

CIANOBACTERIAS, LA AMENAZA SILENCIOSA.

PREVENCIÓN Y CONTROL DE BROTES

1. Establecimiento de un sistema de información y vigilancia continuada

1.1. INVENTARIO Y CATALOGACIÓN DE HUMEDALES

Con el objetivo de prevenir el impacto de un bloom de cianobacterias tóxicas para la avifauna, resulta recomendable recoger la siguiente información de los humedales que nos ayuden en la gestión:

- Antecedentes de brotes de cianobacterias, fechas e impacto de mortalidad y de mortandades posiblemente asignadas a esta u otras causas.
- Definición exhaustiva de los condicionantes ambientales y de gestión del humedal que pudieron desencadenar episodios previos de mortalidad de avifauna.
- Posibles proliferaciones masivas bacterianas, algales o de otros microorganismos con efectos reducidos sobre mortalidad de avifauna o sin mortalidad.
- Caracterización de las aguas del humedal: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico o hipereutrófico.
- Humedales que reciben efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales o entorno humanizado con aporte de productos químicos de síntesis.
- Tipo de producción agrícola del entorno y posible pastoreo de ganado.
- Fluctuación de los niveles de la lámina de agua.
- Presencia esporádica o permanente de especies amenazadas.
- Sistemas preexistentes de control (censos, análisis, mediciones de rutina, ...) y capacidad de gestión de las masas de agua: se puede desecar y/o hay recursos hídricos para poder introducir agua y favorecer su oxigenación.

1.2. RECOGIDA CONTINUADA DE INFORMACIÓN: PROTOCOLOS



PV - PROTOCOLO DE VIGILANCIA

Personal especializado realiza revisión visual del humedal, al menos en tres ubicaciones, cubriendo la máxima superficie posible de agua libre, sobre todo la menos expuesta al viento:

- Presencia / ausencia de turbidez y de proliferaciones de cianobacterias evidentes.
- Registro de temperatura ambiente, viento y humedad.
- Presencia y censo de especies en catálogo de amenaza.
- Incidencias (vertidos, mortandad, pastoreo, etc.).



PM - PROTOCOLO DE MORTANDEDES/ENFERMOS

Personal especializado y/o personal eventual e incluso voluntarios, recogen cadáveres para su traslado a CRAS y/o su eliminación como residuos peligrosos (SANDACH 1). Salvo especies incluidas en el catálogo de amenaza, que se vehiculan para su manipulación según los protocolos vigentes, orientados a recoger el máximo de información posible y toma de muestras.

Imprescindible uso de EPIS, dada la toxicidad sobre piel y mucosas de muchas cianotoxinas por contacto directo o inhalación. Sobre cada individuo se deben hacer las siguientes determinaciones:

- Detección de marcas individuales, si existen, para registro de código. Tipo y numeración.
- Detección de dispositivos de seguimiento telemétrico, si hubiera, para su retirada y envío a los equipos responsables del programa de seguimiento.
- Identificación de especie, sexo y edad, si es posible.
- Estado corporal para determinar la intensidad de intoxicación y el período de inicio de afectación tóxica.
- Toma de muestras si lo permite el estado de descomposición, gástricas, hepáticas y encefálicas.



PMa - PROTOCOLO DE MUESTREO DE AGUA

Personal al efecto toma muestras de agua según el protocolo propuesto por el laboratorio, muestras duplicadas en al menos dos localizaciones por humedal, preferentemente en el interior. Sobre las muestras se hace una determinación directa de turbidez a contrastar con la observación de transparencia directa del vaso lagunar.

Se propone realizar en humedales diana determinaciones directas con analizadores portátiles o se instalan sistemas de medición continua, para reducir el tiempo de espera, normalizar resultados y ser eficiente en el gasto, pues la analítica laboratorial es costosa económica y laboralmente. Se precisan al menos las siguientes variables en estos casos de muestreo automático:

- Temperatura del agua.
- Tasa de clorofila a y de pigmentos diferenciales para cianobacterias.
- Turbidez (implementado en el análisis de clorofila para corrección de ésta).
- pH.
- Conductividad.
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Siendo además necesarias las determinaciones en laboratorio más precisas de:

- Clorofila a (700 nm) y otros pigmentos y clorofilas (420 a 700 -750 nm).
- Determinación de especies / cepas de cianobacterias.
- Densidad celular de cianobacterias y sobre todo biovolumen total.
- Análisis de cianotoxinas (microcystinas, anatoxinas, saxitoxinas y otras).
- Nivel de fosfatos y Fósforo total.
- Amonio, nitratos, nitritos y Nitrógeno total.

1.3. PUESTA EN COMÚN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El objetivo final sería establecer una red tan amplia como sea posible aunando los esfuerzos de diferentes administraciones tanto en el ámbito territorial como en el operacional.



© Concha Raya

2. Establecimiento de un sistema de niveles de alerta

Implantación de niveles de vigilancia y alerta frente a la aparición de brotes de cianobacterias y su **impacto sobre el ecosistema** acuático, así como sobre las posibles **intoxicaciones** por cianotoxinas, con el fin de:

- Aumentar el **conocimiento** de las condiciones ambientales, físico-químicas y biológicas del agua, y de la comunidad biológica del humedal y su relación con el desencadenamiento de la proliferación de las cianobacterias y sus toxinas
- La puesta en marcha de las **medidas administrativas** necesarias para hacer frente a las exigencias de cada uno de los estados de alerta
- La **detección temprana** de la proliferación masiva de cianobacterias y la probable intoxicación consecuente en vertebrados o invertebrados del humedal, que **activarían los protocolos** preventivos más exigentes orientados a evitar el crecimiento de cianobacterias y reducir la mortandad
- Aumentar el conocimiento sobre las **explosiones** masivas de cianobacterias, los elementos estimulantes de **producción de toxinas** y la mejora progresiva de los protocolos de prevención y control
- Las acciones especiales sobre las **especies amenazadas**
- La adopción de forma progresiva de **límites específicos locales** cuantificados en cada caso para adoptar el nivel de alerta, al objeto de realizar una gestión posibilista y eficaz

ESTADO BÁSICO

- Histórico de floraciones

ESCENARIO I: *

Al menos dos de estas condiciones:

- Presencia de especies amenazadas
- Transparencia media < 1 m.
- Fósforo Total > 50 µgr/L
- pH > 8

ESCENARIO II: Matriz de decisiones para prevención de brotes **

(+ 2 diferentes = cambio de nivel)

- Presencia especies amenazadas
- Clorofila a de 1 a 10 µgr/L
- Profundidad < 40 cm
- FTU (turbidez) > 5
- Cianotoxinas de 1 a 10 µgr/L
- Biovolumen cianobacterias tóxicas > 2 mm³/L
- Relación N/P < 16
- Fosfato (PO₄³⁻) > 10 µgr/L

ESCENARIO III: DECLARACIÓN DIRECTA

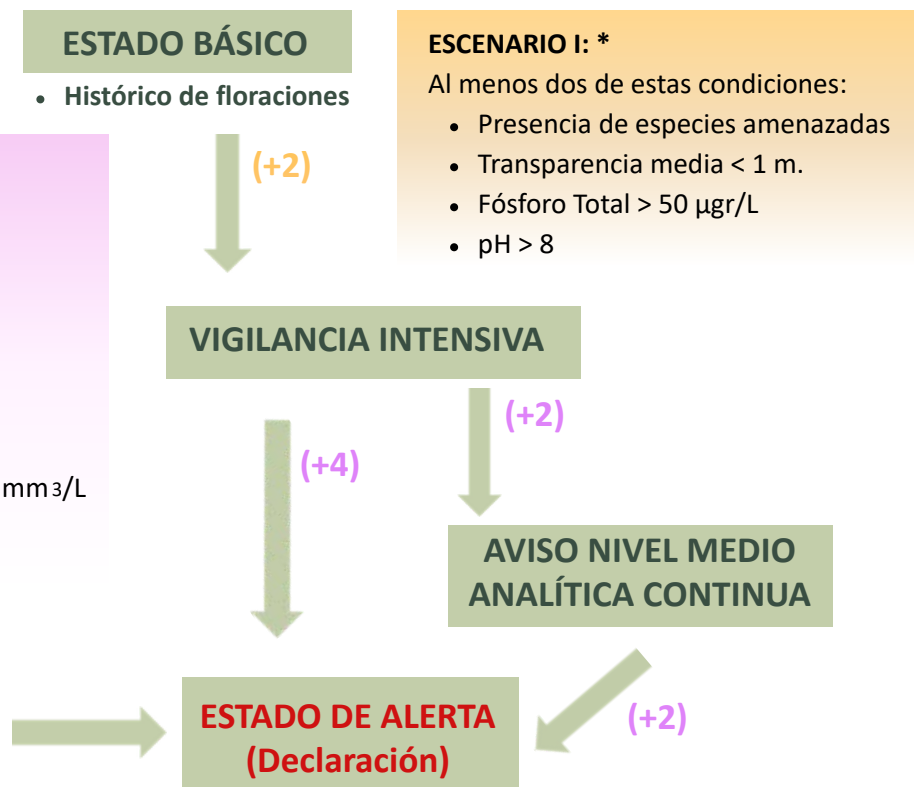
(al menos uno de estos hechos):

- Floración evidente
- Biovolumen > 5 mm³/L
- Cianotoxina > 10 µgr/L
- Clorofila a > 10 µgr/L

VIGILANCIA INTENSIVA

AVISO NIVEL MEDIO ANALÍTICA CONTINUA

ESTADO DE ALERTA (Declaración)



* La aparición de dos de estas condiciones, junto con el histórico de floraciones del humedal, supondrá el paso desde el nivel de Estado básico al de Vigilancia intensiva.

** La aparición de dos de estas condiciones justifica el paso al siguiente nivel de gravedad, la aparición de cuatro llevaría a la declaración directa del ESTADO DE ALERTA.

3. Información para alertas

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

- Localizaciones preferentes: los lugares donde el histórico documentado, o las sospechas fundamentadas de su incidencia, hacen más probable la aparición de los problemas.
- Períodos del año: las explosiones masivas de cianobacterias son resultado de un crecimiento biológico acelerado por factores abióticos de sencilla determinación. Se proponen dos etapas a variar según la latitud: de **noviembre a marzo la vigilancia básica** y de **abril a octubre la incrementada**.

3.2. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS

1. Histórico de mortandades por cianotoxinas. Fecha de inicio:

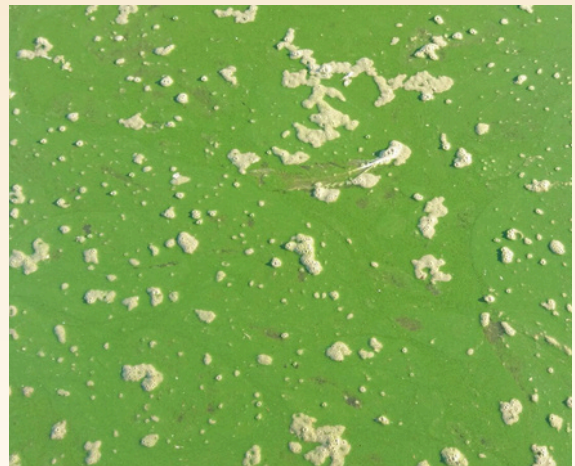
Para mantener esos humedales en vigilancia intensiva, al menos durante el periodo de potencial de eclosión cianobacteriana.

2. Evidencia de floraciones:

Inspección ocular **SEMANTAL**, preferentemente en ausencia de viento y en las primeras horas del día, en localizaciones preferentes, atendiendo a la presencia de floraciones de cianobacterias superficiales o metalimnéticas:

- densas espumas en la superficie de algas verdeazuladas (acumulativas).
- acumulaciones de granos de arena verde flotantes (acumulativas).
- intensa pintura verdeazulada cercana a la superficie (acumulativas-dispersivas).
- cambio de color del agua en ausencia de condicionantes externos (dispersivas).

Aspecto determinante paso a nivel de **ALERTA MÁXIMA**.



© Junta de Andalucía

3. Turbidez y su evolución:

Medidas en la columna de agua para observación directa estandarizada a través del disco de Secchi. Toma de muestras para observación directa en un tubo de turbidez con el mismo patrón del disco de Secchi o de un turbidímetro calibrado.

Se adopta un estándar de **5 unidades FTU** como valor máximo del humedal, por encima del cual sería considerado un valor aditivo para el cambio de **NIVEL DE ALERTA**.

4. Determinación de clorofila a:

Medida indirecta, generalizada y eficaz por automatizable. La clorofila a está compartida por las cianobacterias con otros organismos fotosintéticos. La respuesta activa de las cianobacterias a las condiciones favorables es más precoz e intensa que en el resto, lo que nos permite anticipar las explosiones de biomasa. La determinación de la concentración de otras clorofilas y de pigmentos diferenciales (ficobiliproteínas) permiten estimar la concentración de cianobacterias.

Por debajo de 1 µgr/litro de clorofila a se establece el nivel de seguridad. Concentraciones de **1 hasta 10 µgr/litro** se añadirían como elemento significativo a la matriz de decisiones. La concentración **por encima de 10 µgr/litro** determina el paso a nivel de **ALERTA MÁXIMA**.

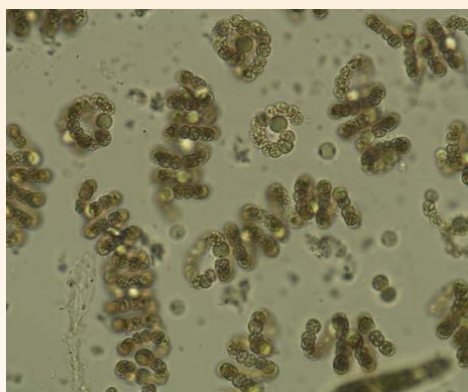
5. Determinación y cuantificación de cianotoxinas (si posible en equivalente de microcystinas):

La identificación analítica de estas moléculas y su cuantificación suponen un elemento clave para la determinación de la gravedad en las consecuencias de un bloom de cianobacterias. La producción de cianotoxinas por parte de las células es inferior en los primeros días de vida celular que hacia el final del ciclo de crecimiento (30 días de media), producción tóxica que puede superar hasta en quince veces las tasas de las células jóvenes. La liberación de la toxina está ligada mayoritariamente a la senescencia celular, pero las concentraciones traza de cianotoxinas son permanentes en los humedales. El límite tolerable de ingestión diaria se fija experimentalmente en 0,04 $\mu\text{gr}/\text{kg}$ de peso vivo. Desde **1 hasta 10 $\mu\text{gr}/\text{litro}$** es un dato adicional significativo en la matriz de decisiones. La concentración **superando 10 $\mu\text{gr}/\text{litro}$** obliga a considerar el nivel de **ALERTA MÁXIMA**.

6. Identificación específica y cuantificación de biomasa:

Cincuenta especies producen toxinas, aunque algunas de sus cepas no son toxigénicas. La identificación específica tradicional y la cuantificación es por morfología al microscopio. Pero existen sistemas de análisis del ARN ribosómico que permiten determinar la especie además de la evidencia de las cepas tóxicas dentro de las especies de cianobacterias más comunes.

El límite crítico se marca en 20.000 células de cianobacterias tóxicas por mililitro de agua, pero el tamaño celular diferente condiciona estandarizar el dato a biovolumen. Por debajo de 1 mm^3/litro se hablaría de nivel de seguridad, quizá hasta 2 en algún caso. Densidad entre **2 y 5 mm^3/litro** se añadiría como elemento relevante a la matriz de decisiones. **Por encima de 5 mm^3/litro** se determina el paso a nivel de **ALERTA MÁXIMA**.



© Junta de Andalucía

7. Presencia / nidificación de especies incluidas en los catálogos oficiales de especies amenazadas:

La presencia de estas especies es un dato adicional significativo en la matriz de decisiones.

8. Evaluación del nivel de Fósforo total y del ión Fosfato (PO_4^{3-}):

La presencia de fósforo parece ser el **factor determinante** en el potencial de inflorescencias tóxicas por cianobacterias en los humedales, aunque no hay consenso científico. Los aportes de la agricultura y ganadería intensivas son el origen de una eutrofización gradual de los humedales por este mineral, que las cianobacterias emplean de una manera muy competitiva en medios acuáticos.

Un nivel de fósforo total **entre 20 y 50 $\mu\text{gr}/\text{litro}$** incluiría el humedal en rol de vigilancia, aún sin histórico de cianobacterias, en condiciones desfavorables de pH y/o turbidez. Más específicos, los niveles de ión fosfato (PO_4^{3-}) **por encima de 10 $\mu\text{gr}/\text{litro}$** serían significativos para su incorporación en la matriz de decisiones.



9. Temperatura del agua:

La asociación climática de la temporada de riesgo de proliferación de cianobacterias se restringe a un período de 4 a 6 meses en áreas templadas, con muchas especies en un **rango medio óptimo de crecimiento entre 20 y 25°C**. Los meses de junio a septiembre-octubre serían los de máxima incidencia.

Se incluye dentro del marco general de decisión, pero con especial atención a la irregularidad climática, al ser las cianobacterias el grupo biológico con mejor capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes dentro del llamado marco del cambio climático.

10. Evaluación del nivel de Nitrógeno inorgánico disuelto (DIN):

Estaría conformado por la suma de iones amonio (NH_4^+), Nitritos (NO_2^-) y Nitratos (NO_3^-). Es complicado utilizar este factor como desencadenante de un cambio en los niveles de alerta, ya que la actuación química de este elemento y sus iones en el agua es muy compleja.

Dada la relación estandarizada en el fitoplancton en **106 / 16 / 1** entre las moléculas de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P), se usa más frecuentemente el equilibrio N / P para determinar valores predictivos de floraciones.

Valores **inferiores a 16** en el cociente N / P se definen como elemento de alarma en la trama de apoyo a la toma de decisiones.

11. pH:

Las floraciones cianobacterianas cursan con aumentos de pH marcados, siendo más una consecuencia que una causa. Los humedales con pH elevados presentan más riesgo de floraciones, pero hay humedales no afectados con valores de pH por encima de 9 puntos.

A considerar la variación del pH junto a datos estacionales meteorológicos e hidrológicos.

12. Nivel del agua y su evolución:

Se cifra en **40 centímetros de profundidad** de agua en el humedal el nivel crítico que completa la matriz de elementos significativos destinados a informar en la toma de decisiones.



© Antonio Rodríguez

4. Declaración de alerta - Decisiones

La declaración de una alerta de máximo nivel indica el fracaso de la acción preventiva, determinando acciones urgentes para reducir el impacto sobre el ecosistema, tratando de mitigar la intensidad de la inflorescencia, su reversión definitiva o el acortamiento de su duración.

Tras la confirmación de un brote de cianotoxinas, las actuaciones posteriores se dirigen a mitigar el impacto de intoxicación sobre la fauna silvestre y a la reversión de las condiciones ecológicas que impidan el mantenimiento del brote. Aunque las actuaciones de gestión del hábitat tras la detección del brote conllevan un coste elevado y unos efectos variables, resulta recomendable acometer una serie de acciones para mitigar y reducir el impacto, como son:

A. Manejo de los niveles, renovación de agua del humedal

Es importante realizar un lavado del contenido del humedal, preferentemente progresivo. Se propone un vaciado rápido para la eliminación de cianobacterias a la vez que se recarga el humedal, para no desestabilizar en exceso la comunidad biológica presente.

Se trata de una solución temporal, para el mantenimiento del período de cría en el caso de especies amenazadas, y hasta que pueda darse el episodio por concluido. Si el agua de entrada es de buena calidad, se dispondría de un lapso temporal de entre 15 y 30 días hasta que el problema comience a generarse nuevamente.

Al no actuar directamente sobre las células de cianobacterias no se provocaría un incremento brusco de los niveles de toxinas en el agua, dado que no se produciría la lisis celular con liberación de la toxina intracelular.

B. Remoción de la fauna del humedal

Se trataría de capturar la macrofauna de anfibios y peces para llevarla a nuevos emplazamientos y de incrementar las molestias para ahuyentar a las aves del humedal. Debido a la bioacumulación de tóxicos sería necesaria una etapa de vigilancia previa antes de la liberación. Es fundamental la retirada urgente y exhaustiva de cadáveres, que agravan o potencian otras enfermedades, así como la retirada de especies invasoras.

Es previsible la presencia de animales ya afectados por la intoxicación, por lo que será necesaria la captura y tratamiento de animales enfermos o limitados en su autonomía, así como la recogida de huevos para incubar o de pollos que no puedan volar todavía.

C. Ruptura de la dinámica de proliferación de cianobacterias en el humedal

Una herramienta podría ser la oxigenación del agua mediante aireadores que crean burbujas de aire e incorporan oxígeno al agua, con un puntual descenso del pH, a la vez que una mezcla de agua y aumento de turbidez, que puede desestabilizar el crecimiento de cianobacterias. Pero asimismo puede estimular un incremento puntual en la liberación de toxinas.

El dragado de sedimentos para interrumpir el suministro de fósforo, la interferencia para alterar las condiciones lumínicas sobre el cuerpo de agua o la generación de turbulencias que impidan un estancamiento de la lámina de agua son otras alternativas.



D. Deseccación del humedal

Debe ser ejecutiva e inmediata si existen humedales alternativos y se ha completado el período de cría. En caso contrario, cuanto antes se pueda realizar menor va a ser la carga de toxinas vertidas al entorno, el impacto sobre la comunidad del humedal y la carga de elementos de resistencia de cianobacterias para la siguiente temporada.

E. Sustancias químicas de control

Hay alternativas como la adición de compuestos naturales capaces de neutralizar en cierta manera células y toxinas, como la paja de cereales o algunas cortezas en descomposición. Se reseñan efectos positivos con paja de cebada fermentada y corteza de eucalipto, al igual que con ciertos extractos naturales de plantas, en la mayoría por la generación de compuestos húmicos y una flora bacteriana específica, capaces ambos de neutralizar células y toxinas.

Se puede también añadir al agua peróxido de hidrógeno (H_2O_2), elemento desinfectante asequible y sin metabolitos secundarios perjudiciales. La dosificación debe ser muy precisa para no afectar a otra biota de interés, y existe un riesgo elevado de que las condiciones de aplicación varíen de las pautas de dosificación establecidas en laboratorio. Tratamientos reiterados a baja dosificación podrían ser más eficaces.

La precipitación directa y clausura de nutrientes en el sedimento mediante adición de químicos o material inerte de cobertura es una alternativa poco aconsejable. En cuanto al tratamiento directo con alguicidas o herbicidas agrícolas, su uso está prohibido por la afección a la biota de los humedales y la generación de resistencias.

F. Revisión de condiciones ambientales de floración

Conocer las condiciones de origen de las floraciones es el mejor tratamiento que puede realizarse ante un brote. Es necesario dedicar el tiempo suficiente a analizar los procesos a corregir ante una crisis, dado que los procesos paliativos son escasos y bastante ineficaces, cuando no contraproducentes.

La información más exacta de cómo funciona un humedal sin brotes debe ser la base de partida para conocer cuándo el humedal entra en desequilibrio y prevenir futuros problemas.



© Óscar Aldeguer