

FERIA NACIONAL DE CLUBES DE CIENCIA

Categoría: CHURRINCHE Área: CIENTÍFICA

***EFICIENCIA
DE TRES MACRÓFITAS EN LA
REMEDIACIÓN
DE LAS AGUAS DEL
ARROYO MIGUELETE***

Club de Ciencia: BÉNTICOS

Claudio Lacuesta
Melissa Cristobal

Orientadora: Patricia Píriz
patywuan@adinet.com.uy

Liceo N° 17

**Montevideo
2013**

RESUMEN

El monitoreo físico-químico y biológico del Arroyo Miguelete, principal curso de agua dulce de Montevideo, capital del Uruguay, indica el desmejoramiento en la calidad de sus aguas. Partiendo de la idea de fitorremediación como proceso basado en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, se plantea como objetivo evaluar el impacto de la aplicación de un sistema de fitorremediación en el curso del arroyo. Se planifica la investigación en etapas y en esta primera instancia se pretende evaluar el impacto de tres macrófitas nativas en las variables físico-químicas del agua del Arroyo Miguelete en condiciones de laboratorio para determinar con seguridad la especie de mayor eficiencia a utilizar in situ. Se utiliza *Eichornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Typha angustifolia*, especies recomendadas por los asesores científicos. Se parte de la hipótesis de que la *Eichornia crassipes* y la *Typha angustifolia* son más eficientes en la mejora de las variables fisicoquímicas del agua del arroyo que la *Pistia stratiotes*. Los análisis de toxicidad, las mediciones de DBO₅, Nitratos y Fosfatos, indican que las tres especies de macrófitas tienen un impacto positivo en éstas variables fisicoquímicas, siendo la *Pistia stratiotes* la menos eficiente en este aspecto, comprobando de esta manera la hipótesis planteada. Se proyecta realizar un estudio in situ en el arroyo para evaluar el desarrollo de las plantas en condiciones ambientales reales ya que en el laboratorio presentan un desmejoramiento fisiológico importante. Paralelamente, se desarrollan acciones en la comunidad para formar una red de trabajo colaborativa con ONGs, empresas privadas, organizaciones sociales y educativas, estatales y vecinales, comprometiéndolas en la gestión del proyecto.

INTRODUCCIÓN

El Arroyo Miguelete es el principal curso de agua del departamento de Montevideo, capital de Uruguay. Este arroyo atraviesa de norte a sur el departamento, nace en la Cuchilla de Pereira ubicada al norte de Montevideo y desemboca en el Río de la Plata, abarca una superficie de 113 km² y recorre una extensión de 22 km. A lo largo de la historia fue el estructurador de muchos paseos de los montevideanos, uniendo el Parque del Prado con la Playa Capurro.

Es un arroyo urbano que recibe mucha presión antropogénica, en su cuenca se encuentran variados problemas de contaminación: vertimientos de industrias (cárnica, química, textil, pinturería, avícola, metalúrgica), vertimientos del Cementerio del Norte, residuos sólidos y líquidos vertidos por las personas que viven en los numerosos asentamientos irregulares¹.

En el 2010 se comenzó un monitoreo del arroyo, se realizaron mediciones físico-químicas y biológicas durante los tres años y los resultados indican un desmejoramiento en la calidad del agua. El monitoreo del Laboratorio Ambiental de la Intendencia de Montevideo confirma este resultado.

Hasta el año 2011, la Intendencia desarrolló un Plan de Recuperación del Arroyo, pero no se ha continuado. Se ha ampliado el sistema de saneamiento a barrios que antes no contaban con el mismo, pero esos colectores no han sido conectados al colector central, vertiéndose los efluentes directamente en el arroyo. Los problemas mayores del arroyo, según dicho laboratorio, es la presencia de residuos sólidos en las márgenes y el cauce, los elevados niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y materia orgánica.

Estos problemas afectan la calidad del agua del arroyo, y son una amenaza para los seres vivos que conforman el ecosistema. “La fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos”².

La rehabilitación de los arroyos se orienta a mejorar las condiciones físicas y ecológicas de los arroyos.

¹ Informe anual del programa de monitoreo de cuerpos de Agua de Montevideo – Año 2011 - Intendencia Municipal de Montevideo

² Delgadillo-López y otros – “Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación” - Rev. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14 (2011): 597- 612; Enero 2011, México.

El término *fitorremediación* hace referencia a una “serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas o suelos”³. Es un término acuñado en 1991. Se compone de dos palabras, *fito*, que en griego significa planta o vegetal, y *remediar* (del latín *remediare*), que significa poner remedio al daño, o corregir o enmendar algo. Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales.

“Este proceso de remediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes, en este caso, en el agua, como por ejemplo: metales pesados, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo”⁴.

“Tradicionalmente, las macrófitas han sido consideradas como una plaga en sistemas enriquecidos con nutrientes. Su rápida proliferación puede dificultar la navegación y amenazar el balance de la biota en los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, en la actualidad se considera que estas plantas también pueden ser manejadas adecuadamente y volverse útiles, debido a su capacidad para remover y acumular diversos tipos de contaminantes. Además, su biomasa puede ser aprovechada como fuente de energía y forraje para el ganado”⁵

“Los primeros sistemas de tratamiento de aguas residuales a base de plantas se implementaron en los países europeos a principios de 1960, utilizando juncos”⁶. Desde entonces, los sistemas de fitorremediación acuática se han perfeccionado y diversificado, su aceptación y aplicación cada vez es mayor.

Las raíces de las plantas sirven primeramente como sustrato para la comunidad microbiana, que se encarga de la degradación de la materia orgánica, esos microorganismos viven sobre y alrededor de las raíces de las plantas. Los productos de degradación son absorbidos por las plantas junto con nitrógeno, fósforo y otros minerales. A su vez, los microorganismos usan como fuente alimenticia parte o todos los metabolitos desechados por las plantas a través de su raíz.

Las macrófitas son plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Teniendo en cuenta sus formas de vida, se clasifican en tres grupos:

- 1- *Emergentes*: la raíz de estas plantas está enterrada en los sedimentos y su parte superior se extiende hacia arriba de la superficie de agua. Por ejemplo, *Thypha angustifolia*.
- 2- *Flotantes*: sus tallos y hojas se desarrollan sobre la superficie del agua. Sin embargo, sus raíces no están fijadas en ningún sustrato y cuelgan en la columna de agua. Por ejemplo: *Eichornia crassipes*.
- 3- *Sumergidas*: se desarrollan debajo de la superficie del agua o completamente sumergidas.

No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras, se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin. “La eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de fitorremediación dependerá principalmente de la especie de planta utilizada, el estado de crecimiento de las mismas, su estacionalidad y el tipo de contaminante a remover”⁷. Por lo mismo, para lograr buenos resultados, las plantas a utilizar deben tener las siguientes características:

- Ser tolerantes a altas concentraciones de contaminantes
- Tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad.
- Ser especies locales, representativas de la comunidad natural.
- Ser fácilmente cosechables.

³ Ibidem

⁴ Ibidem

⁵ Núñez López y otros – “Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones”- Revista Ciencia – 2004

⁶ Ibidem

⁷ Núñez López y otros – op. citada

Acorde a lo leído, se puede establecer el siguiente cuadro de ventajas y desventajas de la fitorremediación en sistemas acuáticos:

Ventajas	Desventajas
• Es una tecnología sustentable	• Es dependiente de las estaciones
• Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes <i>in situ</i>	• El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental
• Es aplicable en ambientes de bajas a moderadas concentraciones de contaminantes	• Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes)
• Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía	• No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras
• Es poco perjudicial para el ambiente	• Se requieren áreas relativamente grandes
• No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho	• Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos
• Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable	

Tabla extraída de Núñez López, Roberto Aurelio; Meas Vong, Yunny; Ortega Borges, Raúl y J. Olguín, Eugenia – “Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones”- Revista Ciencia – 2004 – pp.71

Conforme a la información brindada por la Licenciada Viveka Sabaj de la Facultad de Ciencias de UdelaR, existen en Dinamarca varios ejemplos de ríos y arroyos rehabilitados con fitorremediación⁸.

En Argentina, un equipo de investigadores de la Universidad de Buenos Aires, estudia la eficiencia de estrategias de fitorremediación en la cuenca del río Matanza-Riachuelo.

En nuestro país se encuentran experiencias de fitorremediación en hábitats de agua quieta o ecosistemas acuáticos lénticos (de *lenis*: quieto) como lagos y lagunas. Un grupo de investigadores de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República, estudió la eficacia de plantas acuáticas nativas en la remoción de contaminantes en los Lagos del Parque Rodó en el año en el 2004. Actualmente se utilizan macrófitas en el mantenimiento de lagunas como por ejemplo, en el departamento de Canelones.

Asimismo, en el país, existen variadas investigaciones y múltiples experiencias en la aplicación de fitorremediación para la depuración de aguas residuales industriales y aguas negras, en establecimientos rurales y escuelas sub-urbanas y rurales, sobre todo mediante la construcción de jardineras de totoras.

No se han encontrado antecedentes de fitorremediación en sistemas de agua corriente o lóticos (de *lotus*: lavado) como ríos, manantiales y arroyos. En el Arroyo Miguelete se intentó aplicar fitorremediación mediante *Eichornia crassipes*, sin éxito, ya que las plantas fueron arrastradas por la corriente al poco tiempo de instaladas. No se realizó un estudio del impacto del sistema en la calidad del agua del arroyo. La decisión de la aplicación de este sistema, tampoco fue producto de una investigación previa sino que respondió a las buenas intenciones de un equipo de trabajo integrado por el biólogo Hugo Russerie y asesores de la Intendencia de Montevideo, sin demasiado análisis previo de las posibilidades y adecuaciones del sistema.

Cabe resaltar entonces que:

⁸ Ole Hansen, Hans – “Restauración de Ríos y Arroyos - Experiencias y ejemplos de Dinamarca” - Ministerio del Medio Ambiente y de la Energía - Instituto Nacional de Investigación del Medio Ambiente -1997

- no se encontraron estudios científicos sobre fitorremediación en sistemas lóticos del país
- no existen datos previos acerca del impacto de las macrófitas en la calidad del agua del Arroyo Miguelete
- no existen acuerdos entre las opiniones de los científicos consultados en torno a las especies más eficientes en la remediación del arroyo

De acuerdo a lo antes dicho, se decide comenzar la investigación con un estudio de laboratorio a fin de evaluar el impacto de las macrófitas sugeridas por los asesores en la calidad del agua del Arroyo Miguelete, de esta manera se contará con una base de datos a utilizar en la toma de decisiones para poder continuar el proyecto.

Objetivo General

Evaluar el impacto de la aplicación de un sistema de fitorremediación en el curso del Arroyo Miguelete.

Objetivos específicos

A corto plazo:

To evaluate the impact of three native aquatic plants on the physicochemical water variables of Miguelete stream in laboratory conditions.

A mediano plazo

Evaluar el impacto en las variables fisicoquímicas del agua del Arroyo Miguelete en un modelo estático de fitorremediación utilizando las macrófitas que resultaron más eficientes en condiciones de laboratorio.

A largo plazo

- 1- Evaluar el impacto en las variables fisicoquímicas del agua del Arroyo Miguelete en un modelo dinámico de fitorremediación utilizando las macrófitas que resultaron más eficientes en el modelo estático.
- 2- Gestionar la implementación y monitoreo del sistema de fitorremediación evaluado en el curso del Arroyo Miguelete.

Hipótesis General

La calidad del agua del Arroyo Miguelete mejora con la aplicación de un sistema de fitorremediación.

Hipótesis específica

The *Eichornia Crassipes* and the *Typha angustifolia* are more efficient in improving the physicochemical water variables of Miguelete stream than the macrophyte *Pistia stratiotes*.

METODOLOGÍA

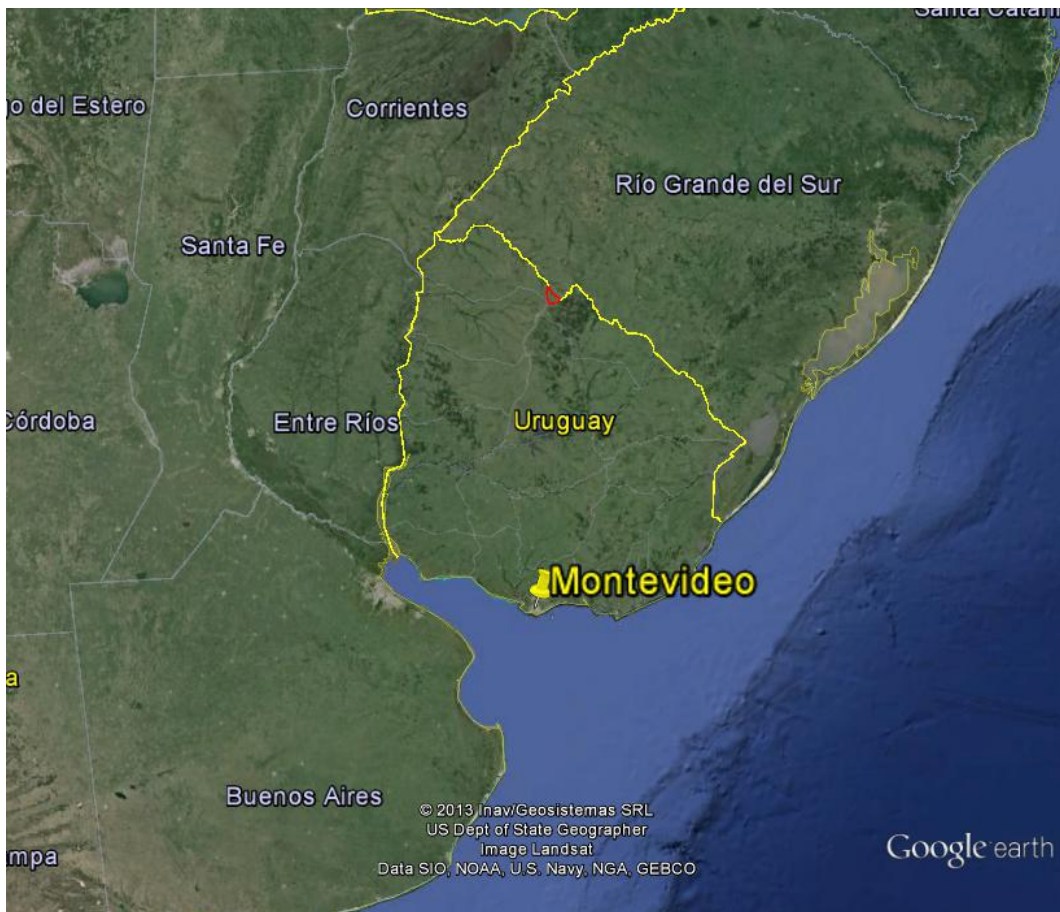
- 1) Buscar información
 - I. Laboratorio Ambiental de la IM, con el Encargado de Bioensayos Julio Espínola: sobre la aplicación del sistema de fitorremediación, análisis y resultados de calidad de agua del Arroyo Miguelete, posibles lugares de aplicación del sistema de Fitorremediación, gestión de permisos municipales y ayudas para la gestión del proyecto.
 - II. Facultad de Ciencias – con Biólogos sobre fitorremediación, con un Botánico sobre flora acuática nativa y uso de plantas acuáticas en la depuración de las aguas.
 - III. Jardín Botánico - profundizar el conocimiento de flora y fauna nativa del Arroyo Miguelete, uso de plantas acuáticas en la depuración de las aguas, cultivo de plantas acuáticas, sus características, formas y lugares de obtención
 - IV. Experto en fitorremediación - Lic. Hugo Rouserie: sistemas de fitorremediación, antecedentes en el Arroyo Miguelete, viabilidad del proyecto, aspectos a tener en cuenta en la gestión del sistema, variables a controlar y medir.
- 2) Formar una Red de trabajo colaborativo con ONGs, empresas privadas, organizaciones estatales y vecinales para comprometerlos en la gestión del proyecto y lograr que sea sostenible en el tiempo.
- 3) Planificar la aplicación y monitoreo del sistema de fitorremediación, trabajando en conjunto con los asesores.
- 4) Determinar las especies de macrófitas a utilizar.
- 5) Realizar el estudio comparativo en condiciones de laboratorio.
- 6) Tabular y graficar los resultados.
- 7) Analizar los resultados.
- 8) Extraer conclusiones.
- 9) Continuar las acciones con el Biólogo Hugo Russerie y el Club Mauá para desarrollar el modelo estático a partir de los resultados que se obtengan del experimento en condiciones de laboratorio.
- 10) Continuar la difusión nacional e internacional de nuestra investigación para fortalecer y ampliar la red de trabajo colaborativa.

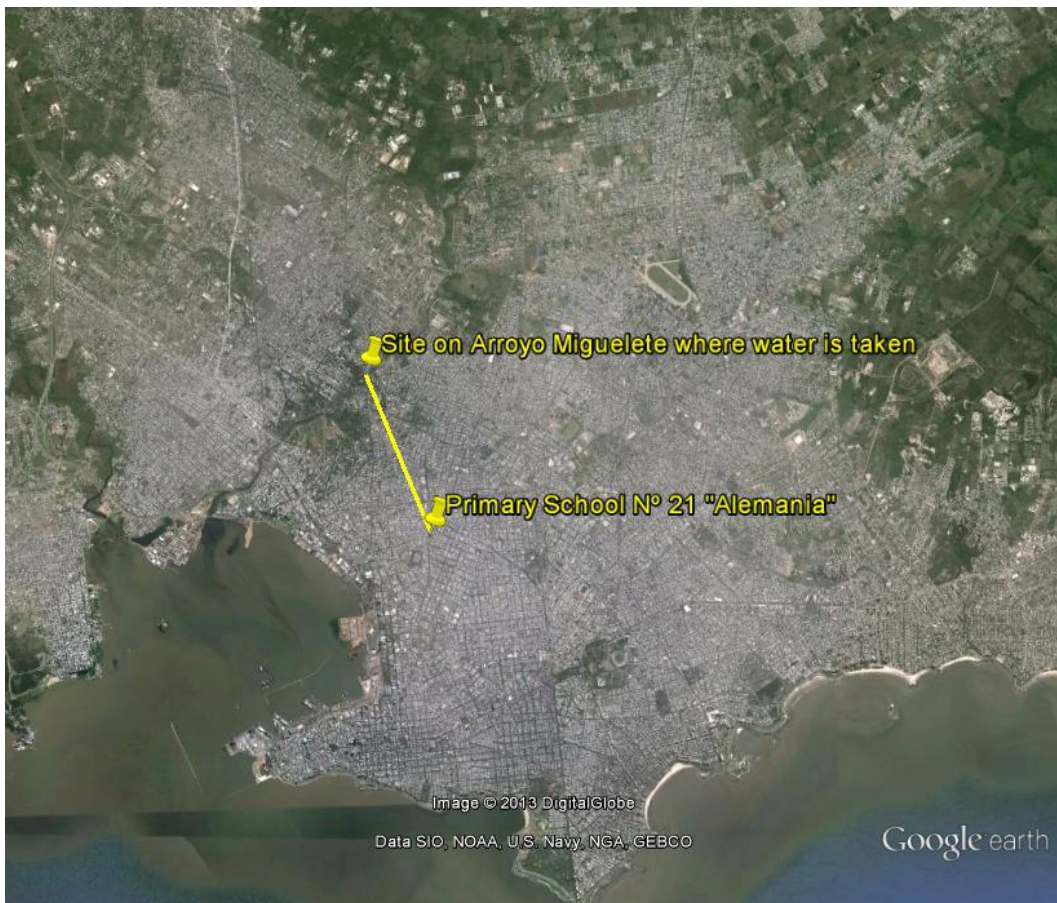
MÉTODOS

1- ESTUDIO COMPARATIVO DE MACRÓFITAS EN CONDICIONES DE LABORATORIO

- **Ubicación del experimento**

El estudio se realizó en el laboratorio de la Escuela N° 21 “Alemania” por ser un lugar cercano al Arroyo Miguelete. Se colocaron todos los contenedores a temperatura ambiente y a la misma distancia de las ventanas a fin de que todos reciban la misma iluminación.





- **Elección de las macrófitas a utilizar**

Se consultó al Ingeniero Agrónomo Nino Nicoli del Jardín Botánico, experto en plantas acuáticas nativas, y a los biólogos asesores para seleccionar las macrófitas a utilizar. Con desacuerdos en torno a sus ventajas y desventajas, manejaron tres especies: *Eichornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Thypha angustifolia*.

Eichornia crassipes (Camalote), macrófita flotante



Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Orden: Commelinales
Familia: Pontederiaceae
Género: Eichhornia
Especie: crassipes

- Se han distribuido prácticamente por todo el mundo.
- Tiene un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática.
- Las hojas emergidas son redondeadas y tienen pequeñas hinchazones que facilitan la flotación.
- En verano produce espigas de flores lilas y azuladas.
- Las raíces son muy características, negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes, negro -violáceas cuando son adultas.
- Ofrece un excelente refugio para los peces protegiéndolos del sol excesivo y de las heladas.
- Se reproducen con facilidad (1 planta en aproximadamente en 23 días genera 30 plantas nuevas en condiciones de temperatura de aire de 25° a 30°)
- Son consideradas en muchos lugares, como especie invasora, ya que por su proliferación cubre como una manta toda la superficie del curso de agua, pues es de muy fácil reproducción, creando problemas para la navegación, por ejemplo.

Pistia stratiotes (repollito de agua), macrófita flotante

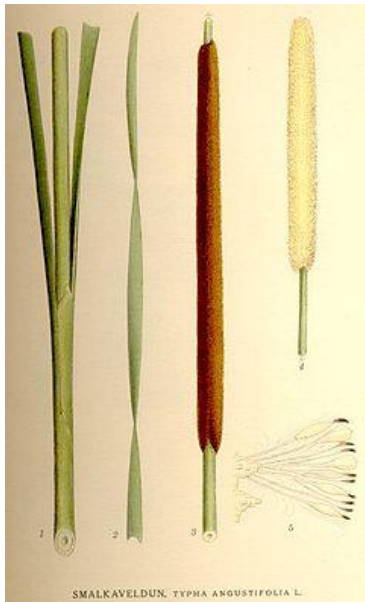


Reino: Planta
División: Pteridophyta
Clase: Pteridopsida
Familia: Draceae
Género: Pistia
Especie: stratiotes

- Hojas dispuestas en roseta, de color verde suave, por la belleza de sus hojas son plantas de gran valor ornamental.
- Flores blancas diminutas

- Floración: primavera a finales de verano.
- Si no se controla su población puede llegar a ocupar con facilidad toda la superficie del agua hasta tal punto de no poder ver el agua o los peces que podamos tener debajo.
- Temperaturas: no soporta los inviernos duros. Su temperatura mínima de crecimiento es de 15°C y la óptima de crecimiento es de 22 a 30°C.
- Multiplicación: es fácil de propagar por estolones.
- Su reproducción es rápida, las plantas botan sus semillas al fondo del agua (tierra) en un periodo de 10 a 12 días, las nuevas plantitas suben a la superficie multiplicándose en gran número.

Typha angustifolia (tatora), macrófita emergente



Reino: Plantae
 División: Magnoliophyta
 Clase: Liliopsida
 Familia: Typhaceae
 Género: *Typha*
 Especie: *angustifolia*

- Planta propia del borde del agua.
- Crece en lagunas, pantanos, cunetas de los caminos, etc.
- Florece en verano.
- Entre las hojas emerge una especie de tallo sobre el que se agrupan las flores en espiga cilíndrica compacta, de color castaño.
- Es una planta invasora, de crecimiento rápido.
- Profundidad de sus raíces: unos 40 cm.
- Temperaturas: soporta un increíble rango de temperaturas; es una de las acuáticas más resistentes y menos exigentes.
- Vive con los rizomas sumergidos y sólo resiste fuera del agua durante periodos muy breves.
- No necesitan un suelo especialmente rico.
- Multiplicación por división de los rizomas a finales de verano, una vez que las flores se marchitan completamente. Se pueden plantar inmediatamente y bien conservarlos hasta finales de invierno para ser plantados de nuevo.
- Sembradas en los canales, han demostrado ser tan eficientes como los camalotes en la depuración de los efluentes.

- **Obtención de las macrófitas a utilizar**

Las plantas utilizadas en el estudio fueron recolectadas por nosotros y llevadas al Jardín Botánico para ser identificadas, antes de su utilización en el experimento.

Los especímenes de *Eichornia crassipes* se recolectaron en un lago ubicado al lado del Shopping de la Costa, en Avenida Gianatassio, Lagomar, Canelones.

Las plantas de *Typha angustifolia* se obtuvieron en cunetas de Parque del Plata, Canelones, se les cortaron las hojas verdes y se envolvieron en periódicos antes de su utilización.

Los ejemplares de *Pistia stratiotes* se recolectaron en los lagos del Parque Rodó, Montevideo.

Todos los especímenes se enjuagaron con agua destilada antes de su cultivo para retirar los restos provenientes de sus lugares de extracción.

- **Descripción de contenedores de cultivo**

Se utilizaron 12 contenedores, 3 de igual tamaño y material para el cultivo de cada especie de macrófita y 3 testigos, donde no se cultivan plantas. Los recipientes fueron prestados por la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República, la Escuela N° 21 "Alemania" y el Laboratorio Ambiental de la Intendencia de Montevideo.

Se evitó el pasaje de luz cubriendo de plástico negro los costados de los contenedores, esto impedirá el aumento de la actividad fotosintética en la profundidad, creando condiciones de iluminación similares a las del arroyo, donde el paso de luz se da a través de la superficie.

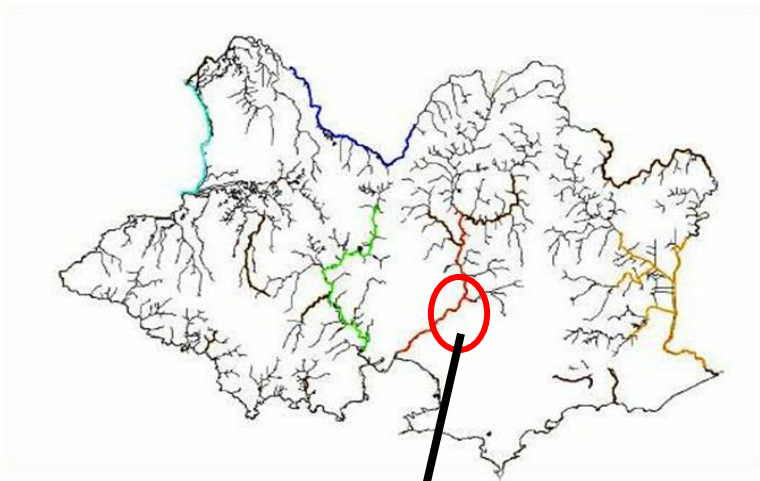


- **Fluido de cultivo**

Se utilizó agua del Arroyo Miguelete, extraída del curso medio. Fue transportada en envases cerrados herméticamente, a fin de evitar alteraciones en la misma.

Se llevaron los contenedores hasta el arroyo para colocar una muestra de sedimento en cada uno de ellos. Se cavó en la misma zona a 10 cm de profundidad, retirando las muestras del suelo de la orilla y colocándolas en los contenedores.

CURSO MEDIO	UBICACIÓN: Mariscal Foch y Avenida Millán	LOCALIZACIÓN: Latitud: 34° 51' 06.16" sur Longitud: 56° 11' 50.40" oeste
--------------------	---	---



- **Descripción de la instalación del experimento**

Se lavaron los contenedores con agua destilada.

Se identificaron con una letra y un número. La letra corresponde a una de las especies de macrófitas o a los testigos sin plantas, y el número indica el número de la réplica.

A	<i>Typha angustifolia</i>
B	<i>Pistia stratiotes</i>
C	<i>Eichornia crassipes</i>
T	Testigo

Condiciones ambientales:

Fotoperíodo natural 11:30 horas de luz

Temperatura ambiente: se encontró en el rango de 11° a 29,9° centígrados.

Tiempo del cultivo: 26 días

Número de plantas utilizadas: se cubre la mitad de la superficie de cada contenedor con las macrófitas seleccionadas.

Litros de agua por contenedor: 12 litros en cada uno

Fecha de inicio: 12 de setiembre

Fecha de término: 8 de octubre

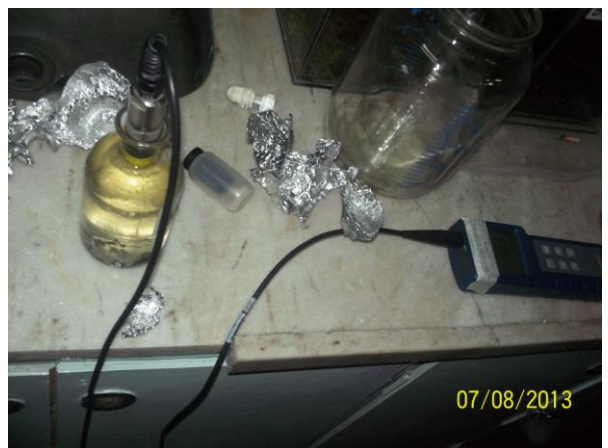
- **Medición de variables**

Los resultados obtenidos en los parámetros, se evalúan a partir de los límites establecidos de la normativa nacional vigente según la clase 3 del Decreto 253/79 y modificativos, aprobados en Montevideo, 9 de mayo de 1979. Esta clase hace referencia a cursos o tramos de cursos de agua destinados a la preservación de los peces y otros integrantes de la flora y fauna hídrica.

i- Variables físicas

Los parámetros físicos, como su nombre lo explica son aquellos parámetros que dan las características físicas de visibles en el agua.

a- **Oxígeno disuelto (OD)** - la existencia de oxígeno disuelto en los cursos de agua es esencial para el mantenimiento de la vida de la mayoría de los organismos acuáticos. La solubilidad del oxígeno depende en forma importante de la temperatura, a mayor temperatura se produce un aumento en el metabolismo de los organismos vivos, lo que se traduce en un mayor consumo de oxígeno, por tanto disminuye el oxígeno disuelto. El OD es inversamente proporcional a la temperatura del agua. La oxigenación del agua se logra por difusión del aire del entorno, la aireación del agua que ha caído en el curso o como un producto de desecho de la fotosíntesis de los seres vivos sumergidos. En las mediciones se obtiene la cantidad de oxígeno en "ppm" (partes por millón, equivalente a miligramos por litro).



Para conocer si el valor de oxígeno es adecuado se puede decir que, si la concentración es:

- 5 ppm es el mínimo establecido por la normativa vigente: esto significaría que hay oxígeno suficiente para la mayor parte de las especies.
- < 3 ppm: dañino para la mayor parte de las especies.
- < 2 ppm: fatal para la mayor parte de las especies.

Medición: Se utiliza un oxímetro digital prestado por la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República, a través del Biólogo Rafael Arocena. Se introduce el sensor en el agua y se lo deja estabilizar, entre 5 a 10 minutos. Se toman y registran 3 medidas, una por minuto. Se calcula el promedio entre ellas.

b- **pH** - refleja la concentración de iones de hidrógeno. De acuerdo a la normativa vigente, el pH encontrarse entre 6.5 y 8.5, en términos generales, la mayor parte de los organismos acuáticos puede sobrevivir en este nivel de pH. La vegetación en estado de putrefacción produce ácidos orgánicos que reduce el pH del agua. Si se presentan valores bajos de pH (rango ácido) se tiende a aumentar la disolución de dióxido de carbono y de metales si éstos se encuentran presentes en los sedimentos. La presencia de altos valores de pH significa que existe una alta concentración de álcalis



Medición: Se utiliza un sensor de pH digital prestado por el Programa GLOBE, a través de la Coordinadora Nacional Lic. Andrea Ventoso. Se introduce en el agua dejándolo estabilizar por 1 minuto. Se toman y registran 3 medidas, una por minuto. Se calcula el promedio de las mismas.

c- **Temperatura del agua** - Este parámetro puede incidir mucho en la calidad del agua, ya que determina otras propiedades y procesos que tienen lugar en el agua como la viscosidad, la solubilidad de los gases y de las sales, procesos fisiológicos de los organismos que provocan variaciones de su metabolismo, la proliferación de ciertos microorganismos, etc.

Medición: Se utiliza un termómetro digital, prestado por el Programa GLOBE. Se introducen los sensores en el agua, el termómetro registra los datos de temperatura máxima y mínima, guardando en su memoria los datos de 6 días consecutivos.



d- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)** – Es una medida del oxígeno consumido por los microorganismos para descomponer la materia orgánica biodegradable existente en el agua, en un período de incubación de cinco días. En presencia de alta concentración de materia orgánica, la DBO₅ será alta, lo que favorece el aumento del número de bacterias, produciendo un descenso del nivel de oxígeno disuelto, con el consecuente perjuicio para la mayoría de los organismos acuáticos.

Los desperdicios orgánicos que se encuentran en el agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno para su respiración, esto quiere decir que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica, mayor es el número de microorganismos y por tanto mayor consumo de oxígeno.

En la normativa vigente se establece como máximo 10 ppm (mg/L) de DBO

Medición: El DBO se evalúa experimentalmente determinando la concentración de oxígeno inicial y final, sobre una muestra de agua de cada contenedor. Las botellas de muestras son selladas y guardadas en la oscuridad por 5 días (se envuelven en papel plomo para evitar la entrada de luz). Se ubican a temperatura constante (entre 20 a 25°C). La DBO es igual a la cantidad de oxígeno consumida como consecuencia de la oxidación de la materia orgánica disuelta en la muestra. Esta reacción está catalizada por la presencia de microorganismos presentes en el agua de la muestra.



e- **Conductividad** - indica la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica y depende del contenido de iones disueltos. Sus valores pueden alterarse por el aporte de efluentes industriales y de saneamiento. Es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). La unidad básica para medir la conductividad es el siemens por centímetro. El agua destilada tiene una conductividad en el rango de 0,5 a 3 μ Siemens/cm (un μ S 1 es la millonésima parte de un Siemens). La conductividad de nuestros sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1.500 μ S/cm. En sistemas dulceacuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados.

Medición: La conductividad se determina mediante la utilización de un conductímetro electrónico, prestado por el Programa GLOBE. Se introduce en el agua dejándolo estabilizar por 1 minuto. Se toman y registran 3 medidas, una por minuto. Se calcula el promedio de las mismas. Las medidas se expresan en siemens



ii- Variables químicas

Son aquellos parámetros que solo se pueden determinar a través de análisis de laboratorio, su importancia radica en los efectos que producen todos sobre los organismos acuáticos ya sean vegetales o animales

a- **Nitrógeno y Fósforo** – son componentes esenciales para toda forma de vida, tanto para las plantas como para los animales, incluso los seres humanos. Estos nutrientes, muchas veces por efecto de actividades humanas pueden presentarse en exceso, provocando un gran aumento en la producción de algas, el cual se conoce como florecimiento de algas o eutricación. Durante el día, las algas incorporan oxígeno al agua porque lo producen durante la fotosíntesis. Durante la noche, cuando no hay luz solar para la fotosíntesis, las algas utilizan el oxígeno en el agua para la respiración. El nivel de oxígeno se reduce aún más cuando las algas mueren. Cuando grandes cantidades de algas mueren, su descomposición consume mucho oxígeno.

Nitrógeno - puede tener varias formas químicas en los cuerpos de agua. Puede encontrarse como nitrógeno molecular disuelto (N_2), como un compuesto orgánico (tanto disuelto como en partículas), y como numerosas formas inorgánicas, tales como el ión

Amonio (NH_4^+), Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-). El Nitrato (NO_3^-) es habitualmente la forma inorgánica más importante del nitrógeno porque es un nutriente esencial para el crecimiento y reproducción de muchas algas y otras plantas acuáticas.

Los científicos a menudo llaman al Nitrógeno “nutriente limitante” porque las plantas usan, en pequeñas cantidades, el nitrógeno disponible en el agua y no pueden crecer o reproducirse más si falta. Por lo tanto, limita la cantidad de plantas en el agua. Muchas plantas que utilizan el Nitrógeno son algas microscópicas o fitoplancton.

La forma de Nitrato del Nitrógeno, que se encuentra en aguas naturales, viene de la atmósfera, en forma de lluvia, nieve o niebla, también puede ser depositada por el viento, por la entrada de aguas subterráneas o superficiales y por los residuos que fluyen bajo la superficie desde la cobertura terrestre y los suelos circundantes. Asimismo, la descomposición de restos vegetales o animales en el suelo o los sedimentos generan nitratos. La actividad humana puede afectar enormemente a la cantidad de nitratos en los cuerpos de agua.

Cuando se añade una cantidad excesiva de un nutriente limitante, como el Nitrógeno, a un lago o arroyo, el agua se convierte en altamente productiva. Esto puede causar un tremendo crecimiento de algas y otras plantas. Este proceso de enriquecimiento del agua se denomina eutrofización. Aunque las plantas y las algas añaden oxígeno, un sobrecrecimiento puede llevar a la reducción de los niveles de luz en los cuerpos de agua.

Cuando las algas y plantas mueren y se descomponen, las bacterias se multiplican y utilizan el oxígeno disuelto del agua. La cantidad de oxígeno disuelto disponible en el agua puede llegar a ser muy bajo y resultar perjudicial para los peces y otros animales acuáticos. La normativa vigente nacional establece como límite máximo de Nitrógeno 10 ppm (mg/L)

Medición: se utilizan reactivos en tabletas (WR Tes Tab) de LaMotte, obtenidos a través del Programa World Water Monitoring. Se sigue el procedimiento indicado en el manual para determinar la cantidad de Nitrato presente en ppm (mg/L). Se extrae una muestra de agua de cada contenedor al inicio del estudio y al final. La medida se establece por colorimetría, se compara el color de la solución obtenida con el código color del kit.



Fósforo -

El fósforo se encuentra normalmente en el agua natural en forma de fosfato, sales que tienen en común un átomo de fósforo (P) rodeado por 4 átomos de oxígeno, es un elemento necesario para las plantas y los animales.

El fosfato del agua puede provenir de desechos humanos, animales y residuos industriales. Los detergentes en las aguas residuales del hogar son una gran fuente de fosfato. Más de la mitad del fosfato en los cursos de agua dulce proviene de los detergentes.

Este nutriente actúa como fertilizante para las plantas acuáticas. Cuando los niveles de nutrientes son muy altos, las plantas y las algas crecen sin control y crean problemas de calidad del agua. Los niveles de fosfato superiores a 0,03 ppm contribuyen a un aumento



del crecimiento de las plantas. La normativa vigente establece como límite máximo 0.025 ppm (mg/L) en P.

Medición: se utilizan reactivos en tabletas (WR Tes Tab) de LaMotte, obtenidos a través del Programa World Water Monitoring. Se sigue el procedimiento indicado en el manual para determinar la cantidad de Fosfato presente en ppm (mg/L). Se extrae una muestra de agua de cada contenedor al inicio del estudio y al final. La medida se establece por colorimetría, se compara el color de la solución obtenida con el código color del kit.

b- Toxicidad - los productos químicos tóxicos pueden afectar el desarrollo normal de los seres humanos y de las plantas, particularmente en las primeras etapas del crecimiento. En las plantas, el desarrollo del sistema radicular es altamente sensible a la presencia de contaminantes.

Medición: Se evalúa la toxicidad del agua utilizando bulbos de *Allium cepa* como bioindicador. Al observar, medir y comparar el largo de raíces jóvenes en un entorno no tóxico (el Control Normal), en un entorno tóxico (el Control Positivo), y en una muestra de agua de cada contenedor cuya calidad no se conoce, se pueden sacar conclusiones sobre la toxicidad del agua en las muestras que se están investigando.

Control Normal

- Usar agua de botella, no carbonatada.
- Llenar al tope 6 tubos directamente de la botella y etiquetarlos con una "N" (para indicar control "normal")
- Tapar inmediatamente la botella

Los Controles Normales son muestras especiales de agua que no producen reacciones tóxicas pues el agua es de buena calidad. Observando cómo se comportan los bulbos de *Allium cepa* bajo estas condiciones controladas o "puras", se podrá entonces comparar cómo reaccionan los mismos organismos bajo las otras condiciones.

Controles Positivos

Solución madre

- Añadir dos cucharaditas rasas de NaCl a un recipiente de 1.5 litros con tapa no metálica (para prevenir que la solución salina oxide la tapa).
- Añadir 1 litro de agua de botella, no gasificada, al recipiente.
- Utilizando la probeta graduada, añadir otros 100 ml de agua de botella, no carbonatada, al recipiente de 1.5 litros.
- Cerrar con la tapa, agitar bien, y etiquetar como "Solución madre NaCl 10 g/L".

Almacenar al resguardo de la luz solar directa o del calor extremo.

Esta solución está diseñada para obtener resultados similares de los que se obtendrían con agua contaminada. Las mismas permiten observar cómo reaccionan los bulbos frente al agua contaminada.

Preparación del experimento.

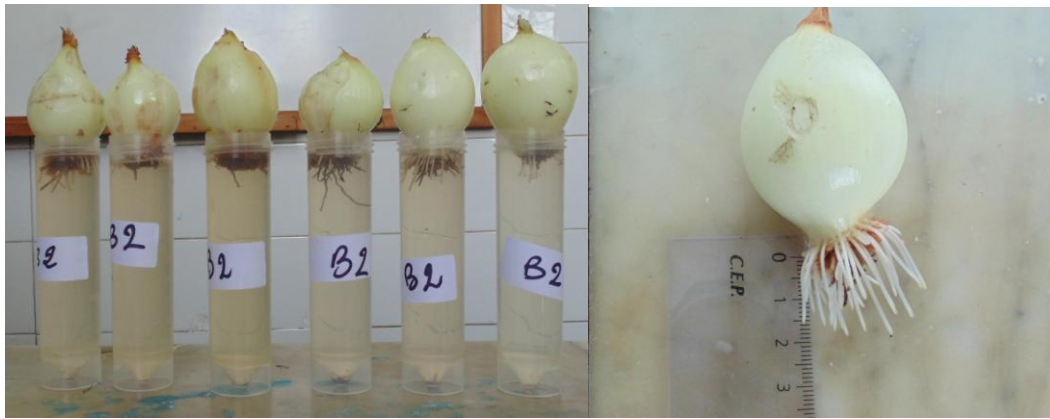
1. Escoger especímenes de *Allium cepa* de un tamaño similar para cada set de muestras que encaje bien sobre la boca de los tubos de ensayo.
2. Quitar con cuidado las capas color café de la piel de los bulbos, teniendo cuidado de no dañar las raíces.
3. Colocar los bulbos en una jarra o tazón, lleno hasta la mitad con agua limpia de botella.
4. Sacarlos al momento de usar y depositarlos en una toalla de papel, para quitarles el exceso de agua.
5. Colocar cada espécimen de *Allium cepa*, con las raíces para abajo, en la boca de un tubo de ensayo.
6. Etiquetar 6 tubos de ensayo como (P) para los "Controles Positivos"; 6 tubos de ensayo como (N) para los "Controles Normales"; 6 tubos de ensayo por cada contenedor, identificados con letra y número al que corresponde.
7. Colocar los tubos de ensayo en un lugar seguro e iluminado (con luz solar), pero no con luz directa del sol, donde puedan permanecer sin problemas por 3 días.

8. Al ir brotando, los bulbos consumirán agua a través de sus raíces. Reemplazar esa agua en cada tubo de ensayo utilizando una pipeta para cada solución a fin de no contaminar las muestras entre sí.



Después de tres (3) días:

1. Sacar un grupo de seis bulbos de *Allium cepa*, al mismo tiempo. Descartar el de raíces más cortas (A veces el grupo de ensayo puede incluir un espécimen muy pobre, por lo que se elimina la peor de cada grupo para compensar por esta situación natural)
2. Con una regla, medir el largo del manojito de raíces para cada una de los cinco bulbos. Ignorar las raíces que sean excepcionalmente largas o cortas.
3. Apuntar el largo de cada manojito de raíces en la hoja de datos.
4. Repetir este procedimiento para todos los grupos de *Allium cepa* que quedan.
5. Calcular el largo promedio de las raíces en cada grupo de ensayo.



iii- Control del estado de las plantas

Se cuenta el número de especímenes de macrófitas por contenedor.

Se compara el color de las plantas con una tabla de colores y se registra el color que predomina.

Se mide el largo de las tres hojas más largas de los especímenes de cada contenedor, midiendo desde la base hasta la punta de la misma. No se incluye el tallo de la hoja, ni el pecíolo como parte de ella.

iv- Frecuencia de las mediciones

Se registran las mediciones en planillas identificadas con el número y letra correspondiente a cada prueba.

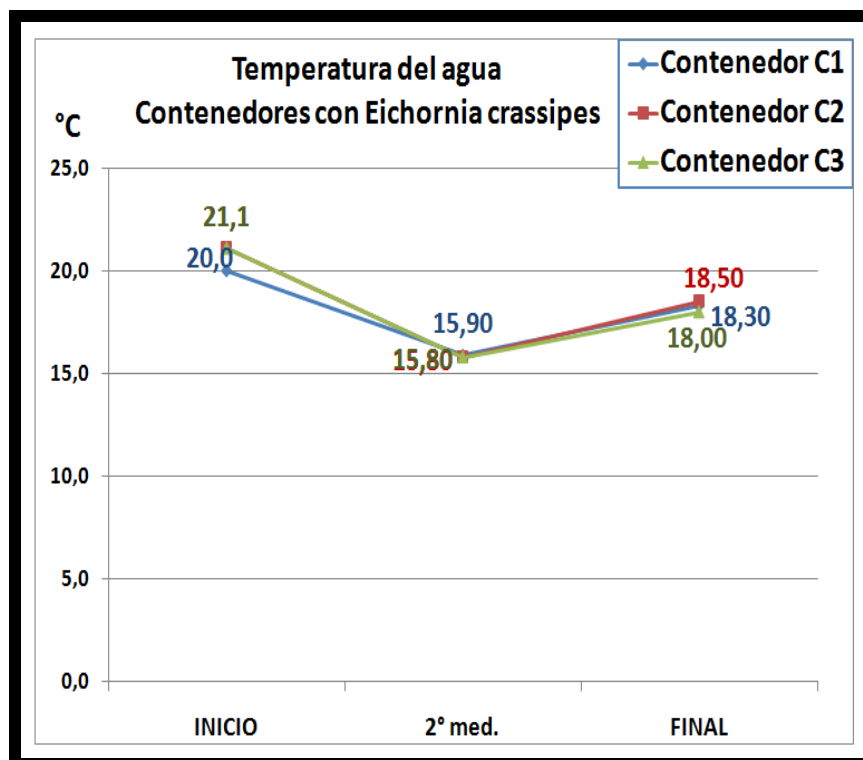
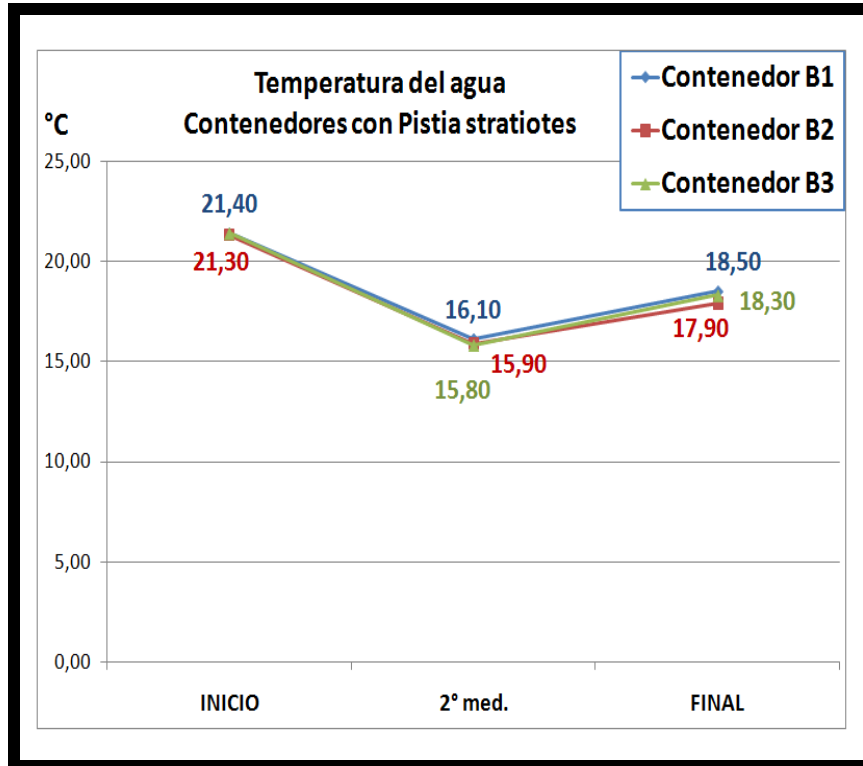
Se realizan todas las mediciones al inicio, a los 13 días (período mínimo recomendado por los asesores) y a los 26 días (final del experimento)

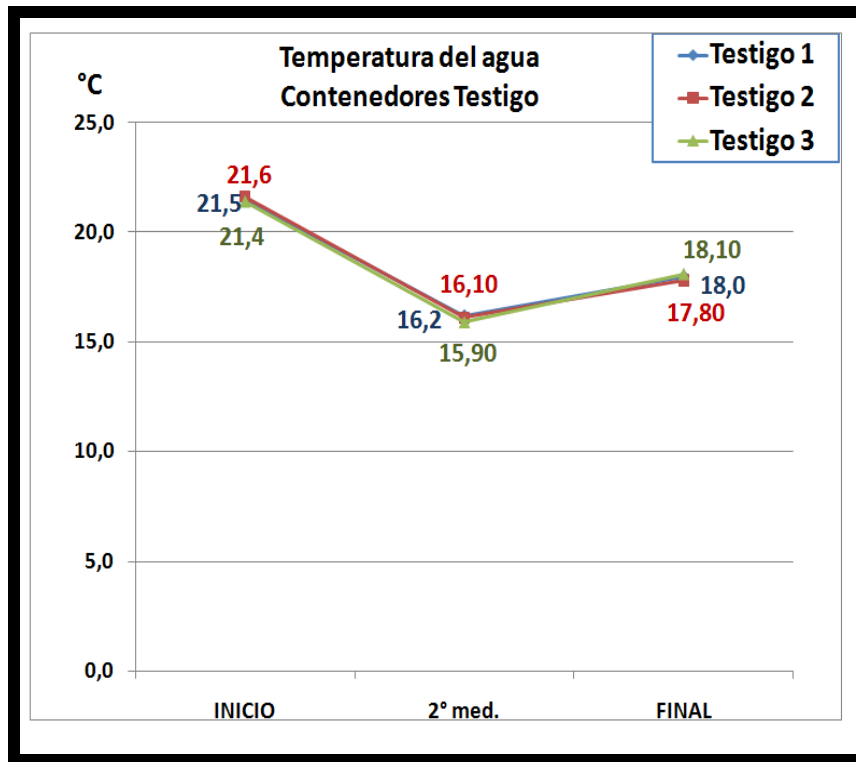


HERRAMIENTAS Y MATERIALES

MATERIALES DE SEGURIDAD	MATERIALES PARA EL CULTIVO
Tapa boca Guantes de látex Gafas protectoras Papel servilleta Alcohol en gel Recipientes cerrados herméticamente para transporte del agua del arroyo Agua destilada Pulverizador	10 Contenedores Agua del Arroyo Miguelete Especímenes de Eichornia Crassipes, Pistia Stratiotes y Thypa Angustifolia
MATERIALES PARA MONITOREO	MATERIALES PARA BIOENSAYOS
Tamiz Clave de identificación Red de hundimiento en forma de D Balde blanco Cuerda Bandejas de espuma plast Alcohol 95% Lupas	4 litros de agua de botella sin gas 72 bulbos de cebolla, que encajen en la boca de los tubos de ensayo 72 tubos de ensayo Sal Botellas de 1.5 litro 1 probeta de 100 ml 1 recipiente limpio de plástico o vidrio, para remojar las cebollas después de pelarlas. 1 cuchillo 6 pipetas de transferencia. 1 regla
MATERIALES GENERALES	EQUIPOS
Etiquetas Vasos de bohemia Matraz Probeta graduada Tubos de ensayo Máquina de fotos Marcador Pala de corte Pinzas Jeringas Hojas de datos Papel de aluminio Conservadora	Oxímetro Botellas para muestras de DBO Medidor de pH Termómetro digital Conductímetro Kit de LaMotte para nitratos y fosfatos Calculadora Microscopio estereoscópico Microscopio óptico simple Tubo de transparencia GPS Brújula Cronómetro

RESULTADOS

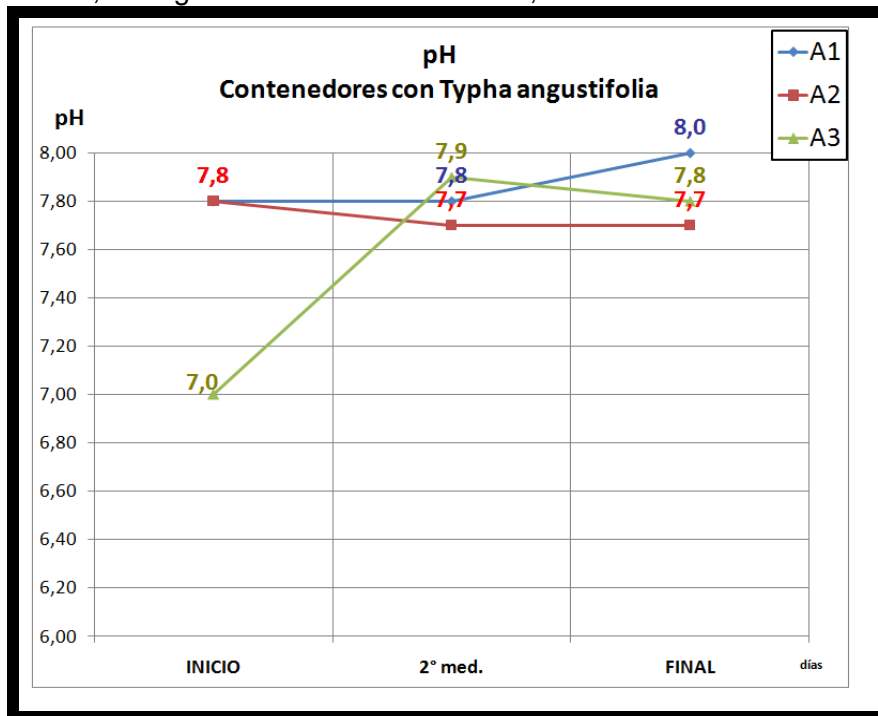


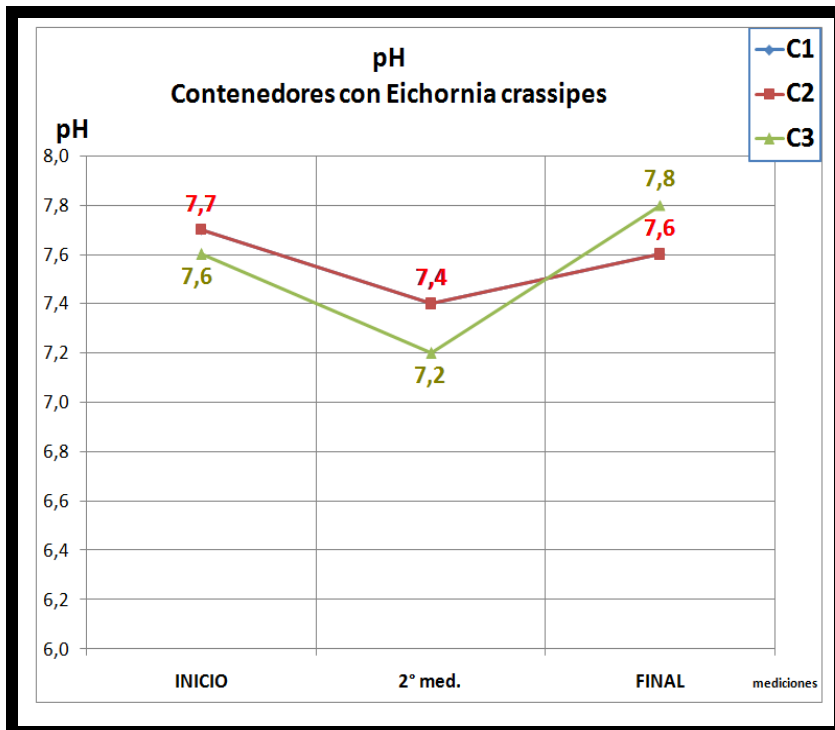
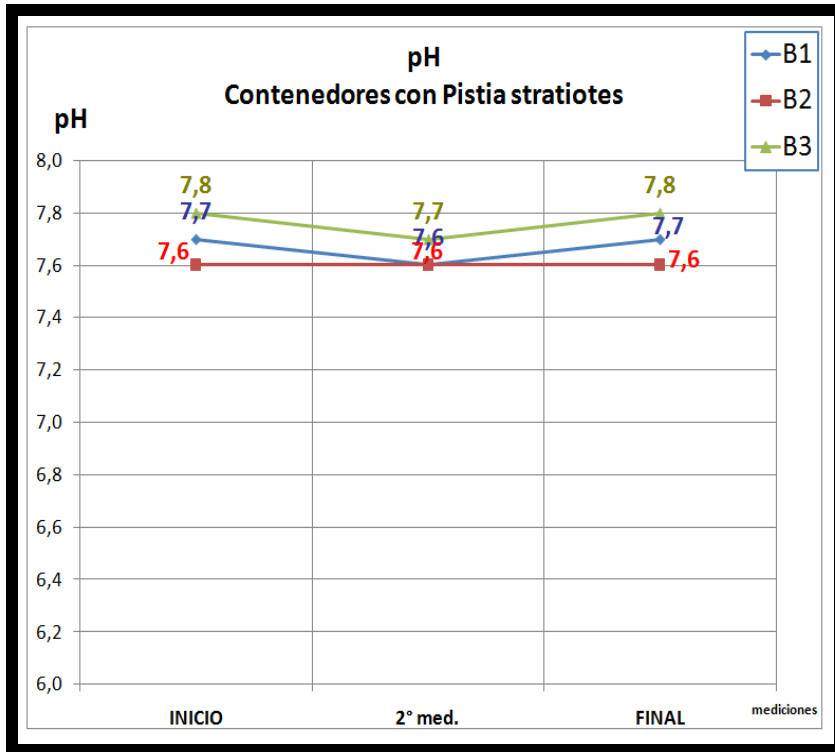


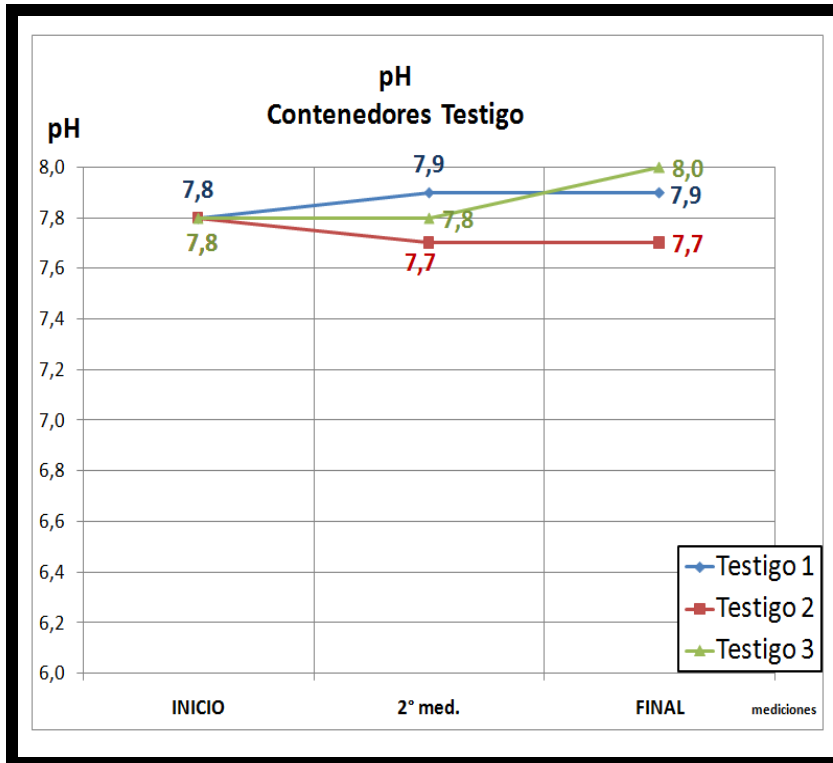
La temperatura del agua se mantiene en el rango de 15° a 22°C, en todos los contenedores, durante todo el experimento.

Al inicio del experimento, se observan las temperaturas más elevadas, cercanos a 22° C.

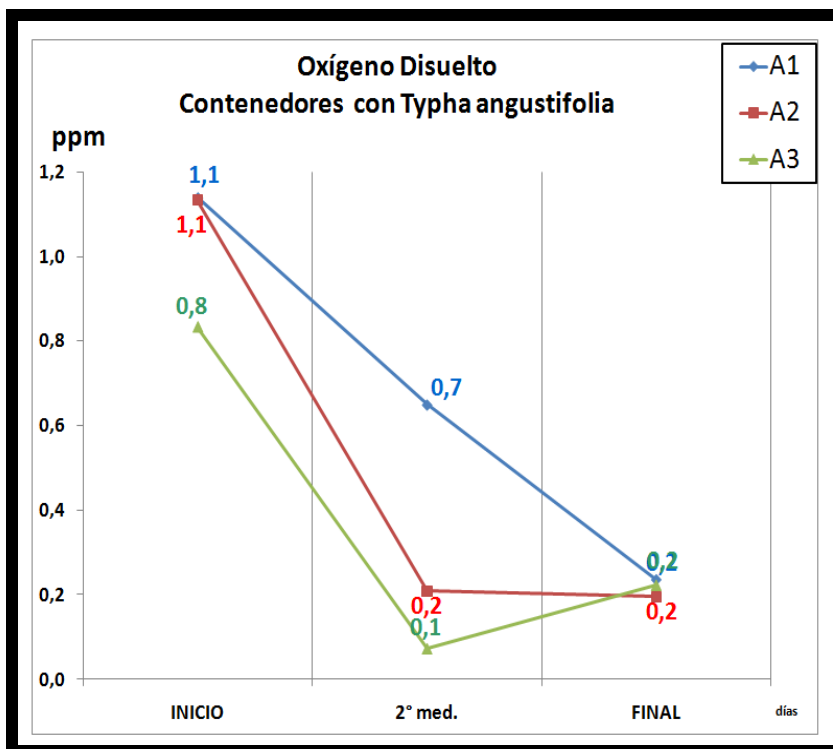
En la 2da. medición, se registran los valores mínimos, cercanos a 15° C.

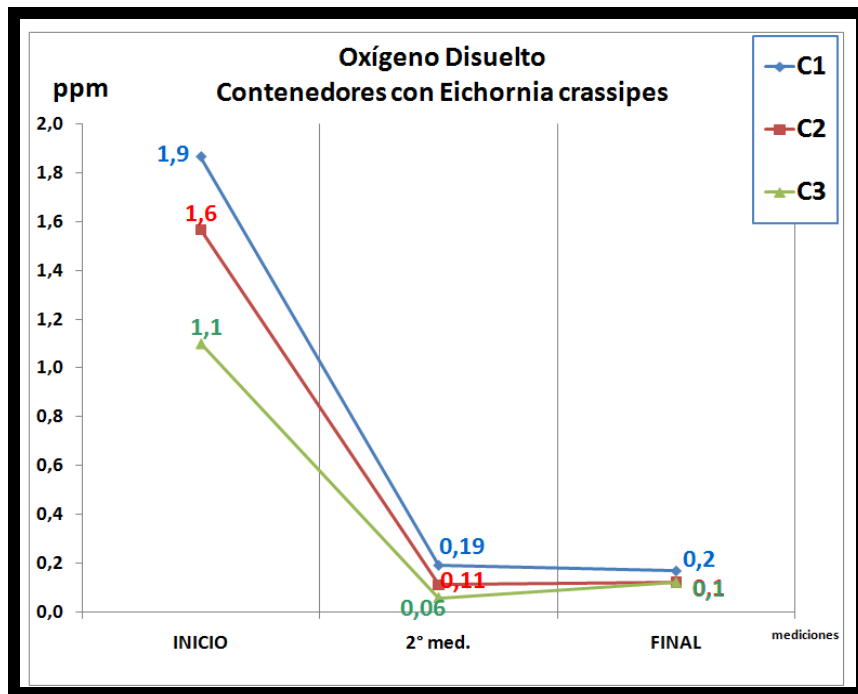
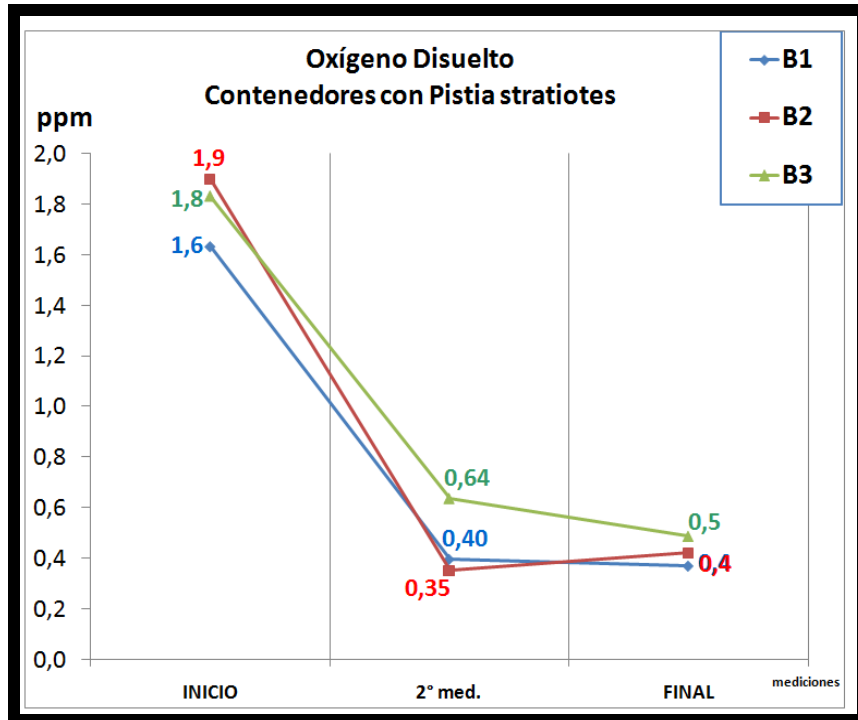


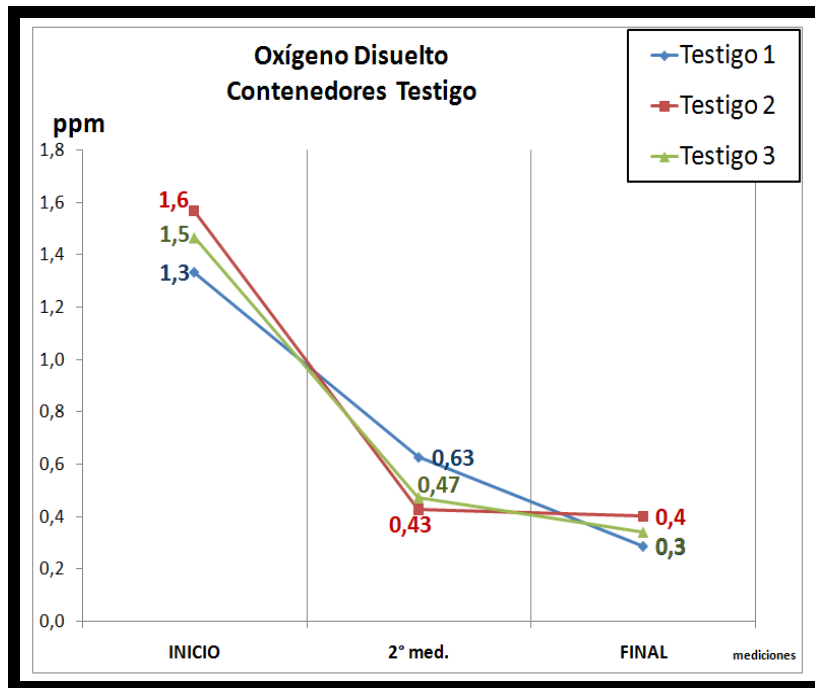




Durante todo el experimento, el pH de todos los contenedores presenta fluctuaciones leves, manteniéndose en el rango entre 7 y 8. No se observan diferencias notables entre los contenedores con macrófitas y los testigos.



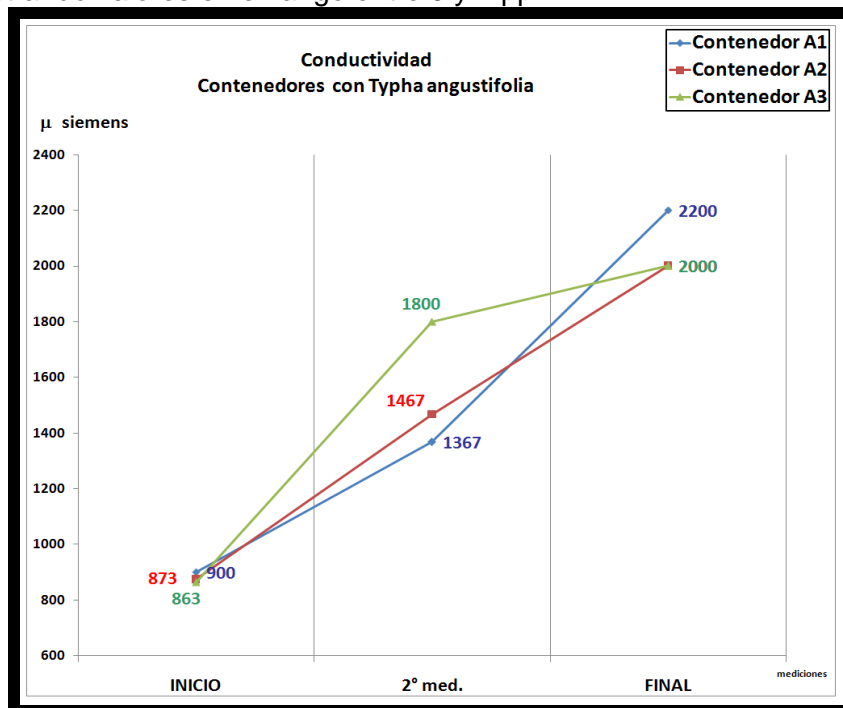


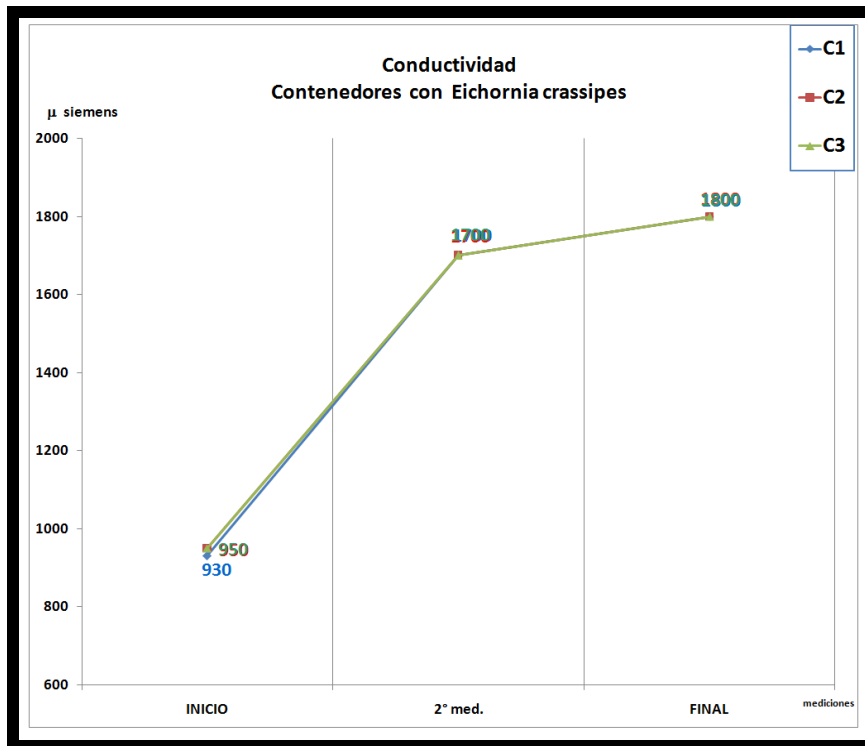
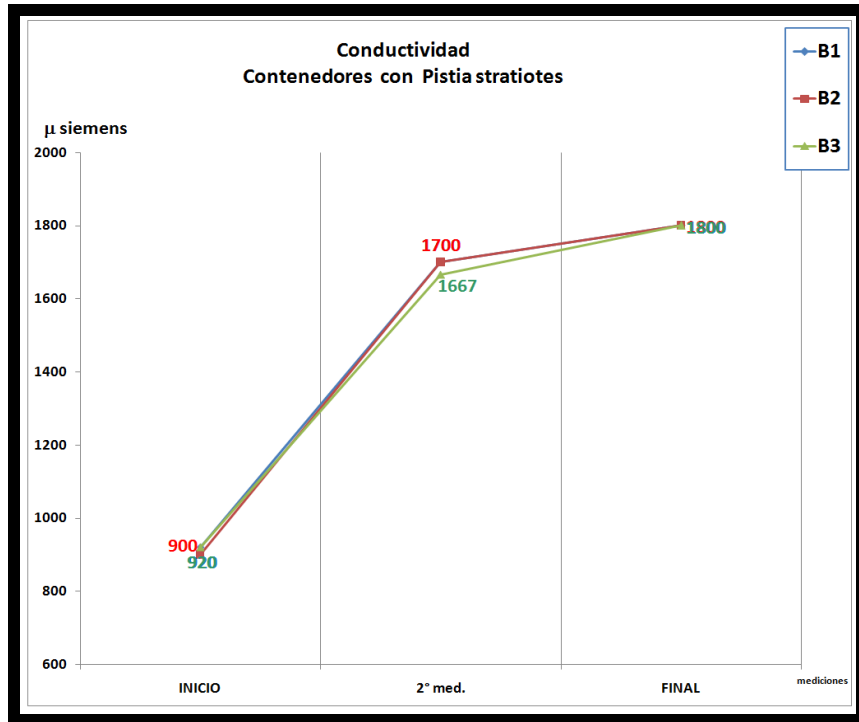


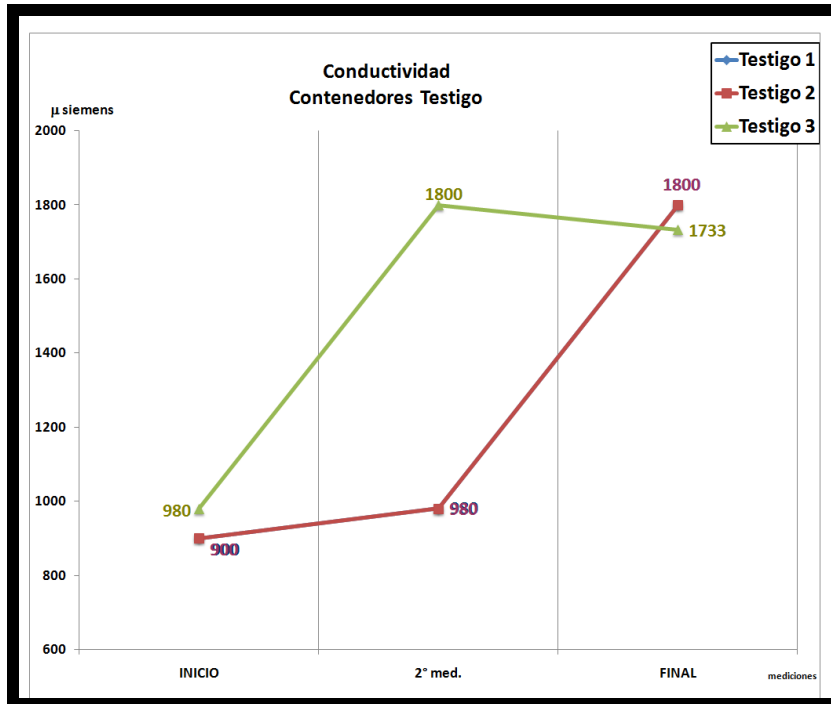
Desde el inicio al final del experimento, se observa una disminución del oxígeno disuelto en todos los contenedores

De la 1era. a la 2da. medición se registra una disminución de 1 ppm de oxígeno disuelto, en todos los contenedores.

Desde la 2da. medición al final, los valores de oxígeno disuelto se mantienen sin grandes cambios, registrando valores en el rango entre 0 y 1 ppm.



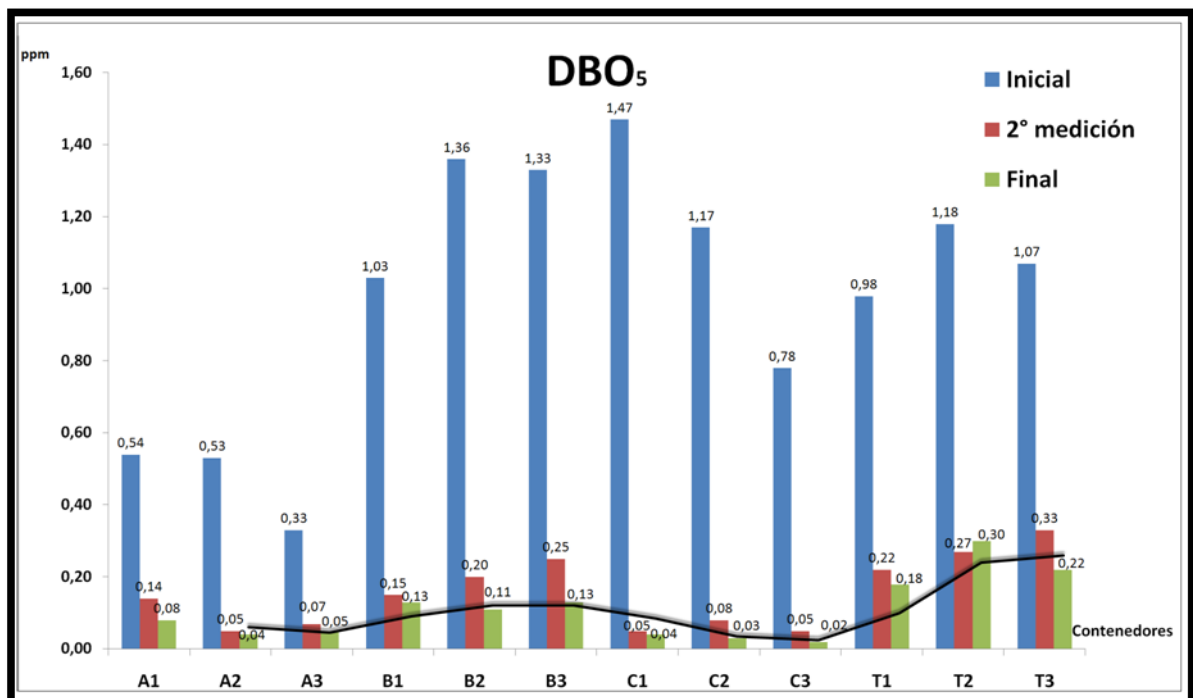




La conductividad eléctrica al comienzo del experimento presenta valores en el rango de 800 a 900 μ siemens.

En la 2da. medición se registra un aumento de 500 a 1000 μ siemens, en todos los contenedores.

Los contenedores con *Typha angustifolia* son los que presentan mayor conductividad final. Al termino del experimento, los valores de conductividad eléctrica, en todos los contenedores, se ubican en el rango entre 1700 y 2200 μ siemens.

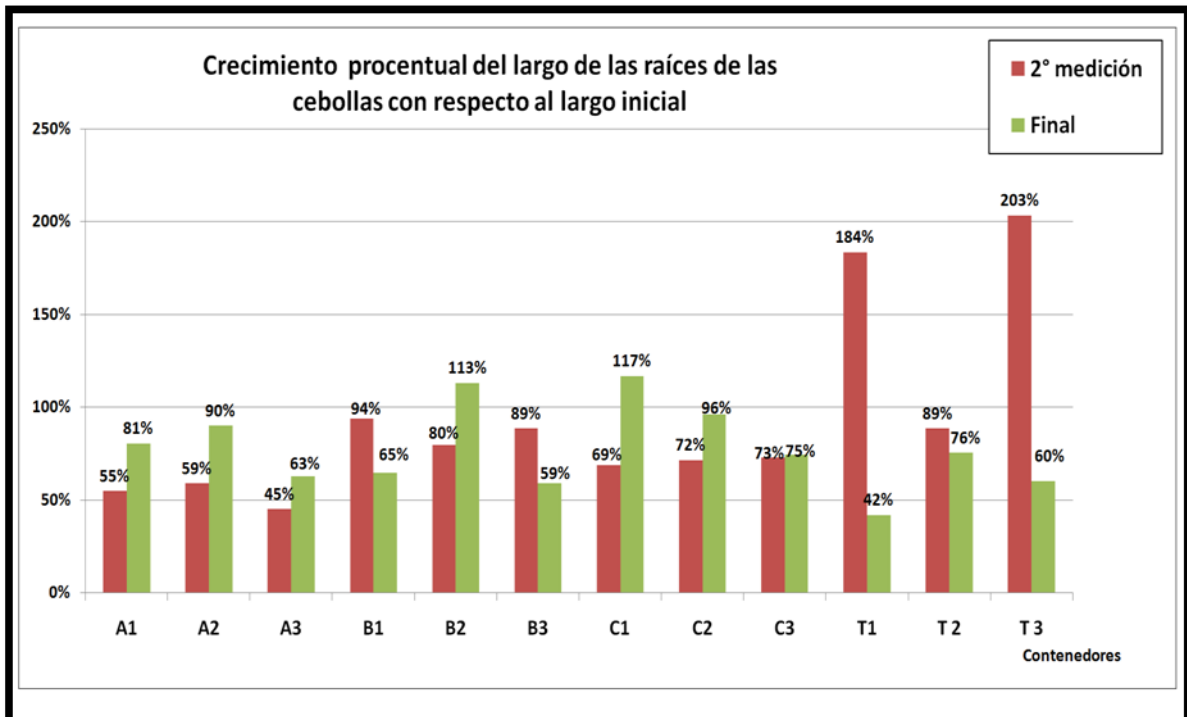


El DBO_5 inicial es mayor que el DBO_5 final en todos los contenedores.

En los contenedores testigos la disminución es menor que en el resto de contenedores que tienen macrófitas.

En los contenedores con *Eichornia crassipes* y *Typha angustifolia* se registran los valores más bajos de DBO_5 al final del experimento.

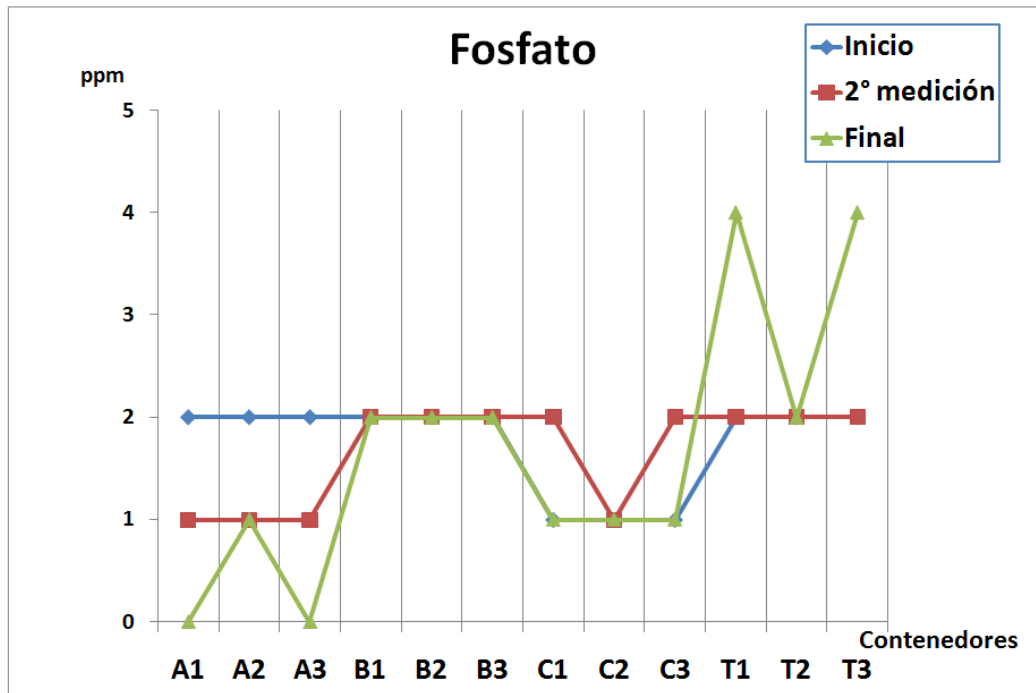
La mayor disminución de DBO_5 , se registra en los contenedores con *Eichornia crassipes* y *Pistia stratiotes*.



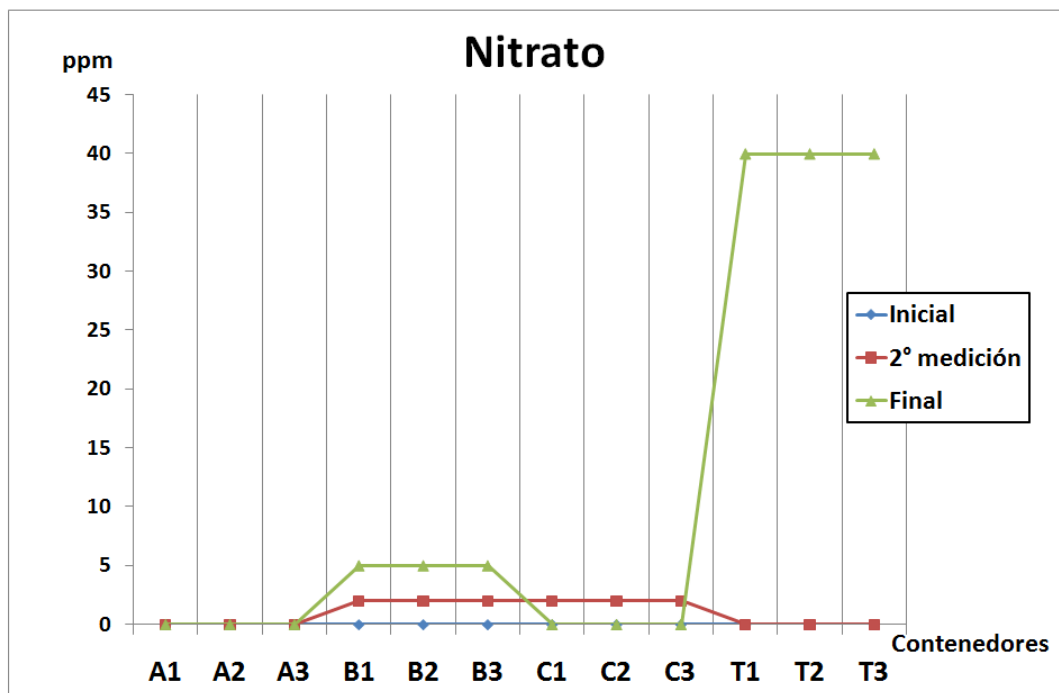
Al final del experimento, en todos los contenedores con *Eichornia crassipes* y *Typha angustifolia*, se observa un aumento en el crecimiento porcentual en el largo de las raíces de los especímenes de *Allium cepa*, con respecto al largo registrado inicialmente,

En 2 de los 3 contenedores con *Pistia stratiotes*, B1 y B3, se registra una disminución de dicho crecimiento porcentual.

En los contenedores testigo, el crecimiento porcentual disminuye en forma importante.



Los contenedores testigo presentan un aumento de fosfatos, al final del experimento. En los contenedores con macrófitas, la cantidad de fosfatos se mantiene o disminuye. *Typha angustifolia* – se registra la mayor disminución de fosfatos (entre 1 y 2 ppm), alcanzando valores cercanos al 0 ppm en 2 de los contenedores. *Pistia stratiotes* – la cantidad de fosfatos se mantiene invariable. *Eichornia crassipes* - los fosfatos disminuyen 1 ppm en 2 de los contenedores. Al final del experimento, en los 3 contenedores, se registra 1 ppm de fosfatos.



En los 3 contenedores testigo la cantidad de nitratos aumenta de 0 a 40 ppm.

En todos los contenedores con macrófitas, los nitratos se mantienen en valores iguales o menores a 5 ppm.

Typha angustifolia – no se observa variación en la cantidad de nitratos, se mantiene en valores iguales a 0 ppm.

Pistia stratiotes – la cantidad de nitratos aumenta en todos los contenedores, de 0 a 5 ppm.

Eichornia crassipes – se registra una disminución de la cantidad de nitratos, alcanzando valores de 0 ppm, al final del experimento.

DISCUSIÓN

Se logró cumplir el objetivo a corto plazo, formando una base de datos fundamentales para continuar el proyecto de investigación.

Se conformó una Red de Trabajo Colaborativa con la ONG Cultura Ambiental; el Club deportivo Mauá; el Biólogo Hugo Ruserie; el Laboratorio Ambiental de la Intendencia de Montevideo; el Liceo IBO a través de la Prof. Alicia Soza; el Jardín Botánico, a través del Ingeniero Agrónomo Nino Nicoli; la Facultad de Ciencias a través del Biólogo Rafael Arocena y la Botánica Viveka Sabaj; La Liga Sanitaria SRL; el Programa GLOBE a través de la Coordinadora de Uruguay, Lic. Andrea Ventoso; y las Escuelas Primarias N° 21, 28 y 323.

Se pretende que esta Red Colaborativa permita sostener la gestión del proyecto de fitorremediación en el Arroyo Miguelete

En cuanto a las mediciones dentro del marco del experimento, los resultados de temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, no indican diferencias apreciables entre lo registrado para los contenedores que tienen macrófitas y los contenedores testigo.

La temperatura del agua se mantiene en todos los contenedores del experimento en el rango de 15° a 22°C, es decir el rango mínimo para el crecimiento de las macrófitas utilizadas.

En el período del estudio se observa claramente el crecimiento de las hojas en todos los especímenes de *Typha angustifolia*, alcanzado hasta 37 cm de alto, lo que demuestra su rápido desarrollo y adaptación al medio, siendo una de las especies más resistentes y menos exigentes en este aspecto.

En cuanto a la especie *Pistia stratiotes* se observa un leve aumento en el número de especímenes, a su vez es visible el desmejoramiento en el estado fisiológico de las plantas, lo mismo sucede con la especie *Eichornia crassipes*.

El **pH** de todos los contenedores se mantiene en el rango entre 7 y 8, dichos valores están de acuerdo a la normativa nacional vigente, Decreto 253/79 – 9 de mayo de 1979 - Normas para prevenir la Contaminación Ambiental Mediante El Control De Las Aguas – Montevideo – Uruguay que hace referencia a cursos o tramos de cursos de agua destinados a la preservación de los peces y otros integrantes de la flora y fauna hídrica.

En relación al **oxígeno disuelto**, en todos los contenedores se registra una medida inicial entre 1 y 2 ppm. En la 2da. medición se observa un descenso de este oxígeno disuelto, en todos los contenedores, manteniéndose hasta el final del experimento en el rango de 0 y 1 ppm.

El oxígeno disuelto, desde el inicio del experimento, en todos los contenedores es menor a 2 ppm lo que es fatal para la mayor parte de las especies. Esto puede deberse a la gran acumulación de materia orgánica producida por los vertidos de efluentes al Arroyo Miguelete, lo que provoca un enorme desarrollo de bacterias "...microorganismos que pueden agotar completamente el oxígeno (anoxia), causando una mortalidad masiva de la comunidad de organismos que viven asociados al fondo. Los sedimentos sin oxígeno se caracterizan por su color negro y por sus emanaciones sulfurosas...en esa área abundan pequeños organismos oportunistas, como los Anélidos Oligoquetos"⁹ Estas características del sedimento, se observan con claridad en todos los contenedores del experimento.

⁹ <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/EnriqOrgan.htm>

En cuanto al desarrollo de los especímenes bentónicos, se observa al inicio la presencia de *Anélidos Oligoquetos* en todos los contenedores, crustáceos (*Hyallela curvispina* y *decápodos*), y larvas de insectos, solamente en los contenedores con plantas. Dichos seres bentónicos registran mayor abundancia al final del experimento, a excepción de los anélidos en los contenedores testigo, en los cuales disminuyen.

La **conductividad eléctrica** presenta valores iniciales en el rango de 800 a 900 μ siemens, aumentando en la segunda medición, alcanzando valores al final del experimento superiores a 1500 μ siemens, que en sistemas de agua dulce indica que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados.

Con respecto al **DBO₅**, se observa que el DBO₅ inicial es mayor que el DBO₅ final en todos los contenedores. Teniendo en cuenta que el DBO₅ es una medida del oxígeno consumido por los microorganismos para descomponer la materia orgánica que existe en el agua, se puede afirmar que la materia orgánica presente en todos los contenedores del experimento disminuye.

Si bien existe esta disminución en todos los contenedores, en los contenedores testigos la disminución es menor que en el resto de contenedores que tienen macrófitas. Dentro de las macrófitas, al final del experimento, en los contenedores con *Eichornia crassipes* y *Typha angustifolia* se registran los valores más bajos de DBO₅.

La mayor disminución del DBO₅ se registra en los contenedores con *Eichornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, esto puede deberse a que éstas plantas acuáticas proporcionan densas raíces que son sitios propicios para la adhesión de los microorganismos degradadores de materia orgánicas

Al final del experimento los contenedores que no tienen macrófitas presentan un aumento de **Fosfatos**, sin embargo, en los contenedores con *Eichornia crassipes* y *Typha angustifolia* disminuye la cantidad.

En dos de los contenedores con *Typha angustifolia* la presencia de estos nutrientes alcanzan los valores más próximos al límite máximo que establece la normativa vigente (0.025 ppm). Aunque en los contenedores con plantas se supera este límite, se debe considerar que el agua del arroyo presenta alto nivel de fosfatos provenientes de los efluentes urbanos.

En cuanto a los **Nitratos**, se mantienen entre 0 y 5 ppm en todos los contenedores, a excepción de los testigos que presentan un importante aumento al final del experimento, llegando a 40 ppm. Estos resultados, indican que las macrófitas no provocan aumento de nitratos, manteniéndose en los valores dentro de la normativa vigente nacional que establece como límite mínimo de 10 ppm (mg/L)

Solamente en los contenedores con *Pistia stratiotes* se registra un aumento de la cantidad de nitratos, alcanzando valores de 5 ppm

Si bien nitratos y fosfatos son componentes esenciales para toda forma de vida, tanto para las plantas como para los animales, si se presentan en exceso, provocan un gran aumento en la producción de algas, el cual se conoce como eutrofización. Esto es un problema en el ecosistema porque las algas consumen el oxígeno disuelto en el agua y además, generan una capa superficial evitando el pasaje de la luz a las capas de agua profundas.

Con respecto a los análisis de **toxicidad** en todos los contenedores con macrófitas al final del estudio, a excepción de B1 y B3, se observa un aumento en el crecimiento porcentual en el largo de las raíces de los especímenes de *Allium cepa*, con respecto al largo inicial, lo que indica una disminución de la toxicidad del agua en los mismos.

Al comparar la 2° medición y la final, se observa claramente la disminución del crecimiento porcentual del largo de las raíces en los contenedores B1, B3 y testigos, esto indica un aumento de toxicidad en el agua.

Los resultados obtenidos en cuanto a DBO₅, presencia de nitratos y fosfatos y toxicidad, indican que la especie *Pistia stratiotes* es la menos eficiente en la mejora de la calidad del agua.

De esta manera, se logra comprobar la hipótesis planteada, ya que si bien las tres especies de macrófitas tienen un impacto positivo en las variables fisicoquímicas del agua del

arroyo, la *Eichornia crassipes* y la *Typha angustifolia* son más eficientes en la mejora de dichas variables que la macrófita *Pistia stratiotes*.

De acuerdo a éstos resultados se proyecta utilizar en la siguiente etapa de la investigación, especímenes de *Eichornia crassipes* y *typha angustifolia*.

Ya que en condiciones de laboratorio las macrófitas muestran un deterioro fisiológico importante, se replantean los objetivos a mediano y largo plazo de la investigación. Se considera que el deterioro de las plantas puede ser causado por las mismas condiciones de laboratorio que limitan la cantidad de luz y aireación que reciben las plantas, de esta manera, se proyecta realizar un estudio in situ en el arroyo para evaluar el desarrollo de las plantas en condiciones ambientales reales sabiendo que las mismas no tienen impacto negativo en el agua del arroyo.

CONCLUSIÓN

Las macrófitas *Eichornia crassipes*, *Typha angustifolia* son más eficientes que la *Pistia stratiotes* en la reducción de la materia orgánica y la disminución de la toxicidad, nitratos y fosfatos del agua del Arroyo Miguelete.

BIBLIOGRAFÍA

- ✚ Arroyo, P.; Ansola, G; Calabuig E. de Luis - “*La biorremediación como medida correctora en los impactos ambientales de agua contaminada con metales pesados.*” - Instituto de Medio Ambiente, Dpto. de Ecología, Universidad de León, España, 2005
- ✚ Barros, M. Josefina; Rendina, Alicia E. y Iorio, Alicia – “*Fitorremediación de plomo con plantas acuáticas*” - Facultad de Agronomía – Argentina – 2007
- ✚ Carrera, Alejo Pérez; Fontecoba, Cintia; Grassi, Diego y Fernández Cirelli, Alicia – “*Eficiencia de plantas acuáticas para la biorremediación de aguas contaminadas con elementos tóxicos*”- Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Argentina
- ✚ Club de Ciencias Bénticos - Informe “*¿El arroyo Miguelete es un arroyo muerto?*” – Montevideo – 2010
- ✚ Club de Ciencias Bénticos - Informe “*Dinámica poblacional bentónica del Arroyo Miguelete*” – Montevideo - 2012
- ✚ Club de Ciencias Bénticos - Informe “*Una visión bentónica del Arroyo Miguelete*” – Montevideo - 2011
- ✚ Delgadillo-López, Angélica Evelin; González-Ramírez, César Abelardo; Prieto-García, Francisco; Villagómez-Ibarra, José Roberto; Acevedo-Sandoval, Otilio – “*Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*” - Rev. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14 (2011): 597- 612; Enero 2011, México.
- ✚ Delgadillo, Oscar y otros – *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales – Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua – Universidad Mayor de San Simón – Bolivia*
- ✚ Fernández Zacarías, Alejandra; González García, Erasto; Patiño Arroyo, Roberto; Luna García, Francisco Javier; Álvarez Ma. Guadalupe – “*Emprendiendo la fitorremediación en México*” - Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guanajuato- México – 2003
- ✚ GLOBE, NASA. 1997 - *Guía del maestro*- EEUU
- ✚ Grupo Ambiental Montevideo (GAM).- *Informe Ambiental de Montevideo, año 2008* - Intendencia Municipal de Montevideo
- ✚ Lallana, Victor H. – “*Las plantas acuáticas del Río Paraná*” Art. Técnico divulgación: http://www.fca.uner.edu.ar/academicas/deptos/catedras/WEBFV_2010/FVpdf/ITPA-01.pdf

- ✚ Lida, C.L. y Shock, C.C. - “*El dilema del fósforo*” - Técnicas para la agricultura sostenible - Oregon State University - Estados Unidos, 2009
- ✚ Mazzeo, Néstor y otros – *Eutrofización: causas, consecuencias y manejo* – Sección de Limnología, Dto. De Ecología - Facultad de Ciencias – UdelaR - Montevideo -
- ✚ Núñez López, Roberto Aurelio; Meas Vong, Yunny; Ortega Borges, Raúl y J. Olguín, Eugenia – “*Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*”- Revista Ciencia – 2004 –
- ✚ Núñez López, Roberto Aurelio; Ortega Borges, Raúl - “*Rizofiltración, lixiviación y electro-recuperación: una propuesta integral para el tratamiento de aguas contaminadas con plomo a partir del lirio acuático (Eichhornia Crassipes)*” - Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQU), Revista CIENCIA@UAQ, 2009
- ✚ Ole Hansen, Hans – “*Restauración de Ríos y Arroyos - Experiencias y ejemplos de Dinamarca*” - Ministerio del Medio Ambiente y de la Energía - Instituto Nacional de Investigación del Medio Ambiente -1997
- ✚ Paul S. Giller – “*River restauración: la búsqueda de estándares ecológicos. Introducción del editor*” - *Journal of Applied Ecology* **42** : 2, 201-207 – 2005
- ✚ R. Jansson, H. Backx, Aj Boulton, M. Dixon, D. Enojo, Fmr Hughes, K. Nakamura, Eh Stanley y K. Tockner – “*La indicación de los mecanismos y el perfeccionamiento de los criterios de éxito de la restauración ecológica del río*” - *Journal of Applied Ecology* **42**: 2, 218-222 – 2005
- ✚ Rodríguez-Gallego, R; Mazzeo, N.; Gorga, J.; Meerhoff, M.; Clemente, J.; Kruk, C.; Scasso, F; Lacerot, G.; García, J. y Quintans, F. – “*The effects of an artificial wetland dominated by free – floating plants on the restoration of a subtropical, hypertrophiclake*” - *L. Lakes & Reservoirs: Research and Management* 9: 203–215 - Sección Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2004
- ✚ S. Gillilan; K. Boyd; T. Hoitsma y M. Kauffman – “*Desafíos en el desarrollo y aplicación de las normas ecológicas para los proyectos de restauración de ríos geomorfológicos: la respuesta de un practicante*” - *Journal of Applied Ecology* **42** : 2, 223-227 – 2005
- ✚ Servicio Laboratorio De Calidad Ambiental - *Informe anual del programa de monitoreo de cuerpos de Agua de Montevideo* – Años 2009, 2010 y 2011 - Intendencia Municipal de Montevideo –disponibles en <http://www.montevideo.gub.uy/>
- ✚ Zarela, Milagros Y García, Trujillo - “*Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*” - Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental - Lima – Perú – 2012

SITIOS WEB

<http://agro.faua.info/node/161#cuatro>
http://aiquruguay.org/sitiomedioambiente/documentos/dec253_79%20vigente.pdf
<http://ecostrimed.net/docs/CERA/MacroIndLatinAmcompag0908.pdf>
<http://ecostrimed.net/docs/CERA/MacroIndLatinAmcompag0908.pdf>
<http://ecotoxicologiayecologia.blogspot.com/2009/09/anfipodos-invasores.html>
<http://es.slideshare.net/NELSHON/tratamiento-de-aguas-residuales-fitorremediacion>
http://es.wikipedia.org/wiki/Arroyo_Miguelete
<http://fichas.infojardin.com/acuaticas/pistia-stratiotes-lechuga-de-agua-repollo-agua.htm>
http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf
<http://limno.fcien.edu.uy/pdf/curso2011/Metodos-practico-fisico-quimica2011.pdf>
<http://www.ceadu.org.uy/sistemasnaturales.htm>
<http://www.cem.ufpr.br/wp-content/uploads/2013/03/MANUAL-PROSUL-WEB.pdf>
<http://www.diariopopular.com.ar/notas/115847-riachuelo-un-junco-limpiar-sus-aguas>
<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/EnriqOrgan.htm>

http://www.ehowenespanol.com/efectos-daninos-fertilizantes-contienen-nitrogeno-ecosistemas-acuaticos-lista_183829/
<http://www.jmarcano.com>
<http://www.k12science.org/curriculum/dipproj/en/>
<http://www.mercosur-comisec.gub.uy>
<http://www.mercosur-comisec.gub.uy>
<http://www.miliarium.com/Proyectos/RestauracionAmbiental/RestauracionRiberas/Fauna/Fauna.asp>
<http://www.montevideo.gub.uy/institucional/publicaciones/documentos>
<http://www.neticoop.org.uy/IMG/pdf/dc0208-2.pdf>
<http://www.nuestracosta.com.uy/costas/la-costa-de-las-ciencias/3-la-costa-de-las-ciencias/75-ficha-informativa-que-de-estudio-arroyoq>
<http://www.pnuma.org/geoyouth>
<http://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema05.pdf>
<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-oxigeno.pdf>
<http://www.verdeynatural.com.ar/difusion/ecologia/849-proponen-usar-plantas-para-limpiar-aguas-fitorremediacion>
<http://www.verdeynatural.com.ar/difusion/ecologia/849-proponen-usar-plantas-para-limpiar-aguas-fitorremediacion>
<http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/materialesdidacticos/otros/temperatura.pdf>

AGRADECIMIENTOS

Orientador Milton Camejo; Biólogo Rafael Arocena; Encargado de Bioensayos en el Laboratorio Ambiental de IM Ing. Julio Espínola; Biólogo Hugo Ruserie; Ingeniero Agrónomo Nino Nicoli; Doc. Gabriela Pignataro; Prof. Alicia Soza; Lic. Andrea Ventoso ; Prof. Bernadet Mayo; Botánica Viveka Sabaj; Prof. M^a Cristina Sallé; Oficina de Política Científica de UNESCO; La Liga Sanitaria SRL; Programa GLOBE; Programa World Water Monitoring; ONG Cultura Ambiental; Liceo IBO; Escuelas N° 21, 28 y 323; Programa MENTA; Instituto de Formación Docente de Carmelo; Club de Ciencias MAG2.