



DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA METODOLOGÍA VIABLE DE DETECCIÓN TEMPRANA DE CIANOBACTERIAS PARA OPERADORES DE PLANTAS POTABILIZADORAS DE AGUA SUPERFICIAL DEL URUGUAY

Miguel Guarnieri⁽¹⁾, Juan J. Lagomarsino⁽²⁾, Mariana Meerhoff^(1,3)

(1) Gerencia de Producción, Administración de las Obras Sanitarias del Estado.

(2) Laboratorio de Usina de Laguna del Sauce, OSE.

(3) Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República.

Dirección⁽¹⁾:

Calle: Carlos Roxlo 1275

Ciudad: Montevideo

Uruguay

CP: 11200

Tel: 598 (2) 19521938

Fax: 598 (2) 19521947

e-mail: mguarnieri@ose.com.uy

RESUMEN

Desde al menos 3 décadas se ha registrado la ocurrencia de cianobacterias en varias fuentes de abastecimiento de agua potable del Uruguay, con mayor o menor impacto en los procesos de tratamiento. Los controles de Planta, los indicadores de operación de las Usinas de Potabilización, los análisis planctónicos de rutina (“hidrobiológicos”) y de toxinas microcystinas, permiten en la actualidad un nivel aceptable de detección de cianobacterias (y del plancton en general) en todo el sistema. La idea general de este trabajo fue diseñar y evaluar una metodología viable de mayor prevención biológica a largo plazo, partiendo del concepto de **barreras múltiples de contención** de organismos y sus metabolitos indeseables. Se comenzó en este trabajo con un control planctónico frecuente de agua bruta mediante un test indirecto cuali y cuantitativo rápido, realizado diariamente por operadores de plantas potabilizadoras. Esta investigación se desarrolló durante el verano 2007-08 (época de mayor aparición de cianobacterias), en 25 Usinas representativas de la diversidad existente en nuestro país. Esta metodología permitió el seguimiento constante de características, principalmente del agua bruta (de toma), y disparar análisis de laboratorio para control de producción, recomendando ajustes en el tratamiento del agua cuando correspondiera. Los casos analizados permitieron validar en forma primaria esta metodología y comprobar su utilidad, así como permiten realizar ajustes para extenderla próximamente a otras usinas del país.

INTRODUCCIÓN

Debido a la mayor extensión y agravamiento de los procesos de eutrofización que está teniendo lugar en las cuencas de drenaje del Uruguay (Mazzeo et al. 2002), es cada vez más frecuente la ocurrencia de cianobacterias en las fuentes de agua superficiales. Las cianobacterias son organismos que forman parte del plancton y que pueden interferir, junto con otros, en los procesos de tratamiento de agua y/o generar potenciales metabolitos de olor, toxicidad, mutagenicidad, etc. La producción de estos metabolitos es variable según las especies y condiciones fisiológicas de la población de cianobacterias, así como las condiciones ambientales. A nivel internacional se están desarrollando estrategias para predecir la presencia de cianobacterias en cuerpos de agua eutrofizados utilizados para el abastecimiento humano (Forjan Lozano et al. 2008). En nuestro país, esta preocupación ha quedado expresada en la reciente Norma Interna de Calidad de Agua Potable (OSE 2006). En la misma se establecen criterios de calidad hidrobiológica, diferenciando organismos que pueden presentar riesgos para la salud (tales como las cianobacterias) de organismos que pueden interferir con las operaciones de tratamiento (plancton en general) y se establecen límites de concentración de organismos y de concentración de la toxina Microcystina LR de 1microgramo/L (toxina presente en géneros comunes de cianobacterias).

Las cianobacterias ocurren en nuestro país especialmente en la estación del verano, y desde al menos 3 décadas en varios servicios de abastecimiento de agua potable, incluyendo las tres fuentes de agua potable más importantes del país:



1. Laguna del Sauce, Maldonado. El primer registro significativo de cianobacterias en este sistema se dio en el verano 1975-76. En ese momento se registró una densidad fitoplanctónica máxima de 150.000 filamentos/ml en el agua bruta (de toma). El servicio fue interferido en varias unidades del tratamiento, registrándose problemas de olor y gusto que afectaron principalmente al balneario Punta del Este. Posteriormente, en 1978, se evaluó este “bloom” en relación al estado trófico del sistema (Olsson et al. 1990).
2. Río Uruguay. Los servicios de OSE ubicados aguas abajo de la represa de Salto Grande han registrado “pulsos algales” desde su puesta en funcionamiento en el año 1979. Este embalse fue clasificado en 1984 como mesotrófico/ eutrófico, luego fue reclasificado como lago eutrófico dentro de una metodología desarrollada para un conjunto de lagos Sudamericanos y Centroamericanos (Salas 1990 et. al).
3. Arroyo Santa Lucía Chico. En enero de 1988 el arroyo fue afectado por una floración de cianobacterias generada en el embalse de Paso Severino, provocando problemas de olor y gusto aguas abajo de la represa, en el servicio de Aguas Corrientes y en el suministro a la red metropolitana. Posteriormente, la calidad del agua del embalse fue evaluada con el objetivo de disminuir el proceso de eutrofización dado por el ingreso de nutrientes aguas arriba (Olsson et. al 1990).
4. Se estima que el 65% de las fuentes superficiales de abastecimiento del país ya tienen antecedentes de ocurrencia de cianobacterias (una o más veces). Esta valoración surge de una encuesta realizada *in situ* durante el año 2006 por la Gerencia de Producción de OSE en las usinas superficiales de todo el país, en base a un protocolo general de situación que incluyó este parámetro, junto con los registros de cianobacterias a partir de los análisis “hidrobiológicos” por parte del Laboratorio Central de OSE durante el período 2003-2007.

Los problemas generados por *blooms* de fitoplancton (microalgas y cianobacterias) han sido enfocados por OSE mediante actividades en su Laboratorio Central (Sección Hidrobiología) desde hace 2 décadas:

Desarrollo de metodologías de Laboratorio: 1) Década del ‘90, se promovió, entre otras cosas, un cambio en la metodología de recuento fitoplanctónico (Consultoría Sueca VIAK/90) para disminuir los tiempos de respuesta analítica frente a un número creciente de muestras. 2) Década del 2000, se potencia la identificación a nivel de especie mediante el desarrollo de un programa de captura de imágenes de video-microscopía computarizada para el registro, medición e identificación de las especies presentes. 3) En 2006-07, se comienza a medir en muestras de agua de OSE y en forma regular la toxina Microcystina LR (método HPLC, Lab. del LATU). En el mismo período, se comenzaron a desarrollar en el Lab. Hidrobiología de OSE, técnicas rápidas inmunológicas para pocas muestras (mediante kits importados) y un kit nacional para analizar Microcystinas totales en muchas muestras, en el marco de un Convenio con la UDELAR (desarrollado y validado en el Inst. Higiene, Dep. de Inmunología).

El presente trabajo surge de la necesidad de dotar al personal de las usinas de potabilización de una mayor capacidad de anticipación operativa frente a la ocurrencia de cianobacterias (tanto las especies frecuentes como nuevas apariciones) en las fuentes abastecedoras, particularmente previendo el probable aumento de la eutrofización de los cuerpos de agua en el país en los próximos años.

OBJETIVOS Y METAS

El objetivo general de este trabajo fue diseñar y evaluar una metodología de control por parte de los operadores de plantas potabilizadoras, que permitiera el reconocimiento anticipado y frecuente (particularmente a lo largo de la estación crítica) de cianobacterias, tanto en la fuente misma como en el agua que ingresa por las tomas (agua bruta).

Los objetivos específicos fueron: 1. Reconocimiento anticipado de microalgas y cianobacterias: mediante una identificación microscópica *in situ* del fitoplancton (observando grupos presentes, tanto dominantes como acompañantes) en un número representativo de servicios del país, para determinar el potencial de las fuentes a principios de la estación crítica. 2. Reconocimiento frecuente de microalgas y cianobacterias a lo largo del verano: a cargo de los operadores de las plantas, utilizando los parámetros de rutina y las variaciones en la operación de la planta (carreras de filtración, olor del lavado de filtros, olor de descarga de decantadores, etc.). Además, a partir de la metodología propuesta se incluyeron: medidas de tiempo y volumen de filtración del agua bruta para calcular posteriormente una “Tasa de Filtración Algal” (TFA) y también el “color en membrana” (CM) de Nylon, definida y usada para dichas medidas. El color de membrana fue referido a una escala de colores tipo generado por distintos grupos y densidades fitoplanctónicas. Algunos servicios midieron también la transparencia del agua en la fuente (mediante el Disco de Secchi). Este objetivo involucró el entrenamiento de los operadores en cada usina visitada.



3. Validación de las metodologías empleadas y combinación de datos con los analizados en las usinas y los registros de ocurrencia de cianobacterias obtenidos por el Laboratorio Central de OSE.

METODOLOGIA

En el marco del Objetivo 1 se realizó una recorrida por usinas previamente seleccionadas: Región Oeste: Nueva Palmira (Colonia), Mercedes y Dolores (Soriano); Región Norte: Nuevo Berlín, Fray Bentos (Río Negro), Bassotti, Paysandú (Paysandú) y Rivera; Región Este: Solís de Mataojo, Minas, José Pedro Varela, Batlle y Ordóñez (Lavalleja), La Paloma, Rocha (Rocha), Melo, Cerro Chato, Fraile Muerto, Bañados de Medina, Aceguá, Río Branco y Lago Merín (Cerro Largo), y Región Sur: Trinidad (Flores) y Pando (Canelones). Varios de estos sistemas habían presentado cianobacterias en los últimos 5 años (Tabla 1, servicios en *cursiva*).

En cada uno de estos servicios se tomaron muestras de agua bruta y se registraron las variables propuestas: pH, turbiedad, alcalinidad, temperatura, así como medidas de tiempo y volumen para obtener la TFA y CM. Simultáneamente, estas muestras se observaron al microscopio para determinar la composición taxonómica del fitoplancton, especialmente la presencia de especies de cianobacterias.

Otros servicios se sumaron posteriormente al programa de monitoreo (particularmente en el Departamento de Colonia), algunos a partir de problemas suscitados en el agua bruta (caso de Bella Unión, en febrero de 2008). La usina de Laguna del Sauce (Maldonado) aplicó la metodología desde el 24/12/07 al 17/03/08, permitiendo comparar los datos de la TFA y CM con los conteos fitoplanctónicos y de concentración de Clorofila-a (medida indirecta de la biomasa de fitoplancton) obtenidos en su laboratorio, oficiando así como un control positivo de la metodología. El servicio de Aguas Corrientes aplicó la metodología durante una semana (fines de marzo de 2008), junto a conteos de fitoplancton en su laboratorio, oficiando como un control negativo en ausencia de cianobacterias (y frente a plancton dominado por flagelados pigmentados).

En el marco del Objetivo 2 se generó un equipo sencillo y de bajo costo, y de muy fácil mantenimiento por el personal de las usinas, para medir la TFA del agua ensayada (litro/min). Este equipo consiste en una botella estándar, de plástico no deformable y 1,5 L de volumen. La misma es aforada, y tiene en el extremo anterior de la botella una malla blanca circular de tamaño de poro de 20 micras (2,4 cm de diámetro), colocada sobre la tapa plástica perforada (diámetro= 2 cm) y en su extremo posterior una toma de aire de 0,5 cm. La TFA va a depender de varios factores, tales como la concentración de material en suspensión, la densidad, tamaño y forma de los organismos presentes en el agua, el material amorfo e inerte y la proporción relativa de las diferentes partículas. El diámetro de poro utilizado es aproximadamente el tamaño mínimo del plancton y cianobacterias que habitualmente generan problemas en el tratamiento del agua potable en nuestro país. Para estandarizar el procedimiento, se estableció filtrar 1 litro de agua bruta (en principio, sin perjuicio de aplicar la metodología durante otras etapas del tratamiento), al menos una vez al día y en horas de la mañana. Si el filtro se colmata antes de completar el pasaje del litro, se toma el comienzo del goteo espaciado como tiempo y volumen final de filtrado.

El entrenamiento de los operadores se realizó mediante la ejecución de un protocolo sencillo con la participación de los supervisores y/o jefes de Planta, y posterior seguimiento telefónico durante el verano.

Posteriormente se analizó la correlación entre los parámetros registrados en dichas usinas y la ocurrencia de cianobacterias (Objetivo 3). En particular se relacionó las TFA con los diferentes grados de coloración observados en la malla empleada, que pudieran indicar la presencia de cianobacterias en la muestra de agua, así como con variaciones o problemas detectados en las plantas por los operadores. Asimismo, se buscó relacionar estas variables con las densidades de fitoplancton y en particular de cianobacterias cuantificadas durante los muestreos de control habituales o muestreos especiales realizados por el Laboratorio Central.

RESULTADOS

En observaciones preliminares realizadas en diversos sitios de las regiones Oeste, Norte, Este y Sur en diciembre y enero de 2007-08, se comprobó que las observaciones de los operarios de planta, luego de un entrenamiento sencillo, coincidieron con las observaciones de los técnicos. En algunos casos se decidió excluir del conjunto los datos obtenidos en algunas usinas, debido a diferencias críticas en el procedimiento sugerido (por ejemplo, empleo de malla de 40 micras de tamaño de poro en casi todas las localidades de Colonia).



Durante el verano 2007-2008 se registró la ocurrencia de cianobacterias en 22 fuentes abastecedoras de aguas superficiales, correspondiendo al 45% de los servicios que ya contaban con antecedentes de ocurrencias de cianobacterias en los últimos 5 años: Bella Unión (Artigas); Bañados de Medina, Cerro Chato, Melo y Lago Merín (Cerro Largo), Juan Lacaze, Colonia y Carmelo (Colonia); Solís de Mataojo, Minas, Batlle y Ordóñez y José Pedro Varela (Lavalleja); Bassotti y Paysandú (Paysandú); Nuevo Berlín y Fray Bentos (Río Negro); Rivera (Rivera); La Paloma (Rocha); Salto (Salto); Vergara (Treinta y Tres); Laguna del Sauce (Maldonado) y Montevideo.

Varios registros ocurrieron durante la recorrida para la detección temprana, o durante muestreos de rutina del Lab. Central, y en varios casos como consecuencia de esta nueva metodología aplicada a las Usinas (Tabla 1).

Los taxones identificados (en la mayoría de los casos a nivel de especie “más probable”) incluyeron: *Anabaena* spp: *A. crassa*, *A. planctonica*, *A. viguieri*, *A. circinalis*, *A. bergii*, *A. spiroides*; *Aphanizomenon* spp: *A. issatchenkoi*, *A. gracile*; *Anabaenopsis* sp, *Aphanothece minutissima*; *Chlorogloea* sp; *Chroococcus* sp; *Coleosphaerium* sp; *Cylindrospermum* sp; *Cylindrospermopsis*: *C. raciborskii*, *C. sp*; *Geitlerinema*; *Limnothrix*; *Merismopedia*; *Microcystis* spp: *M. flos-aquae*, *M. aeruginosa*, *M. panniformis*, *M. wesenbergii*; *Oscillatoria* sp; *Phormidium* sp; *Pseudoanabaena* sp; *Raphidiopsis* sp; *Romeria* sp; *Planktonlyngbya* sp; *Trichormus* sp. Muchos de estos taxones fueron identificados por primera vez para el país. La mayoría de los taxones reconocidos han sido descritos a nivel mundial como potenciales productores de toxinas, incluyendo en conjunto, microcistina, cylindrospermopsina, saxitocina, neosaxitoxina, anatoxina-a y anatoxina-s. Según la toxina y su concentración, pueden afectar el hígado, el sistema nervioso, la piel y/o las vías respiratorias. Estos resultados resaltan la importancia fundamental de contar con métodos de detección temprana en Planta, que puedan derivar en ajustes anticipados en el tratamiento para enfrentar situaciones potenciales de riesgo sanitario. Asimismo, a nivel de Laboratorio, es fundamental desarrollar métodos de evaluación de nuevas toxinas mediante *kits* rápidos, que se están desarrollando a nivel de universidades del país y la región.

La detección temprana por parte de los operadores de planta se verificó en varias usinas, tanto por la aparición de color en la membrana (variaciones de verde), como por la caída de la tasa de filtración (provocado por un aumento en la densidad de fitoplancton) (Tabla 1).

Se seleccionaron para la evaluación de la metodología aquellos servicios que cumplieron con tres aspectos indicados en la Tabla 1: a) servicios donde se detectaron cianobacterias, y dentro de estos, b) aquellos cuyas operaciones de tratamiento no interfirieron con la metodología propuesta y c) aquellos sin fallas operativas en la aplicación de la metodología durante el período investigado.

Analizando el conjunto de 9 usinas que presentaron los datos más fiables (Tabla 1, servicios con *), se observó una correlación negativa estadísticamente significativa entre la turbiedad del agua bruta y la tasa de filtración ($r=-0,24$ $p< 0,05$). También se observó una relación negativa entre el pH y la tasa de filtración, aunque no fue significativa estadísticamente. Ambas relaciones se explican por un aumento en la densidad del fitoplancton, con consecuente aumento de la turbiedad de origen biológico, y un aumento del pH dado por el mayor consumo de CO₂ necesario para la fotosíntesis de esa mayor densidad fitoplanctónica.

En algunas usinas se encontraron relaciones particulares con otros parámetros medidos convencionalmente, tales como la temperatura, o ausencia de relación significativa con el pH y la turbiedad. Estos resultados indican que tanto la TFA como la turbiedad del agua bruta dependen también de factores particulares locales, como la concentración de sólidos suspendidos y material de arrastre, o grupos planctónicos dominantes además de las cianobacterias, etc, que en gran medida son consecuencia del tipo de cuerpo de agua (arroyo, río, embalse, lago, etc). A continuación se presentan 4 casos particulares interesantes, indicando los principales resultados obtenidos ante la implementación de la nueva metodología y sus efectos en el tratamiento de agua.

CASOS DE ESTUDIO:

Bella Unión (fuente: Río Uruguay alto, Artigas)

- Antecedentes en los últimos 5 años: no se habían registrado cianobacterias hasta el verano de 2006 (ocurrencia de olor en el agua). La densidad fitoplanctónica y ocurrencia de *blooms* está afectada, además de por factores locales, por procesos aguas arriba y por la actividad de la represa de Salto Grande aguas abajo.

- Este servicio no había sido incluido en la recorrida para la detección temprana por dicha ausencia de antecedentes. Sin embargo, en febrero de 2008 se registró olor y sabor en el agua del río e interferencia en el proceso de potabilización.
- La metodología comenzó a aplicarse en simultáneo con análisis “hidrobiológicos” de alta frecuencia por el Lab. Central, lo que permitió generar una gran cantidad de datos en un corto período.
- **Resultados de la Metodología:** constante aparición de color verde en la membrana, correspondiendo a las cianobacterias *Anabaena circinalis*, *Anabaena plactonica*, *A. crassa*, *Aphanocapsa hosatica*, *Aphanizomenon issatchenkoi*, *Coleosphaerium sp*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Microcystis wesenbergii*, *Merismopedia sp*, *Phormidium sp*, *Pseudoanabaena sp*, y *Raphidiopsis sp*.
- Consecuencias en el tratamiento: Ante la aparición de olor y sabor se procedió inmediatamente a aumentar las dosis de Carbón activado. Asimismo, se realizaron análisis de toxicidad en el agua bruta (Microcystina LR), obteniéndose resultados positivos en el agua del Río Uruguay y siempre negativos en el agua a la salida de la planta de OSE.
- Se observó correlación significativa negativa entre la TFA y el pH ($r = -0,65$ $p < 0,05$) y entre la TFA y la densidad de fitoplancton total (mayoritariamente cianobacterias, $r = -0,79$ $p < 0,05$). En este caso no se encontró correlación significativa con la turbiedad del agua (Figura 1).
- La metodología tuvo muy buena aceptación por los operadores de la usina y permitió generar criterios guía sumados a los parámetros clásicos de turbiedad y olor.

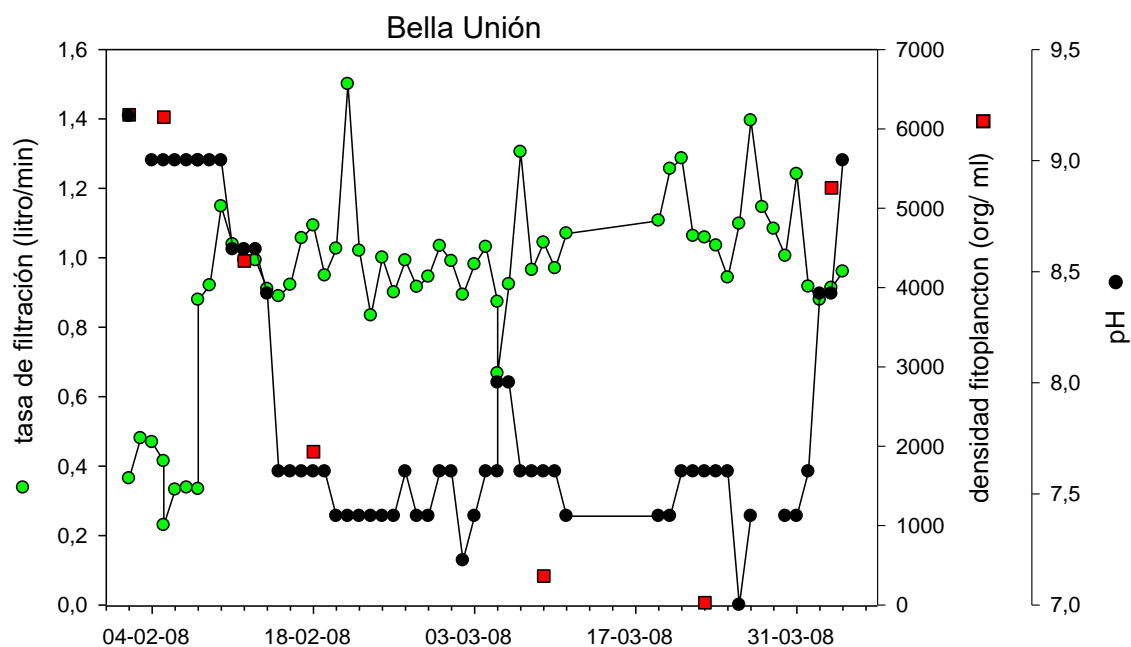


Figura 1. Variación de la tasa de filtración del agua bruta, en relación a la densidad de fitoplancton total y el pH. Se observa la correlación negativa con ambas variables.

Paysandú (fuente: Río Uruguay medio, Paysandú)

- Antecedentes en los últimos años: se habían registrado cianobacterias en enero de 2006: *Microcystis*, *Anabaena* y *Oscillatoria* spp.
- En la recorrida para la detección temprana (13/12/07) se registra presencia de cianobacterias del género *Anabaena*, junto con diatomeas céntricas y pennadas. No se detectó color verde en membrana.
- Metodología: desde el 13/2 se aplicó regularmente la nueva metodología, cada 6 horas: a las 2:00, 7:00, 10:00, 14:00, 18:00 y 22:00 horas.
- **Resultados de la Metodología:** Durante el período 13/02- 13/03/08 se registraron colores en la membrana incluyendo: verde fluorescente, verde claro y marrón claro con brillo verde. Las TFA mostraron cambios

diarios importantes, notorios ante la medición realizada varias veces al día, a diferencia de las restantes usinas, probablemente asociadas a “pulsos” fitoplanctónicos diarios. Los mismos se reflejaron también en los cambios en las tonalidades verdes y marrones en la malla de filtración. Estos cambios en los colores, así como las caídas en las tasas de filtración, dispararon muestreos especiales del Lab. Central, registrándose la presencia de *Microcystis* sp y *Anabaena crassa* (verde flúor en la membrana), y posteriormente también de *Oscillatoria* spp (marrón y verde en la membrana), en co-dominancia con diatomeas. En esta usina se encontró una correlación negativa significativa entre la turbiedad y la TFA del agua bruta ($r = -0,47$ $p < 0,05$) (Figura 2).

- Consecuencias en el tratamiento: Ante la aparición de color verde en la membrana a mediados de febrero se procedió a aumentar las dosis de Carbón activado y de polielectrolito. Asimismo, se realizaron simultáneamente análisis de toxicidad en el agua bruta (Microcystina LR), nuevamente obteniéndose resultados positivos en el agua del Río Uruguay y negativos en el agua a la salida de la planta de OSE.

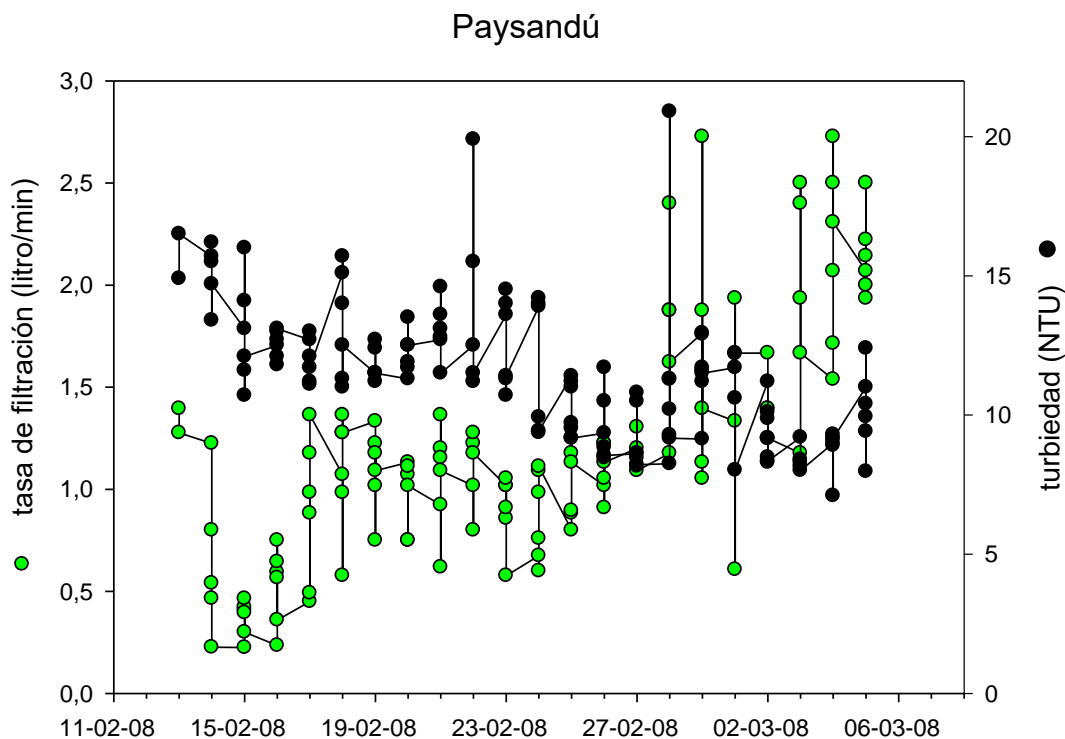


Figura 2. Variación de la tasa de filtración y de la turbiedad del agua bruta, mostrando correlación negativa.

Laguna del Sauce (fuente: Laguna del Sauce, Maldonado)

- Antecedentes en los últimos 5 años: presencia sistemática de cianobacterias, con alta riqueza taxonómica.
- Metodología: medición diaria de la tasa de filtración del agua bruta con análisis simultáneo de la composición y densidad del fitoplancton y la concentración de clorofila-a, por parte del Laboratorio de la usina. Este servicio realiza sistemáticamente otras medidas (color verdadero, distancia al pelo de agua en la toma, transparencia medida como Disco de Secchi, etc).
- **Resultados de la Metodología:** registro de color verde en la membrana en varias oportunidades, coincidiendo con la presencia de varios géneros de cianobacterias en densidad variable (entre 8-628 org/ml) e incluso con concentraciones de clorofila-a bajas y variables (entre 4-11,2 $\mu\text{g/l}$), en el agua bruta y agua superficial de la Laguna. La turbiedad del agua bruta osciló en el período entre 31 y 36 NTU. Mientras que en la superficie de la Laguna se registraron “blooms” de *Microcystis* sp (37.000 células/ml, 4-6/2/08) y *Anabaena* spp (500 filamentos/ml, 21-22/2/08), los mismos no ingresaron por la toma de agua de OSE.

- No se observó correlación estadísticamente significativa entre la tasa de filtración y la densidad medida de fitoplancton, sin embargo hubo correlación significativa positiva con la turbiedad ($r= 0,55$ $p<0,05$) y negativa con el pH ($r= -0,5$ $p<0,05$) (Figura 3). Estos resultados son consecuencia de las características del sistema, donde típicamente la turbiedad es de origen inorgánico por material suspendido. Por lo tanto, una mayor turbiedad conlleva un menor desarrollo del fitoplancton, por disminución de la luz necesaria para realizar la fotosíntesis. La gran variabilidad en las densidades fitoplanctónicas y en los parámetros no convencionales parece ser consecuencia de la acción de los vientos predominantes, que tienen gran impacto en una laguna somera de las dimensiones de la Laguna del Sauce.

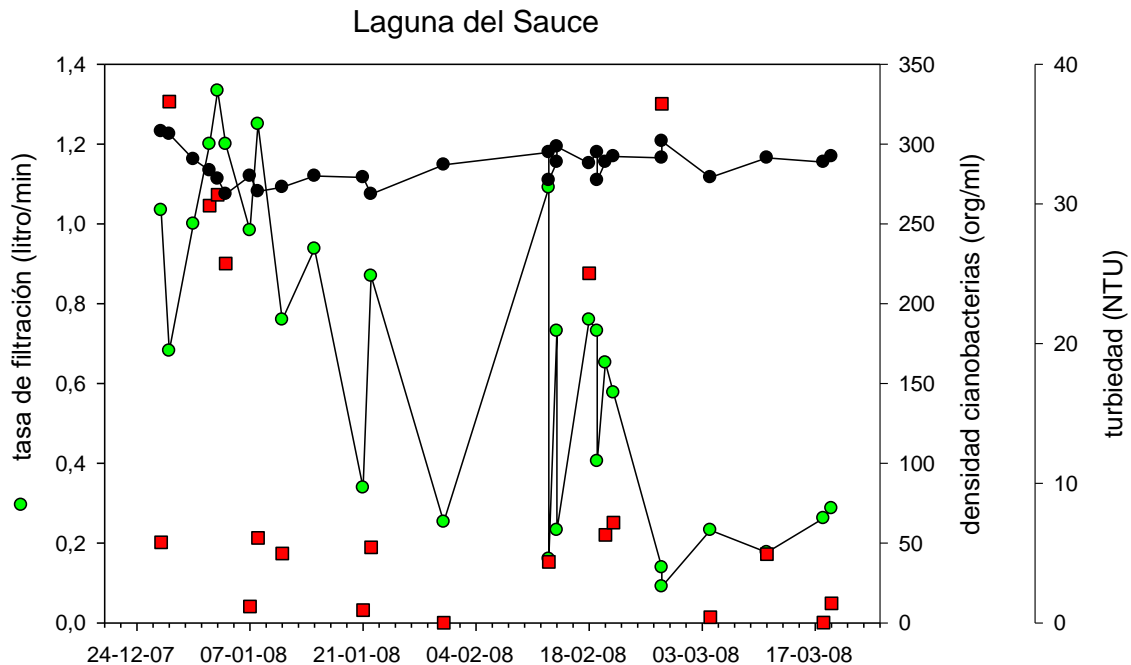


Figura 3. Variación de la tasa de filtración y la turbiedad del agua bruta (correlación positiva) y la densidad total de cianobacterias (correlación no significativa).

Solís de Mataojo (fuente: arroyo Mataojo, Lavalleja)

- Antecedentes en los últimos 5 años: no se habían registrado cianobacterias hasta diciembre de 2007 (*Anabaena viguieri*).
- En la recorrida para la detección temprana (7/1/08) se registró presencia de cianobacterias del género *Anabaena* sp (muy bajo número), junto con diatomeas.
- **Resultados de la Metodología:** aparición de color verde claro en la membrana, no correspondiendo a cianobacterias sino a diatomeas (muestreo del Lab. Central).
- Se observó correlación significativa negativa entre la tasa de filtración y la turbiedad ($r= -0,41$ $p<0,05$) (Figura 4). Estos cambios en la tasa de filtración se relacionaron entonces con cambios en la densidad de otros grupos fitoplanctónicos que generaron aumento de la turbiedad biológica, y no con la ocurrencia de cianobacterias como en otras usinas.

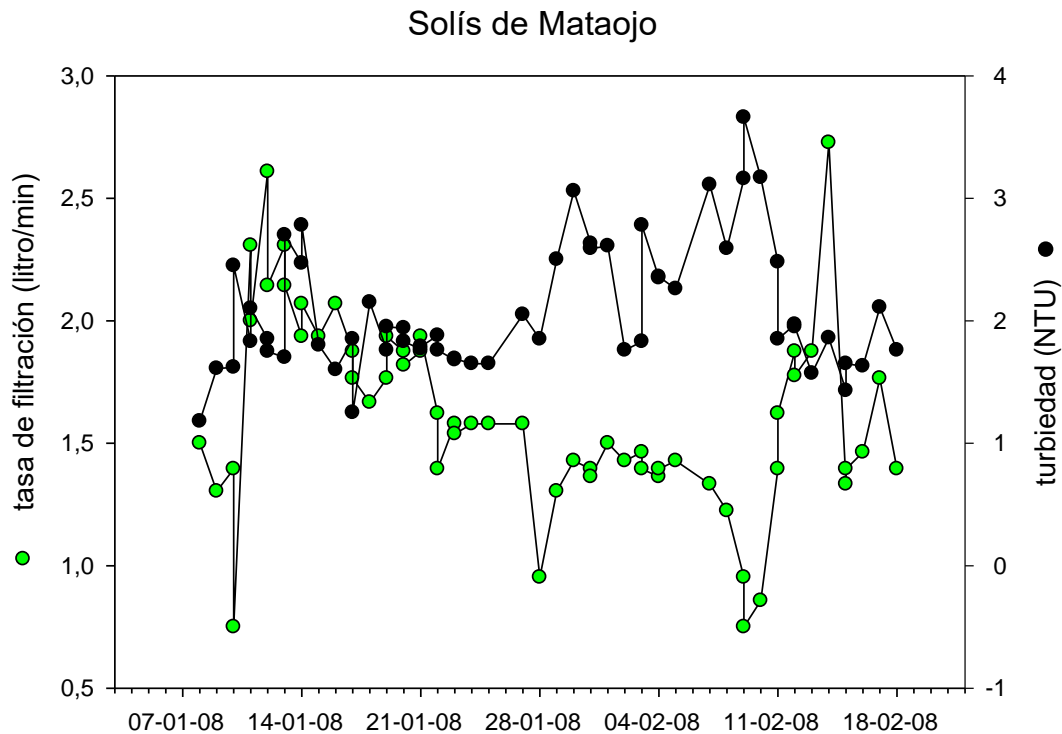


Figura 4. Variación de la tasa de filtración del agua bruta en relación con la turbiedad, mostrando correlación negativa.

CONCLUSIONES

A partir de este trabajo se logró desarrollar y validar en forma primaria un sistema que contribuye a la detección temprana de cianobacterias en las fuentes de agua, que puede ser llevado a cabo fácilmente por operadores de las plantas potabilizadoras de todo el país, y particularmente en todas aquellas usinas afectadas por cianobacterias.

Debido a las variaciones locales en los parámetros relevantes que se registraron en los distintos casos de estudio, parece muy difícil por el momento generar relaciones “universales” entre las tasas de filtración y la composición taxonómica, e incluso la densidad del fitoplancton. Sin embargo, observamos que el color en la membrana (tanto el color de fondo como acumulaciones sobre la misma) fue la variable más rápidamente detectada por los operadores en las plantas. En la mayoría de los casos, el color estuvo vinculado al aumento de la densidad de cianobacterias. En pocos casos (ej. Solís de Mataojo y Dolores) se observaron falsos positivos, es decir, color verde en la membrana dado por otros grupos fitoplanctónicos (también interferentes) en alta abundancia. Asimismo, cambios notorios en las tasas de filtración dentro de una misma usina también fueron importantes para disparar consultas inmediatas por parte de los operadores, y en varios casos, generar cambios en el tratamiento de potabilización (como aplicación de Carbón activado, medición de toxinas en las fuentes, etc).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la escala de colores se puede adaptar la metodología en futuras etapas, para promover la detección temprana de otros grupos interferentes (por ejemplo, diatomeas, flagelados pigmentados, y algunos grupos zooplanctónicos, etc). En los controles positivos de Laguna del Sauce se propone incluir en un futuro cercano la medida de otros fotopigmentos, como se está sugiriendo a nivel internacional



(Forján-Lozano et al. 2008.) y conteos celulares, color verdadero, color aparente, sólidos suspendidos, materia orgánica, junto a la clorofila-a, TFA y CM.

Por otra parte, podrían realizarse otras adaptaciones de la metodología según características locales de las usinas. En los servicios de Colonia, que por error utilizaron una membrana de 40 micras y de color naranja (J. Lacaze, Colonia y Carmelo), se registró presencia de cianobacterias abundantes y en colonias grandes. Esto es probablemente debido a que el oleaje característico a orillas del Río de la Plata concentra las colonias más viejas y de mayor tamaño. Esta experiencia podría utilizarse para comparar pre-filtraciones de 40 micras con las filtraciones de 20 micras analizadas en este trabajo.

La metodología propuesta mejoró sustancialmente la detección desde la planta, ya que la simple variación en la TFA, complementando variaciones en la turbiedad, pH y Alcalinidad, logró disparar ajustes en el tratamiento de Potabilización cuando fue necesario y generar monitoreos extras por parte del Laboratorio Central, por lo que su aplicación en las distintas usinas del país parece muy promisoría.

AGRADECIMIENTOS

USINAS: A todo el personal de las usinas citadas, porque sin su disposición este trabajo no hubiera sido posible.

LABORATORIO CENTRAL (HIDROBIOLOGIA): A. Gravier, M. L. Traverso, A. Britos, L. Vidal.

LABORATORIO LAG. DEL SAUCE: G. Mendez

LABORATORIO AGUAS CORRIENTES (AREA BIOLOGIA): J. Langone

GERENCIA DE PRODUCCION: E. Fierro, S. Garat, G. Castagnino, A. Iriburo, J. Alonso.

REFERENCIAS

- Castagnino W.A., 1960. Manual para Operadores de Sistemas de Abastecimiento de Agua, OSE Montevideo - Uruguay, 1-69.
- Forján Lozano E., Domínguez Vargas M. J., Vilchez Lobato. C., Miguel R., Costa C. & M.P. Reis, 2008. Cianoalerta: estrategia para predecir el desarrollo de cianobacterias tóxicas en embalses, Revista Ecosistemas 17, 1.
- Mazzeo N., Clemente J.M., García-Rodríguez F., Gorga J., Kruk C., Larrea D., Meerhoff M., Quintans F., Rodríguez-Gallego L. & F. Scasso, 2002. Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. En: Domínguez A. & R.G. Prieto (eds.) Perfil Ambiental del Uruguay. Nordan-Comunidad, Montevideo, pp 39-55.
- Olsson, B., Bergström R. & Forsberg C., 1990. Review of Laguna del Sauce Water Supply System, Part 1 Text. Administración de las Obras Sanitarias del Estado, (OSE) Montevideo -Stockholm, 71 pp.
- Olsson, B., Bergström R. & C. Forsberg, 1990. Montevideo Water Supply System: study of water quality problems caused by algae growth in the dam at Paso Severino. Administración de las Obras Sanitarias del Estado (OSE) Montevideo -Estocolmo 74 pp.
- Salas H.S. & P. Martino, 1990. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales, CEPIS, 1-43.
- Vazquez H., Contento L., Ingallinella A. M., Sanguinetti G., Bachur J. & M. Matiuzzi, 1998. Remoción de plancton en el proceso filtración rápida, AIDIS, 1-10.



Servicios	PARTICIPACION			DETECCION DE CIANOBACTERIAS POR:						ELIMINACION SERVICIO:		RIESGO POR CIANOBACTERIAS:			ANTECEDENTES Históricos 2003-08
	Temprana	Media	Tardía	Microsc. temprana	Brillo en membrana	Color en membrana	Microsc. posterior	Tasa de filtración	Inter. en Planta	Error de metodología	Operación incompatible	Prevision tratamiento	Identificación taxonómica	Requirió Evaluación Toxicidad	
A. Corrientes	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Aceguá	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B. Medina	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
B. Ordoñez	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
B. Union *	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
Bassotti	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
Cerro Chato *	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
Dolores *	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1
F. Bentos	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
F. Muerto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trinidad	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
J.P.Varela *	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
L. Merín	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
Concordia	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
La Paloma *	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
Lag. Sauce *	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
Melo	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Mercedes	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Minas	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
N. Berlín *	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
N. Palmira	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Pando	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Paysandú *	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
R. Branco	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Rivera	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
S. Matajojo *	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1
TOTALES	19	5	1	8	6	12	15	15	11	4	6	16	16	7	22

Tabla 1. Servicios que participaron de la metodología aplicada en el período de verano 2007- 2008. Los 1 representan ocurrencia y los 0 ausencia de cada ítem. Los servicios en cursiva habían presentado ocurrencia de cianobacterias en los últimos 5 años, y los * señalan servicios analizados con detalle por alta fiabilidad de sus datos.

