

Cianobacterias tóxicas y mortandad de aves en las Marismas de Txingudi



biodibertsitatea
eta paisala
BIODIVERSIDAD Y
PAISAJE

2010



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN, LURRALDE
PLANGINTZA, NEKAZARITZA
ETA ARRANTZA SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE,
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL,
AGRICULTURA Y PESCA



ingurumena.net

Documento: Cianobacterias tóxicas y mortandad de aves en las Marismas de Txingudi. Informe de situación junio 2010.

Fecha de edición: 2010

Autor: Alberto Luengo Telletxea. KAIZEN Compañía de Gestión S.L.

Propietario: Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca.

INDICE

1. “BLOOMS” DE CIANOBACTERIAS EN MASAS DE AGUA CONTINENTAL	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
2. MORTANDAD DE AVES ACUÁTICAS EN LAS MARISMAS DE TXINGUDI	5
2.1. ANTECEDENTES	5
2.2. MORTANDAD DE AVES EN 2009	11
2.3. LAS MASAS DE AGUA DULCE EN LAS MARISMAS DE TXINGUDI	13
3. MEDIDAS DE GESTIÓN PROPUESTAS	27
3.1. IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ALERTA TEMPRANA	28
3.2. CONTROL DEL VACIADO	31
3.3. DECAPADO LAGUNAR	32
3.4. INSTALACIÓN DE FILTROS BIOLÓGICOS	33
4. BIBLIOGRAFÍA	34
5. AGRADECIMIENTOS	36

1. “BLOOMS” DE CIANOBACTERIAS EN MASAS DE AGUA CONTINENTAL

1.1. INTRODUCCIÓN

Los *blooms* de algas son sucesos de multiplicación y acumulación de estos organismos pertenecientes al plancton en periodos de tiempo relativamente cortos. Son fenómenos naturales que ocurren bajo determinados parámetros ambientales que favorecen el desarrollo de unas especies frente a otras. Se sabe que el importante crecimiento en la frecuencia de aparición de estos episodios en los últimos años está relacionado con la eutrofización de las masas de agua (Hallegraeff, 1992; Paerl, 1996)

Las masas de agua eutrofizadas y/o contaminadas alteran las comunidades planctónicas existentes, mermando la multiplicidad del medio de tal modo que unas pocas especies aumentan considerablemente en perjuicio de otras. Es decir, se observa un incremento de la abundancia en determinadas especies aptas para el crecimiento y dominancia en estas condiciones alteradas y un descenso en los niveles de riqueza del medio. Por tanto, los llamados *blooms* de algas son consecuencia de estos fenómenos de eutrofización y/o contaminación y pueden ser desarrollados por diversos grupos taxonómicos planctónicos como son las diatomeas, las clorofíceas, los dinoflagelados y las cianobacterias (De León, L. 2002). Es precisamente este último grupo el que va a ser objeto de análisis en el presente informe.



Floración cianobacteriana en las Marismas de Txingudi

Las cianobacterias suelen formar frecuentemente grandes acúmulos o floraciones en masas de aguas continentales eutrofizadas (especialmente con altas concentraciones de nitrógeno y de fósforo), actuando como descriptoras de la calidad ambiental de las aguas (De León, L. 2002). Algunas especies, principalmente *Microcystis spp* y *Anabaena spp* suelen desarrollar floraciones muy visibles debido a los característicos acúmulos celulares depositados en la superficie de la lámina de agua. Estos acúmulos forman una notoria película fácilmente reconocible por poseer un color verde característico.

Otras especies de cianobacterias, por ejemplo *Oscillatoria spp*, no suelen tender a formar películas en la superficie, sino lo que hacen es situarse en niveles más profundos de la columna de agua, de tal manera que no siempre son visibles (Reynolds *et al.*, 1983)



Floración de Oscillatoria sp en el Parque ecológico Plaiaundi (Laguna Dulce)

Dentro de los géneros de cianobacterias que desarrollan floraciones tóxicas, los géneros **Microcystis y Anabaena son los principales causantes de los blooms de algas acaecidos en las Marismas de Txingudi**. La especie que con más profusión se ha detectado en las analíticas realizadas es *Microcystis aeruginosa*, bacteria ésta con una alta variabilidad genética, hecho que se traduce en la existencia de cepas tóxicas y cepas no tóxicas, inclusive dentro de la misma floración (Costas, E. *et al* 2006). Las cepas tóxicas - se sabe que entre el 50% y el 75% de las proliferaciones de cianobacterias son tóxicas (Graham y

Wilcox, 2000) - producen las llamadas microcystinas, las cuales son potentes hepatotóxicos causantes en mayor o menor medida de la mortandad de aves acuáticas que nos ocupa.

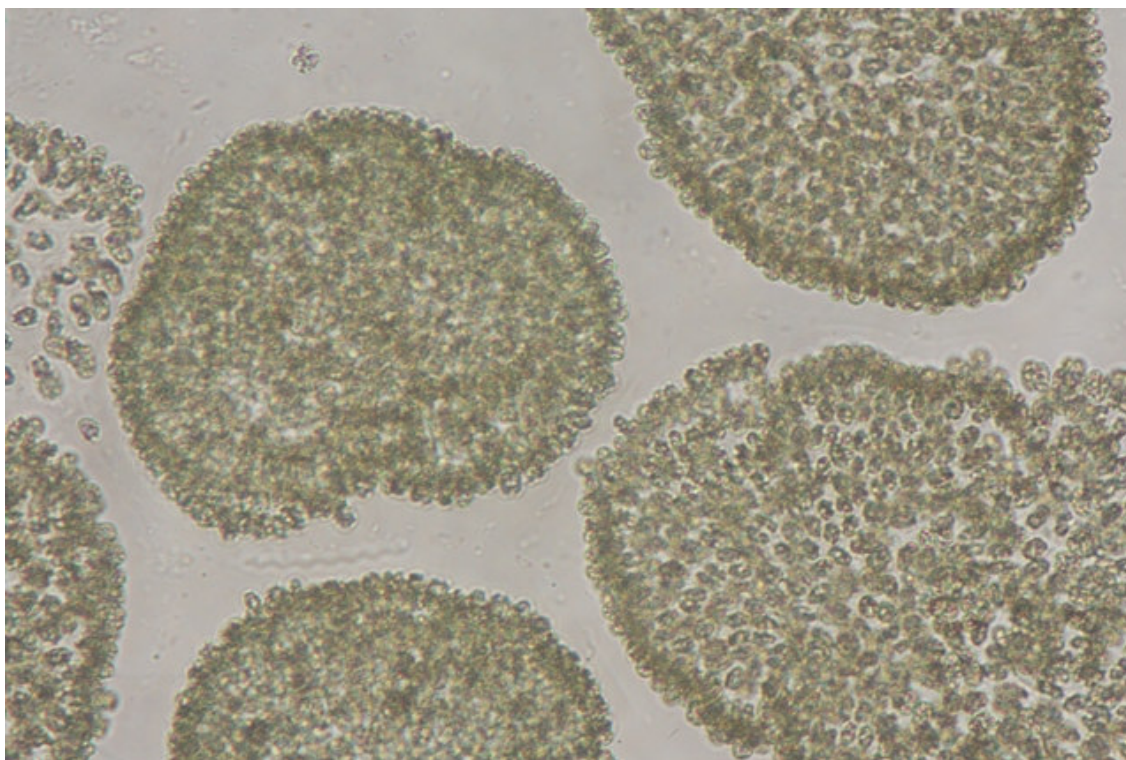


Imagen microscópica de Microcystis aeruginosa

Esta especie cosmopolita es muy plástica en cuanto a tolerancia a los cambios ambientales que afectan directa o indirectamente a las masas de agua. No es objeto de este informe realizar un estudio exhaustivo de la biología y de las diferentes estrategias que utilizan las cianobacterias en general y *Microcystis aeruginosa* en particular, para ser dominantes en la comunidad planctónica en determinados momentos del ciclo anual de la propia comunidad. Pero sí se entiende que es determinante analizar y particularizar las diferentes causas que favorecen y controlan el desarrollo de las floraciones de *Microcystis aeruginosa*. Entre ellas destacan, según el estudio realizado por De León L. (2002), las siguientes causas, las cuales se ajustan a la dinámica observada en las masas de agua dulce pertenecientes a las Marismas de Txingudi:

- Carga excesiva de nutrientes en el agua, concretamente nitrógeno y fósforo.
- Incremento de la intensidad luminosa en los meses de primavera y verano, hecho que va de la mano de un incremento de la temperatura ambiental.
- Aumento de la Tª del agua por encima de los 20° C en los meses estivales.
- Embalsamiento prolongado en el tiempo.

- Índices de turbulencia reducidos.
- Aguas duras (pH alcalino).

La principal consecuencia de los *blooms* de cianobacterias en las Marismas de Txingudi es la mortandad de aves acuáticas por ingesta de las toxinas disueltas en el agua dulce (obs. pers.). Además se dan otra serie de consecuencias como son una disminución de la diversidad de los taxones que componen el sistema lagunar, la aparición de fenómenos anóxicos y, en menor medida, la aparición y olor desagradable de la lámina de agua.



2. MORTANDAD DE AVES ACUÁTICAS EN LAS MARISMAS DE TXINGUDI

2.1. ANTECEDENTES

Desde la creación del Parque Ecológico de Plaiaundi (1998) se observó que la calidad del agua de la laguna dulce existente no presentaba unas condiciones adecuadas para el buen desarrollo de los procesos ecológicos que aquí se daban (obs pers.). Desde el final de la década de los noventa hasta la actualidad se han dado dos **episodios de mortandad de fauna** que así lo atestiguan.

El **primero de ellos se dio en el verano de 2003**, resultando especialmente perjudicada la fauna piscícola de una de las lagunas dulces de Plaiaundi (estimaciones groseras apuntan que cerca de 200 kilogramos de corcones (*Chelon labrosus*) y anguilas (*Anguilla Anguilla*) perecieron en este primer episodio de mortandad). El mismo día en que se produjo este episodio de mortandad, se retiraron todos los cadáveres presentes en las orillas y sobre la lámina de agua, además de iniciar un vaciado completo de laguna. Posteriormente no se han producido sucesos relevantes en cuanto a mortandad de especies piscícolas, pero sí en cuanto a variaciones en la calidad de los vasos de agua (presencia de cianobacterias, desaparición de macrófitos, etc...).

Gran parte de este deterioro ambiental se le achacaba al coipú (*Myocastor coypus*). El coipú o rata nutria es un roedor de gran tamaño cuyo ámbito de distribución natural (cuencas fluviales de Sudamérica) se ha visto considerablemente ampliado por su introducción en numerosos puntos del globo dado su interés para la industria peletera. Merced a sueltas o escapes, frecuentes en granjas criadoras, presenta extrema facilidad para adaptarse a una gran gama de medios dentro del área bioclimática templada, teniendo como única condición la existencia de masas de agua permanentes (ríos, lagunas, balsas, embalses, estuarios, marismas, etc.) ricos en vegetación acuática y exenta de fríos extremos. En presencia de estos requisitos, llega a sobrevivir y aún prosperar, presentando gran facilidad para solventar su dieta fitófaga, aprovechando un amplio abanico trófico (desde vegetación acuática hasta cultivos hortícolas) y caracterizando su dinámica poblacional por una combinación de ciclo estral extenso (que le permite reproducirse durante la mayor parte del



año) y longevidad considerable de los adultos: ello provoca aumentos considerables de la población en cortos períodos de tiempo.

Las medidas de control implementadas en las Marismas de Txingudi han disminuido de manera muy notoria la influencia de este roedor en las masas de agua dulce. Desde que se realizaron las mismas, el número de individuos capturados ha sido $n > 500$. El tiempo ha revelado que la relación entre la densidad poblacional del coipú (*Myocastor coypus*) y la aparición de *blooms* de cianobacterias no guarda una correlación positiva (obs. pers.). Si bien entendemos que es un factor negativo en el mantenimiento óptimo de los procesos ecológicos que rigen el funcionamiento del ecosistema, no es el factor clave en el deterioro ambiental de las masas de agua dulce.



Captura de coipú (Myocastor coypus) en las Marismas de Txingudi

Ante este fenómeno, los técnicos de las marismas de Txingudi optamos por pautas de manejo más activas frente a la invasión del coipú (aumento en la frecuencia de trampeo, acompañamiento en las batidas nocturnas realizadas por el Guarderío de la Diputación Foral de Gipuzkoa, colocación de un vallado perimetral en la laguna dulce que impidiese entradas y salidas de coipú y creación de parcelas reserva valladas dentro de la laguna en las que se plantaba carrizo y espadaña), así como un manejo encaminado a la renovación paulatina del agua embalsada.

El segundo episodio de mortandad de fauna sucedió en verano de 2009. Durante los meses de julio y principalmente agosto y septiembre, se observó una mortandad continuada en el tiempo de aves acuáticas. Concretamente las especies afectadas fueron ánade azulón (*Anas platyrhynchos*), ánade friso (*Anas strepera*), silbón europeo (*Anas penelope*), cerceta común (*Anas crecca*), cisne vulgar (*Cygnus olor*), focha común (*Fulica atra*), polla de agua (*Gallinula chloropus*), archibebe común (*Tringa totanus*) y archibebe claro (*Tringa nebularia*). Si bien no fueron muchos los individuos que aparecieron muertos ($50 < n < 60$), el hecho era preocupante ya que la causa de la mortandad fue debida a una más que probable intoxicación producida por microcystinas producidas por la especie *Microcystis aeruginosa*. Como se ha comunicado en diversas ocasiones a la Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental en los diferentes informes emitidos, Ánade Friso (*Anas strepera*) tiene en las Marismas de Txingudi el único punto de cría en la geografía gipuzkoana (en la CAPV existen alrededor de 15 parejas criando en los humedales alaveses), por lo que la preocupación alcanzaba rango de alarma en esta especie en concreto.



Primera pollada de Ánade friso (*Anas strepera*) en 2010

Como hemos comentado anteriormente, este episodio de desajuste en la ecología de las lagunas, desgraciadamente no era novedoso. El mismo se venía repitiendo en veranos precedentes, si bien es cierto que nunca se había detectado una mortandad de anátidas, rálidos y limícolas.

Ante esta situación se optó por renovar paulatinamente el agua embalsada. Teniendo en cuenta el ciclo anual de muchas las especies de aves que utilizan la ruta del Paleártico occidental durante sus viajes hacia latitudes meridionales, el momento era delicado ya que la migración postnupcial había dado ya comienzo y alguna de las especies (anátidas y rálidos principalmente) suele utilizar la laguna como lugar de descanso y alimentación. Además, el manejo consistente en renovar paulatinamente (en función del ciclo mareal) el agua embalsada no era del todo sencillo, pues en esta época del año, el rango de amplitud mareal es muy elevado hecho éste que confiere dificultad y máxima atención en el calendario mareal para poder desarrollar correctamente la medida adoptada (al respecto hay que impedir la entrada de agua salada desde el sistema de drenaje perteneciente a las instalaciones deportivas). En otras palabras se trata de alcanzar un equilibrio entre la renovación del vaso sin interferir en los niveles de agua embalsada, de tal manera que la sedimentación de las especies migratorias no se vea perjudicada en ningún momento.



Control del vaciado en Fase II

Paralelamente a las mediadas de gestión adoptadas, se realizaron varios contactos con organismos especializados en la materia para poder conocer con precisión el porqué de lo sucedido, así como las medidas a implementar en un futuro.

El primero de ellos fue con el **Departamento de Sanidad Animal de NEIKER-Tecnalia**, ya que con este instituto colaboramos activamente en algunos de los programas de investigación que han tenido y tienen abiertos en la actualidad (*Factores que influyen en el mantenimiento y transmisión del virus de la influenza aviar entre ecosistemas*). Se nos comunicó que en la actualidad no presentan ninguna línea abierta de investigación en lo que a toxinas y mortandad de aves acuáticas se refiere. Aún así se procedió al envío de un cadáver para la **realización de la necropsia** pertinente. La misma no arrojó luz al problema que nos ocupa.

Posteriormente, se contactó con el **IREC (Instituto de Investigación de Recursos Cinegéticos)**. En este Instituto existe un grupo cuyo trabajo se centra en las intoxicaciones en aves acuáticas y que entre otras, una de sus líneas de investigación es precisamente los brotes de botulismo y los *blooms* de cianobacterias. La contestación que se nos da desde el IREC indica que, por una parte, la mortandad puede deberse a brotes de botulismo ya que en estas fechas suelen ser muy frecuentes. Por otra, no hay que descartar los *blooms* de cianobacterias. Para tener seguridad en el diagnóstico, se hace imprescindible realizar una serie de **muestreos tanto de agua, como de sedimento** para detectar bien *C. botulinum*, bien toxinas producidas por las cianobacterias. Finalmente, se nos indica que las necropsias de aves pueden y deben ser definitivas a la hora de conocer la causa del problema. La imposibilidad de llevar a cabo las analíticas sugeridas desde el IREC por carecer de los medios para ello, hizo que siguiéramos buscando otro tipo de asesoramiento, si bien éste nos puso sobre la pista de lo que podía estar sucediendo.

En el mes de septiembre, a petición de los técnicos de la Marisma de Txingudi, el Guarderío de la Diputación Foral de Gipuzkoa recoge a un individuo de Cisne Vulgar (*Cygnus olor*) que presenta síntomas de debilidad palpables. Éste es llevado al Centro de Recuperación *Arrano Etxea* situado en San Sebastián. Los tratamientos no dan resultado y a los pocos días de su entrada en el Centro de Recuperación se nos informa que ha muerto. Al mismo se le realiza una necropsia, indicándonos que la posible causa de la muerte puede deberse a una infección bacteriana causada por *Chlamydia psittaci* (causante de la



enfermedad denominada psitacosis). El equipo gestor de las Marismas se muestra escéptico ante este resultado, pues no cree que la causa real del episodio de mortandad existente sea esta enfermedad infecciosa y sigue trabajando para encontrar la causa de esta mortandad en masa.



*Cisne afectado presuntamente por *Microcystis aeruginosa*. Es capturado para su traslado al Centro de Recuperación Arrano Etxea*

El siguiente contacto se realizó con **Fernando Hiraldo Cano (Profesor de Investigación y Director de la Estación Biológica de Doñana, Consejo Superior de Investigaciones Científicas)**. Fernando Hiraldo nos hizo un repaso histórico de las diferentes mortandades de aves acuáticas acontecidas en Doñana durante los últimos años y su relación con las toxinas derivadas del metabolismo secundario de las cianobacterias. Nos presentó dicho escenario como una situación en la que se requiere una gestión activa de la misma, ya que el volumen de aves muertas puede alcanzar cifras sorprendentemente altas. El profesor Hiraldo nos recomendó encarecidamente contactar con **Eduardo Costas (Catedrático de Genética de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid)** el cual lleva estudiando el tema que aquí nos ocupa desde hace 7 años en las Marismas de Doñana.

El contacto con Eduardo Costas y su equipo de colaboradores fue y está siendo muy fructífero de tal manera que se empieza a conocer con exactitud la ecología de las lagunas dulces de las Marismas de Txingudi. El trabajo conjunto entre este investigador y los técnicos de las Marismas desemboca en una **estancia de formación de tres días en el Laboratorio del Departamento de Producción Animal de la Facultad de Veterinarias de la Universidad Complutense de Madrid**, con el objeto de formar a un técnico en el tema que nos ocupa: *Cianobacterias tóxicas y mortandad de aves en las Marismas de Txingudi*. Los resultados de los primeros análisis realizados *ad hoc*, así como la situación actual y un previsible escenario en un futuro próximo, se presentan en posteriores páginas de este informe.

2.2. MORTANDAD DE AVES EN 2009

La mortandad de aves del pasado verano fue cuantificada en aproximadamente 60 individuos pertenecientes a diferentes grupos de aves acuáticas como son las anátidas, los limícolas y los rálidos. La mayoría de ellos fueron identificados como Ánade azulón (*Anas platyrhynchos*) y Focha común (*Fulica atra*), no obstante, tal y como se puede apreciar en el cuadro adjunto, otras especies también presentaron mortandad aunque en número significativamente inferior: Ánade silbón europeo (*Anas Penélope*) [1], Cisne vulgar (*Cygnus olor*) [1], Polla de agua (*Gallinula chloropus*) [2], Archibebe común (*Tringa totanus*) [1] y Archibebe claro (*Tringa nebularia*) [1].

ANATIDAS

Ánade azulón (*Anas platyrhynchos*)
Ánade friso (*Anas strepera*)
Silbón europeo (*Anas penelope*)
Cerceta común (*Anas crecca*)
Cisne vulgar (*Cygnus olor*)

RÁLIDOS

Focha común (*Fulica atra*)
Polla de agua (*Gallinula chloropus*)

LIMÍCOLAS

Archibebe común (*Tringa totanus*)
Archibebe claro (*Tringa nebularia*)

Todas ellas se encontraron bien en las orillas, bien flotando sobre la lámina de agua. La sintomatología observada en la mayoría de los individuos era poco específica, mostrando las aves intoxicadas **vómitos y diarreas, debilidad** y, en algunas ocasiones, **dificultades respiratorias** (obs. pers.). Estos síntomas persistían en el tiempo, de tal manera que una vez que las aves eran recogidas, mostraban una pobre condición corporal, con un significativo



bajo índice de grasa corporal (obs. pers.). Este cuadro se corresponde con el *modus operandi* de las *microcystinas* producidas por el género *Microcystis*. Estas cianobacterias se fracturan al llegar al estómago, liberando las toxinas y dañando a las células intestinales que es donde se absorben (Falconer, 1992; Ito et al., 2000), concentrándose posteriormente en los hepatocitos gracias a los transportadores biliares (Carmichael *et al.*, 1990; Sivonen y Jones, 1999; Codd, 2000; Wiegand y Pflugmacher, 2005). El resultado final de este proceso es el desencadenamiento de una **hemorragia hepática que deriva en la muerte del animal por shock hemorrágico** (Sivonen y Jones, 1999; Codd, 2000; Malbrouck *et al.*, 2003; Gehinnger, 2004; Wiegand y Pflugmacher, 2005; revisado por Huynh-Delermec *et al.*, 2005).

Se ha hecho alusión a la gran plasticidad del género *Microcystis* en cuanto a su capacidad de adaptación al medio. Consecuentemente, la génesis de toxinas derivadas del metabolismo secundario de estas cianobacterias puede ser de diferente naturaleza. Así, no debe causar extrañeza que la toxina producida por el género *Microcystis* sea una neurotoxina. Estas, actúan a nivel de sinapsis neuronal inhibiendo a receptores neuronales tales como la acetilcolina. Los síntomas descritos en las aves que han ingerido microcystinas son, entre otros, **temblores musculares, incapacidad motora, convulsiones**, etc... produciéndose la **muerte por parada respiratoria** (Codd, 2000; revisado por Wiegand y Pflugmacher, 2005). En caso de muerte por neurotoxinas, la condición corporal observada en los cadáveres es buena, ya que la muerte se produce en pocas horas. En el caso de las Marismas de Txingudi, la mortandad sucedida en 2009, se debió a la acción de las hepatotoxinas, pues la práctica totalidad de las aves recogidas presentaba una pobre condición corporal (obs. pers.)

Una cuestión a tener en cuenta es la coincidencia en el tiempo de las intoxicaciones debidas a *blooms* de cianobacterias y el ciclo vital de algunas aves. Este solapamiento temporal incide negativamente ya que muchas de las aves que llegan a la marisma suelen presentar fatiga debido al largo viaje realizado durante la migración postnupcial. La sedimentación en las lagunas que componen la Marisma de Txingudi se antoja imprescindible, pues es necesaria una sobrealimentación en un corto espacio de tiempo al objeto de reponer fuerzas para que puedan continuar con su periplo migratorio hacia latitudes más meridionales. Cabe pensar que en algunos casos, esta reposición de energía puede convertirse en una trampa fatal para algunas migradoras.



A ello hay que añadir que especies de anátidas residentes pueden estar todavía en época de mancada, lo cual les impide desplazarse a otras lagunas para seguir alimentándose. Si la floración cianobacteriana coincide con esta época de muda, la consecuencia, nuevamente, puede ser fatal para dichas especies residentes.

2.3. LAS MASAS DE AGUA DULCE EN LAS MARISMAS DE TXINGUDI

PEQUEÑOS APUNTES SOBRE LA FAUNA Y FLORA DE LAS MASAS DE AGUA DULCE

Antes de pasar a descifrar la situación ecológica de las masas de agua dulce del Parque Ecológico de Plaiaundi (Marismas de Txingudi), se hace necesaria una muy breve descripción de parte de la biota existente en los sistemas de agua dulce, al objeto de comprobar la importancia de este pequeño enclave lagunar para algunas de las especies presentes en el Catálogo Vasco de Especies Amenazadas.



Aspecto de la Laguna denominada Fase II. Junio de 2010

Las masas de agua dulce que componen el sistema lagunar del Parque Ecológico de Plaiaundi tienen una superficie aproximada de 2.5 hectáreas. Una de ellas, la denominada **Fase II**, (superficie aproximada de 1.6 hectáreas) presenta una completa orla de vegetación arbórea y arbustiva, siendo las principales especies que la componen *Salix spp.*, *Tamarix spp.*, *Alnus glutinosa* y *Populus spp.*, además de otros macrófitos de carácter atalásico como *Juncus spp.*, *Thypha spp.*, *Carex pendula*, *Iris pseudacorus* y *Phragmites australis*.

La otra laguna, la denominada genéricamente **Laguna Dulce**, (superficie cercana a 0.9 hectáreas) presenta en una de sus orillas un frente de vegetación compuesto por *Salix spp.* y *Tamarix spp.*, mientras que el resto se compone de un herbazal de porte alto, además de otras especies palustres como *Juncus spp.* Tanto en una como en otra, se observan especies propias de la vegetación hidrófila como *Potamogeton spp.* y *Chara spp.*, las cuales juegan un importante papel como depurador y asimilador de la materia orgánica presente en las masas de agua.



Potamogeton sp en Fase II

Como grupos más interesantes de invertebrados que utilizan las lagunas en el desarrollo de su ciclo vital, cabría destacar a:

- **Odonatofauna:** *Ischnura spp.*, *Calopteryx spp.*, *Crocothemis spp.*, *Sympetrum spp.*, *Orthetrum spp.*, *Lestes spp.*, *Anax spp.* y *Ceriagrion spp.*
- **Coleópteroфаuna:** se remite al informe realizado en 2006 por Alexandre Anichtchenko para el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, titulado *Estudio del orden Coleoptera en las marismas de Txingudi*.

Como especies de vertebrados significativas y/o que están dentro del Catálogo de Especies Amenazadas del País Vasco, podemos destacar las siguientes especies:

- **Piscifauna:** espinoso (*Gasterosteus aculeatus*)
- **Herpetofauna:** sapo corredor (*Bufo calamita*), galápago leproso (*Mauremys leprosa*) y galápago europeo (*Emys orbicularis*)
- **Ornitofauna:** carricerín común (*Acrocephalus schoenobaenus*), chorlitejo chico (*Charadrius dubius*), abubilla (*Upupa epops*), avión zapador (*Riparia riparia*), colirrojo real (*Phoenicurus phoenicurus*), zampullín común (*Tachybaptus ruficollis*), avetorillo común (*Ixobrychus minutus*), martinete (*Nycticorax nycticorax*), garza imperial (*Ardea purpurea*), rascón europeo (*Rallus aquaticus*), andarríos chico (*Actitis hypoleucos*), fumarel común (*Chilidionias niger*), carricero común (*Acrocephalus scirpaeus*), papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*), escribano palustre (*Emberiza schoeniclus*), somormujo lavanco (*Podiceps cristatus*), garcilla cangrejera (*Ardeola ralloides*), polluela pintoja (*Porzana porzana*), polluela chica (*Porzana pusilla*), cigüeñuela (*Himantopus himantopus*), martín pescador (*Alcedo atthis*), torcecuello (*Jynx torquilla*), pico menor (*Dendrocopos minor*), carricerín cejudo (*Acrocephalus paludicola*), pájaro moscón (*Remiz pendulinus*), lúgano (*Carduelis spinus*) y ánade friso (*Anas strepera*)
- **Mastofauna:** visón europeo (*Mustela lutreola*)

Como se puede observar, este pequeño complejo lagunar -debido a su situación clave en la ruta del Paleártico Occidental- juega un papel clave en la migración de muchas especies de aves. Asimismo, no es desdeñable su importancia para otros grupos faunísticos, tal y como se ha comprobado en el listado anterior.

CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA DULCE EN PLAIAUNDI

A continuación se va a realizar una caracterización de las masas de agua dulce existentes en el Parque Ecológico Plaiaundi, al objeto de entender el fenómeno que nos ocupa. Por tanto, esta caracterización va a ser muy parcial, tanto en cuanto, el objetivo no es una exhaustiva descripción de los fenómenos ecológicos y limnológicos existentes, sino el arrojar luz ante el ya sabido problema de las floraciones cianobacterinas



Son varios los agentes que hay que tener en cuenta para poder tener una visión objetiva y para hacer un diagnóstico previo del actual estado ecológico de las masas de agua dulce de Plaiaundi (Marismas de Txingudi). Estos agentes se entrelazan entre sí, de tal manera que se conforma una sistema interrelacionado compuesto por factores inherentes a todo proceso ecológico propio de aguas lénticas y por factores exógenos o de origen antrópico.

En cuanto a los factores exógenos o de origen antrópico cabe destacar:

- El primer factor a tener en cuenta está íntimamente relacionado con los **antiguos usos de los terrenos** que ahora comprenden el vaso lagunar. Hasta 1998, en el caso de la laguna Fase II, dichos terrenos se destinaban mayoritariamente a cultivos y pequeños huertos familiares por parte de particulares.



Vista aérea del Parque Ecológico de Plaiaundi antes de la restauración en 1998

El caso de la Laguna Dulce es diferente en cuanto a que el punto de partida en la restauración se originó a raíz del desmantelamiento de un campo de fútbol de gravilla. En este caso el movimiento de tierras fue mayor, utilizándose muchos de los rellenos extraídos para confeccionar el lecho del vaso, con todo lo que ello puede suponer en cuanto a la calidad del agua resultante del llenado natural de la misma. A este último factor (la naturaleza del lecho) se le atribuye, aunque con ciertas reservas, el elevado pH existente (Ver tabla 1).

- Otro factor importante es la **salinidad** existente en Fase II. La concentración salina es muy elevada (análisis *in situ* realizados por el equipo gestor así lo atestiguan) fruto de la entrada de agua del estuario en períodos de mareas vivas. Esto es debido al sistema de desagüe existente en las instalaciones deportivas anejas a la laguna, el cual impide que la misma esté totalmente aislada de las aguas procedentes del estuario. Esta contingencia tiene su significación, pues algunas especies de cianobacterias toleran niveles de salinidad muy elevados, hecho que no sucede con otros organismos acuáticos, favoreciendo de este modo la dominancia de aquéllas frente a otros grupos taxonómicos. (Ver tabla 1)
- Junto a Fase II se encuentran los terrenos de RENFE destinados a labores de mantenimiento, limpieza, reparación, etc...de unidades funcionales, tranvías y otras maquinarias utilizadas por la empresa. Esta gran superficie se encuentra a muy pocos metros de la laguna, pues sólo está separada por una pequeña carretera de no más de 5 metros de anchura. Se supone que, debido a las actividades generadas en el lugar, los residuos líquidos originados pueden aparecer por lixiviación en el agua, con lo que la composición de la misma puede presentar **trazas de elementos no deseados**.

En cuanto a los factores no derivados de la acción humana cabe destacar:

- Sin lugar a dudas, el **impacto sobre el carrizal *Phragmites australis*** representa el efecto más grave de los causados por la abundancia del coipú (*Myocastor coypus*). Además del impacto producido sobre las comunidades orníticas dependientes del carrizal y el producido sobre el espinoso (*Gasterosteus aculeatus*), es destacable el impacto que se genera sobre la masa de agua. Por una parte, la no existencia de esta especie higrófila incide directamente sobre el exceso de materia orgánica, pues como es sabido, el carrizo actúa como agente depurador, asimilando el exceso de materia orgánica presente en el medio. Por otra parte la desaparición de las comunidades vegetales hidrófilas supone la pérdida de sombra. Este es un elemento clave pues aminora la incidencia de la insolación sobre la laguna, disminuyendo la temperatura del agua, sobre todo en el estío. Temperaturas por encima de 25 Cº, prolongadas en el tiempo, catalizan procesos de eutrofización y anoxia, fatales para muchas especies. (Ver tabla 1)



	Oxígeno disuelto	pH	Temperatura	Salinidad
Fase II	18.5 mg/l	7.87	26.38 °C	1.28 g/l
Laguna Dulce	86.7 mg/l	9.08	27.02 °C	0.14 g/l

Tabla 1: resultados de los parámetros físico-químicos realizados en las lagunas de agua dulce de Plaiaundi.
Analítica realizada el 6 de julio de 2010 (datos cedidos por Ion Garin).

- El **embalsamiento sin aporte continuo** (el aporte líquido es propiciado única y exclusivamente por las precipitaciones), la poca profundidad de los vasos y la casi nula existencia de perturbaciones que generen turbulencias, pueden considerarse factores de riesgo a la hora de proponer un manejo que impida o minimice la existencia de fenómenos relacionados con los *blooms* de algas.



Fase II. Junio de 2010

- La **reducida superficie de cada una de las lagunas**, hace que la aparición de cualquier proceso de índole natural y/o antrópica se vea magnificada en el espacio y en el tiempo. Es sabido que cuanto mayor superficie tenga un sistema lacustre, el grado de amortiguación del mismo ante factores naturales y/o externos es mayor.

Así pues la reducida superficie de las lagunas supone un hándicap a la hora del manejo de las mismas, resultando muy complejo, por tanto, la erradicación de fenómenos como el que se nos presenta.

- Los **aportes nitrogenados** derivados de los excrementos generados por la comunidad de aves existente, no deben ser menospreciados, pues en momentos puntuales - principalmente en periodos estivales- su aporte puede jugar un papel negativo en cuanto a la calidad del agua se refiere. Al respecto cabe señalar que las máximas concentraciones de Focha común (*Fulica atra*) en Fase II desde la creación del Parque Ecológico de Plaiaundi, se han dado precisamente en agosto de 2003 con 210 ex. y en agosto de 2009 con 160 ex. (Ver tabla 2)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Junio	107	119	72	37	34	22	19	40
Julio	120	171	93	30	79	34	56	70
Agosto	142	210	80	31	78	63	120	160

Tabla 2: Máxima presencia de individuos de Focha común (*Fulica atra*) en época estival en Fase II durante el periodo 2002-2009. Destacan el incremento de individuos en agosto, debido a la dispersión postnupcial de la especie.



Focha común *Fulica atra* cebando a su pollada

ECOLOGÍA DE LAS CIANOBACTERIAS

Las cianobacterias presentan un rango de crecimiento inferior al de otras muchas especies de algas, inclusive con aquellas con las que compiten- (Mur *et al.*, 1999; Cood *et al.*, 2005). Esta desventaja es compensada por una alta persistencia de las poblaciones (tanto en la columna de agua como en los sedimentos, en forma de heterocistes) y por un balance energético muy favorable. Muchas cianobacterias poseen vesículas de gas, de tal manera que en función de diferentes estímulos ambientales (luz, temperatura, composición química del medio,...) son capaces de regular su flotabilidad, pudiendo ajustar su posición en la columna de agua. Este mecanismo ecológico les permite colocarse en el nicho más favorable para su supervivencia y crecimiento, siendo este factor clave para presentar dominancia en las masas de agua (Cohen-Bazire *et al.*, 1969; Mur *et al.*, 1999; Graham y Wilcox, 2000; Bonnet y Poulin, 2004; Jaquet *et al.*, 2005).

La baja tasa de crecimiento explicada con anterioridad, también se ve compensada con la posesión de un eficaz sistema fotosintético. Este sistema les permite captar luz en una amplia longitud de onda, por lo que en condiciones de baja luminosidad y en masas de agua donde exista turbidez y/o grandes acúmulos de algas, las cianobacterias son capaces de subsistir sin problema alguno. Esto explica, entre otras cuestiones, la existencia de cianobacterias en ambientes eutrofos con gran cantidad de fitoplancton que disminuye la entrada de luz a niveles inferiores. (Mur *et al.*, 1999 y Poylin, 2004). De todas formas, aunque las cianobacterias presenten una baja tasa de crecimiento si la comparamos con otras algas, no debemos olvidar que su crecimiento sigue el modelo o estrategia “r” (Reynolds *et al.*, 2002) de tal manera que nos encontramos con organismos con una dinámica poblacional exponencial que suele colapsar los sistemas, hasta que desaparecen cuando las condiciones no les son favorables.

Por tanto, la capacidad de flotar que presentan las colonias cianobacterianas les permite mantenerse en nichos óptimos para su crecimiento. Para sacar provecho de la producción fotosintética en condiciones de baja intensidad lumínica es necesario que las masas de agua no presentes turbulencias. La persistencia de las proliferaciones cianobacterianas está directamente relacionada con la existencia de aguas lénticas (Maier *et al.*, 1998; Graham y Wilcox, 2000).





Aspecto de una floración de Microcystis

Puede ocurrir que la proliferación sea de tal calibre que las cianobacterias que no se encuentren en la misma superficie de la lámina de agua, no sean capaces de fotosintetizar de manera eficiente, de tal manera que no puedan sintetizar glúcidos que les sirvan de lastre y, por tanto, pierdan la capacidad de regular la flotabilidad. Cuando se pone de manifiesto este fenómeno, la forma en la que se hace visible es en forma de acúmulos de espuma. Esta espuma producida, entre otros géneros por *Anabaena* y *Microcystis*, (Graham y Wilcox, 2000) es la responsable de mucos de los episodios de intoxicación de aves acuáticas (Falconer *et al.*, 1999).

Muchas de las cianobacterias presentes en el agua dulce, presentan índices de halotolerancia muy elevados (Margalef 1983; Mur *et al.*, 1999). Así pues, en momentos de estiaje cuando el volumen de agua descende en los sistemas de agua dulce, la salinidad de los mismo se incrementa, favoreciendo esta característica a las cianobacterias frente a otros organismos competidores que no presentan una tolerancia a la salinidad tan elevada (Domingues *et al.*, 2005). Además en época de estiaje la temperatura del agua se eleva. Se ha comprobado que la presencia de cianobacterias mantiene una correlación positiva con la

temperatura del agua, consiguiendo el rango de dominancia a aproximadamente 24° C en todas las proporciones de N:P < 20 µM/L. Ello explica que en estas condiciones, las cianobacterias presenten una tasa de crecimiento superior a la de sus competidores (diatomeas y clorofíceas) y, por tanto, la proliferación y los *blooms* de cianobacterias se presenten durante los meses de verano (Domingues *et al.*, 2005)..

La sucesión de algas en las masas de de agua dulce estuarinas situadas en la zona templada del planeta se inicia, por lo general, con una proliferación primaveral de diatomeas, seguida por un incremento conspicuo de la masa de clorofíceas, la cual es seguida en algunas ocasiones por una proliferación de zooplancton, finalizando el fenómeno sucesional con una importante proliferación de cianobacterias que puede lugar a los llamados *blooms*, en función del tamaño de la misma. La explicación a este tipo de sucesión ecológica se basa en los nutrientes que van quedando disponibles. Así, la concentración y proliferación de diatomeas en primavera está directamente relacionada con la abundancia de sílice (Roelke *et al.*, 2004). Cuando la concentración de sílice disminuye, pero la proporción de N:P se mantiene alta (N:P > 20 µM/L), las clorofíceas se ven favorecidas, pues compiten mejor que las cianobacterias por el fósforo (Somer., 1989) Pero en el momento en que esta proporción disminuye (suele ser en verano) hasta niveles cercanos a N:P > 15 µM/L, las cianobacterias sustituyen a las clorofíceas debido a la capacidad de aquéllas de fijar nitrógeno atmosférico (Domingues *et al.*, 2005).

Como puede observarse a lo largo de esta descripción, las cianobacterias pueden desarrollar sin ningún problema su ciclo vital en aguas con alto contenido en fósforo y nitrógeno, es decir, en aguas eutróficas. Como sabemos la eutrofización puede tener su origen bien en aportes antrópicos en forma de vertido, fertilizantes, desechos orgánicos,... o bien puede deberse a un proceso natural. Al respecto señalar que en algunos sistemas acuáticos con importantes poblaciones de aves, no debe despreciarse el aporte de nutrientes que se transfiere a través de los excrementos. Se ha comprobado que las heces de las aves tienen una proporción baja de N:P, lo cual favorece la aparición de cianobacterias (Mitchell y Wass, 1995).

Si a toda esta batería de estrategias que presentan las cianobacterias para competir y hacerse dominantes en los sistemas lacustres de la zona templada del planeta, le añadimos que apenas sufren bajas por pastoreo de invertebrados -las cianobacterias son atacadas por



virus y bacterias principalmente- (Mur *et al.*, 1999; Engström-Öst, 2002) y que presentan una sorprendente plasticidad en cuanto a su dotación genética -esta variabilidad genética le permite asentarse en diferentes ambientes- (Costas *et al.*, 2001; López Rodas *et al.*, 2001; Baos *et al.*, 2002; García-Villada *et al.*, 2002; García-Villada *et al.*, 2004; Altamirano *et al.*, 2004; Flores-Moya *et al.*, 2005), podemos llegar a la conclusión de que nos encontramos ante unos organismos con una altísima capacidad de adaptación, hecho que les permite vivir, convivir y dominar en ambientes tanto estables, como sujetos a estrés ambiental.

Por tanto, a la vista queda que **el estudio y control de los afloramientos cianobacterianos es de gran importancia para la conservación de las masas de agua dulce**, especialmente si se trata de Espacios Naturales Protegidos con especies con problemas de conservación.

SITUACIÓN ACTUAL DE LAS MASAS DE AGUA DULCE

A continuación se presentan los resultados de los dos últimos muestreos realizados por el laboratorio de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, bajo la dirección de Eduardo Costas.



Recogida de muestras para posterior envío al laboratorio

Muestreo Marismas de Txingudi	28-07-2010												
Se recibieron dos muestras de agua rotuladas como muestra 1 y 2 (botellas), una vez homogeneizadas se transfirieron 20 ml de cada muestra a Greiner, el sobrante se guardó en nevera. El mismo envío contenía una muestra de hígado procedente de <i>Anas platyrhynchos</i> muerto, sólo uno.													
Procedimiento													
1.- Observación macroscópica: Muestra 1: Muestra de agua limpia y cristalina ausencia de materia en suspensión. Muestra 2: Muestra de coloración parda, ausencia de materia en suspensión. Hígado: apariencia normal, no se observa hemorragias, lesiones ni autólisis. 2.- Observación al microscopio y recuento de cianobacterias tóxicas en cámara Uriglass. En ambas muestras se observa la presencia de diatomeas, clorofitas, zooplancton vivo y materia orgánica en suspensión compatible con restos de <i>Microcystis</i>. 3.- Determinación micyst LR (Kit ZEU-Inmunotech): Se procesaron ambas muestras de agua y la muestra de hígado													
Resultados													
<u>Resultados recuento cianobacterias tóxicas en cámara Uriglass</u>													
	<table><tr><th></th><th>Muestra 1</th><th>Muestra 2</th></tr><tr><td><i>Microcystis aeruginosa</i></td><td>< 4000 cls/ml</td><td><12.000 cls/ml</td></tr><tr><td><i>Anabaena circinalis</i></td><td>-</td><td>55.000 cel/ml</td></tr><tr><td><i>Pseudoanabaena</i></td><td>-</td><td>8.000 cel/ml</td></tr></table>		Muestra 1	Muestra 2	<i>Microcystis aeruginosa</i>	< 4000 cls/ml	<12.000 cls/ml	<i>Anabaena circinalis</i>	-	55.000 cel/ml	<i>Pseudoanabaena</i>	-	8.000 cel/ml
	Muestra 1	Muestra 2											
<i>Microcystis aeruginosa</i>	< 4000 cls/ml	<12.000 cls/ml											
<i>Anabaena circinalis</i>	-	55.000 cel/ml											
<i>Pseudoanabaena</i>	-	8.000 cel/ml											
<u>Resultados Kit ZEU-Inmunotech</u>													
	<table><tr><th></th><th>Muestra 1</th><th>Muestra 2</th><th>Hígado</th></tr><tr><td>micyst LR</td><td>0,565 µg/l</td><td>0,25 µg/l</td><td>< 0,1 ppb</td></tr></table>		Muestra 1	Muestra 2	Hígado	micyst LR	0,565 µg/l	0,25 µg/l	< 0,1 ppb				
	Muestra 1	Muestra 2	Hígado										
micyst LR	0,565 µg/l	0,25 µg/l	< 0,1 ppb										
Recomendando el seguimiento de la zona donde se recogió la muestra 2, debido a la elevada presencia de <i>A. circinalis</i>. Quedamos a la espera de un nuevo muestreo a mediados de Agosto. No se emite informe.													





*Extracción del hígado a un Anáde Azulón (*Anas platyrhynchos*) encontrado muerto en Fase II el 25 de julio de 2010*



*Imagen al microscopio de colonias de *Microcystis aeruginosa**

Muestreo Marismas Txingudi		13-08-2010
Se recibieron dos muestras de agua rotuladas como muestra 1 y 2 (botellas), una vez homogeneizadas se transfirieron 20 ml de cada muestra a Greiner, el sobrante se guardó en nevera.		
Procedimiento		
1.- A la observación macroscópica: Muestra 1: Muestra de agua limpia y cristalina ausencia de materia en suspensión. Muestra 2: Muestra de coloración parda, ausencia de materia en suspensión. 2.-Se procedió a la observación al microscopio y recuento de cianobacterias tóxicas en cámara Uriglass. En ambas muestras se observa la presencia de diatomeas, clorofitas y zooplancton vivo y materia en suspensión compatible con restos de microcystis.		
Resultados		
<u>Resultados recuento cianobacterias tóxicas en cámara Uriglass</u>		
	Muestra 1	Muestra 2
<i>Microcystis aeruginosa</i>	< 2000 cls/ml	< 4000 cls/ml
A diferencia del muestreo anterior no se observó la presencia de <i>A. circinalis</i>. Negativo en la determinación de micyst LR. Posibilidad de otro muestreo en septiembre (a mediados de mes).		



3. MEDIDAS DE GESTIÓN PROPUESTAS

A continuación se exponen una **serie de opciones destinadas a minimizar y/o solucionar el problema derivado de la existencia de blooms cianobacterianos**. Vaya por delante que desde la oficina técnica de gestión de las Marismas de Txingudi apostamos por la **implementación de una Red de Alerta Temprana** como método para cuantificar la concentración de cianobacterias y calibrar su virulencia, acompañada de un sistema de manejo del medio consistente en un control del vaciado del vaso lagunar.

Entendemos que otra de las medidas de actuación propuestas más adelante como es el **decapado de la capa superficial** de las masas de agua dulce es una medida de mejora ambiental que traería consigo mejoras evidentes en la calidad de del sistema; pero aun siendo una acción oportuna, tanto a corto como a largo plazo, creemos que no es imprescindible.

En la actualidad otra de las opciones que se manejan para evitar intoxicaciones algales es la **instalación de biofiltros** que impidan el establecimiento y posterior desarrollo de grandes concentraciones de cianobacterias. Las experiencias al respecto son positivas, sobre todo en aquellos lugares en las que el agua embalsada se destina al consumo humano. Nosotros no apostaríamos por la instalación de filtros ya que entendemos que la evolución en el tiempo de un sistema natural nunca debe subordinarse a la implementación de mediadas artificiales. El mantenimiento de cualquier sistema ecológico debe regirse por leyes naturales, si bien es cierto que el estrés de origen antrópico al cual están sometidos los humedales, exigen cierto tipo de manejo activo de los mismos.

Además no debemos perder la perspectiva de que la laguna denominada Fase II, es una zona en la que no ha existido proyecto de ejecución debido a que en el momento en el que se estaba creando el Parque Ecológico de Plaiaundi (finales de la década de los noventa), el compromiso de retirada de las instalaciones deportivas iba a ser inminente. Como es conocido, la retirada aún está pendiente de ejecución y, por tanto, Fase II es una actuación precaria e inacabada, con un manejo complejo (su comportamiento ecológico así lo



indica). Entendemos que el momento de la retirada de las instalaciones deportivas debe ser utilizado obligatoriamente para realizar un diseño ambiental que tenga en consideración la problemática que en este informe se expone.

3.1. IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ALERTA TEMPRANA

El objetivo de la estancia por parte de uno de los técnicos de las Marismas de Txingudi en el laboratorio de Genética de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, ha sido recibir la capacitación necesaria para poder implementar el modelo de *Red de Alerta Temprana* utilizado en el Parque Nacional de Doñana, adecuando el mismo a las características propias de las Marismas de Txingudi. La referencia al Parque Nacional de Doñana es debido, por una parte a que la probabilidad de aparición de una mortandad masiva debido a *blooms* de cianobacterias es de 0.4545 (45.45 % anual) (Lanzarot, M^a P. 2007) y por otra, a que dicho modelo de *Red de Alerta Temprana* fue creado y desarrollado por Eduardo Costas. Este investigador ha sido el responsable del seguimiento y de las estrategias de gestión implementadas al respecto en el Parque Nacional de Doñana, desde la detección del problema.

Este sistema ha resultado ser una herramienta imprescindible para poder predecir los *blooms* y por tanto, para poder gestionar de manera eficaz el problema. La puesta en marcha de este protocolo de *Red de Alerta Temprana* para la detección de proliferaciones de cianobacterias tóxicas, adecuado a las características propias de las Marismas de Txingudi, es el que se describe a continuación:

▪ Selección de la época y de los lugares de muestreo rutinario

El protocolo rutinario de actuación ante la aparición de cianobacterias tóxicas en un ENP, dadas las dimensiones de las Marismas de Txingudi, se antoja muy sencillo. En el espacio que nos ocupa, la aparición de cianobacterias se hace fácilmente visible, sobre todo desde las orillas. Por tanto la localización y elección de los puntos de muestreo no presenta ninguna complicación. Sí es importante prestar máxima atención a las épocas del año más proclives para los desarrollos de proliferaciones de cianobacterias, teniendo en cuenta que se las considera dominantes a 24 ° C en todas las proporciones de N:P < 24 µM/L. Considerando este factor, el trabajo de inspección



y muestreo rutinario en el entorno de las Marismas de Txingudi se ha de llevar a cabo en las primavera y verano.

▪ Inspección ocular

En los lugares de muestro seleccionados se ha de realizar una inspección ocular que permita evaluar la aparición de *blooms* en los meses de primavera y verano. Al respecto hay que tener en cuenta que las floraciones pueden aparecer bien en forma de densa espuma en la superficie de la proliferación, bien como acumulaciones de granos de arena verdes flotantes, o bien a como una intensa pintura azul-verdosa cercana a la superficie (Lanzarot, M^a P. 2007). En las lagunas de la Marisma de Txingudi las formas más comunes de aparición son la primera y la tercera.

▪ Toma de muestras

En el caso de proliferación de cianobacterias se debe proceder a la toma de muestras, recogiendo la cantidad suficiente de agua para no presentar problemas posteriores en cuanto a la identificación microscópica de las cianobacterias en vivo, así como para el ulterior recuento de las colonias. Es necesario anotar la fecha y el lugar de muestro. Si el proceso de identificación, recuento de colonias, estimación de toxicidad y determinación de la toxina se realizase en las Marismas de Txingudi, la toma de muestras se revela como un proceso extremadamente sencillo. Si por el contrario, la analítica se realizase fuera de las instalaciones de Plaiaundi, el proceso se complicaría pues habría que tomar una serie de medidas estándar con el fin de que las muestras llegasen a destino en condiciones óptimas.

▪ Identificación y recuento

En el laboratorio, en primer lugar se debe realizar una observación microscópica de las muestras de la floración con el objetivo de identificar taxonómicamente la/s especie/s responsables de dicha floración, para después poder confirmar la ecotoxicidad de las mismas. En el caso de que las cianobacterias sean productoras de toxina pero no se encuentren en abundancia, no se producirá la suficiente toxina para producir un problema. Así pues se hace necesaria una medición cuantitativa de la abundancia mediante el recuento de las colonias existentes.



■ Estimaciones de toxicidad

Cuando se está produciendo una floración de cianobacterias con una abundancia estimada de 1-400 colonias/mL la frecuencia de muestreos ha de aumentarse y realizarse semanalmente para poder prevenir un episodio de toxicidad derivado por la ya comentada sucesión planctónica. Pero cuando la abundancia de cianobacterias es superior a 400 colonias/mL la frecuencia de muestreos ha de ser diaria, pues la probabilidad de que surja un episodio de mortandad es muy elevada (Lanzarot, M^a P. 2007). En este punto se hace necesario conocer la tasa de crecimiento de las cianobacterias, ya que es clave conocer la medida de división celular pues es esta tasa la que nos marcará el ritmo de actuación. El protocolo indica que la toxicidad debe confirmarse mediante un bioensayo en ratón al objeto de saber si hay suficiente toxina como para provocar un evento tóxico en fauna salvaje. Debido a la alta probabilidad de que la floración sea tóxica (entre el 50 % - 75% de las floraciones de cianobacterias se consideran tóxicas) se considera, en este caso, oportuno prescindir del bioensayo con ratones para confirmar si hay suficiente toxina como para provocar un evento tóxico. Con la no realización del bioensayo se da por hecho que cualquier proliferación es tóxica.

■ Determinación de la toxina presente en la proliferación

Para conocer con exactitud la toxina existente en la floración es necesario utilizar una serie de técnicas analíticas específicas como son los enzimoimmunoanálisis, las cuales permiten determinar la toxina en cuestión y su concentración.

Para poder poner en marcha la *Red de Alerta Temprana* arriba descrita de manera autónoma es necesario **disponer con un pequeño instrumental** consistente en un microscopio óptico, un espectrofotómetro, una micropipeta y diverso material fungible. El costo de este instrumental no sería elevado y desde el equipo de gestión de las Marismas de Txingudi nos comprometemos a presupuestarlo si la Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental lo considera oportuno. El hecho de tener que contar con la ayuda de un laboratorio externo, retrasa el conocimiento de los resultados, los cuales han de conocerse prácticamente en tiempo real para poder llevar a cabo de manera satisfactoria la implementación de la *Red de Alerta Temprana*.



3.2. CONTROL DEL VACIADO

Una de las medidas de gestión propuestas una vez sabida la existencia de cianobacterias en los vasos de agua es el manejo y control de los niveles de agua de las lagunas afectadas. Este manejo puede darse a dos niveles.

1º.- VACIADO PARCIAL DE LA LAGUNA:

El objetivo de esta pauta de manejo sería disminuir la concentración de toxina en agua. Se consigue mediante la renovación del agua contaminada por agua procedente de las precipitaciones existentes. El vaciado se llevaría a cabo mediante la introducción en profundidad del tubo flexible acodado situado en Fase II y que permite un vaciado de la laguna. En este caso se exige un manejo activo del vaciado al objeto de evitar la entrada de agua salada por el tubo flexible acodado arriba citado, procedente del sistema de desagüe existente en las instalaciones deportivas anejas a las lagunas. La entrada de agua salada sería un factor adverso para especies las reproductoras y/o residentes (recordar que algunas de ellas se encuentran en el Catálogo Vasco de Especies Amenazadas).

Además, considerando que la época del año propicia para la proliferación de cianobacterias son los meses de verano, hay que tener en cuenta que el vaciado debe ir seguido por un aporte de agua externo para que las lagunas puedan seguir funcionando como sistema ecológico. A día de hoy el único aporte externo de agua es el que las precipitaciones aportan, por tanto debe tenerse en consideración este factor pues vaciados continuos sin aportes externos derivarían en un aumento considerable de la concentración de toxinas en las lagunas, con el grave peligro que ello conllevaría.

2º.- VACIADO TOTAL DE LA LAGUNA:

El objetivo de este manejo sería el vaciado total de la laguna. Se debería dar en casos de extrema gravedad (Por ejemplo como en el episodio de mortandad acaecido en verano de 2003). En este caso la disminución de la concentración de toxinas sería muy importante (no sería una disminución total debido a que el lecho lagunar es irregular, por lo que quedarían pequeños reservorios de agua contaminada) y evitaría en gran medida una mortandad en masa. Para llevar a cabo el objetivo de vaciado se debe controlar perfectamente los rangos de oscilación mareal para poder optimizar el vaciado. Así coeficientes elevados impedirían una rápida actuación, mientras que valores bajos



acelerarían el proceso. Armonizando los coeficientes, se estima que en menos de una semana se puede dar el vaciado del vaso.

Los inconvenientes en cuanto a la utilización de este sistema son evidentes. Por una parte las especies acuáticas que se encuentren en faenas reproductivas se verían tremendamente afectadas, pues no existiría una alternativa en cuanto a cambio de residencia. Por otra parte, los procesos ecológicos que el sistema lagunar sustenta se verían subordinados a precipitaciones venideras.

3.3. DECAPADO LAGUNAR

Una medida como es el decapado podría ser oportuna no solamente por la existencia de cianobacterias en los sedimentos, sino por motivos de saneamiento a todos los niveles del sistema lagunar. Esto es así ya que la carga de nutrientes - tanto de origen exógeno, como endógeno -ha dado lugar a un proceso de eutrofización en las lagunas dulces de las Marismas de Txingudi. Dicho proceso trae como consecuencia el depósito continuado de materia orgánica en descomposición sobre el sustrato superficial del vaso lagunar. La potencia de estos horizontes orgánicos impide el asentamiento de comunidades de vegetación acuática típicas de estos ecosistemas lagunares, las cuales son imprescindibles para el correcto funcionamiento ecológico del sistema (fijan el sustrato reduciendo la turbidez, oxigenan y sirven de refugio y alimento a las comunidades de invertebrados y vertebrados que habitan la laguna). Su rarefacción supone una merma considerable en la calidad del ecosistema. Además, el acúmulo de residuos de construcción existente debido a la no retirada de los mismos durante la ejecución de la obra, potencia más si cabe la justificación de esta medida.

A todo ello hay que añadir la existencia de acinetos en el sedimento lagunar (comunicación personal en base a la analítica de fango realizado en el laboratorio de Genética de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid). Los acinetos se definen como células vegetativas especializadas presentes únicamente en cianobacterias con capacidad para producir heterocistes. Estos tienen un papel relevante como formas de resistencia en condiciones ambientales no favorables. En estas condiciones desfavorables aumentan de tamaño, acumulan sustancias de reserva y pierden, por tanto, la capacidad de flotación, lo que les permite hundirse en invierno para pasar el invierno y germinar cuando las condiciones ambientales son adecuadas. Las causas que explican el desarrollo de los acinetos todavía dan lugar a cierta controversia. Entre las mismas destacan



la deficiencia de fosfato, la baja temperatura, la limitación de carbono y la reducción en la disponibilidad de energía lumínica (lee, 1999; Graham y Wilcox, 2000; Sitte *et al.*, 2004).

La existencia de acinetos en el sedimento supone un serio problema pues siempre va a existir un peligro potencial para el desarrollo de *blooms*. La mayor o menor cantidad de los mismos, unido al desarrollo de los factores que inciden en la estrategia de dominancia de las cianobacterias, hacen de las lagunas dulces un espacio propicio para el desarrollo de *blooms* cuando la situación sea favorable. Como actuación se propone la retirada por medios mecánicos de la capa superficial de la laguna llamada Fase II, así como los residuos sólidos existentes. Al respecto es necesario señalar que desde el equipo de gestión de las Marismas de Txingudi se ha contactado ya con un especialista en la materia para que pueda realizar un análisis del sedimento al objeto de determinar la potencia del mismo y de conocer una estima en cuanto a la concentración de toxina proveniente de la lisis de las cianobacterias.

Este proceso de decapado lagunar traerá como resultado no sólo la disminución y/o desaparición de las cianobacterias en el sedimento, sino que se obtendrá un aumento de la superficie ocupada por las comunidades de macrófitas, con los efectos beneficiosos que ello conllevará para el equilibrio ecológico del humedal. Esta medida se trata de una actuación con indudable valor ambiental y cuyos resultados están contrastados, tanto en el ámbito de Txingudi, como en otros humedales. Se trata de una actuación sin grandes dificultades técnicas (el actual equipo de gestión posee experiencia previa en este tipo de actuaciones, pues en las obras de restauración del humedal 1998, 2001, 2003 y 2004 se acometieron actuaciones de este calibre) en la que el posible traslado de las instalaciones deportivas podría actuar como catalizador de dicha medida.

3.4. INSTALACIÓN DE FILTROS BIOLÓGICOS

A día de hoy ya hay experiencias positivas en cuanto a la atenuación de los efectos producidos por la existencia de cianobacterias tóxicas en sistemas lagunares de Espacios Naturales Protegidos, mediante la colocación de filtros *ad hoc* (Eduardo Costas, *com. pers.*). La decisión de implementar esta medida de biosorción requiere un profundo conocimiento del medio y de la situación existente. El equipo de gestión se compromete, siempre que la Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental lo considera oportuno, a conseguir toda la información pertinente en este sentido para implementar este tipo de medida.



4. BIBLIOGRAFÍA

- **Collin R. Townsend, John L. Harper, Michael Begon.** 1999. *Ecología*. Editorial Omega.
- **Costas, Eduardo y López-Rodas, Victoria.** *Cianobacterias tóxicas y mortandades masivas en el parque nacional de Doñana: red de alerta temprana y estrategias de gestión. Proyectos de investigación parques nacionales: 2003-2006* 67. Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Avda. Puerta de Hierro s/n. Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.
- **Chorus, Ingrid.** *Riesgos a la salud causados por cianobacterias y algas de agua dulce en aguas recreacionales*. Instituto para la Higiene del Agua, Aire y Suelo Agencia Federal Ambiental Corrensplatz, 1. D14195, Berlin Alemania.
- **De León, L.** (2002) *Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias*. En: Perfil Ambiental del Uruguay 2002, Domínguez, A. y R. G. Prieto (eds.), Nordan-Comunidad, Montevideo, p.28-37.
- **Etxaniz Aguinagalde, M.** 2010. *Seguimiento de la comunidad de aves de Plaiaundi y Jaitzubia (Txingudi). Informe anual 2009*. Informe inédito. KAIZEN S.L. Departamento Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca. Gobierno Vasco.
- **García Murillo, P.** *Identificación de las especies ibéricas y baleáricas del género Potamogeton en estado vegetativo*. Dpto. de Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Farmacia, Universidad de Sevilla. ci Tramontana, sin., 41080 Sevilla. España.
- **Hugert Ziegler, Peter Sitte, Eduard Strasburger.** 2004. *Tratado de Botánica*. Editorial Omega
- **Lanzarot Freudenthal, Mª del Pilar.** (2007) *Cinobacterias tóxicas y mortandades en masa de fauna salvaje en las Marismas de Doñana*. Departamento de Producción Animal, Genética, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Puerta de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain. ISBN: 978-84-669-3042-0.



- **Luengo, A. & Etxaniz M.** *Informe impacto ambiental coipú (Myocastor coypus) en el Parque Ecológico de Plaiaundi.* (2001). Informe Inédito. Departamento de Medio ambiente y Ordenación del Territorio. Gobierno Vasco.
- **Luengo, A. & Etxaniz M.** *Informe sobre el control del coipú (Myocastor coypus) en las Marismas de Txingudi* (2009). Informe Inédito. Departamento de Medio ambiente y Ordenación del Territorio. Gobierno Vasco.
- **Margalef, R.** 1998. *Ecología.* Editorial Omega.
- **Mateos-Sanz, María Aránzazu; Carrera, Daniel; López-Rodas Victoria & Costas Eduardo.** *Toxic cyanobacteria and wildlife conservation: proposal of a procedure to demonstrate waterbird mass mortalities by microcystin.* Departamento de Producción Animal, Genética, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid, Avda. Puerta de Hierro s/n, 28040 Madrid, Spain.
- **Painter, P. R.; Wheelis, Mark L.; Ingraham, John L.; Stanier, Roger Y.** 2005. *Microbiología.* Editorial Reverte.
- **Pizzolon, Lino.** (1996). *Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales.* **En:** Interciencia 21(6): 239-245.



5. AGRADECIMIENTOS

A Victoria López-Rodas, Arancha Mateos y Eduardo Costas, del laboratorio de Genética de microalgas de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid. Su labor docente y la atención que me prestaron durante la estancia de tres días en su laboratorio fueron simplemente inmejorables.

Mil gracias también por la revisión de este informe, así como por la realización de las diferentes analíticas a lo largo del presente año.

Quiero destacar especialmente al profesor Eduardo Costas por el compromiso personal que ha mostrado por la conservación de las Marismas de Txingudi. Es todo un ejemplo para las generaciones presentes y venideras.

Igualmente no quisiera dejar escapar la ocasión de agradecer al profesor Fernando Hiraldo -Director de la Estación Biológica de Doñana-. De forma amable y eficaz, él nos puso en contacto con Eduardo Costas.

A todos y cada uno de los compañeros de trabajo por todas las aportaciones realizadas tras unas cuantas horas de reflexiones y discusiones al respecto.

