

Control Ultrasónico de Algas en el Embalse de Canoe Brook

Orren D. Schneider, Ph.D., P.E.
Lauren A. Weinrich
Scott Brezinski
Enero 2015



AMERICAN WATER WORKS COMPANY, INC.
This is the Spanish translation of the original English report
© Copyright 2015 by American Water Service Company,
Inc. All rights reserved

Resumen ejecutivo

Para poder abordar el episódico evento de sabor y olor en el sistema de Short Hills, Nueva Jersey, un proyecto fue llevado a cabo para examinar si las boyas ultrasónicas fabricadas por LG Sonic, empresa holandesa, pueden matar las algas en los embalses.

Se compraron e instalaron cuatro boyas en el Embalse #1 de Canoe Brook. Estas boyas fueron operadas desde mayo 13 hasta noviembre 12 de 2014. Durante el transcurso de las operaciones, las boyas generalmente controlaron el crecimiento de algas en los embalses. Sin embargo, en cierto momento se permitió que el agua del Embalse #2, la cual no estaba tratada, entrara al Embalse #1. Esta agua contenía un número significativo de un alga diferente (*Aphanizomenon*), lo cual resultó en un desempeño pobre durante varias semanas. Una vez este nuevo tipo de algas fue identificado, el programa ultrasónico usado por las boyas fue ajustado, y el desempeño mejoró.

Como resultado del tratamiento, las concentraciones de los compuestos de sabor y olor entrando a la planta fueron más bajas que en años anteriores. Adicionalmente, las cantidades más bajas de algas requirieron dosis significativamente más bajas de alumbre para ser tratadas (dosis un ~20% más bajas), lo cual a su vez resultó en una turbiedad efluente de DAF (Dissolved Air Flotation - Flotación de Aire Disuelto) mejorada (37% más baja), turbiedades efluentes de filtro combinado más bajas (19% más bajas), funcionamiento más duradero del filtro (127% mejor), y volúmenes de funcionamiento de filtro de unidad más altos (83% más altos), en comparación al mismo periodo de tiempo en el año 2013.

Basándonos en ahorros químicos proyectados en comparación al 2013, la eliminación de tratamientos de cobre para el embalse, y los costos de monitoreo reducidos, el uso de las boyas resulta en un ahorro general de costos de operación de aproximadamente \$87 800. Las cuatro boyas de LG cuestan aproximadamente \$160 000, incluyendo la compra y la instalación. Así, el reembolso simple para este sistema sería de aproximadamente 1.8 años.

El mejoramiento en la calidad del agua no-tratada presentó un desafío para el personal de producción, ya que no había una base de experiencia sobre la cual basar las dosis químicas. El personal trabajó diligentemente para adaptarse a estos cambios, y optimizar las dosis químicas y otros parámetros operacionales (el horario de limpieza de DAF, el retrolavado de filtro, etc.). Sin que se hubiese involucrado el personal, los ahorros operacionales que ocurrieron no hubiesen ocurrido.

Aunque otro estudio extensivo probablemente no es necesario para estaciones futuras, algunos análisis continuos serán requeridos. Estos deberían incluir conteos diarios de algas, con caracterización semanal de las algas, junto con mediciones de TOC (Total Organic Carbon – Carbono Orgánico Total) semanales. Estos datos complementarán los datos recolectados por la boya maestra.

Si ocurren problemas durante las operaciones (pérdida de datos, fallos en el sistema, un cambio deseado en el programa ultrasónico o en la frecuencia de descarga y eliminación de datos, etc.), será importante contactar inmediatamente a LG Sonic para discutir soluciones. Como propietarios de los activos, será la responsabilidad del American Water de Nueva Jersey, y no del vendedor, identificar y remediar cualquier problema. LG Sonic proveerá consejos y soporte técnico para estas soluciones.

Para veranos futuros puede ser prudente, o comprar otra boya para ponerla en el Embalse #2 (una boya maestra cuesta aproximadamente \$45 000), o transferir una de las boyas esclavas a este embalse, y tal vez mejorarla para convertirla en una unidad maestra, siempre y cuando sea posible mejorar la boya esclava existente (el paquete de sensor cuesta aproximadamente \$13 000). El tratamiento de la superficie entera del Embalse #2 requeriría una boya maestra y una boya esclava, y basándonos en precios del 2014, costarían aproximadamente \$77 000.

Introducción

Para abordar el episódico evento de sabor y olor en el sistema de Short Hills, Nueva Jersey, un proyecto fue llevado a cabo para examinar si las boyas ultrasónicas fabricadas por LG Sonic, empresa holandesa, pueden matar las algas en los embalses.

Este proyecto consistió en varias tareas, incluyendo una revisión de la literatura relevante, la instalación y operación de las boyas en el Embalse #1, la recolección y análisis de muestras durante la primavera y verano de 2014, y un análisis económico.

El objetivo principal de este estudio fue reducir las concentraciones de algas en el Embalse #1, con objetivos secundarios de reducir la concentración de compuestos que causan sabor y olor (geosmina y MIB) en el agua del embalse, y también de incrementar la eficiencia de la planta reduciendo las dosis químicas, e incrementando los tiempos de funcionamiento del filtro.

Revisión de la literatura

Tratamiento ultrasónico para las algas

Aunque sí existe un cuerpo de literatura relacionado con el tratamiento ultrasónico contra las algas, la mayoría de los estudios han sido llevados a cabo en laboratorios usando un pequeño número de taxones de algas bajo condiciones limitadas, incluyendo temperaturas controladas, periodos de tiempo cortos, condiciones de agua estancada, y frecuencias o potencias ultrasónicas limitadas.

El consenso de estas publicaciones es que los sistemas ultrasónicos funcionan concentrando energía sónica a través de cavitación, causando la formación y colapso de burbujas, lo cual produce calor (5000 C) y presión (2000 atm) localmente intensos, pero de corta duración (Purcell, Parsons, y Jefferson, 2014). Cuando se usan para el control de algas, los ultrasonidos causan el colapso de las vesículas de gas en las células, inhiben la fotosíntesis (Lee, Nakano, y Matsumura, 2001), producen especies de radicales libres (Purcell, 2009), y destruyen las membranas celulares (lisis) (Mason y colaboradores, 2003).

La mayoría de dispositivos ultrasónicos de control de algas basados en cavitación usan frecuencias ultrasónicas relativamente bajas, pero tienen una potencia de salida muy alta. Sin embargo, otros dispositivos usan una potencia de salida baja junto con frecuencias sónicas altas, las cuales dañan las células de las algas colapsando las vesículas de gas en las cianobacterias, además de causar daños internos en otras estructuras de algas verdaderas.

Un reciente trabajo hecho por Purcell y colaboradores (2014) indica que para cuatro géneros diferentes de cianobacterias (dos unicelulares y dos filamentosas), la frecuencia ultrasónica utilizada tuvo un gran impacto en la eliminación de diferentes géneros. Esto parecería indicar que cada tipo y género de algas (o cianobacterias) podrían tener una frecuencia óptima para la eliminación de células, y que incrementar la potencia de salida al agua podría no superar una frecuencia "incorrecta" para un género específico.

Hao y colaboradores (2004) sugieren que una frecuencia correcta para el tratamiento ultrasónico puede estar relacionada con el tamaño de la vesícula de gas. Así, diferentes familias (algas de verdad o cianobacterias) y géneros pueden requerir diferentes frecuencias ultrasónicas para un tratamiento exitoso. Rajasekhar y colaboradores (2012) cuentan con una excelente discusión sobre el impacto de las frecuencias ultrasónicas sobre la resonancia de las burbujas, y la subsecuente destrucción de las vesículas de gas en las cianobacterias.

Estudios de campo

Una reciente revisión de la literatura sobre el tratamiento ultrasónico del agua (LaLiberte y Haber, 2014) cita solo tres estudios de campo evaluados por expertos que fueron llevados a cabo – Nakano, Lee, y Matsumura (2001), Ahn y colaboradores (2007), y Purcell y colaboradores (2013).

En Nakano, Lee, y Matsumura (2001) los investigadores usaron diez transductores de frecuencia única en un estanque recreativo pequeño (80 acres) y muy poco profundo (3 pies). Las unidades de tratamiento consistieron en una combinación de un circulador de propulsión, sistema de aireación, y transductor ultrasónico operando en un modo de flujo lateral (el agua era bombeada a un módulo circulador, con dos transductores de ultrasonido de 100-W, 200-kHz y aproximadamente cinco segundos de tiempo de contacto, y luego era expulsada del circulador).

Estos sistemas ultrasónicos fueron complementados limpiando el lago usando agua de río. Los resultados fueron prometedores durante los primeros dos años del estudio, con niveles reducidos de clorofila, y un aumento en la transparencia en el lago. Sin embargo, en el año final del estudio, la proporción de limpieza se redujo (en una proporción menor a la proporción de crecimiento de la *Microcystis aeruginosa*), y brotes de cianobacterias volvieron a aparecer. Debido a la combinación del tratamiento de ultrasonido y el de limpieza, no está claro cuál de los tratamientos tuvo el mayor impacto sobre los organismos.

Ahn y colaboradores (2007) probaron un dispositivo ultrasónico para eliminar cianobacterias de dos estanques cercanos (1.8 y 2.3 millones de galones) durante un periodo de siete semanas, desde mediados de agosto hasta el final de septiembre. Un estanque fue dejado sin tratar y sirvió como punto de control, mientras que el otro estanque fue tratado con una combinación de un dispositivo ultrasónico de frecuencia única (630 W, 22 kHz), y bombas de agua. Mientras el sistema estuvo operando, los niveles de clorofila en el estanque tratado fue reducido; sin embargo, las bombas de circulación incrementaron la turbiedad del agua.

Cuando el sistema de tratamiento estaba apagado, los niveles de clorofila rápidamente aumentaron a los niveles de control, y no regresaron a los niveles más bajos cuando el sistema era encendido nuevamente. Las cianobacterias inmediatamente se convirtieron en los taxones dominantes cuando el aparato era desactivado en el estanque de tratamiento, y luego las diatomeas se volvieron dominantes cuando el tratamiento era retomado. Esto sugeriría que el tratamiento ultrasónico era efectivo para las cianobacterias, pero no para las diatomeas, posiblemente debido a la incompatibilidad de la frecuencia ultrasónica y las diatomeas. Debería notarse que debido a la naturaleza estacional del estudio, el crecimiento de las diatomeas al final del periodo de estudio pudo haber estado relacionado a caídas en la temperatura del agua.

Purcell y colaboradores (2013) examinaron el uso de dispositivos ultrasónicos en tres embalses de agua potable en el Reino Unido. Diferentes dispositivos ultrasónicos fueron utilizados en los diferentes embalses, pero cada uno utilizaba una banda de frecuencia fija (28 kHz), o una banda de frecuencia estrecha (40-50 kHz). Los autores concluyen que el ultrasonido fue selectivamente inhibitorio hacia grupos de algas específicos, aunque las reducciones reportadas estuvieron dentro de las variaciones normales en los lagos.

Una característica común en estos estudios de campo es el uso de dispositivos de frecuencia única o estrecha. Hao y colaboradores (2004), y Purcell, Parsons, y Jefferson (2013), sugieren que diferentes frecuencias son requeridas para tratar diferentes taxones de algas. Por lo tanto, el uso de transmisores que pueden producir frecuencias amplias (ya sea a través de múltiples frecuencias de salida, o ciclando a través de bandas de frecuencia única/estrecha), o que son sintonizables para producir frecuencias diferentes, pueden ser requeridos para tratar sistemas naturales donde la dinámica de la población de algas puede cambiar estacionalmente (debido a la temperatura del agua o los nutrientes en esta), o en respuesta a matar a un taxón predominante.

Una revisión de algunos dispositivos ultrasónicos existentes mostró dos tipos principales de equipos actualmente en uso – dispositivos que ciclan a través de un número de frecuencias (Sonic Solutions – Whatley 2015), o que usan una sola frecuencia (o grupo de frecuencias), y luego pueden ser ajustadas como se necesite en respuesta a cambios en las poblaciones de algas (LG Sonic e-line). Los dispositivos de frecuencia única y fija ya no son promocionados por los fabricantes principales, Sonic Solutions y LG Sonic.

Las frecuencias utilizadas por estos sistemas son consideradas información patentada. El dispositivo Sonic Solutions SS-600 cuenta con un rango efectivo reportado de hasta 600 pies, mientras que el LG Sonic e-line tiene un rango de hasta 200 m (650 pies). Cada sistema usa aproximadamente la misma energía (5-40 W); por lo tanto, esto sugeriría que usar un transductor sintonizable permitiría enfocar más potencia a una sola longitud de onda, en vez de dividir la salida en múltiples frecuencias.

Basándonos en información recibida de LG Sonic (Brand, 2014), su sistema de boyas reúne tres transmisores e-line en una sola boya (de más o menos 8 pies de diámetro), con los transmisores ubicados en los vértices de un triángulo equilátero para permitir una cobertura de 360°, y un rango de hasta 500 m (1600 pies). Los transmisores flotando justo debajo de la superficie del agua generan diferentes señales ultrasónicas con frecuencias, amplitudes, formas de onda, y duraciones variables.

El programa ultrasónico utilizado es seleccionado dependiendo del tipo (o tipos) predominante de algas presente, y puede ser ajustado si la dinámica de la población cambia debido a la temperatura, o cuando el taxón inicialmente presente es eliminado. Las boyas MPC operan a frecuencias entre 20 a 200 kHz (en comparación a los dispositivos de Sonic Solutions, los cuales operan entre 40-50 kHz). Una revisión de la literatura de los productos muestra que Sonic Solutions y LG Sonic son líderes en la industria; sin embargo, existen otros fabricantes de equipos ultrasónicos en Europa y Asia.

Una comparación de dispositivos ultrasónicos de control de algas, de los dos fabricantes principales de estos dispositivos, se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1
Comparación de dispositivos ultrasónicos de control de algas

Parámetro	Sonic Solutions	LG MPC Buoy
Rango (pies.)	100-600	1600
Energía (W)	5-40	5-40
Frecuencia (kHz)	25-50	20-200
Modo de operación	Cicla a través de 79 frecuencias	Sintonizable, frecuencia fija

Pruebas anteriores en American Water

Anteriormente, los sistemas ultrasónicos de control de algas fabricados por Sonic Solutions fueron probados en el American Water de Virginia, y en el de Indiana.

En 2008, el personal de la planta de American Water de Virginia experimentó problemas con algas al usar permanganato de sodio como pre-oxidante. Algas se acumularon en los costados del tanque de sedimentación. Masas de algas que se soltaron de las paredes del tanque se acumularon en la parte superior de los filtros, y debido a su peso no pudieron ser eliminadas durante el retrolavado. Este problema dio lugar a la investigación de sistemas ultrasónicos para limitar el crecimiento de algas en los tanques de sedimentación, en la ausencia de un desinfectante residual. Las inspecciones visuales de las paredes de sedimentación fueron llevadas a cabo para evaluar la efectividad del ultrasonido.

Cuando el sistema ultrasónico fue instalado (un Sonic Solutions SS 600 operando a 90W), las células de las algas estaban activas, como lo indicaba la presencia de burbujas de oxígeno resultantes de actividad fotosintética. Después de que las algas recibieran una exposición prolongada al sistema de sonicación, la actividad fotosintética se redujo drásticamente, demostrado por la carencia casi total de burbujas de aire siendo liberadas.

Sin embargo, el crecimiento de las algas era pronunciado en áreas que no podían ser alcanzadas por las ondas de ultrasonido (como fosas de embalse, y fosas de recolección de agua estancada). Los resultados fueron exitosos al principio. En el 2011 se instalaron tubos sedimentadores en el tanque, y los sistemas de sonicación no podían alcanzar el área del tubo sedimentador. Esto resultó en que los tubos sedimentadores fuesen colonizados por algas (colonización masiva), llevando a un incremento en los niveles de algas. En 2013, una unidad adicional de sonicación fue instalada en el área del tubo sedimentador; y pareció que esta ayudó a mantener bajo control una porción de las algas, pero el género de alga predominante cambió a un tipo de (alga filamentosa) que era resistente a la frecuencia utilizada por el dispositivo de Sonic Solutions.

Pruebas limitadas con un dispositivo de Sonic Solutions en el American Water de Indiana, en un tanque de sedimentación, mostraron que las unidades parecieron matar las algas. Sin embargo, debido al constante flujo a través del tanque las algas continuamente volvían a aparecer. La impresión general fue que las unidades ayudarían algo en reducir la acumulación en los tubos de sedimentación, pero que la reducción no sería drástica.

Antecedentes

La planta de tratamiento de agua de Canoe Brook está localizada en Short Hills, Nueva Jersey. La planta trata el agua desde tres embalses, como se muestra en la Figura 1. El agua del río Passaic es bombeada al Embalse #2, excepto durante el verano. El agua del Embalse #2 luego es drenada por medio de la gravedad al Embalse #1, el cual también es alimentado por el pequeño desvío de Canoe Brook.

El agua del Embalse #1 luego alimenta la planta de tratamiento por medio de una estación de bombeo localizada en un muelle, en la esquina más al suroeste del embalse. El Embalse #1 es de poca profundidad (máximo 17 pies de profundidad), y debido a niveles moderados-altos de nutrientes, también es eutrófico. Esta combinación de factores conlleva a brotes de algas severos estacionalmente.

En el pasado, los embalses eran tratados con sulfato de cobre, o con Cutrine®-Plus (complejo de etanolamina de cobre), para eliminar las algas. Adicionalmente, la planta de tratamiento fue reconstruida en 2012, e incluye pre-ozonización, coagulación, flotación de aire disuelto, y filtros GAC (Granular Activated Carbon – Carbono Granular Activado) para lidiar con las algas, y sus sabores y olores acompañantes.

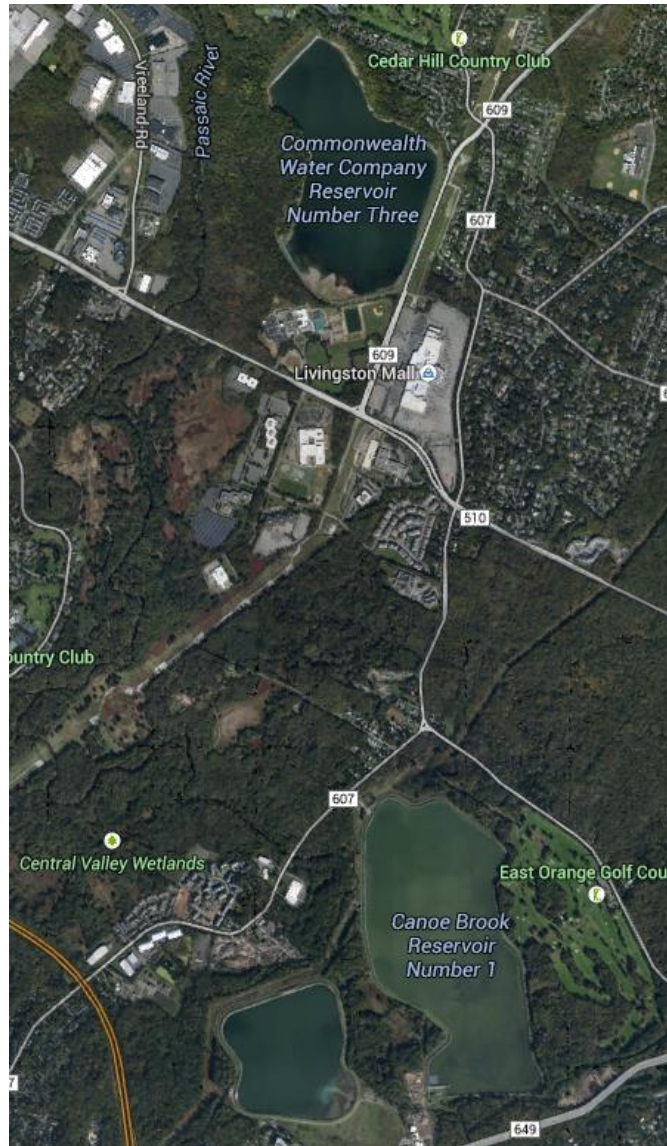


Figura 1. Sistema de embalse de Canoe Brook

A pesar de la presencia de los nuevos procesos de tratamiento, la planta todavía está plagada con altas concentraciones de algas, lo cual ha llevado a requerimientos excesivos de coagulantes, y un funcionamiento deficiente del filtro.

Como alternativa a los alguicidas basados en cobre, el uso del tratamiento ultrasónico a veces es utilizado para mantener las algas bajo control. El tratamiento ultrasónico utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para atacar las células de las algas. El tratamiento es ampliamente utilizado en aplicaciones comerciales y residenciales, pero es relativamente nuevo en los embalses municipales de agua potable. Para este proyecto, cuatro boyas MPC de LG Sonic fueron compradas e instaladas en el Embalse #1 para controlar el crecimiento de algas.

De acuerdo a LG Sonic, el tratamiento ultrasónico afecta las concentraciones de algas durante un periodo de semanas. Por lo tanto, debido a la forma en que el embalse fue tratado, ninguna comparación lado-a-lado fue posible. Además, ciclar las unidades intermitentemente durante un lapso corto no tendrá un impacto notable en la concentración de células de algas. Siendo así, únicamente comparaciones con datos históricos podrían ser usadas para evaluar la eficacia del sistema de boyas.

Duración

El estudio empezó el 13 de mayo de 2014 cuando cuatro boyas MPC de LG Sonic (una boya maestra y tres esclavas) fueron instaladas en el embalse. El estudio terminó el 12 de noviembre de 2014, cuando estas boyas fueron sacadas del agua por el invierno. Las boyas se pusieron en el embalse como se muestra en la Figura 2. El ingreso de la planta está localizado en la parte sur (zona inferior izquierda) del Embalse #1.

La boya maestra (la boya más al sur indicada en la Figura 2) incluye un paquete sensor que recolecta datos ópticos, y otros datos sobre la calidad del agua. Estos datos son utilizados por LG Sonic para determinar los taxones predominantes de algas presentes en el agua. Luego, un programa asociado de ultrasonido es utilizado para tratar las algas. La boya maestra también incluye tres transductores y limpiadores ultrasónicos (instalados en los vértices de un triángulo equilátero) para tratar el agua. Las boyas esclavas tienen los mismos transductores y limpiadores, pero no incluyen un paquete sensor. Las boyas esclavas usan el mismo programa ultrasónico que la boya maestra.

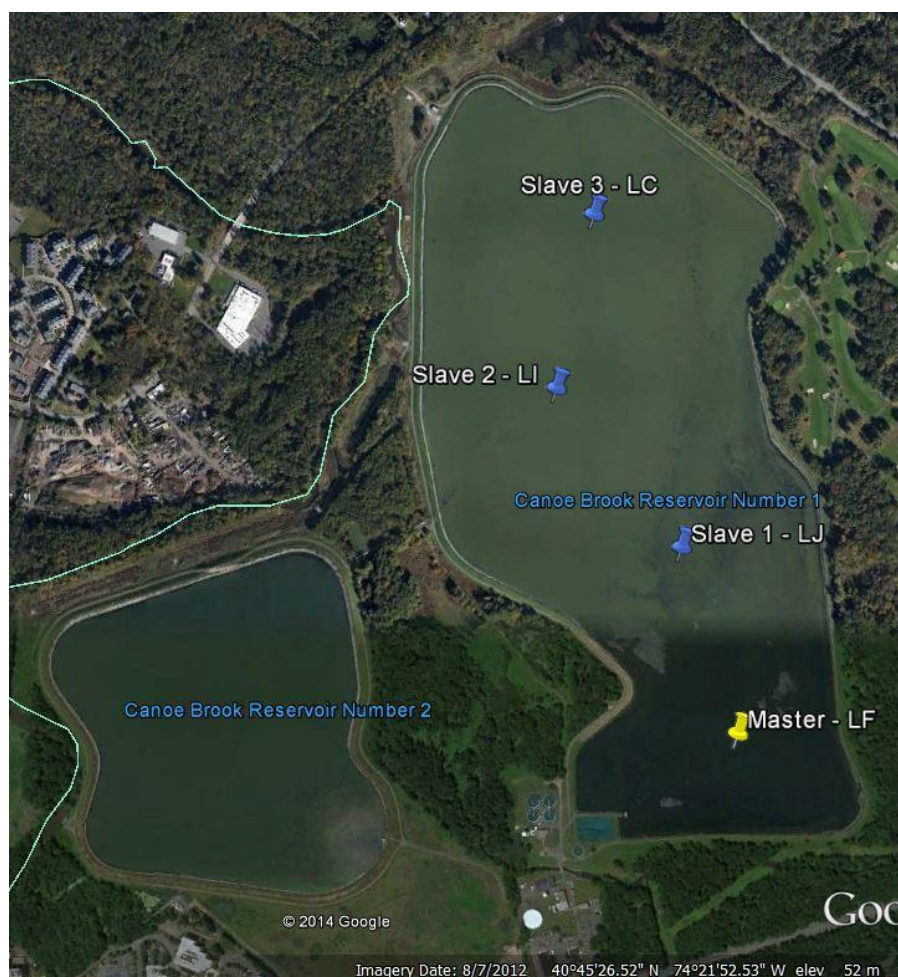


Figura 2. Localización de boyas para el Embalse #1 de Canoe Brook

El Embalse #1 cubre aproximadamente 200 acres, tiene una capacidad de almacenamiento de 757 millones de galones, y tiene una profundidad máxima de 17 pies. Y como se muestra en la Figura 3, la porción más profunda del embalse está en la punta norte, mientras que más cerca al ingreso, la profundidad se acerca a 10 pies.

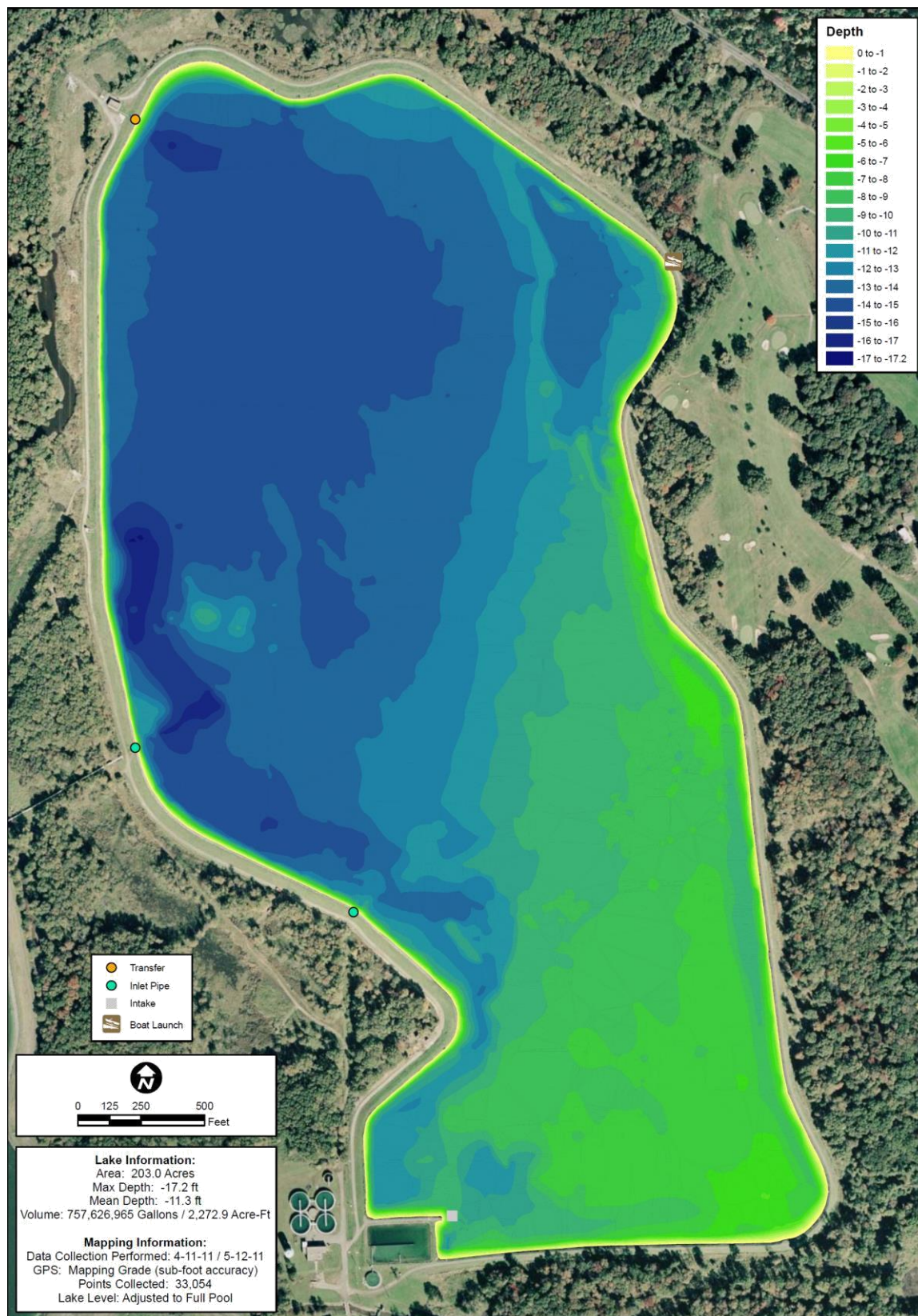


Figura 3. Perfil de profundidad del Embalse #1

Instalación y operaciones

Los componentes de las cuatro boyas fueron enviados desde Holanda a la planta de tratamiento de agua de Canoe Brook. En mayo 12 de 2014 las unidades fueron ensambladas con la asistencia de un representante de LG Sonic. El ensamblaje de los sistemas se llevó a cabo fácilmente gracias a tres personas, quienes pudieron completar dicho ensamblaje aproximadamente en 4 horas usando herramientas manuales (llaves inglesas, destornilladores), y pequeñas herramientas eléctricas (taladro eléctrico). El representante de LG Sonic luego estableció comunicaciones con las boyas para asegurar que los datos puedan ser subidos a la interfaz basada en la nube.

Las boyas fueron cargadas en un camión grúa, y llevadas al embalse, para ser instaladas al día siguiente. Las boyas fueron llevadas y puestas a flotar en las localizaciones respectivas (predeterminadas por LG Sonic, y confirmadas por GPS) usando una lancha y cadenas de ancla sujetadas. Luego las anclas (hidrantes usados) se lanzaron por la borda.

La planta y sistema operaron normalmente durante el periodo de prueba. Debido a lo seco de la primavera y el verano, el ingreso del Embalse #2 se abrió el 13 de agosto. Este ingreso fue cerrado el 25 de agosto.

Desde el inicio del programa de pruebas, hasta el 25 de agosto, las boyas operaron usando un programa genérico. El 25 de agosto el programa fue cambiado para concentrarse en cianobacterias. El 9 de septiembre el programa fue cambiado nuevamente para concentrarse específicamente en las cianobacterias *Aphanizomenon*. Este segundo cambio de programa del 9 de septiembre es identificado en los diagramas con una línea vertical punteada.

El 24 de septiembre se perdió la comunicación con la boya maestra, y ya no se estaban recolectando datos. Siguiendo el retiro de las boyas el 12 de noviembre, una investigación mostró que la boya todavía estaba operando, pero que las comunicaciones (y datos) se habían perdido. Datos de dos de las boyas esclavas indicaban que estas aún estaban operando hasta noviembre, cuando el estudio terminó. La tercera boya esclava (la que estaba más al sur, y más cerca a la boya maestra), dejó de operar el 8 de octubre debido a que la batería se descargó.

Las boyas fueron retiradas del agua a principios de noviembre. Para el retiro, las cadenas que conectaban las boyas a las anclas fueron desenganchadas, y fueron enganchadas a flotadores para marcar su localización. Luego las boyas fueron arrastradas flotando hasta la orilla, retiradas por un camión de grúa, y transportadas para limpieza, mantenimiento, y almacenarlas durante el invierno.

Recolección de datos

El crecimiento de algas depende de un número de factores, incluyendo la calidad del agua (nutrientes como el fosfato), y las condiciones climáticas (incluyendo temperatura, precipitación y radiación solar). Debido a que este fue un estudio de demostración-escala, y solo hay un embalse que alimenta la planta, no fue posible hacer un estudio controlado de lado a lado. Por lo tanto, todas las comparaciones fueron hechas con años anteriores.

Los datos recolectados caen en dos categorías principales – datos de antecedentes históricos, y datos recolectados durante la porción de prueba del estudio.

Los datos recolectados durante el estudio cayeron en varias categorías, incluyendo:

- Datos de clima
 - Precipitación
 - Temperatura (aire/agua)
- Calidad del agua
 - Conteo de algas/Datos de Flowcam
 - Materia orgánica
 - Geosmina/MIB
 - Carbono Orgánico Total
 - Fluorometría de matriz de excitación-emisión de fluorescencia
 - Microcistina LR
 - Fosfato
 - Datos de boya
 - Clorofila A
 - Ficocianina
 - Turbidez
 - Temperatura
 - Oxígeno disuelto
 - pH
 - Potencial de reducción de oxidación
- Datos operativos de la planta
 - Dosis químicas (alumbre, ácido sulfúrico, hipoclorito de sodio)
 - Turbiedad efluente de DAF
 - Turbiedad efluente de filtro combinado
 - Duración de funcionamiento de filtro

Las muestras de calidad del agua incluían muestras al azar (recolectadas semanalmente), y datos continuos de los monitores abordo de la boya maestra. Estos datos fueron recolectados durante intervalos variantes a través de la prueba, y fueron descargados usando acceso remoto.

Métodos

Recolección de muestras

Las muestras fueron recolectadas semanalmente por personal local de calidad de agua en el sistema de Short Hills. Se recolectaron a mano muestras de agua de la superficie del Embalse #2 (cerca al ingreso al Embalse #1), y se recolectaron muestras en la parte profunda del ingreso del Embalse #1.

Las muestras fueron enviadas bajo refrigeración, por medio del servicio de entrega al día siguiente de UPS, a los respectivos laboratorios en Delran, Belleville, o Eurofins.

Conteos de algas

Los conteos de algas fueron hechos usando un instrumento de escaneo de fluidos de FlowCAM. Los conteos se llevaron a cabo dos veces al día usando agua recolectada del ingreso de la planta, en el Embalse #1. Aproximadamente una vez a la semana, las imágenes en estas muestras eran caracterizadas usando morfología para determinar el género de algas. Los conteos en los Embalses #2 y #3 se llevaban a cabo cuando se pedían específicamente.

La dinámica de la población de algas era generada utilizando datos adquiridos a través del sistema de análisis de partículas y escaneo dinámico de FlowCAM. Este sistema aísla unidades, colonias, o células individuales como imágenes individuales. Estas imágenes luego son medidas y cuantificadas usando el software patentado de FlowCAM, Visual Spreadsheet (ViSp). Las imágenes fueron capturadas

usando el modo de auto-captar, bajo una tasa de flujo de 0.9 mL/min, y una tasa de captura de imagen de 20 cuadros por segundo. Las condiciones de barrera para las limitaciones de tamaño consistieron en contar imágenes entre 20µm y 400µm, usando la medida de Diámetro (ESD) generada por el ViSp.

Después de que la adquisición de imágenes se ha completado, los archivos de imagen de todos los especímenes dentro del rango de tamaño fueron pos-procesados y organizados usando el sistema de clasificación automático disponible a través del programa ViSp. Luego las imágenes fueron categorizadas por identificación de características morfológicas específicas a su género taxonómico individual, para luego ser agrupadas en cinco clases más generales, como se muestra a continuación. Luego se calculó el número de concentraciones de algas basándolos en la cantidad de fluido escaneado / cantidad de fluido procesado.

Clase	Géneros identificados
Diatomeas	Asterionella Fragillaria Nitzschia
Algas doradas	Dinobyron
Algas verdes	Oedogonium Staurostrum Volvox
Cianobacterias	Aphanizomenon Anabaena Dolichospermum Gomphosphaeria Lyngbya
Otros	Ceratium Euglena Mallomonas Desconocido

Carbono orgánico

TOC

El carbono orgánico total fue medido en el laboratorio de Delran usando un analizador TOC-V_{CSH} de acuerdo al Método Estándar 5310 B (APHA 2005). Se hicieron inyecciones triplicadas, y se reportó el promedio.

Sabores y olores

Los resultados de sabores y olores fueron medidos en el laboratorio de Belleville usando el Método Estándar 6040D. Los límites de detección en estos análisis son de 2 ng/L. Para los propósitos de este reporte, se asumió que cualquier muestra reportada como debajo del límite de detección era de 2 ng/L.

FEEM

La fluorometría de matriz de excitación-emisión de fluorescencia fue llevada a cabo en el laboratorio de Delran usando un instrumento Horiba Aqualog. Se utilizó una metodología de "selección de picos" para identificar componentes separados de la materia orgánica. La Tabla 2 muestra las diferentes etiquetas, longitudes de onda de excitación y emisión, y referencias para los varios componentes orgánicos.

Tabla 2
Parámetros de FEEM

Componente	Excitación Longitud de onda (nm)	Emisión Longitud de onda (nm)	Referencia
Húmicos	370-390	460-480	Henderson y colaboradores (2009)
Clorofila	431	670	Moberg y colaboradores (2001)
Ficocianina	565 – 605	620 – 700	Sonda YSI de algas azules verdes
Triptófano	264-284	340-380	Wert y colaboradores (2014)
Índice de fluorescencia (FI)	370	450/500	McKnight y colaboradores (2001)

El instrumento escaneó desde 200 hasta 800 nm, con un ancho de banda de 5-nm, a intervalos de 5-nm. Las lecturas fueron corregidas contra un blanco de agua destilada y desionizada, y normalizadas a un estándar de sulfato de quinina. La fluorescencia total para cada uno de estos picos fue calculada integrando las señales de fluorescencia sobre los anchos de banda para las longitudes de onda de excitación y emisión.

Los húmicos generalmente son la forma más prevalente de orgánicos en aguas superficiales, y están asociados con tierra caída. La clorofila y ficocianina son pigmentos de las algas, en donde la ficocianina está asociada a las algas azul-verdes (cianobacterias), y la clorofila está asociada tanto a las algas verdes como las azul-verdes. Siendo así, estos valores son indicadores de la presencia de algas.

El triptófano es un aminoácido, y es indicativo de actividad biológica en el agua. El índice de fluorescencia (FI) es utilizado para distinguir fuentes de ácidos fúlvicos acuáticos aislados. El FI es calculado dividiendo la fluorescencia generada por excitación a 370 nm, en dos longitudes de onda de emisión diferentes (450 y 500 nm). Las aguas con materia orgánica predominantemente terrestre tienen un FI de casi 1.0, mientras que aguas con materia orgánica predominantemente derivada de microbios tiene un FI más cercano a 2.0.

Microcistinas

La toxina de algas conocida como microcistina LR fue medida en el laboratorio Eurofins en California, usando un análisis de ELISA con un límite de detección de método de 0.05 µg/L.

Fosfato

El fosfato fue medido en el laboratorio Delran usando el método Hach 8048.

Datos de boyas

La boya maestra incluía dos sets de sensores – sensores ópticos y sensores convencionales. Los sensores ópticos estaban basados en fluorescencia, y median clorofila A (en emisión de 470 nm), ficocianina (en 610 nm), turbiedad (en 685 nm), y luminiscencia para oxígeno disuelto. Los sensores convencionales incluían: Electrodo de combinación Ag/AgCl pH, electrodo de combinación ORP (Oxidation-Reduction Potential – Potencial de Reducción de Oxidación), y sonda de temperatura.

Resultados

Datos climáticos

El periodo de registro para los datos de calidad del agua cubría desde enero 1 de 2008 hasta diciembre 31 de 2013. Estos datos históricos incluían datos climáticos (incluyendo temperatura del aire y precipitación), datos de conteo de algas de los embalses, y componentes de sabor y olor en los embalses. Para datos operativos de la planta, solo datos desde el año 2013 fueron utilizados, ya que ese fue el primer verano en el que la nueva planta estuvo en funcionamiento.

Debido a que el crecimiento de algas es enormemente influenciado por el clima, es necesario evaluar las condiciones climáticas durante el verano de 2014, y compararlas con los registros históricos de 5 años. Los datos climáticos cubriendo el periodo de incluir temperatura y precipitación máxima y mínima, fueron recolectados de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) de Short Hills, NJ. Estos son listados en la Tabla 3:

Tabla 3
Comparación de condiciones climáticas para 2014 comparadas al 2008-2013

	Temperatura promedio diaria del aire (°C)			Precipitación mensual (pulgadas)		
	Mínima Promedio	Máxima Promedio	2014	Mínima Promedio	Máxima Promedio	2014
Mayo	10.1	23.2	16.7	3.9	5.1	7.0
Junio	15.6	28.2	22.0	2.5	6.6	2.3
Julio	18.3	31.3	23.8	2.8	5.8	6.7
Agosto	17.0	29.3	22.1	4.7	18.1	3.4

Septiembre	13.4	25.5	19.4	2.2	6.3	1.5
Octubre	6.2	18.6	13.5	4.0	6.6	3.7

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets#GHCND>

Basándonos en este análisis, la temperatura promedio del aire durante el 2014 se encontraba dentro de la norma de los 5 años anteriores, al compararse a los mismos meses en los años 2008-2013. La precipitación total durante el periodo de prueba fue de 24.5 pulgadas, mientras que la precipitación promedio total para los mismos meses fue de 27.4 pulgadas. Siendo así, durante el periodo de pruebas el clima estuvo un poco más seco que de costumbre.

Asumiendo que la cantidad de precipitación está asociada con la cantidad de nubosidad, podría presumirse que el 2014 tuvo un poco más de luz solar que en los años anteriores. Siendo así, las condiciones para el crecimiento de algas durante la prueba fueron por lo menos representativas de años anteriores, si no es que eran mejores para el crecimiento de algas. Por lo tanto, las conclusiones tanto del periodo de estudio como de años anteriores pueden darnos un alto grado de certeza de que el clima no fue un factor confuso en el control de algas.

Como lo indica la Figura 4, los datos recolectados por Noveda, el cual monitorea los paneles solares localizados en el Embalse #1, muestran que de forma similar a como ocurre con la precipitación, la irradiación solar real fue ligeramente más conductiva al crecimiento de algas durante junio, julio y agosto de 2014 en comparación al mismo periodo en el 2013, y ligeramente menos conductiva al crecimiento en mayo y septiembre.

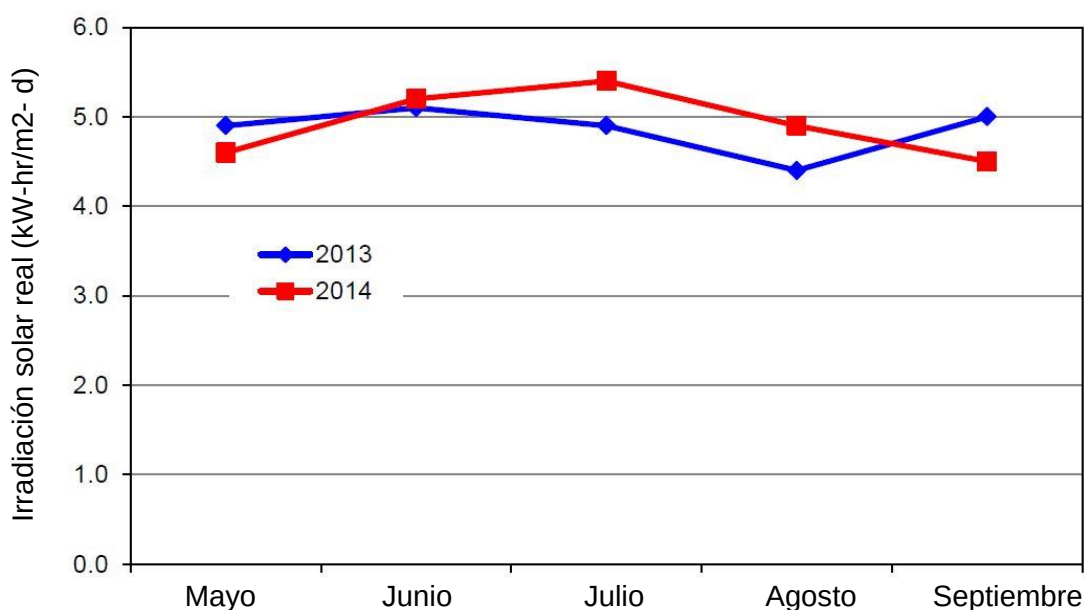


Figura 4. Datos de irradiación solar para 2013 y 2014

Conteos de algas

Los conteos totales de algas para el Embalse #1 son mostrados en la Figura 5. En estas figuras, las líneas verticales representan las fechas en las que el embalse fue tratado con un alguicida basado en cobre. No hubo tratamientos con cobre en 2012 y 2013, ya que la nueva planta de tratamiento (la cual incluye flotación de aire disuelto para eliminar algas como parte del proceso de coagulación / clarificación) empezó a operar.

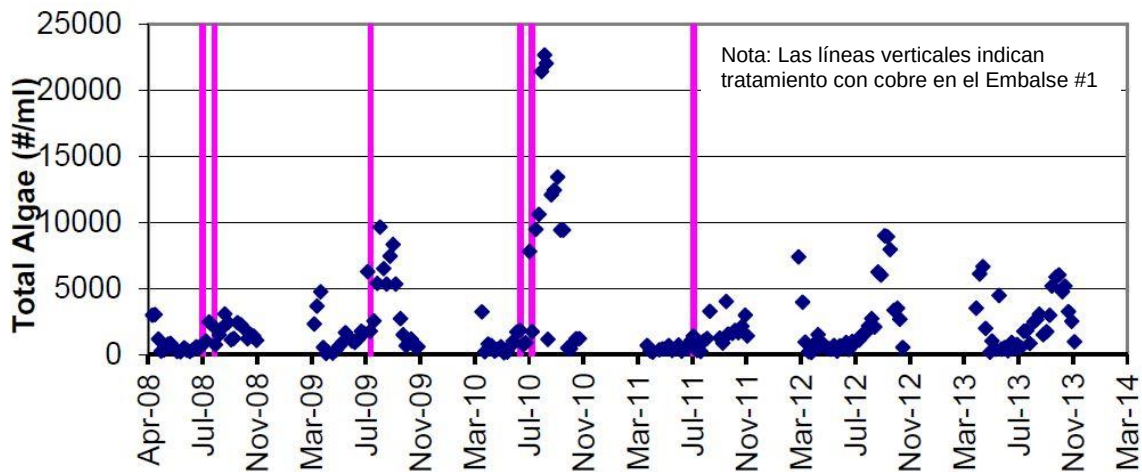


Figura 5. Conteo de algas en el Embalse #1 de Canoe Brook

Además del conteo total de algas, también se hicieron conteos para las cianobacterias filamentosas (algas azul-verdes) *Anabaena*, los cuales se muestran en la Figura 6.

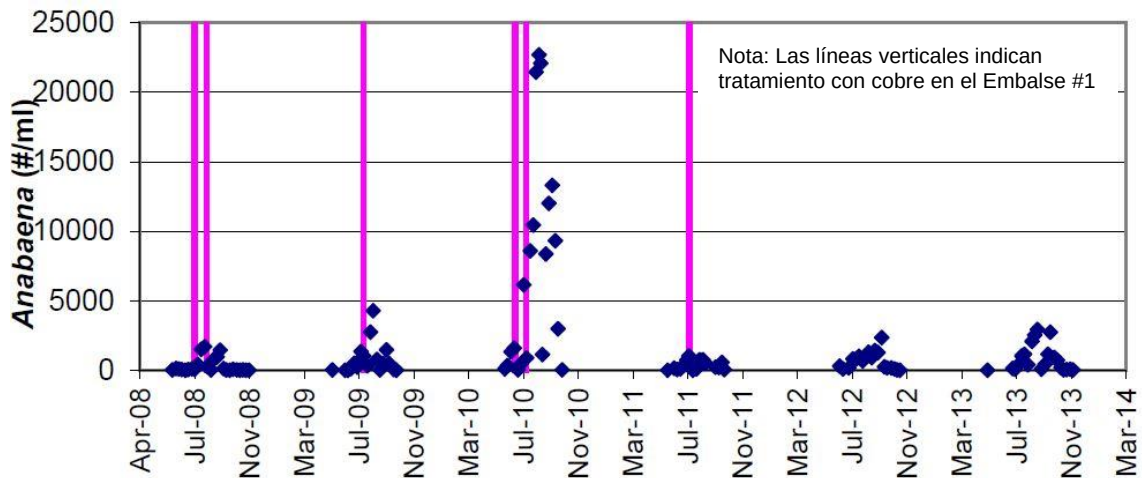


Figura 6. Conteos de *Anabaena* en el Embalse #1 de Canoe Brook

Como puede verse en el registro de 5 años, los conteos de algas generalmente están por debajo de 5000/ml, excepto durante brotes.

Durante el estudio, los conteos de algas fueron usados para determinar la condición del embalse semana a semana. Los conteos son mostrados a continuación, en la Tabla 4:

Tabla 4
Conteos de algas del Embalse #1 (#/ml)

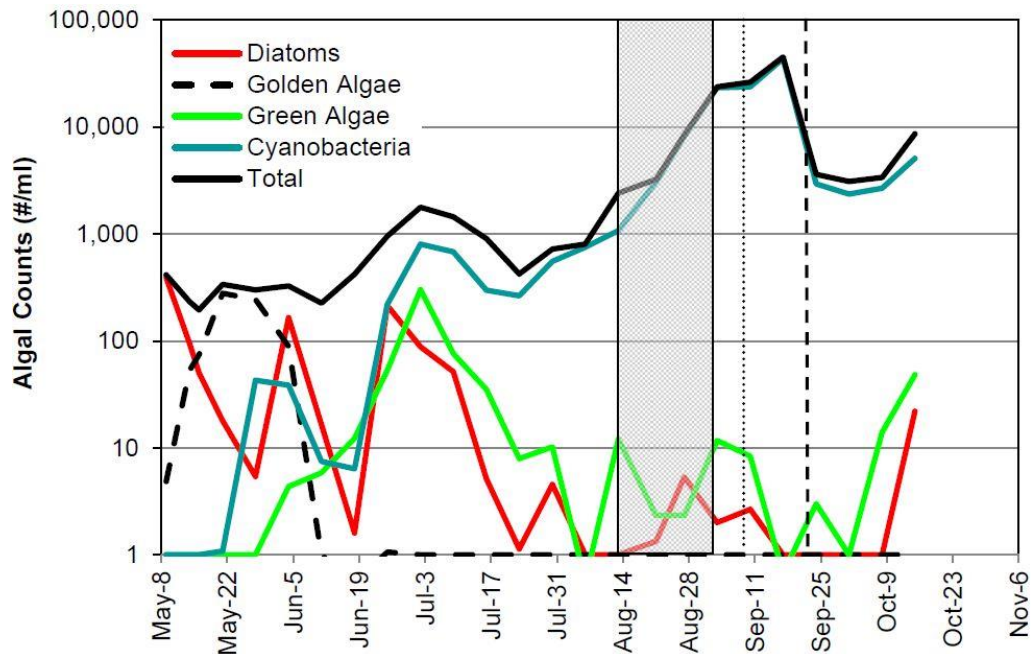
	Diatomeas	Doradas	Algas verdes	Cianobacterias	Otras	Total
5/9/2014	391	5	0	0	18	414
5/14/2014	95	53	0	0	85	233
5/16/2014	50	74	0	0	70	195
5/21/2014	18	279	0	1	38	336

5/21/2014	18	279	0	1	38	336
5/28/2014	5	243	0	43	7	298
6/4/2014	165	89	4	38	29	326
6/11/2014	16	0	6	7	195	225
6/18/2014	2	1	12	6	398	419
6/25/2014	213	1	53	219	468	954
7/2/2014	88	0	302	802	578	1,770
7/9/2014	52	0	76	680	634	1,442
7/16/2014	5	0	35	298	562	900
7/23/2014	1	0	8	264	149	422
7/30/2014	5	0	10	554	153	722
8/6/2014	0	0	1	750	52	802
8/13/2014	1	0	12	1,069	1,323	2,405
8/21/2014	1	0	2	3,043	184	3,230
8/27/2014	5	0	2	8,179	276	8,463
9/3/2014	2	0	12	23,259	426	23,699
9/10/2014	3	0	8	23,761	2,356	26,128
9/17/2014	0	0	1	43,602	1,291	44,894
9/24/2014	0	0	3	2,934	662	3,598
10/1/2014	0	0	0	2,348	737	3,085
10/8/2014	0	0	14	2,674	679	3,367
10/15/2014	22	0	48	5,068	3,498	8,636

Como puede apreciarse en estos datos, hubo una progresión de algas durante el periodo de prueba. A principios de mayo, niveles bajos de diatomeas fueron prevalentes. A finales de mayo, algas doradas empezaron a aparecer en pocas cantidades. Estas luego progresaron a algas verdes, y finalmente empezaron a brotar cianobacterias a mediados de agosto. Antes de agosto 13, los conteos totales de todas las algas eran menos de 2000/ml, y la mayoría de las veces menos de 1000/ml.

Como se estableció anteriormente, el 13 de agosto, el ingreso del Embalse #2 fue abierto. Esto pareció "alimentar" el Embalse #1 con niveles más altos de cianobacterias, especialmente la *Aphanizomenon*. Esta cianobacteria es especialmente resistente a los ultrasonidos, ya que cuenta con vesículas de gas muy pequeñas, y un recubrimiento exterior fuerte. El 25 de agosto, como respuesta al alto conteo de algas, el programa de ultrasonido fue ajustado para atacar las cianobacterias en general. Sin embargo, los conteos siguieron aumentando.

El 9 de septiembre el programa fue cambiado nuevamente para atacar a la *Aphanizomenon* (como lo indica la línea negra punteada). En algún momento, entre el 17 y 24 de septiembre, el ultrasonido empezó a tener un impacto significativo sobre la *Aphanizomenon*. Varias semanas después del 24 de septiembre, cuando se perdió comunicación con la boya maestra (mostrado por la línea azul punteada), los conteos de algas en el Embalse #1 empezaron a incrementarse. Estos eventos se muestran gráficamente en la Figura 7.



Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicación con la boya maestra

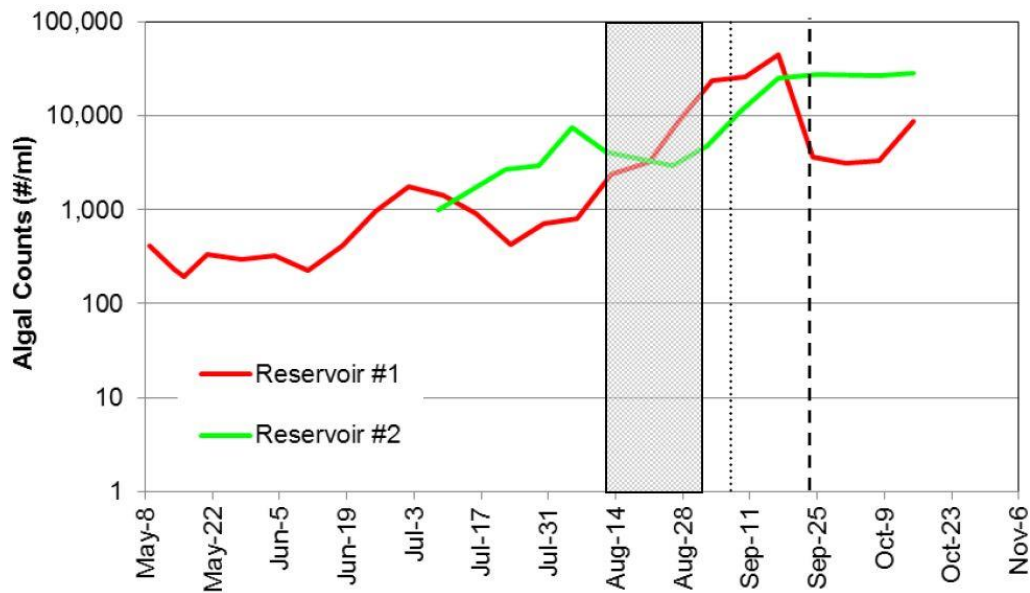
Figura 7. Datos de conteo de algas del Embalse #1

Los conteos de algas para el Embalse #2 son mostrados en la Tabla 5, y son comparados con los conteos del Embalse #1 en la Figura 8. Como se puede apreciar en estos datos, los conteos de cianobacterias en el Embalse #2 fueron significativamente más altos que en el Embalse #1 durante inicios de agosto. Cuando el ingreso del Embalse fue abierto, esto permitió que la *Aphanizomenon* brotara dentro del Embalse #1, y el conteo rápidamente se incrementó.

Una vez el programa ultrasónico correcto fue seleccionado, y el ingreso del Embalse #2 fue cerrado, las boyas tuvieron éxito controlando las algas. Es importante notar que es claro que el decremento en los conteos de algas en el Embalse #1 fue debido al ultrasonido, y no a las condiciones climáticas. Esto es así debido a que después de que el ingreso se cerrara, los conteos en el Embalse #2 se mantuvieron más altos que los del Embalse #1, como se muestra en la figura 8.

Tabla 5
Datos de conteo de algas del Embalse #2

	Diatomeas	Doradas	Verdes	Cianobacterias	Otras	Total
7/8/2014	9	0	350	34	612	1,005
7/22/2014	0	0	0	2,249	428	2,677
7/29/2014	0	0	0	2,194	767	2,961
8/5/2014	0	0	0	7,002	592	7,594
8/12/2014	0	0	9	3,642	463	4,114
8/26/2014	1	0	14	2,120	844	2,979
9/2/2014	0	0	5	3,633	1,159	4,797
9/9/2014	0	0	8	9,519	1,689	11,216
9/17/2014	0	0	5	22,459	2,407	24,871



Notas:

1. el área sombreada indica el periodo cuando se abrió el ingreso al Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figura 8. Comparación de los conteos de algas del Embalse #1 y el Embalse #2

En adición a los conteos cuantitativos de algas, el instrumento de FlowCam permitió las comparaciones cualitativas de algas antes y después del tratamiento. Como se muestra en la Figura 9, las imágenes de la diatomea *Asterionella* antes y después del tratamiento ultrasónico muestran claras diferencias. Antes de la instalación de las boyas (figuras superiores), estas diatomeas muestran colonias completas con ramas gruesas. Después de solo unos días de tratamiento (figuras inferiores), las colonias están rotas, más delgadas, y posiblemente muestran señales de depredación por parte de hongos (visto como los puntos circulares sobre las ramas de las colonias).

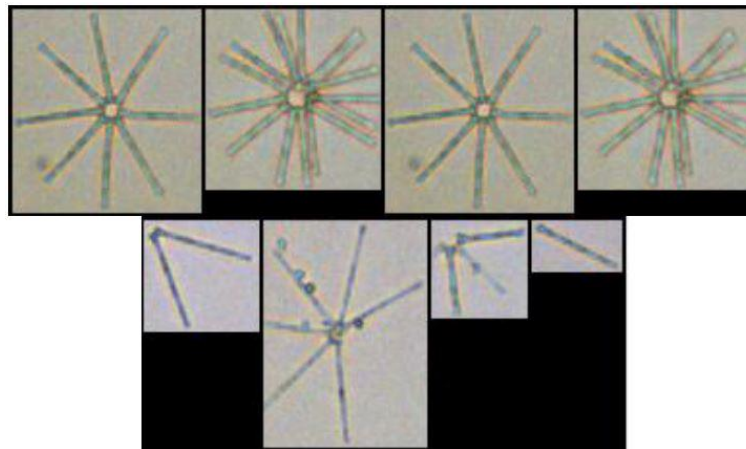


Figura 9. Comparaciones de *Asterionella* antes (arriba) y después (abajo) de la instalación de la boya

Inclusive aunque el programa general ultrasónico para las azul-verdes no redujo los conteos de Aphanizomenon, la FlowCam mostró que de todas formas hubo un impacto sobre estos organismos. En el Embalse #2, la Aphanizomenon existía como lotes de células. Se piensa que estos lotes (los cuales también fueron notados en imágenes del Embalse #1 en el verano de 2013) causan obstrucciones en los filtros. Durante el año 2014, en el Embalse #1, la Aphanizomenon generalmente apareció principalmente como hilos únicos, y no parecieron causar obstrucciones en los filtros de la planta. Las imágenes de estos dos tipos de Aphanizomenon que pueden existir se muestran en la Figura 10.

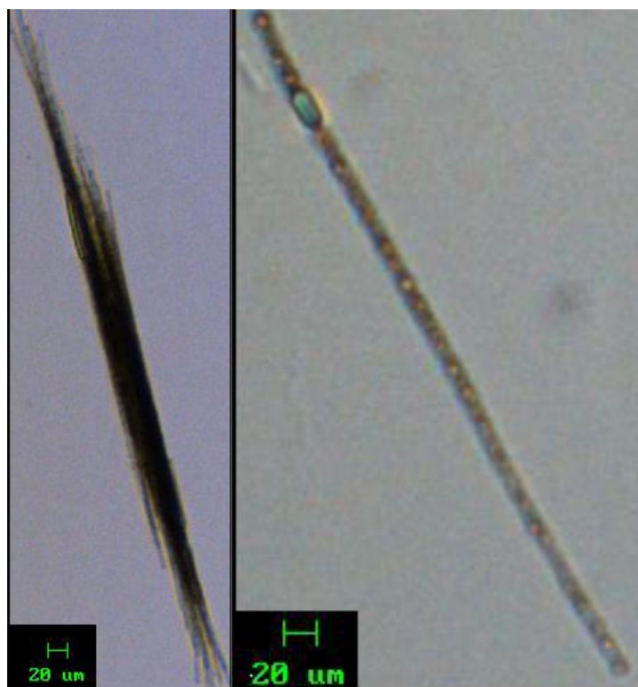


Figura 10. Comparaciones de la Aphanizomenon antes (izquierda) y después (derecha) del tratamiento con ultrasonido

También es posible que el incremento en el conteo de Aphanizomenon se deba a esta "perturbación" de los lotes, y que los conteos más altos fueron debidos a contar hilos solos en vez de células múltiples en lotes. Esta "separación" de la Aphanizomenon a causa de ondas ultrasónicas de baja frecuencia también fue aludido por Purcell, Parsons y Jefferson (2013).

Carbón orgánico

TOC

Desde el 2010, el carbono orgánico total del agua no-tratada generalmente oscilaba entre 4 y 6 mg/L, con varias excursiones excediendo los 7 mg/L, como se muestra en la Figura 11. Una excursión significativa ocurrió durante julio de 2010, la cual también correspondió a un periodo de conteos altos de algas. Este mismo patrón emergió con compuestos de sabores y olor donde altos niveles de geosmina y MIB fueron registrados en el verano de 2010.

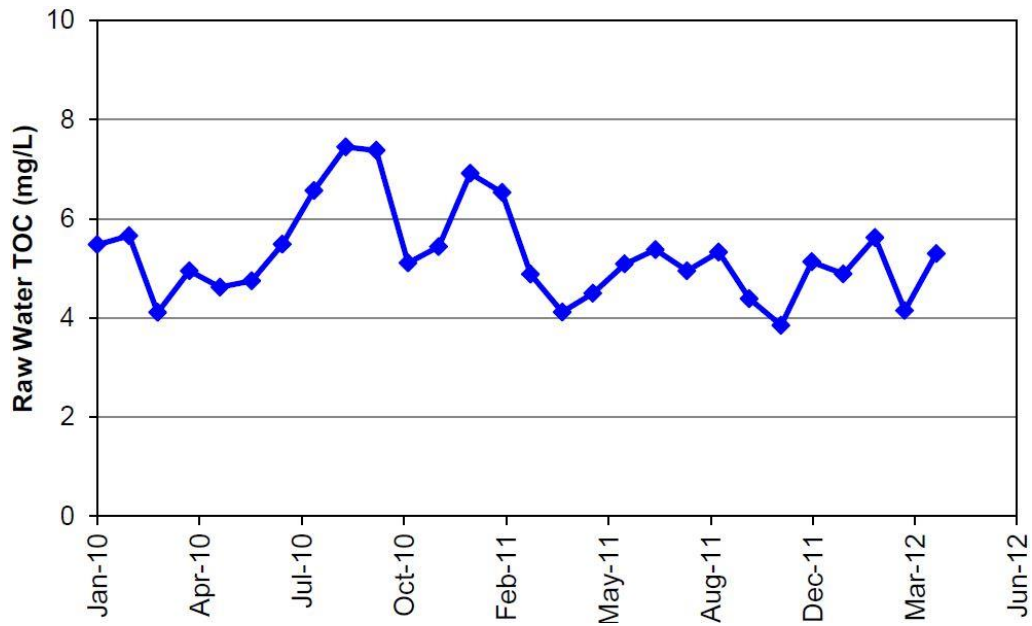
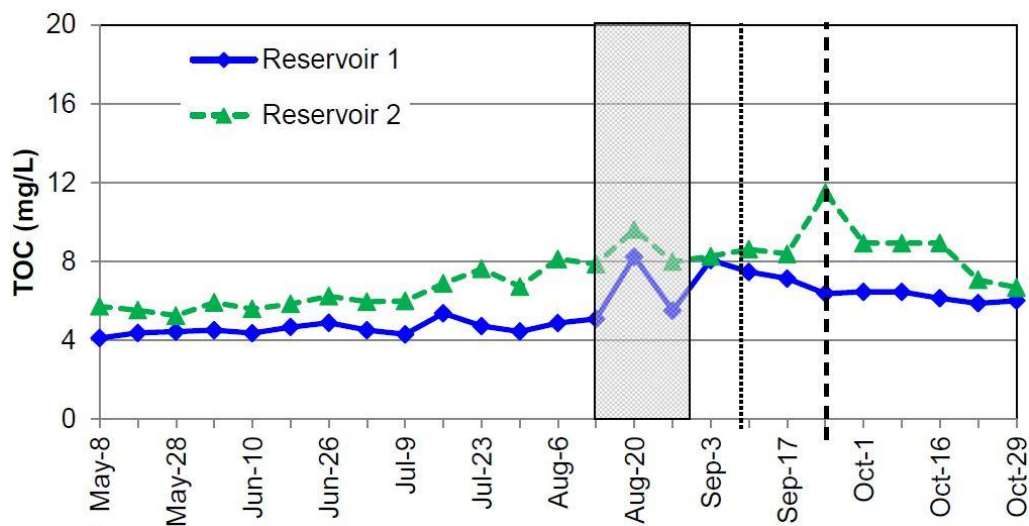


Figura 11. TOC de agua no-tratada del ingreso de la planta

Los resultados semanales de TOC recolectados durante el estudio son mostrados en la Figura 12. En general, el TOC en el Embalse #2 (mostrado en verde) fue significativamente más alto que el de los otros embalses. Sin embargo, a mediados de agosto, el ingreso del Embalse #2 fue abierto para permitir que el agua entrara al Embalse #1.

Después de esto hubo un incremento inmediato en el TOC medido en el Embalse #1 (mostrado en azul). Inclusive después de que el ingreso fue cerrado a finales de agosto, el TOC en el Embalse #1 no regresó al nivel en el que estaba antes de la apertura del ingreso, aunque los niveles sí cayeron de aproximadamente 8 mg/L, a aproximadamente 6 mg/L.

- 1) el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
- 2) la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
- 3) la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra



Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figura 12. Resultados semanales de TOC

Antes de la apertura del ingreso del Embalse #2, las concentraciones de TOC recolectadas durante el estudio fueron generalmente más bajas que lo visto en veranos anteriores. No es claro si esto es debido al uso de las boyas ultrasónicas, las cuales redujeron el TOC en el Embalse #1, o si es debido a que los datos anteriores fuesen artificialmente altos debido a permitir que pasara agua del Embalse #2 al Embalse #1.

Sabores y olores

Aunque el TOC no es impactado por un tratamiento de ultrasonido, la concentración de compuestos de sabores y olores en el agua estuvieron significativamente relacionados con el nivel de células de algas. Los compuestos de sabor y olor pueden, o ser disueltos dentro de la columna de agua, o ser asociados dentro de las células de las algas.

Una vez los compuestos están disueltos en la columna de agua, las ondas ultrasónicas no destruirán esos compuestos. La disolución de esos compuestos puede ocurrir cuando la membrana celular de las algas son desgarradas. Si los compuestos están almacenados dentro de las células, entonces si se eliminan las células por medio de filtración, o por medio de matar (más no desgarrar la membrana exterior de) las células, los compuestos no se disolverán en el agua.

En general, las concentraciones de geosmina y MIB en el ingreso de la planta son bajas, con concentraciones menores a 10 ng/L. Excepciones notables se dan durante periodos de alto crecimiento de algas, cuando se han reportado niveles de geosmina que exceden los 25 ng/L. En general el MIB no es algo de que preocuparse, aunque han habido varios casos en los que el MIB ha excedido los 15 ng/L. Estos datos históricos son mostrados en la Figura 13.

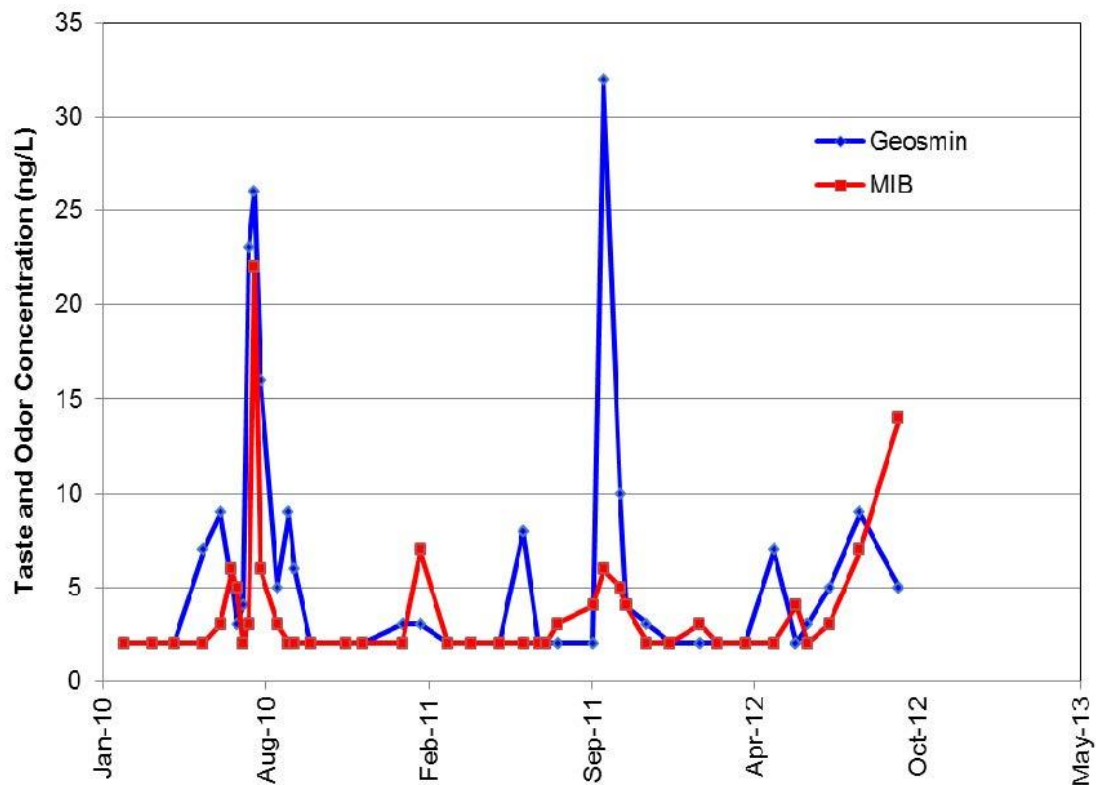
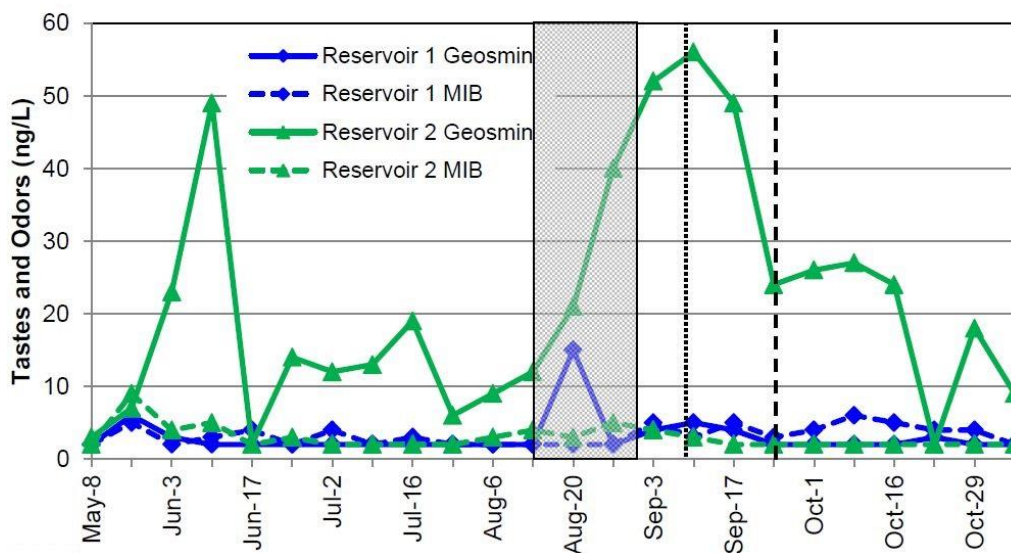


Figura 13. Sabores y olores en el ingreso de la planta

Los resultados semanales de sabor y olor para los embalses se muestran más adelante, en la Figura 14. Como se ve en la Figura 23, los niveles de geosmina en el Embalse #2 fueron generalmente mucho más altos que en el Embalse #1. Después de que se abriera el ingreso del Embalse #2 el 13 de agosto, hubo un incremento repentino en el nivel de geosmina en el Embalse #1. Sin embargo, este impacto solo estuvo presente durante una semana. Esto sugeriría que la geosmina permaneció dentro de las células de las algas, y que el ultrasonido se tardó entre una y dos semanas (desde algún momento después del 13 de agosto, hasta algún momento antes de que las muestras fuesen recolectadas el 26 de agosto) para tener un impacto sobre las células del Embalse #1.



Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figura 14. Resultados semanales de sabor y olor

A diferencia de la geosmina, los niveles de MIB (mostrados por líneas intermitentes) en los embalses eran generalmente bajos (al límite, o alrededor del límite de detección de 2 ng/L). En ningún momento los niveles de MIB excedieron los 10 ng/L, y solo dos muestras (una de cada embalse, en días diferentes) excedieron los 5 ng/L.

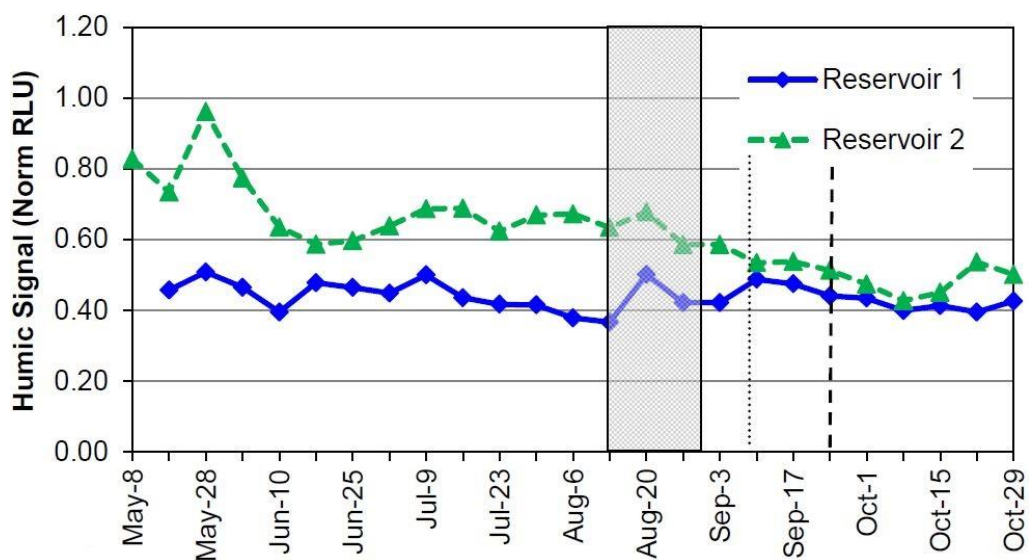
Comparado con los datos históricos, los resultados del Embalse #1 indican que los niveles de geosmina y MIB eran iguales a, o mejores que, cuando se usaron compuestos de cobre para el control de algas.

FEEM

Los resultados semanales para los cinco parámetros diferentes calculados usando fluorescencia son mostrados en las Figuras 15-19. En cada figura, el periodo (agosto 13-29) mostrando cuando se abrió el ingreso del Embalse #2, se muestra en una caja sombreada. El cambio del programa contra la *Aphanizomenon* (septiembre 9) es mostrado por una línea vertical punteada, y cuando cesaron las comunicaciones con la boya maestra (septiembre 24) se representa por una línea vertical sólida.

Los resultados semanales de nivel húmico mostrados en la Figura 17 indican que el nivel de húmico en el Embalse #2 fue significativamente más alto que en el Embalse #1. Durante el transcurso del estudio, el nivel húmico en el Embalse #2 se redujo, mientras que el nivel en el Embalse #1 permaneció relativamente estable. Cuando se abrió el ingreso del Embalse #2, el nivel húmico en el Embalse #1 incrementó ligeramente, pero gradualmente se recuperó, regresando cerca a su punto base. Como se esperaba, el que la boya maestra estuviese desactivada no tuvo impacto sobre los niveles húmicos.

La caída significativa en niveles húmicos en el Embalse #2 es desconcertante. Como se muestra en la Figura 15, el TOC general en el Embalse #2 incrementó, pero la señal húmica en la Figura 15 muestra un decremento. Este decremento puede estar relacionado con un efecto de "disolución", siendo que un porcentaje más alto de la firma de fluorescencia total se debe a pigmentos de algas, o podría ser debido a un decremento real en la materia húmica, al ser esta transformada en formas más biodegradables y consumidas. Alternativamente, la señal de fluorescencia pudo haber sido extinguida por algún otro compuesto desconocido.

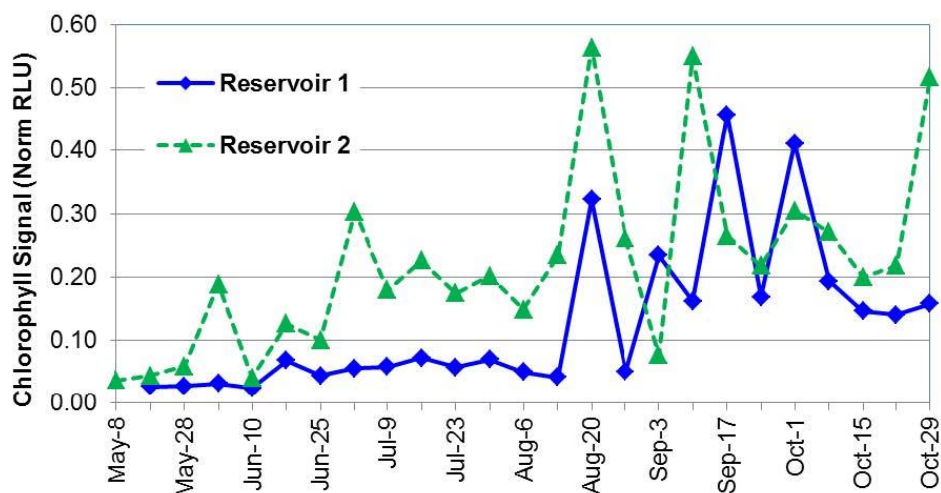


Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figure 15. Resultados húmicos semanales

Como se ve en la Figura 16, existen variaciones significativas en los niveles de clorofila en el Embalse #2, lo cual es indicativo del crecimiento de algas. Después de la apertura del ingreso, un incremento significativo de clorofila fue visto en el Embalse #1. Estos niveles en el Embalse #1 mostraron una variación significativa a finales de agosto. El 9 de septiembre, el programa ultrasónico fue cambiado para enfocarse específicamente en la *Aphanizomenon* (mostrado por la línea punteada en la Figura 16). Después de este cambio tuvieron que pasar varias semanas para que la señal de clorofila disminuyera.

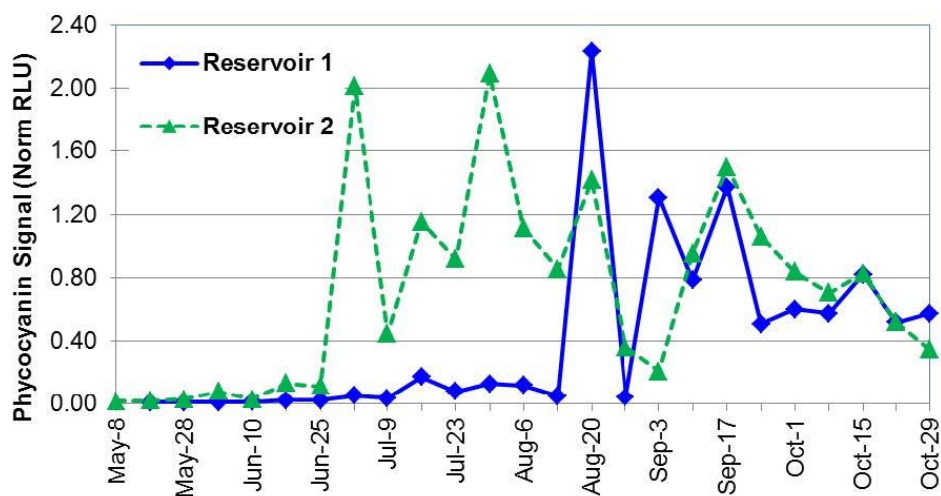


Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figura 16. Resultados semanales de clorofila

Los resultados semanales de ficocianina se muestran en la Figura 17. La ficocianina es un pigmento de algas asociado con las cianobacterias. Los niveles de ficocianina en el Embalse #2 empezaron a incrementar significativamente a principios de julio. No fue sino hasta que se abrió el ingreso que se vieron niveles altos en el Embalse #1. Siguiendo el segundo cambio de programa (indicado por la línea punteada en la Figura 17), tuvieron que pasar varias semanas para que la señal de ficocianina cayera en el Embalse #1.

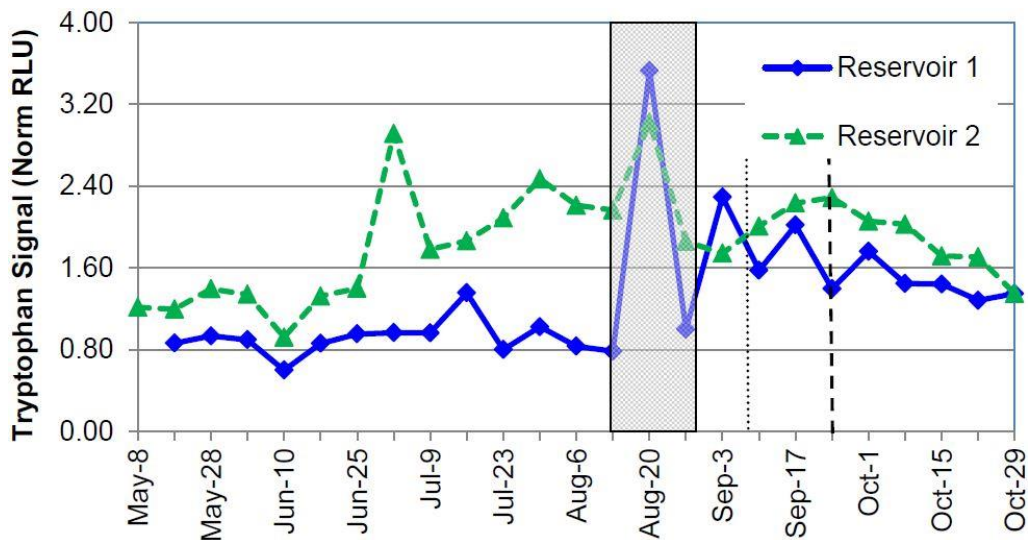


Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figura 17. Resultados semanales de ficocianina

Los resultados de triptófano son mostrados en la Figura 18. Como con las otras señales de fluorescencia, los niveles en el Embalse #2 son más altos que en los otros. Después de que el ingreso se abriera, un impacto inmediato es visto en el Embalse #1. Después de eso tuvieron que pasar varias semanas para que los niveles en el Embalse #1 disminuyeran. Debido a que el triptófano está relacionado con actividades biológicas, esta reducción podría ser debido a una temperatura del agua más baja, llevando a valores más bajos en vez de que sea debido a impactos del tratamiento ultrasónico.



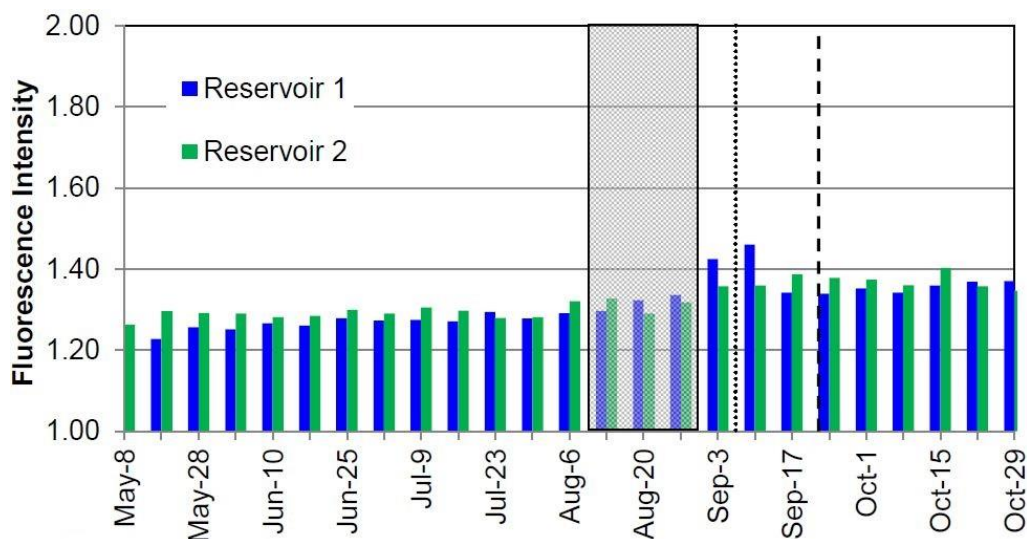
Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figura 18. Resultados semanales de triptófano

Los valores de índice de fluorescencia (una medida de la naturaleza de la materia orgánica – ya sea derivada de la tierra o de microbios) son mostrados en la Figura 19. No hubo diferencias significativas entre los embalses durante el estudio, aunque algunas diferencias pueden ser notadas en el Embalse #1 durante inicios de septiembre, cuando los conteos de algas estuvieron muy altos.

Como se estableció anteriormente, los valores altos de FI indican NOM (Natural Organic Matter – Materia Orgánica Natural) que es biológicamente derivada, en vez de ser de origen terrestre. Además, los niveles en todos los tres embalses parecieron incrementarse gradualmente durante el estudio, desde ligeramente debajo de 1.3, hasta estar en medio de 1.3 y 1.4. De nuevo, esto es indicativo de las condiciones generales de los embalses; es decir que la materia orgánica presente se volvió más impactada por derivación microbiana debido a las algas y a la actividad biológica, a medida que siguió pasando el verano.



Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figura 19. Resultados semanales de Índice de Fluorescencia

Varias muestras que contienen algas fueron filtradas a través de filtros de fibra de vidrio de 0.7- μm . Estas muestras filtradas (no se muestran los resultados aquí) indican que la filtración eliminó niveles significativos de clorofila (y ficocianina), eliminó niveles moderados de triptófano, y eliminó niveles casi nulos de carbono húmico.

Estos resultados indican las cantidades relativas de fluorescencia asociadas con partículas, y las cantidades que están disueltas en la columna de agua. Debido a que cantidades así de altas de clorofila y ficocianina fueron eliminadas por medio del filtro de fibra de vidrio, esto indica que estos pigmentos estaban contenidos dentro de las células de las algas, y no fueron liberados a la columna de agua.

Microcistinas

Los resultados para la toxina de algas Microcistina LR se muestran en la Tabla 6. En general, los valores del 2014 oscilaban entre los 0.10-0.20 $\mu\text{g/L}$. Estos fueron ligeramente más altos que cuando se midieron en el 2013 (oscilaban entre 0.07 y 0.18 $\mu\text{g/L}$). La directriz sugerida por la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) para la Microcistina LR es de 1 $\mu\text{g/L}$, por lo que los niveles medidos están muy por debajo del nivel de preocupación.

Tabla 6
Resultados de Microcistina LR

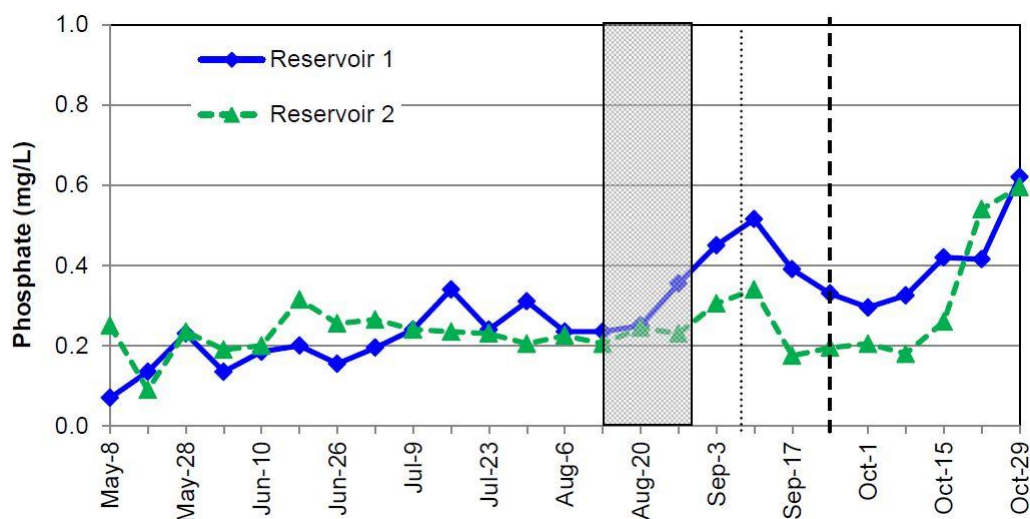
Localización	Fecha	Resultado ($\mu\text{g/L}$)
Norte de Embalse	6/12/2013	0.092
Sur de Embalse	6/12/2013	0.083
Embalse Muestra 1	6/18/2013	0.099
Embalse Muestra 2	6/18/2013	0.13
Embalse Muestra 3	6/25/2013	0.071
Embalse Muestra 4	6/25/2013	0.095
Embalse Muestra 5	7/11/2013	0.066
Embalse Muestra 6	7/11/2013	0.092

Parte Superior de Embalse	7/18/2013	0.098
Mitad de Embalse	7/18/2013	0.099
Ingreso de Embalse	8/6/2013	0.18
Filtro	8/6/2013	0.088
Superficie de Embalse 1	6/12/2014	0.1
Superficie de Embalse 1	6/17/2014	0.083
Superficie de Embalse 1	6/25/2014	0.1
Superficie de Embalse 1	7/2/2014	0.1
Superficie de Embalse 1	7/9/2014	0.11
Superficie de Embalse 1	7/16/2014	0.095
Superficie de Embalse 1	7/23/2014	0.18
Superficie de Embalse 1	7/30/2014	0.14
Superficie de Embalse 1	8/7/2014	0.13
Superficie de Embalse 1	8/14/2014	<0.1
Ingreso	8/20/2014	<0.1
Filtro	8/20/2014	<0.1
Superficie de Embalse 1	8/27/2014	<0.1
DAF Efluente	9/3/2014	<0.1
Filtro Combinado Efluente	9/3/2014	<0.1
Superficie de Embalse 1	9/3/2014	0.11
Superficie de Embalse 1	9/10/2014	0.14

Fosfato

La Figura 20 muestra los niveles semanales de fosfato en los embalses. En general, el Embalse #1 pareció tener niveles más altos de fosfato que los otros embalses. Los datos no muestran ninguna tendencia notable, excepto por incrementos generales en los niveles de fosfato empezando por varias semanas a finales de agosto, reducciones a principios y mediados de septiembre, y luego incrementos en octubre.

Estos incrementos fueron generalmente consistentes a través de todos los tres embalses, y así parecería indicar alguna entrada externa común a través de la cuenca. Aunque se ha sugerido que las ondas ultrasonicas podrían llevar a la disolución de fosfatos de sedimentos (Ahn y colaboradores, 2003), no es evidente que esto haya ocurrido en el Embalse #1, y no explica el incremento en el Embalse #2.



Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

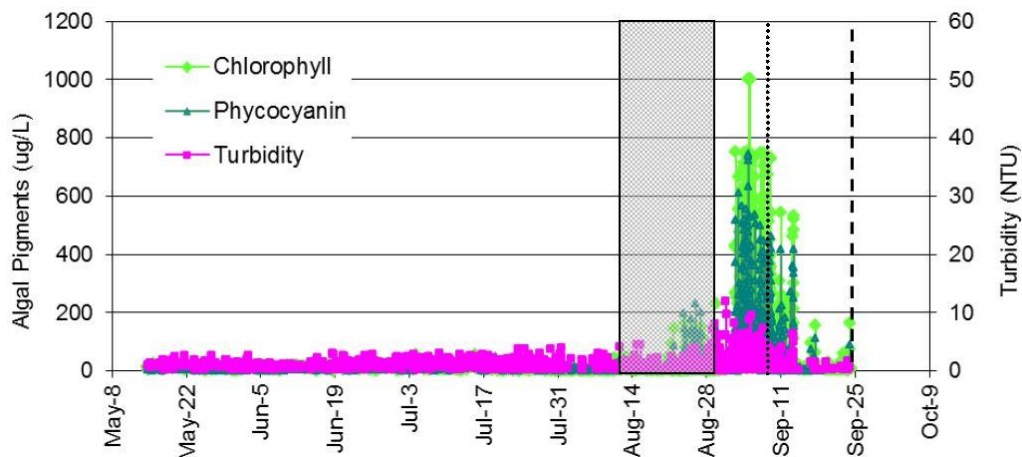
Figura 20. Resultados semanales de fosfato

Datos de las boyas

Los datos de la boya maestra fueron medidos por el paquete sensor con el que cuenta cada boya. Siendo así, hay diferencias entre estos dos conjuntos de datos debido tanto a la localización física como la profundidad (~1.5 pies para las boyas, y ~8 pies para el ingreso).

Los datos están separados en dos grupos – datos ópticos (incluyendo turbiedad, clorofila y ficocianina), y datos de calidad del agua (incluyendo temperatura, pH, reducción de oxidación, y oxígeno disuelto). Los datos ópticos se muestran en la Figura 21. Los datos de la calidad del agua se muestran en la Figura 26. Y como en las figuras anteriores, el área sombreada muestra cuando se mantuvo abierto el ingreso del Embalse #2, y la línea punteada muestra cuando fue que el programa ultrasónico fue cambiado por segunda vez.

Como se muestra en la Figura 21, los datos ópticos no muestran ninguna tendencia clara hasta inicios de septiembre, aproximadamente 10 días después de que el ingreso al Embalse #2 fuese cerrado. En ese punto, las concentraciones de ficocianina y clorofila crecieron rápidamente. Después del segundo cambio de programa el 9 de septiembre, los niveles de clorofila y ficocianina cayeron casi inmediatamente. Esto es en contraste con los datos recolectados en el ingreso de la planta, donde varias semanas tuvieron que pasar para ver un impacto sobre la calidad del agua. Esta diferencia en los tiempos de respuesta pudo haberse dado debido a la diferencia en el tiempo de viaje entre la boya y el ingreso.



Notas:

1. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
2. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
3. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

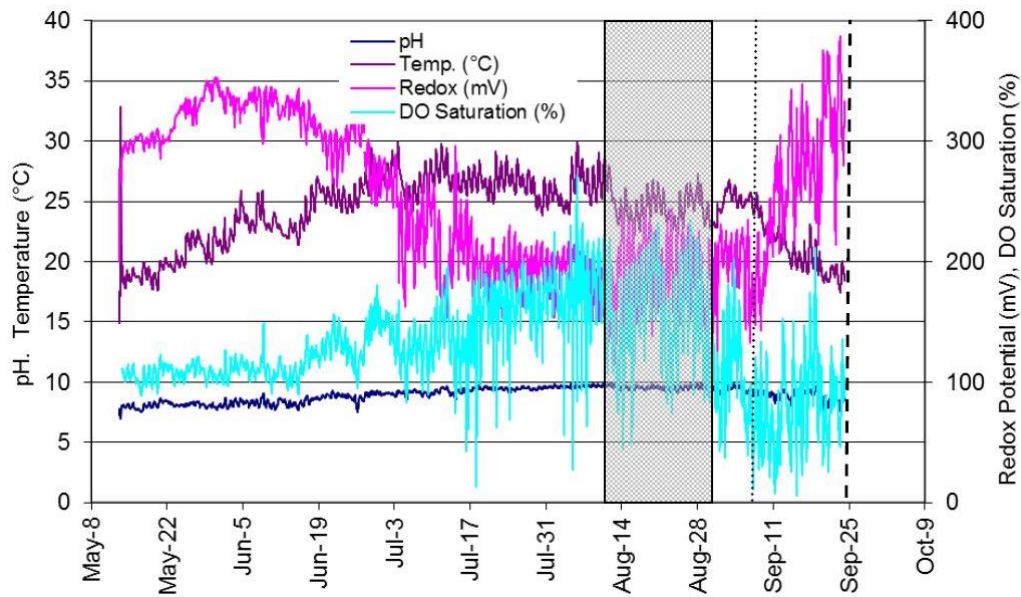
Figura 21. Datos ópticos de la boya maestra

Como lo muestra la Figura 22, durante el periodo de pruebas el pH en el embalse se elevó de aproximadamente 7.8, a casi 10.0. El potencial de reducción de oxidación en el agua empezó a caer a principios de julio, y el mínimo diario cayó a menos de 200 mV. Cuando se abrió el ingreso del Embalse #2, el mínimo cayó a casi 100 mV. Los niveles de oxígeno disuelto permanecieron por encima del 100% de saturación durante gran parte de la prueba; sin embargo, después de que se cerrara el ingreso del Embalse #2 los niveles de oxígeno disuelto empezaron a caer, y a principios de septiembre los niveles mínimos de oxígeno disuelto alcanzaron la anoxia.

Es interesante notar en estos datos que a principios de la prueba la variación diaria en estos parámetros era relativamente pequeña. Más adelante, una vez las algas empezaron a crecer, estas variaciones diarias se volvieron más pronunciadas. Estas variaciones pueden ser un buen indicador del crecimiento de algas, en vez de los valores absolutos en si mismos.

De forma similar a los datos ópticos, los datos de la calidad del agua mostraron un mejoramiento rápido en la calidad del agua después del segundo cambio al programa ultrasónico. A diferencia de los datos recolectados en el ingreso, estos mejoramientos fueron casi inmediatos, y probablemente están relacionados con la calidad del agua en el punto de intensidad de energía ultrasónica más alta. La diferencia en respuesta al cambio del programa en el ingreso (10-14 días), y en la boya (1 día), probablemente se debe a la diferencia en el tiempo de viaje desde la boya hasta el ingreso.

Además, se notó que hubo un crecimiento excesivo de vegetación acuática cerca del ingreso a la planta (tal vez debido al incremento de la penetración de luz debido a la efectividad de las boyas). Estas plantas acuáticas pudieron haber protegido a las algas de los daños del ultrasonido. En el futuro estas plantas acuáticas necesitarán ser controladas de alguna manera para examinar esta hipótesis.



Notas:

1. Redox = Reducción de oxidación
2. Saturación de DO = Saturación de oxígeno disuelto
3. el área sombreada indica el periodo en el que se abrió el ingreso del Embalse #2
4. la línea punteada indica el cambio al programa ultrasónico para atacar la *Aphanizomenon*
5. la línea intermitente indica la pérdida de comunicaciones con la boya maestra

Figura 22. Datos de calidad del agua de la boya maestra

Aunque los datos de las boyas, y los datos recolectados en el ingreso, pueden mostrar tiempos de reacción diferentes, estos muestran patrones similares y pueden ser considerados de forma complementaria. Siendo así, aunque otra recolección de datos y análisis extensos probablemente no serán necesarios para estaciones futuras, los análisis periódicos de calidad de agua en el ingreso de la planta deberían ser llevados a cabo para caracterizar el agua no-tratada. Estos análisis deberían incluir conteos de algas y TOC, además de monitorear los datos que son recolectados por la boya maestra.

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales mostrando niveles de clorofila en el Embalse #1 fueron proveídas por LG Sonic, basándose en datos libremente disponibles proveídos por la NOAA, tomados por los satélites Landsat-7 y Landsat-8. Las imágenes del año 2013 muestran que el Embalse #1 tiene una cobertura casi completa de algas, con concentraciones de clorofila A mayores a 60 $\mu\text{g/L}$, en agosto de 2013 (Figura 23).

La imagen de junio de 2014 muestra concentraciones significativamente menores (Figura 24). En donde hay concentraciones de clorofila medida, estas están localizadas en las orillas occidentales del embalse, y pueden haber llegado allí debido a los vientos prevalecientes del oriente impulsando algas hacia el occidente.

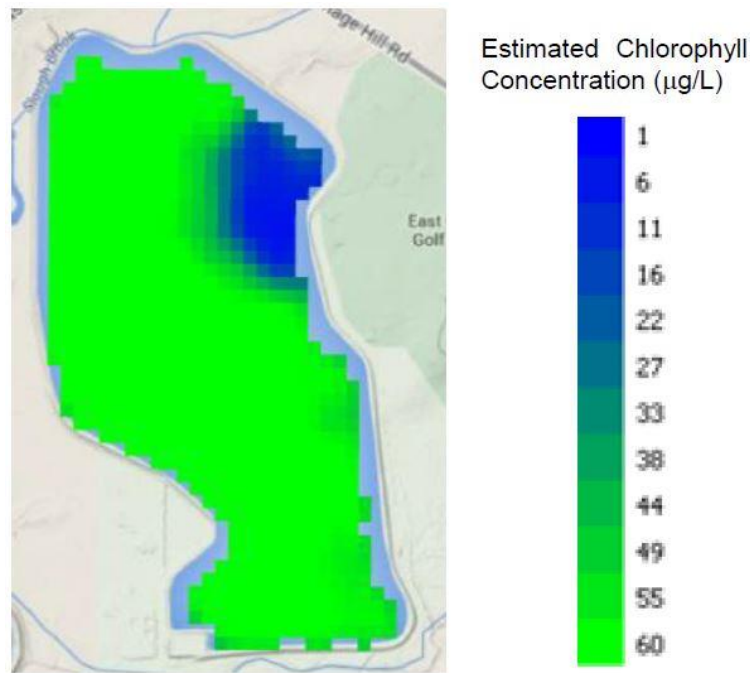


Figura 23. Imágenes satelitales de concentraciones estimadas de clorofila – Agosto 2013

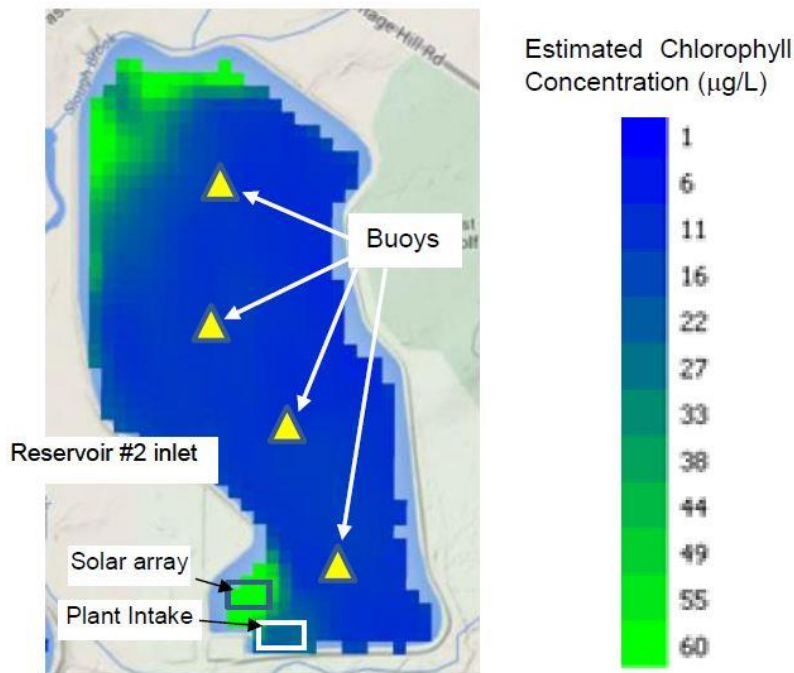


Figura 24. Imágenes satelitales de concentraciones estimadas de clorofila – Junio de 2014

Durante finales de agosto, y durante mediados de septiembre, los satélites se encontraron con nubes y condiciones climáticas pobres. Por lo tanto, la calidad de las imágenes es pobre, y las concentraciones de clorofila no se pudieron determinar. Esta falta de datos utilizables muestra las limitaciones inherentes de utilizar esta técnica para tomar decisiones operativas de día a día, o inclusive de semana a semana. Un uso práctico de las imágenes podría ser para propósitos de planeación, para examinar los embalses con el objetivo de determinar cuáles pueden ser aptos para tratamiento, o si el tratamiento por parte de las boyas ha sido efectivo durante periodos de tiempo más largos (semanas o meses).

Análisis económico

Uso de químicos

Los datos de uso de alumbre, hipoclorito de sodio, y ácido sulfúrico, fueron recolectados de registros mensuales de la cadena de distribución y bombeo de agua de reportes T enviados por el Departamento de Protección Ambiental de Nueva Jersey. Debido a que la planta fue rediseñada en 2012, únicamente datos del 2013 fueron utilizados para propósitos comparativos. Debido a que la boya maestra dejó de comunicarse el 24 de septiembre, y una de las unidades esclavas falló el 8 de octubre, únicamente datos de septiembre fueron utilizados para el análisis económico.

Los registros de bombeo indicaron que la cantidad de agua bombeada por la planta, en el año 2014, fue aproximadamente un 20% mayor que en el año 2013. Por lo tanto, para justificar esta diferencia, los datos del uso de químicos para el año 2013 fueron normalizados a los niveles de bombeo de 2014. Adicionalmente, los precios de químicos en el 2014 fueron utilizados para calcular costos y ahorros adicionales dados por el tratamiento ultrasónico.

Durante el periodo de prueba en el 2014, la cantidad de agua bombeada en la planta fue significativamente más grande que durante el mismo periodo en el año 2013, así que hubo un incremento de dólares invertidos en químicos de tratamiento (alumbre, hipoclorito de sodio, y ácido sulfúrico). Sin embargo, si los flujos y precios de químicos para 2013 fuesen normalizados a los niveles de 2014, la cantidad invertida en tratamientos químicos en 2014 sería de \$17 769 menos que en el 2013. Esto representa aproximadamente un ahorro del 16% para el periodo de cinco meses.

Basándonos en los reportes T enviados por el Departamento de Protección Ambiental de Nueva Jersey, la dosis promedio de alumbre en 2014 para mayo-septiembre fue un 22% más baja que durante el mismo periodo en el año 2013 (60 mg/L contra 77 mg/L). La diferencia en el uso relativo de alumbre entre las compras a la cadena de distribución, y los reportes T, puede tener que ver con la granularidad de los datos (compras mensuales contra datos diarios).

Duración de funcionamiento de filtro

Los datos sobre la duración de funcionamiento de filtro, efluente de filtro combinado, y efluente de canal DAF, fueron recopilados de datos SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – Control de Supervisión y Adquisición de Datos) con intervalos de 15 minutos, para el periodo de mayo 1 – septiembre 30, tanto en el año 2013 y 2014. Los valores mensuales medianos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7
DAF mediano y datos de la operación de filtro
Mayo – Septiembre

	Canal DAF Turbiedad (NTU)		Filtro combinado Turbiedad efluente (NTU)		Duración de funcionamiento de filtro (hr)		Funcionamiento de filtro de unidad Volumen (gal/sf)	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Mayo	0.457	0.612	0.118	0.092	37.0	30.2	5,879	3,036
Junio	0.433	0.419	0.111	0.082	37.5	41.3	3,712	5,551
Julio	0.352	0.269	0.090	0.080	12.2	35.3	2,135	5,294
Agosto	0.755	0.205	0.127	0.085	11.1	30.4	1,478	4,350
Septiembre	0.632	0.286	0.110	0.105	18.1	36.0	2,794	4,912
Promedio	0.524	0.329	0.108	0.088	15.1	34.3	2,488	4,548
% de cambio	-37		-19		+127		+83	

Durante el 2014, el DAF y los filtros operaron con turbiedades más bajas, y duraciones de funcionamiento más altas, que en el año 2013. En mayo de 2013 las duraciones de funcionamiento del filtro fueron mayores que durante el mismo periodo en el 2014; sin embargo, la turbiedad efluente de filtro combinado estuvo por encima de la meta de la Asociación para el Agua Segura de 0.1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit – Unidad de Turbiedad Nefelométrica). Durante el verano de 2013, el desempeño del filtro fue especialmente pobre, con duraciones de funcionamiento medias por debajo de 15 horas.

Los volúmenes mensuales promedio de funcionamiento de filtro de unidad fueron calculados basándose en registros de bombeo y con duraciones de funcionamiento de filtro, y mostraron que cada mes del año 2014, excepto en mayo (cuando las unidades se pusieron a funcionar), tuvieron volúmenes más altos de funcionamiento de filtro de unidad en comparación a los mismos meses en el año 2013.

Comparaciones

La planta de Canoe Brook tiene un presupuesto aproximadamente de \$ 60 000 para el control de algas usando sulfato de cobre o Cutrine. Además, la planta invierte aproximadamente \$25 000 al año en el monitoreo de los embalses. Así, los costos operativos son de \$85 000 al año. Basándonos en el análisis de gastos en químicos, usar las boyas de LG ahorraría aproximadamente \$17 800 al año en químicos. Esto es balanceado por un costo asumido de \$15 000 para el mantenimiento de las boyas. Así, el ahorro general en los costos operativos sería aproximadamente de \$87 800. Las compra e instalación de las cuatro boyas de LG cuesta aproximadamente \$160 000. Así, el reembolso simple para este sistema sería de aproximadamente 1.8 años.

Problemas operativos

Como se mencionó anteriormente, el 24 de septiembre de 2014 se perdió comunicación con la boya maestra. Hasta estos momentos (enero de 2015) parece que el problema puede estar con el servidor de LG Sonic localizado en Holanda. Hasta que las boyas sean puestas de regreso en el agua, la causa exacta no puede ser confirmada. Se requirieron 1-2 días para identificar que no estuviesen llegando datos nuevos. Una vez este problema fue identificado, una decisión fue tomada por el American Water de Nueva Jersey de no abordarlo hasta que las boyas fuesen retiradas por el invierno.

En octubre 7 de 2014, la batería en la boya esclava 1 (la boya esclava más al sur) empezó a descargarse, y la boya dejó de operar el 8 de octubre. La pérdida de señal de la boya fue notada poco después de que ocurriera. Debido a que la temporada principal de crecimiento de algas ya había

pasado de su punto más alto, el American Water de Nueva Jersey no hizo ningún esfuerzo para confirmar el problema, o para intentar reparar la boya.

Cuando las boyas fueron retiradas por el invierno se encontró que los paneles solares de la boya estaban completamente cubiertos de heces de pájaros. Es probable que esto previno que las baterías se recargaran. Para estaciones futuras, los paneles necesitarán ser inspeccionados / limpiados más regularmente, y/o tendrán que instalarse dispositivos de control de pájaros sobre el borde superior de los paneles solares para evitar que pájaros se asienten sobre los paneles.

Combinado con la decisión de cambiar el programa ultrasónico, primero a un programa de control genérico contra algas azul-verdes, y luego al programa específico contra la *Aphanizomenon*, el primer año de operaciones deja claro que los operadores locales deberían tomar la iniciativa de interactuar con LG Sonic, aclarar sus deseos, y reportar problemas a medida que sean identificados localmente. Los problemas que pueden aparecer incluyen:

- Pérdida de datos
- Cambios deseados en el programa ultrasónico
- Cambios deseados en la frecuencia de recolección de datos
- Pérdidas de energía

Al descubrir los problemas es necesario consultar rápidamente con LG Sonic, y trabajar con ellos para resolver los problemas a nuestra satisfacción. Esto puede requerir visitar físicamente las boyas usando lanchas.

Conclusiones y recomendaciones

Durante la parte inicial del estudio, las boyas parecían controlar bien el crecimiento de las algas. El 13 de agosto, cuando se abrió el ingreso del Embalse #2 debido a la necesidad de más agua en la planta, el agua cargada de algas entró al Embalse #1, y alimentó el embalse con la cianobacteria *Aphanizomenon*.

Casi inmediatamente se empezaron a ver niveles más altos de algas, carbono orgánico, y sabores y olores, en el ingreso de la planta. La *Aphanizomenon* había brotado en el embalse, alcanzando conteos de hasta 44 000/ml. A finales de agosto, debido a las condiciones del brote, el programa ultrasónico fue ajustado para atacar la *Aphanizomenon*. Una vez se inició el programa de ultrasonido correcto, los valores de los conteos de algas, carbono orgánico, sabores y olores, y pigmentos de algas, regresaron a los niveles base.

Es claro que el desempeño de la planta durante el periodo de prueba en 2014 fue mejor que durante el mismo periodo en el año 2013. En el 2014, las dosis promedio reportadas de alumbre fueron un 20% más bajas que en el 2013, y basándonos en los registros de compra y bombeo, los ahorros generales en químicos serían aproximadamente de \$18 000. Durante el 2014, la turbiedad efluente DAF media, y la turbiedad efluente de filtro combinado media, fueron significativamente menores que en el 2013, y la duración mediana de funcionamiento de filtro fue casi 20 horas más larga que en el 2013.

El mejoramiento en la calidad del agua no-tratada presentó un desafío para el personal de producción, ya que no había una base de experiencia sobre la cual basar las dosis químicas. El personal trabajó diligentemente para adaptarse a estos cambios, y optimizar las dosis químicas y otros parámetros de operación (horario de limpieza DAF, retrolavados de filtro, etc.). Si el personal no se hubiese involucrado, no se hubiesen dado los ahorros operativos que se dieron.

El estudio concluye que las boyas fueron efectivas para tratar las algas. La clave del éxito es identificar rápidamente el género objetivo, la *Aphanizomenon*. Una vez identificado en el Embalse #1, es imperativo cambiar al programa correcto de ultrasonido antes de que ocurra un brote. Basándonos en

una discusión con LG Sonic (Brand, 2014), el área efectiva de las boyas se reduce cuando se utiliza el programa específico contra la *Aphanizomenon*, en comparación a un programa contra algas o cianobacterias genéricas. Por lo tanto, el uso del programa contra la *Aphanizomenon* debería ser iniciado únicamente cuando se necesite, en vez de que este sea el programa estándar.

Los datos de las boyas, y los datos recolectados en el ingreso, mostraron patrones similares, y fueron considerados de forma complementaria:

- Los datos de las boyas son útiles para monitorear la calidad del agua en la vecindad inmediata de las boyas, pero no dieron una imagen clara de lo que está ocurriendo con el agua al entrar a la planta (o el resto del embalse).
- Los datos de FEEM son útiles para determinar cualitativamente la naturaleza del carbono orgánico en el agua, pero no da concentraciones.
- Los datos de TOC dan información de concentración, pero no dan información sobre la naturaleza del carbono orgánico, el cual puede impulsar la dosis requerida de alumbre.
- Los datos de sabor, olor, y conteo de algas, y las caracterizaciones de géneros de algas, son parámetros importantes. Sin embargo, estos datos son recolectados de forma infrecuente, y por lo tanto no proveen información accionable para determinar las dosis químicas en la planta.
- Las imágenes satelitales son útiles para determinar los niveles de clorofila en la superficie del embalse, pero son limitadas a los días en los que pasan los satélites (aproximadamente cada semana). Estos datos pueden ser limitados todavía más por nubes bloqueando la visión de los satélites. Por lo tanto, estos tienen una utilidad operativa limitada.

Aunque otro estudio extenso probablemente no será necesario para estaciones futuras, algunos análisis continuos serán requeridos. Estos deberían incluir conteos diarios de algas con caracterización semanal de algas, junto con medidas de TOC semanales. Estos datos complementarán los datos recolectados por la boya maestra.

Para prevenir que los paneles solares queden cubiertos de heces de pájaros, deberían instalarse dispositivos especiales sobre los bordes superiores de los paneles solares que prevengan que los pájaros reposen allí. Además, visitas regulares a las boyas deberían hacerse durante el periodo de operación.

Si ocurren problemas durante la operación (pérdida de datos, fallas en el sistema, un cambio deseado al programa ultrasónico, cambiar la frecuencia de descarga / eliminación de datos, etc.), es importante contactar a LG Sonic inmediatamente para discutir soluciones. Como propietario de los activos será la responsabilidad de American Water, y no del vendedor, de identificar y remediar los problemas. LG Sonic proveerá consejos y soporte técnico para estas soluciones.

Para veranos futuros podría ser prudente, o comprar otra boya para ponerla en el Embalse #2 (una boya maestra cuesta aproximadamente \$45 000), o mover una de las boyas esclavas a este embalse, y tal vez mejorarla a una unidad maestra – siempre y cuando sea posible mejorar la boya esclava existente (el paquete de sensor cuesta aproximadamente \$13 000). El tratamiento para la superficie entera del Embalse #2 (aproximadamente 79 acres) requerirá una boya maestra y una boya esclava, y basándonos en precios del 2014, costarían aproximadamente \$77 000.

Reconocimientos

Los autores le agradecen a Michael Breuno del American Water de Nueva Jersey, Marina Kreminskaya de American Water, Lisa Brand de LG Sonic, y Michael Cohrs de Fluid Imaging Technologies, Inc. También nos gustaría agradecerle al personal operativo de Canoe Brook por proveer datos operativos de la planta, incluyendo dosis y costos.

Referencias

- Ahn, C.Y., M.H. Park, S.H. Joung, H.S. Kim, K.Y. Jang, y H.M. Oh. 2003.
Growth inhibition of cyanobacteria by ultrasonic radiation: laboratory and enclosure studies. *Environmental Science and Technology*
[Inhibición del crecimiento de cianobacterias por medio de radiación ultrasónica: Estudios en laboratorio y recinto cerrado. *Ciencia y tecnología ambiental*]
37:3,031-3,037.
- Ahn, C.Y., S.H. Joung, A.Choi, H.S. Kim, K.Y. Jang, y H.M. Oh. 2007.
Selective control of cyanobacteria in eutrophic pond by a combined device of ultrasonication and water pumps. *Environmental Technology*
[Control selectivo de cianobacterias en estanque eutrófico por medio de un dispositivo combinado de ultrasonificación y bombas de agua. *Tecnología ambiental*]
28(4):371-379.
- Brand, L. 2014. Comunicación personal.
- Hao, H., M. Wu, Y. Chen, J. Tang, y Q. Wu. 2004.
Cavitation mechanism in cyanobacterial growth inhibition by ultrasonic irradiation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*
[Mecanismo de cavitación en la inhibición de crecimiento cianobacterial por medio de irradiación ultrasónica. *Coloide y superficies B: Bio-interfaces*]
33:151-156.
- Henderson, R.K., Baker, A., Murphy, K.R., Hambly, A., Stuetz, R.M., Knah, S.J. 2009.
Fluorescence as a potential monitoring tool for recycled water systems: A review. *Water Research*.
[La fluorescencia como herramienta potencial de monitoreo para sistemas de agua reciclada: Una reseña. *Investigaciones sobre el agua*]
43:863-881.
- McKnight, D.M., Boyer, E.W., Westerhoff, P.K., Doran, P.T., Kulbe, T., Andersen, D.T. 2001.
Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity, *Limnol. Oceanogr.*
[Caracterización espectro-fluorométrica de materia orgánica disuelta para indicación de material orgánico y aromaticidad precursora. *Limnol. Oceanogr*]
46(1), 38–48.
- Moberg, L., Robertsson, G., Karlberg, B. 2001.
Spectrofluorimetric determination of chlorophylls and pheopigments using parallel factor analysis. *Talanta*
[Determinación espectro-fluorométrica de clorofilas y feopigmentos usando análisis de factor paralelo. *Talanta*]
54 (2001) 161– 170.
- LaLiberte, G. y E. Haber. 2014.
Literature Review of the Effects of Ultrasonic Waves on Cyanobacteria, Other Aquatic Organisms, and Water Quality. Wisconsin Department of Natural Resources Research Report 195.
[Revisión de la literatura sobre los efectos de las ondas ultrasónicas sobre las cianobacterias, otros organismos acuáticos, y la calidad del agua. Reporte de investigación 195 del departamento de recursos naturales de Wisconsin]

- Lee, T.J., M. Nakano, y M. Matsumara. 2001.
 Ultrasonic irradiation for blue-green algae bloom control. *Environmental Technology*
 [Irradiación ultrasónica para el control de brotes de algas azul-verdes. *Tecnología ambiental*]
 22:383-390.
- Mason, T.J., E. Joyce, S.S. Phull, y J.P. Lorimer. 2003.
 Potential uses of ultrasound in the biological decontamination of water. *Ultrasonics Sonochemistry*
 [Usos potenciales de ultrasonido en la descontaminación biológica del agua. *Ultrasónicos y química sonora*]
 10, 319-323.
- Nakano, K., T.J. Lee, y M. Matsumura. 2001.
 In situ algal bloom control by the integration of ultrasonic radiation and jet circulation to flushing. *Environmental Science and Technology*
 [Control de brotes de algas en sitio, a través de la integración de radiación ultrasónica y circulación de propulsión para limpiar. *Ciencia y tecnología ambiental*]
 35:4,941-4,946.
- Purcell, D. 2009.
 Control of Algal Growth in Reservoirs with Ultrasound. Ph.D. Thesis.
 [Control de crecimiento de algas en embalses usando ultrasonido. Tesis de doctorado]
 Universidad Cranfield.
- Purcell, D., S.A. Parsons, B. Jefferson, S. Holden, A. Campbell, A. Wallen, M. Chipps, B. Holden, y A. Ellingham. 2013.
 Experiences of algal bloom control using green solutions barley straw and ultrasound, an industry perspective. *Water and Environment Journal*
 [Experiencias de control de brotes de algas usando soluciones verdes, pajas de cebada, y ultrasonido – una perspectiva de la industria. *Revista del agua y el ambiente*]
 27:148-156.
- Purcell, D., S.A. Parsons, y B. Jefferson. 2013.
 The influence of ultrasound frequency and power, on the algal species *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Scenedesmus subspicatus* and *Melosira* sp. *Environmental Technology*
 [La influencia de la frecuencia y potencia de ultrasonido sobre las especies de algas *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Scenedesmus subspicatus* y *Melosira* sp. *Tecnología ambiental*]
 34:17, 2477-2490, DOI: 10.1080/09593330.2013.773355
- Rajasekhar. P., L. Fan, T. Nguyen, y F.A. Roddick. 2012.
 A review of the use of sonication to control cyanobacterial blooms. *Water Research*
 [Una reseña del uso de sonicación para controlar brotes cianobacteriales. *Investigaciones sobre el agua*]
 46(4319-4329).
- Wert, E.C., M.M. Dong, F.L. Rosario-Ortiz, y J. Korak. 2014.
 Release of Intracellular Metabolites from Cyanobacteria During Oxidation Processes.
 [Liberación de metabolitos intracelulares de cianobacterias durante los procesos de oxidación.]
 Fundación de investigación sobre el agua. Denver, Colorado.
- Whatley, K. 2015. Comunicación personal.