interesante para evaluar la distribución espacial de las cianobacterias y su evolución en el tiempo.

# Organismos y personas implicadas en estos trabajos

**CEDEX**

## PROYECTOS SOBRE CIANOBACTERIAS

Área de Medio Ambiente Hídrico del CEH del CEDEX:

Director del proyecto: Juan Avilés García

Personas que han trabajado:

Ana María Alonso García, Javier Burguillo Algara, Almudena Domínguez Cabrerizo, Juan Antonio Domínguez Gómez, Francisco García Mengibar, María Elena González Ramos, Caridad de Hoyos Alonso, Delia Martín del Pozo, Carlos Nuño Sánchez, María Verdugo Althöfer, Laura Villén de la Fuente

Otros organismos:

Universidad Autónoma de Madrid

Universidad Complutense de Madrid

Universidad de Salamanca



# Organismos y personas implicadas en estos trabajos

**CEDEX**

Centro de Estudios Hidrográficos


## PROYECTO SOBRE EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES. INTERCALIBRACIÓN

Área de Medio Ambiente Hídrico del CEH del CEDEX:

Personas que han trabajado:

Caridad de Hoyos Alonso, Guillermo Martínez López, José Pahíssa López

10  $\mu\text{m}$

A microscopic image showing a long, thin filament of a filamentous alga, likely a cyanobacterium, against a light brown background. The filament is composed of a series of small, rounded cells. Two larger, more prominent cells are visible, each containing a dense cluster of smaller, dark granules. A scale bar in the upper right corner indicates a length of 10 micrometers.