



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**UNIDAD ZACATENCO**

**DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA**

“Reducción de nitrógeno y metales de agua en un sistema de  
biofiltración/oxigenación con micro-nano burbujas”

Tesis que presenta

**Biol. Josué Benito Rodríguez Gámez**

Directora de tesis:

**Dra. Refugio Rodríguez Vázquez**

Para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**EN LA ESPECIALIDAD EN BIOTECNOLOGÍA**

Asesores:

**Dr. Ricardo Aguilar López**

**Dra. Blanca Estela Barragán Huerta**

Ciudad de México

Diciembre de 2023

# Índice

<b>Agradecimientos</b> .....	3
<b>Abstract</b> .....	5
<b>Justificación</b> .....	13
<b>Objetivos</b> .....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos particulares .....	15
<b>Materiales y métodos</b> .....	16
Evaluación de variables en la remoción de nitrógeno y carbono mediante adsorción .....	16
Evaluación de variables en la remoción de nitrógeno y carbono con biofiltros.....	17
Evaluación de biofiltro en la disminución de nitrógeno y elementos metálicos.....	18
Análisis del acoplamiento de un filtro al biofiltro.....	19
Efecto de la aplicación de micro-nano burbujas en el tratamiento.....	19
Evaluación de biofiltro en la disminución de nitrógeno y elementos metálicos con un mayor tiempo de retención. ....	20
Análisis fisicoquímicos y de microorganismos patógenos.....	20
Análisis estadísticos.....	21
<b>Resultados</b> .....	22
Modelos lineales generalizados .....	22
Caracterización de agua de canal .....	28
Modelos cuadráticos en biofiltros.....	29
Rendimiento del biofiltro.....	36
Aumento en el tiempo de retención.....	42
<b>Conclusión</b> .....	48
Bibliografía.....	50
Anexo 1. Concentración de metales en biomasa de carrizos colectados.....	54
Anexo 2. Estadísticos de los modelos lineales generalizados.....	55
Anexo 3. Modelos cuadráticos en el biofiltro .....	60
Anexo 4. Rendimiento del biofiltro .....	65
Anexo 5. Aumento en el tiempo de retención.....	76
Anexo 6. Correlación de Pearson.....	91
Anexo 7. Constancia de participación en congreso.....	92

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por la beca nacional con número de apoyo 803762, así como al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

A mi familia y amigos por apoyarme.

Al Dr. Ricardo Aguilar López y a la Dra. Blanca Estela Barragán Huerta por formar parte de mi comité; por sus observaciones y su disposición a ayudarme.

A la Dra. Refugio Rodríguez Vázquez por la guía y apoyo aportado al proyecto, así como a mi persona.

## Resumen

El escenario mundial en el que se encuentra la población, en el acceso fácil a agua salubre, ha generado que el reúso de aguas residuales sea una respuesta a este problema; sin embargo, un tratamiento incompleto puede causar problemas de salud en la población.

Los contaminantes recalcitrantes, como los elementos metálicos y los fertilizantes han derivado en un deterioro en la calidad del agua en lagos y ríos debido a que el nitrógeno se considera un elemento clave para la eutrofización en el sistema acuático.

En el presente trabajo se investigaron los procesos de remoción involucrados en un sistema combinado de biofiltración y oxigenación con micro-nano burbujas para el tratamiento de agua con una alta concentración de nitrógeno, elementos metálicos y microorganismos patógenos. En el biofiltro constituido con un soporte no convencional (gravilla) y carrizos (*Arundo donax*), se obtuvo la reducción de contaminantes, la cual mejoró con el tiempo de retención en el biofiltro. Se determinó que en el biofiltro se logra una reducción de 60 % del nitrógeno total. También se presentan procesos de adsorción en el soporte y en la biomasa de los vegetales del biofiltro, resultando en la reducción del 99 % de Ni, 80% de Zn, 80% de Fe y 60 % en coliformes totales. Así mismo, la oxigenación con las micro-nano burbujas, mostraron un aumento de 2.5 veces más ( $3.91 \pm 0.89$ ) que el oxígeno disuelto inicial ( $1.27 \pm 0.07$ ) y una disminución del 99.9 % en la cuenta de coliformes totales.

Se concluye que los procesos de remoción de contaminantes involucrados en el sistema de tratamiento del agua con biofiltros, es efectuado por procesos; de nitrificación-desnitrificación para la disminución del nitrógeno, de adsorción para la remoción de metales, y de desinfección parcial para la eliminación de microorganismos patógenos. La oxigenación con las M-NB involucra la desinfección y oxigenación, lo que incide en la disminución de las condiciones anóxicas del agua. Por lo que el sistema secuencial de biofiltración con *Arundo donax* y oxigenación con M-NB resulta ser un tratamiento eficiente para la mejora de la calidad del agua.

## Abstract

The global scenario, where easy access to safe water is a priority, has prompted the adoption of wastewater reuse as a solution to this problem. Nevertheless, incomplete treatment can lead to health issues in the population.

Recalcitrant pollutants like heavy metals and fertilizers have resulted in deteriorating water quality in lakes and rivers, with nitrogen considered a key factor in aquatic eutrophication.

In this study, we investigate the removal mechanisms involved in a combined biofiltration and oxygenation system using micro-nano bubbles for treating water with high concentrations of nitrogen, metallic elements, and pathogenic microorganisms. The biofilter, constructed with unconventional materials (gravel) and reeds (*Arundo donax*), effectively reduced contaminants, with removal rates improving with longer retention times in the biofilter. A 60% reduction in total nitrogen was performed in the biofilter where an adsorption processes occurred in both the support material and the biomass of the biofilter plants, resulting in a 99% reduction in Ni, 80% in Zn, 80% in Fe, and a 60% reduction in total coliforms. Additionally, oxygenation using micro-nano bubbles increased dissolved oxygen by 2.5 times ( $3.91 \pm 0.89$ ) compared with initial valor ( $1.27 \pm 0.07$ ) and reduced total coliform counts by 99.9%.

In conclusion, the contaminant removal processes in the water treatment system involving biofilters include nitrification-denitrification for nitrogen reduction, adsorption for metal removal, and partial disinfection for eliminating pathogenic microorganisms. Oxygenation with micro-nano bubbles also contributes to disinfection and improved oxygen levels, reducing anoxic conditions in the water. Therefore, the sequential system of biofiltration with *Arundo donax* and oxygenation with micro-nano bubbles proves to be an efficient treatment for enhancing water quality.

## Introducción

### 1.1 Agua

El agua es una sustancia de vital importancia para los organismos vivos. La Organización Mundial de la Salud, (2022) considera que el acceso fácil a agua salubre es un tema de salud pública; sin embargo, el escenario actual supone retos para el abastecimiento, tales como el cambio climático, la urbanización, así como la contaminación de ésta.

### 1.2 Contaminación de agua

La contaminación del agua se debe a la descarga de sustancias que la modifican negativamente, entre los que destacan desechos de actividades mineras, plaguicidas, fertilizantes y aguas residuales. En estas últimas se han encontrado microorganismos patógenos, materia orgánica, nutrientes, metales y otra materia inorgánica (Crini & Lichtfouse, 2019; Henze et al., 2008).

El reúso de las aguas residuales se aprecia como una estrategia importante para asegurar el abastecimiento de la población, sin embargo, un tratamiento pobre de estos efluentes derivaría en problemas de afectación a la salud, asociados a los contaminantes presentes, así como a perturbaciones en el ambiente (Naidoo & Olaniran, 2013).

Los contaminantes tóxicos, persistentes y bioacumulativos son los que causan una mayor preocupación, debido a su naturaleza de resistir la degradación. Estos pueden dividirse en compuestos orgánicos e inorgánicos (Filote et al., 2021).

#### 1.2.1 Contaminantes orgánicos

Los contaminantes orgánicos incluyen una amplia gama, dentro de los que se encuentran los agroquímicos, hidrocarburos y dioxinas, sin limitarse a estos (Filote et al., 2021).

Los agroquímicos son usados en la agricultura con el objetivo de obtener mayores producciones de los cultivos. Entre estos se encuentran los plaguicidas organoclorados, de los cuales algunos son contaminantes persistentes, entre los que

destacan el aldrín (1,2,3,4,10,10-hexacloro-1,2,4 $\alpha$ ,5,8,8 $\alpha$ -hexahidro-1,4-endo,exo-5,8-dimetanonaftalina), DDT (1,1'-(2,2,2-Tricloroetano-1,1-diyl)bis(4-clorobenceno)) y lindano ((1r,2R,3S,4r,5R,6S)- 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano). Los problemas ambientales que presentan son su persistencia en el ambiente y la difusión que puede ocasionarse hacia los cuerpos de agua (Abbas et al., 2021; Carvalho, 2017).

Así mismo, los contaminantes emergentes han tomado gran relevancia en los últimos años debido a su ubicuidad, entre estos encontramos a sustancias derivadas de productos de higiene personal como fármacos, fragancias y jabones (Liu & Wong, 2013).

### 1.2.2 Contaminantes inorgánicos

En los contaminantes inorgánicos se encuentran los elementos metálicos, sales inorgánicas, nutrientes, así como otros elementos que presenten un riesgo para la salud humana y al ecosistema (Wen et al., 2021).

La contaminación de cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneas por nitrógeno se da por diferentes rutas: la descarga de aguas municipales por plantas de tratamiento, la descarga de aguas industriales, la deposición atmosférica, así como las actividades agrícolas (Rahimi et al., 2020).

Los fertilizantes han sido clasificados como uno de los factores que más influye en el deterioro de la calidad del agua en lagos y ríos, debido a la gran cantidad de nutrientes que aportan, encontrando una relación entre las altas concentraciones de nitrógeno en agua y la actividad agrícola (Almasri & Kaluarachchi, 2004; Puckett, 1995).

Las especies de nitrógeno en cuerpos de agua pueden aumentar con las descargas de agua contaminada, poniendo en riesgo el ecosistema en el que esto sucede. Se ha observado que altas concentraciones de amonio provoca en crustáceos diversas afecciones tanto respiratorias, metabólicas, así como inmunológicas. De igual forma, se ha demostrado que una contaminación crónica de nitritos disminuye la población de crustáceos, siendo uno de los organismos más sensibles a estos contaminantes (Berenzen et al., 2001; Zhao et al., 2020).

Un aumento en los nutrientes de un sistema acuático deriva eventualmente en un cambio en su composición, este proceso es preocupante cuando es acelerado y por motivos antropogénicos. El nitrógeno se considera como el nutriente clave para la eutrofización en los sistemas, esto comienza con la descarga de nutrientes en los cuerpos de agua, lo que provoca el aumento poblacional de microalgas aumentando la biomasa de estos grupos. Esta biomasa eventualmente morirá y su degradación causará un consumo de oxígeno disminuyendo la concentración del oxígeno disuelto en el agua, así mismo, este ambiente es idóneo para el desarrollo de comunidades de cianobacterias y a su vez, la producción de cianotoxinas, como las microcistinas, las cuales se relacionan con enfermedades hepáticas en humanos (Ding et al., 2022; Melaram et al., 2022; Zhao et al., 2022).

El consumo de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en agua, así como la cercanía a fuentes de estos está relacionado con el desarrollo de metahemoglobinemia, así como de cáncer en humanos, encontrándose una relación entre el consumo de nitratos y el desarrollo de cáncer gástrico (Fossen Johnson, 2019; Li et al., 2014; Picetti et al., 2022; Tarcea et al., 2016)

Los elementos metálicos pueden ser divididos en dos categorías dependiendo en su función biológica, esenciales y no esenciales. Los elementos metálicos esenciales (MPE) son aquellos que participan en el metabolismo de los seres vivos, por lo que su toxicidad dependerá de la concentración; por otro lado, los elementos metálicos no esenciales (MPNE) no tienen una característica biológica y son tóxicos incluso en concentraciones bajas. Algunos ejemplos de los MPE incluyen al hierro, níquel y cobre, mientras que el plomo, arsénico y cadmio se encuentran en los MPNE (Kim et al., 2019). Así mismo, el consumo de metales como el cadmio, plomo y níquel pueden provocar daño hepático, pérdida de cabello y cáncer (Sankhla et al., 2016).

**Tabla 1.** Límites establecidos en distintas normativas.

Contaminante (mg/L)	NOM-001-		
	SEMARNAT-2021	NOM-127-SSA1-2021	CCMMA
As	0.2	0.025	0.005
Cd	0.2	0.005	0.00022*

Cu	6	2	0.0037*
Cr	1	0.05	
Hg	0.01	0.006	0.000026
Ni	4	0.07	0.13*
Pb	0.4	0.01	0.0053*
Zn	20		
N-NH <sub>3</sub>	0.5		3.37*
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11		13
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.9		0.06

*Nota.* \*Considerando pH=7, temperatura 25 °C y dureza 150 mg/L. Recuperado de Secretaría de Salud, 2022; SEMARNAT, 2022; The Canadian Council of Ministers of the Environment, 2022.

### 1.3 Tratamiento de agua

Debido al potencial riesgo a la salud que representan algunos contaminantes en el agua, existen diversas normativas que establecen un límite de estos, basándose en el uso o aprovechamiento que tendrá el agua. En la tabla 1 se pueden observar los valores máximos permitidos para agua de descarga, agua potable y criterios para la protección de la vida acuática por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Salud y el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente respectivamente (CCMMA).

Para alcanzar los niveles establecidos en el reúso, el tratamiento de aguas tiene diferentes etapas: tratamiento primario, donde se reduce la cantidad de sólidos presentes; tratamiento secundario, en el que se descomponen los sólidos disueltos restantes; tratamiento terciario, donde se lleva a cabo un proceso de desinfección y remoción de compuestos no biodegradables (Naidoo & Olaniran, 2013b; Paulo-Bassin et al., 2021; Singh & Tiwari, 2019).

#### 1.3.1 Tratamientos biológicos

Una alternativa a los tratamientos de agua convencionales es el uso de procesos biológicos, principalmente para la reducción de nutrientes y de materia orgánica en las

etapas primaria y secundaria, estos ofrecen algunas ventajas como el menor uso de químicos comparado con los tratamientos tradicionales (Zhou et al., 2011).

Los tratamientos biológicos incluyen el uso de lagunas anaerobias y el sistema de lodos activados, así como de biofiltros. Estos últimos han tomado relevancia en los últimos años debido al amplio rango de concentraciones en las que pueden operar, siendo usados principalmente para el tratamiento de aguas residuales (Kataki et al., 2021; Loh et al., 2022).

#### 1.3.1.1 Biofiltros

Un biofiltro puede ser definido como una tecnología basada en la naturaleza, la cual se construye para simular los procesos que ocurren en un humedal, esto con el objetivo de disminuir la concentración de los contaminantes en los diferentes afluentes de aguas residuales (Bakhshoodeh et al., 2020; Stefanakis, 2019).

Los biofiltros han sido usados en el tratamiento para la reducción de la concentración de un gran número de compuestos en aguas contaminadas, entre los que se encuentran nitrógeno, metales, antibióticos, así como de disruptores endócrinos (Almuktar et al., 2018; Christofilopoulos et al., 2019; Zhuang et al., 2019).

Estos sistemas biológicos pueden ser clasificados en dos grupos dependiendo del flujo, libre o subsuperficial. En el biofiltro de flujo libre la atmósfera tiene contacto con la superficie del agua a tratar, mientras que en el sistema subsuperficial el nivel del agua se mantiene por debajo del soporte usado con el objetivo de impedir la reproducción de mosquitos y el contacto de aguas sin tratar con la población (Parde et al., 2021; United States Environmental Protection Agency, 2000).

El uso de biofiltros para el tratamiento de agua ha probado ser efectivo tanto a nivel laboratorio como en plantas de tratamiento en la reducción de contaminantes; la lista de estos incluye, pero no se limita a nitrógeno, fósforo, sólidos totales, materia orgánica, metales, antibióticos, microorganismos patógenos y hormonas (Gholipour et al., 2020; Guedes-Alonso et al., 2020; Nguyen et al., 2019; Santos et al., 2019).

Escudero Garrido (2022), implementó un sistema de biofiltración con carrizos, *Arundo donax* para el tratamiento de agua en el canal de Xochimilco, logrando mejorar los

parámetros en cuanto a sólidos disueltos y conductividad eléctrica. Así mismo, logró reducir en hasta un 80 % el nitrógeno del sistema y con la aplicación de un proceso de oxidación avanzada (POA) en el tren de tratamiento observó un aumento en el oxígeno disuelto, así como la reducción de microorganismos patógenos hasta una concentración por debajo de la normativa mexicana.

Aunado a esto, existen beneficios que podrían aportar la implementación de biofiltros, como la producción de biomasa para la producción de otros compuestos, la venta de las plantas usadas si éstas tienen un valor comercial o la producción de bioetanol en conjunto con el tratamiento (Vymazal et al., 2021).

### 1.3.2 Tratamiento terciario

Los procesos terciarios en el tratamiento de aguas incluyen aquellos cuyo objetivo es el de obtener una mejor purificación del agua, entre estos están la desinfección y filtraciones más finas. Aquí se encuentran procedimientos tales como la cloración, ozonación, así como de procesos de oxidación avanzada (Pei et al., 2019).

En el tratamiento de agua, este paso no suele ser obligatorio para las aguas que tienen como finalidad ser descargadas, por esta razón las plantas de tratamiento pueden llegar a ser vistas como un sitio de importancia en la liberación de contaminantes al ambiente (Burch et al., 2019).

#### 1.3.2.1 Procesos de Oxidación Avanzada

Los POA involucran la generación de especies reactivas de oxígeno (ERO) que contribuyen a la degradación de contaminantes, así como a la inactivación de microorganismos presentes. Las ERO tienen un gran potencial redox, lo que le confiere la capacidad de oxidar otras moléculas, entre ellas se encuentran el radical hidroxilo ( $\cdot\text{OH}$ ), anión superóxido ( $\text{O}_2\cdot^-$ ) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (Chen et al., 2021).

La oxidación de ozono, oxidación electroquímica, reacción de Fenton y oxidación por  $\text{TiO}_2$  son procesos de oxidación avanzada usados para el tratamiento de agua residual debido a su poder oxidante.

De los Santos Rivoli, et al. (2022) implementó en el grupo de trabajo estas tecnologías en la reducción de colorantes y materia orgánica con el uso de  $\text{TiO}_2$ .

A pesar de sus ventajas, la implementación de algún POA en el tratamiento de aguas residuales implica impactos ambientales, estos son causados por el uso de químicos, materiales, así como de la energía utilizada, estos impactos, en algunos casos suelen no compensar la reducción en la concentración de los contaminantes objetivo, aunado a esto, suelen ser tratamientos costosos, lo que ha provocado una búsqueda de alternativas más eficientes, menos costosas y que tengan un menor impacto ambiental (Arzate et al., 2019; Saravanan et al., 2022).

#### 1.3.2.1.1 Micro-nano burbujas

Una novedosa y prometedora tecnología como un POA es la aplicación de burbujas de tamaño micro y nanométrico, las cuales han demostrado aumentar el poder oxidativo de los procesos con las que se implementa, así mismo, la aplicación de micro-nano burbujas de oxígeno ha confirmado ser eficientes en la producción de ERO y en la reducción de contaminantes en el tratamiento de agua (T. Li et al., 2023; Soyluoglu et al., 2022).

Por otro lado, la aplicación de micro-nano burbujas aumenta la eficiencia en la transferencia de masas, en el tratamiento de aguas esto es deseable debido al aumento en el oxígeno disuelto que esto conlleva debido a que promueve los procesos aeróbicos (Sakr et al., 2022).

## Justificación

El Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco fue declarado patrimonio de la humanidad debido al gran sistema de agricultura prehispánico que se desarrolló en esta zona; así mismo, se considera un humedal de importancia internacional por el convenio Ramsar debido al papel crítico que juega en la conservación de la biodiversidad del Valle de México (Aranda Sánchez, 2004; Unesco, 2013).

La importancia cultural y biológica que representa este lugar ha llevado al gobierno mexicano a declarar la zona como un sitio prioritario para la preservación como área natural protegida bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica con el objetivo de frenar la degradación paulatina que sufre el sistema lacustre (Dirección General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica, 1992).

Por años, los manantiales del sistema fueron explotados debido a la creciente demanda de agua que requiere la Ciudad de México, lo que derivó en una sobreexplotación del acueducto y un subsecuente reemplazo por agua tratada; sin embargo, a lo largo de los canales se encuentran puntos de descarga de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento, perpetrado principalmente por los habitantes de los asentamientos irregulares en la zona de conservación, lo que provoca que los canales presenten características de sistemas acuáticos hipereutrofizados. En este tipo de sistemas, existen cambios reportados en la composición de las comunidades de los organismos que lo habitan (Díaz-Torres et al., 2021; Universidad Nacional Autónoma de México, 2016).

De esta forma, se ha observado un aumento en las especies de nitrógeno en distintos puntos de Xochimilco a través del tiempo, derivando en un cambio en la composición del ecosistema (Enríquez García et al., 2009).

Así mismo, se ha observado la presencia de contaminantes orgánicos en los canales, principalmente de plastificantes y disruptores endócrinos. Igualmente, se reportan

valores altos de metales en el agua del sistema (González-Guadarrama et al., 2022; Meza-González et al., 2022; Vázquez-Tapia et al., 2022).

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 considera valores máximos permisibles en descargas para ciertos metales, estos son Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc; de estos los metales presentes que se han reportado en los canales de Xochimilco son el Cd, Cu, Ni, Pb y Zn, de aquí su importancia en el monitoreo para la calidad del agua del sitio (González-Guadarrama et al., 2022; SEMARNAT, 2022; Sobrino-Figueroa et al., 2020).

## Objetivos

### Objetivo General

Evaluar un sistema de biofiltros/oxigenación con micro-nano burbujas en la reducción de nitrógeno y metales de agua contaminada.

### Objetivos particulares

- Determinar la capacidad de un adsorbente no convencional en la reducción de nitrógeno del agua.
- Valorar la capacidad de los biofiltros para la reducción de nitrógeno y elementos metálicos.
- Evaluar el sistema de micro-nano burbujas, secuencial al proceso del tratamiento del agua por el biofiltro, en el aumento del oxígeno disuelto del agua.

## Materiales y métodos

Evaluación de variables en la remoción de nitrógeno y carbono mediante adsorción

Se evaluaron las variables para la remoción de nitrógenos mediante el uso de gravilla como un adsorbente a través de un diseño factorial  $2^2$  con puntos centrales. Las variables independientes fueron tamaño de gravilla y tiempo de retención.

Los ensayos se llevaron a cabo en columnas de vidrio con 4 cm de diámetro interno y 20 cm de largo. En estos se colocaron 75 gramos de gravilla y 50 mL de una solución de  $\text{KNO}_3$  al 13.86 %, para una concentración final de 2.5 g/L de nitrógeno.

Las variables dependientes que fueron medidas en las muestras después del experimento fueron: porcentaje de remoción de carbono total, porcentaje de remoción de nitrógeno total, pH, ORP, oxígeno disuelto, conductividad y sólidos disueltos totales.

**Tabla 2.** Variables independientes.

Variables	Niveles	
	-1	+1
Tamaño (cm)	0.3	1.1
Tiempo (días)	1	5

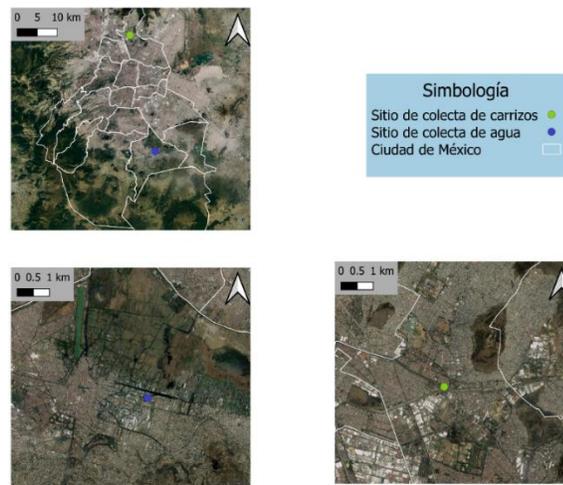
**Tabla 3.** Diseño experimental compuesto, factorial  $2^2$  con puntos centrales.

Tratamiento	Variables codificadas		Variables naturales	
	Tamaño (cm)	Tiempo (días)	Tamaño (cm)	Tiempo (días)
1	-1	-1	0.3	1
2	-1	+1	0.3	5
3	+1	-1	1.1	1
4	+1	+1	1.1	5
5	0	0	0.6	3
6	0	0	0.6	3
7	0	0	0.6	3
8	0	0	0.6	3
9	0	0	0.6	3

## Evaluación de variables en la remoción de nitrógeno y carbono con biofiltros

En la realización de este experimento, se hizo empleo un diseño factorial  $2^2$  con puntos centrales. Las variables independientes usadas fueron el tiempo de retención y el número carrizos (*Arundo donax*).

Los carrizos, fueron colectados en el Río de los Remedios, coordenadas 19.5193450, -99.1439764, y adaptados al sistema con agua del canal de Xochimilco, la cual fue caracterizada para las variables medidas en el experimento. El agua fue colectada en las coordenadas 19.2610565, -99.0841709.



**Figura 1.** *Sitio de colecta de agua y de carrizos.*

Las variables respuesta que medidas fueron la remoción de DQO, nitritos y amonio, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales.

**Tabla 4.** *Variables independientes.*

Variables	Niveles	
	-1	+1
Tiempo (días)	1	7
Individuos (número)	1	5

**Tabla 5.** *Diseño experimental compuesto, factorial 2<sup>2</sup> con puntos centrales.*

Tratamiento	Variables codificadas		Variables naturales	
	Tiempo (días)	Carrizos (número)	Tiempo (días)	Carrizos (número)
1	-1	-1	1	1
2	-1	+1	1	5
3	+1	-1	7	1
4	+1	+1	7	5
5	0	0	4	3
6	0	0	4	3
7	0	0	4	3
8	0	0	4	3
9	0	0	4	3

Evaluación de biofiltro en la disminución de nitrógeno y elementos metálicos.

Se realizó la comparación, en el que se evaluó el comportamiento de un biofiltro contra un filtro en las variables de remoción de carbono total, remoción de nitrógeno total, pH, ORP, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), coliformes fecales y coliformes totales, así como en la remoción de cadmio, hierro, manganeso, zinc, cobre, níquel y plomo.

El filtro consistía en macetas de PVC con 15 cm diámetro interno y 18 cm de largo. Se colocaron 2.5 kg de gravilla y 1.4 L de agua del canal de Xochimilco, la cual fue caracterizada antes del experimento.

El biofiltro seguía las mismas especificaciones, pero a este se le colocaron 5 carrizos de *Arundo donax* con una altura y diámetro promedio de 20 cm y 3 cm respectivamente. Los carrizos fueron colectados en el Río San Xavier, coordenadas 19.522010, -99.1439764, y adaptados con agua residual.

Los experimentos se hicieron por cuadruplicado con una duración de 7 días.

La hipótesis de este experimento fue:

$$H_0: \mu < \mu_0$$

$$H_1: \mu \geq \mu_0$$

Donde  $\mu$  representa la media de los valores de las variables para el experimento con el biofiltro y  $\mu_0$  representa la media de los valores para el experimento solo con el filtro.

#### Análisis del acoplamiento de un filtro al biofiltro

El agua tratada por el biofiltro fue pasada por un filtro de gravilla con las mismas características antes descritas, en el que se mantuvo 24 horas, con el fin de mejorar los valores obtenidos de cada una de las variables, se realizó lo mismo con el control.

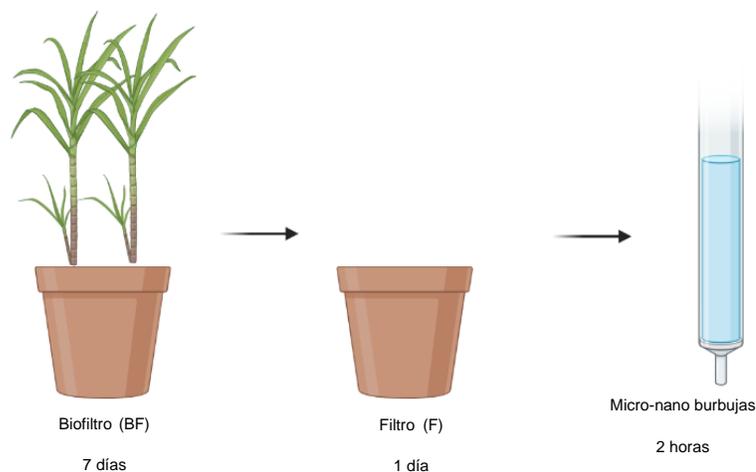
Los experimentos se hicieron por cuadruplicado.

#### Efecto de la aplicación de micro-nano burbujas en el tratamiento

El tratamiento del agua utilizada siguió con la aplicación de micro-nano burbujas con un difusor en columnas de vidrio de 4 cm de diámetro interno y 20 cm de largo, estas fueron aplicadas por 2 horas.

Este sistema ha probado tener la capacidad de producir micro y nanoburbujas, teniendo un tamaño promedio de 625 nm (Morales-Mendoza et al., 2023).

Los experimentos se hicieron por cuadruplicado. El diagrama del sistema puede observarse en la figura 2.



**Figura 2.** Diagrama del sistema.

Evaluación de biofiltro en la disminución de nitrógeno y elementos metálicos con un mayor tiempo de retención.

Usando las mismas características de los biofiltros antes mencionados se realizó un experimento comparativo simple aumentando el tiempo de retención a 3 semanas. Para esto, los organismos usados fueron colectados en el Río de los Remedios, seguido de una adaptación con agua residual. El agua usada fue colectada en el canal de Xochimilco.

El biofiltro fue monitoreado para cada una de las variables cada semana durante el tiempo del experimento.

Los experimentos se realizaron por cuadruplicado.

Análisis fisicoquímicos y de microorganismos patógenos

### **Determinación de Nitrógeno y Carbono**

Se empleó un equipo Torch TOC Combustion Analyzer de la marca Teledyne Tekmar para la cuantificación de carbono y nitrógeno total.

Para las especies de nitrógeno y DQO se usó un fotómetro marca HANNA modelo HI83399. Para la determinación de estas fue necesario el uso de kits para cada una de las especies; amonio (HI93700-01) y nitritos (HI96784-25), así como de DQO (HI93754G-25). Los rangos fueron delimitados conforme a la literatura en cuanto a los mismos parámetros en los canales de Xochimilco. Los kits mencionados contienen los reactivos necesarios para la determinación de la concentración de estos.

### **Determinación de OD, pH, conductividad eléctrica y ORP**

Para las mediciones se utilizó medidores multiparamétricos marca HANNA, modelos HI9828, este utiliza un sensor HI 7609829-2 para oxígeno disuelto, un sensor HI 7609829-1 para pH y ORP, así como un sensor HI 7609829-3 para conductividad eléctrica. Las muestras fueron medidas sin filtrar para no interferir en estos parámetros.

### **Determinación de metales.**

Se empleó un equipo de espectrofotometría de absorción atómica para la determinación de los siguientes metales: Cd, Mn, Fe, Zn, Cu, Ni y Pb. Estas mediciones se realizaron en las muestras de agua y biomasa vegetal, por lo que fueron previamente digeridas siguiendo los métodos de EPA 3052 y 3015A (U.S. EPA, 1996, 2007).

Se tomaron en cuenta los factores de traslocación (FT) y de bioconcentración (FBC), los cuales se determinaron mediante las siguientes fórmulas (Ali et al., 2013; Q. Wang et al., 2002):

$$FT = \frac{[Biomasa\ en\ brotes]}{[Biomasa\ en\ raíz]}$$

$$FBC = \frac{[Biomasa]}{[Agua\ inicial]}$$

### **Determinación de coliformes totales y fecales**

Se usó la metodología de número más probable para la cuantificación de coliformes fecales y totales en el agua de canal, esta técnica consiste en una serie de diluciones consecutivas en caldo lauril sulfato de sodio, caldo verde brillante bilis y en caldo EC. Se realizaron cinco diluciones y se observaron las muestras que resultaron positivas (Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, 1994; Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2015).

La reducción logarítmica de coliformes totales y fecales se determinó mediante la siguiente fórmula (Maurya et al., 2020):

$$Remoción\ logarítmica = -\log\left(\frac{concentración\ afluyente}{concentración\ efluyente}\right)$$

### **Análisis estadísticos**

Para los análisis estadísticos, el software utilizado fue Design Expert en su versión 13.0.5.0

## Resultados

Los parámetros obtenidos durante los tratamientos de adsorción realizados se muestran resumidos en la tabla 6, mostrando para C y N los porcentajes de reducción.

**Tabla 6.** Resultados obtenidos.

Variables independientes		Variables dependientes					
Tamaño de partícula	Tiempo (Días)	OD (mg/L)	pH	CE (mS/cm)	ORP (mV)	C (%)	N (%)
-1	-1	4.01	7.64	1.069	202.7	100	100
1	-1	3.91	7.22	1.167	229.7	100	100
-1	1	4.82	7.54	0.638	264.5	2.16	0
1	1	5.01	7.82	1.084	242.2	100	62.27
0	0	2.98	7.37	0.516	194.24	87.49	62.59

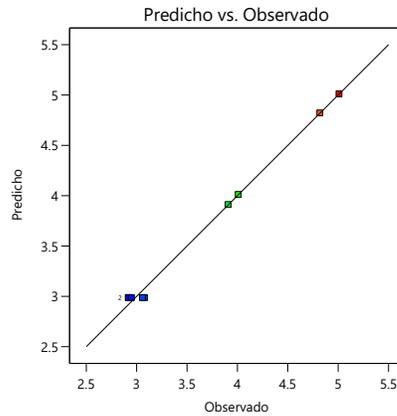
### Modelos lineales generalizados

Con los datos obtenidos para cada uno de los parámetros fisicoquímicos se desarrolló un modelo lineal generalizado, excluyendo aquellos cuyo coeficiente de determinación fuera menor a 0.8. Esto con el objetivo de optimizar el sistema. Considerando que  $x_1$  representa la variable independiente tamaño de la gravilla y  $x_2$  representa la variable independiente tiempo de residencia hídrico, el resultado fueron los siguientes modelos:

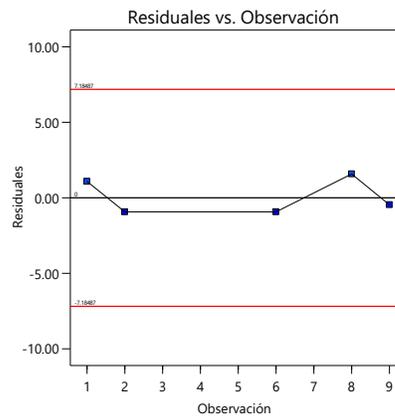
#### Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto se muestra en la figura 3, cuya ecuación (1) presenta una  $R^2 = 0.995$  y un coeficiente de variabilidad de 2.15.

$$OD \left( \frac{mg}{L} \right) = 2.99 + 0.4775x_1 + 0.0725x_1x_2 + 1.45x_2^2 \quad (1)$$



**Figura 3.** Comparación de datos calculados con el modelo contra datos observados para oxígeno disuelto.



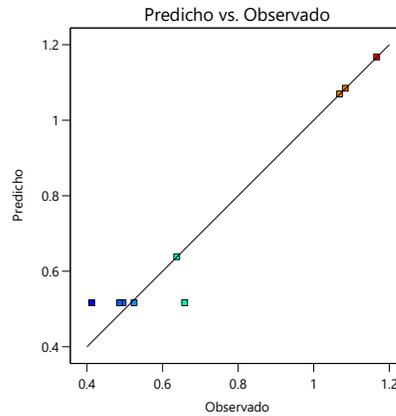
**Figura 4.** Gráfico de residuales para el modelo de oxígeno disuelto.

En la figura 4, se muestran los residuales, resultado de los datos predichos por el modelo (ecuación 1) con los datos experimentales, se observa un buen ajuste.

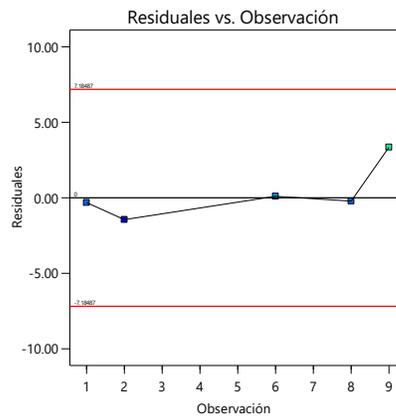
### Conductividad

La ecuación 2 representa al modelo de conductividad, éste tiene una  $R^2$  de 0.962 y un coeficiente de variabilidad de 11.46.

$$\text{Con} \left( \frac{mS}{cm} \right) = 0.516 + 0.00375x_2 - 0.00375x_1 - 0.04525x_1x_2 + 0.6057x_2^2 \quad (2)$$



**Figura 5.** Comparación de datos calculados con el modelo contra datos observados para conductividad.

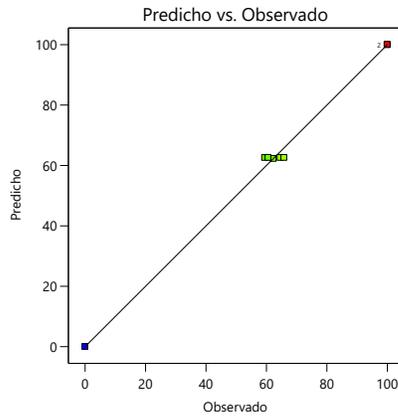


**Figura 6.** Gráfico de residuales para el modelo de conductividad.

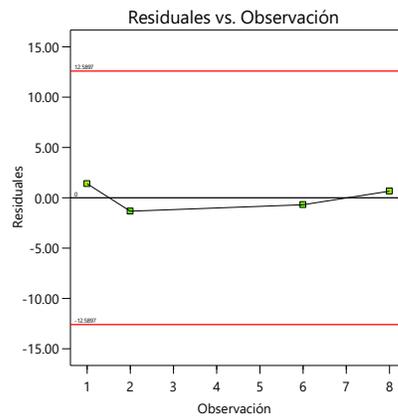
## Nitrógeno

En la ecuación 3 se muestra el modelo para remoción de nitrógeno, este modelo tiene una  $R^2$  de 0.9958 y un coeficiente de variabilidad de 4.77.

$$N(\%) = 62.6 + 15.5675x_1 - 34.4325x_2 + 15.5675x_1x_2 \quad (3)$$



**Figura 7.** Comparación de datos calculados con el modelo contra datos observados para nitrógeno.

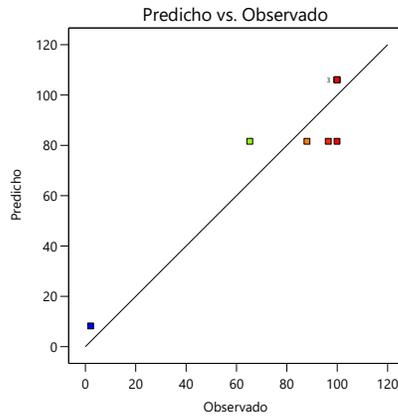


**Figura 8.** Gráfico de residuales para el modelo de remoción de nitrógeno.

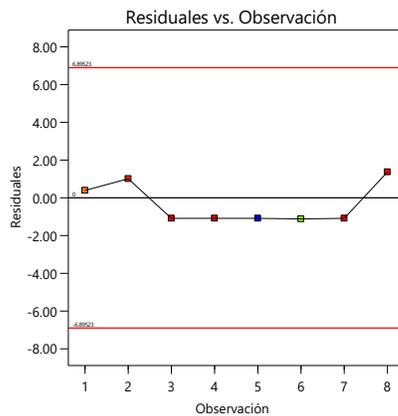
### Carbono

La ecuación 4 presenta al modelo para reducción de carbono, éste tiene una  $R^2$  de 0.9112 y un coeficiente de variabilidad de 19.1.

$$C(\%) = 87.4918 + 24.46x_1 - 24.46x_2 + 24.46x_1x_2 \quad (4)$$



**Figura 9.** Comparación de datos calculados con el modelo contra datos observados para carbono.

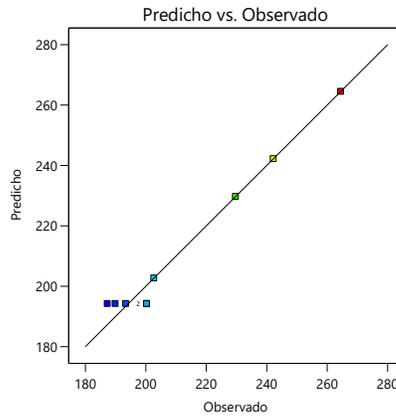


**Figura 10.** Gráfico de residuales para el modelo de remoción de carbono.

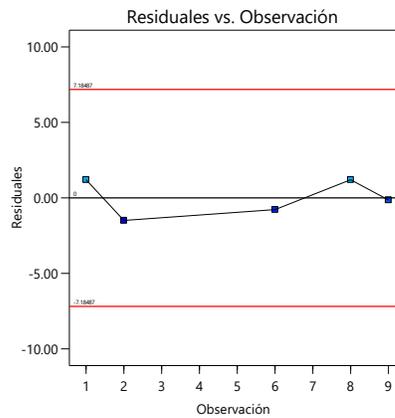
### Potencial de oxidación y reducción

Para el modelo del potencial de oxidación y reducción se muestra la ecuación 5, este modelo tiene una  $R^2$  de 0.975 y un coeficiente de variabilidad de 2.8.

$$ORP (mV) = 194.24 + 18.57x_2 - 12.32x_1x_2 + 40.53x_2^2 \quad (5)$$



**Figura 11.** Comparación de datos calculados con el modelo contra datos observados para potencial de oxidación y reducción.



**Figura 12.** Gráfico de residuales para el modelo de potencial de oxidación y reducción.

Se puede observar que el mejor tratamiento para la remoción de nitrógeno es aquel con el menor tiempo de residencia hídrico. Analizando el modelo lineal generalizado para esta variable, se observó que la variable que más afecta en la remoción es el tiempo, siendo los valores más pequeños los que nos arrojan mejores resultados. Por lo tanto, al aumentar el tiempo de residencia hídrico, el porcentaje de remoción de nitrógeno disminuye.

Sin embargo, Bratieres et al., (2008) reportó que, a larga escala, un filtro sin un organismo vegetal acoplado a éste tiene un desempeño pobre en la remoción de

nitrógeno en comparación con los biofiltros. Así mismo, se ha observado que entre el 75 y 85 % del nitrógeno total proveniente de aguas residuales sólo puede ser removido gracias a procesos biológicos (Dagenais et al., 2018). Esto nos indica la importancia de emplear un organismo acoplado al sistema de filtración para la remoción de los contaminantes.

Con los resultados se concluye que, a menor tiempo de retención, mayor porcentaje de remoción de nitrógeno, por otro lado, esta remoción podría aumentar con la adición de un organismo vegetal.

Caracterización de agua de canal

### Valores fisicoquímicos

Los valores obtenidos en el agua de canal usada para las variables dependientes usadas en el experimento se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7.** *Características fisicoquímicas del agua de canal de Xochimilco.*

Variable	Promedio
pH	7.45±0.35
ORP (mV)	155.3±3.8
OD (mg/L)	2.06±0.15
CE (mS/cm)	0.64±0.27
SDT (ppm)	322.0±137
Salinidad (PSU)	0.31±0.14
COT (ppm)	23.99±3.42
NT (ppm)	9.37±0.6
NO <sub>2</sub> -N (µg/L)	33
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µg/L)	109
NaNO <sub>2</sub> (µg/L)	164
NH <sub>3</sub> (mg/L)	3.65
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	3.87
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	3
DQO (mg/L)	92

### Características biológicas

El número de coliformes totales de agua de canal resultó ser de >1100000 NMP/100 mL, mientras que no se detectaron coliformes fecales.

### Concentración de metales

**Tabla 8.** *Contenido de metales en el agua del canal de Xochimilco.*

Metal	Concentración (mg/L)
Fe	39.15±0.36
Cd	0.29±0.08
Mn	0.89±0.10
Cu	0.63±0.11
Ni	1.53±0.08

No se detectaron valores de Pb ni de Zn en las muestras de agua.

### Valores fisicoquímicos

Los valores obtenidos en el agua de canal usada para las variables dependientes usadas en el experimento se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9.** *Características fisicoquímicas del agua de canal de Xochimilco.*

Parámetro	Valor
DQO (mg/L)	114
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	3.87
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µg/L)	301
CE (mS/cm)	1.18
pH	8.46
STD (ppm)	0.59

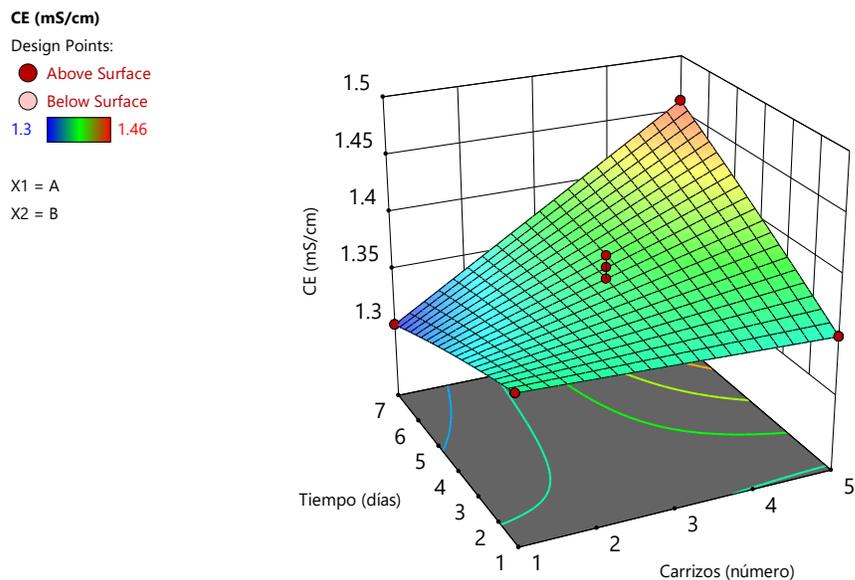
Modelos cuadráticos en biofiltros

Con los datos obtenidos para cada uno de los parámetros fisicoquímicos se desarrolló un modelo lineal generalizado. Considerando que  $x_1$  representa la variable independiente tiempo y  $x_2$  representa la variable independiente número de carrizos, el resultado fueron los siguientes modelos:

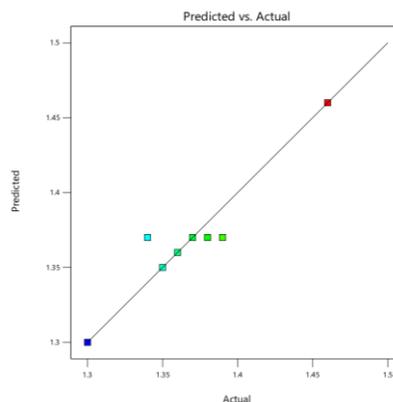
### Conductividad eléctrica

El cambio en la conductividad eléctrica se muestra en la figura 13, así mismo, la ecuación (6) de este modelo presenta una  $R^2 = 0.906$  y un coeficiente de variabilidad de 1.58.

$$CE \left( \frac{mS}{cm} \right) = 1.377 - 0.014x_1 - 0.009x_2 + 0.007x_1x_2 - 0.0002x_1^2 \quad (6)$$



**Figura 13.** Gráfica de superficie respuesta para el modelo de conductividad eléctrica.

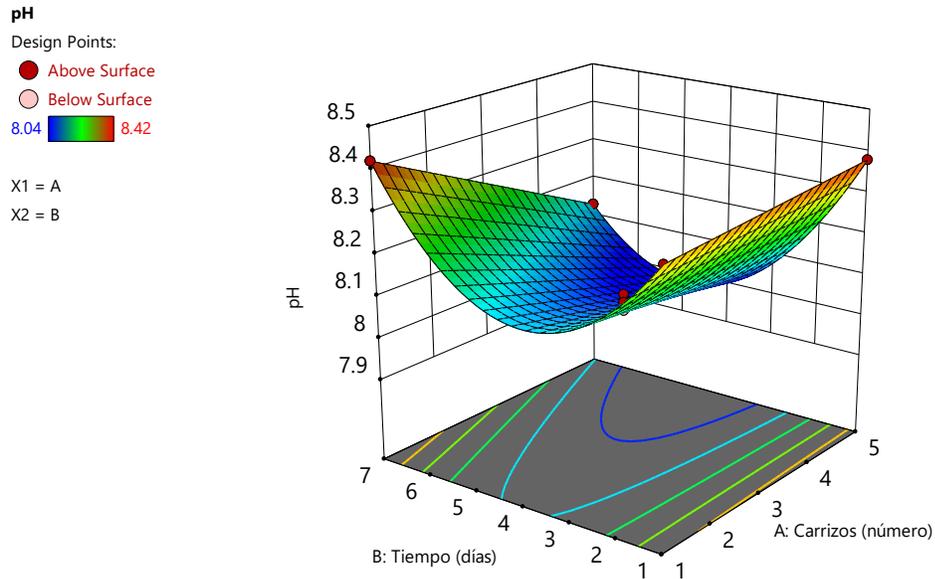


**Figura 14.** Comparación de datos calculados contra datos experimentales para el modelo de conductividad eléctrica.

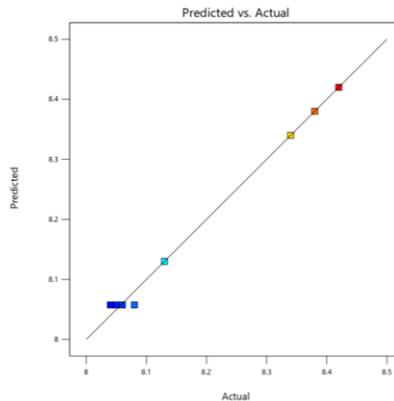
## pH

La ecuación (7) para el modelo de pH presenta una  $R^2 = 0.995$  y un coeficiente de variabilidad de 0.208. Se puede observar en la figura 15 el comportamiento de éste conforme al tiempo y al número de carrizos.

$$pH = 8.505 - 0.204x_1 + 0.023x_2 - 0.013x_1x_2 + 0.028x_1^2 \quad (7)$$



**Figura 15.** Gráfica de superficie respuesta para el modelo de pH.



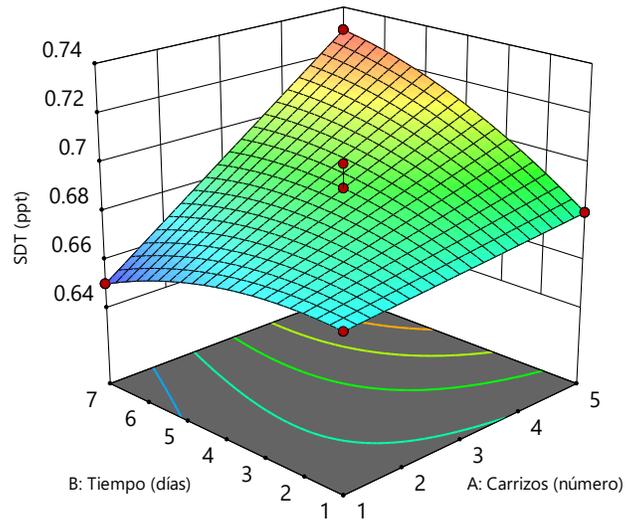
**Figura 16.** Comparación de datos calculados contra datos experimentales para el modelo de pH.

### Sólidos disueltos totales

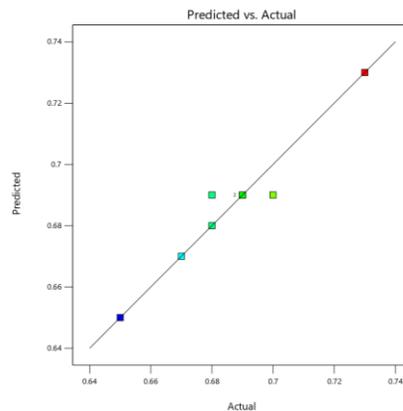
La gráfica de superficie respuesta para el modelo de sólidos disueltos totales se muestra en la figura 17, la ecuación de este modelo (8), presenta una  $R^2$  de 0.947 y un coeficiente de variabilidad de 1.19.

$$SDT(ppT) = 0.667 + 0.0004x_1 - 0.0004x_2 + 0.0029x_1x_2 - 0.0008x_1^2 \quad (8)$$

**SDT (ppt)**  
 Design Points:  
 ● Above Surface  
 ○ Below Surface  
 0.65  0.73  
 X1 = A  
 X2 = B



**Figura 17.** Gráfica de superficie respuesta para el modelo de sólidos suspendidos totales.



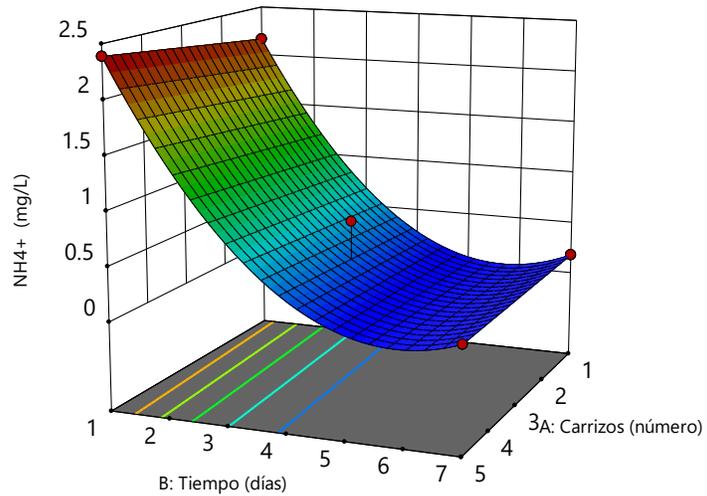
**Figura 18.** Comparación de datos calculados contra datos experimentales para el modelo de sólidos suspendidos totales.

### Remoción de amonio

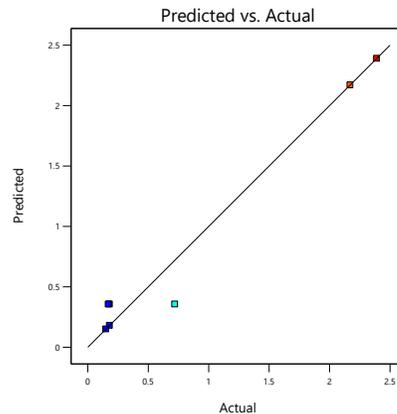
El modelo para la remoción de amonio tiene una ecuación (9) que muestra una  $R^2$  de 0.966 así como un coeficiente de variabilidad de 36.98, igualmente, en la figura 19 se observa la gráfica de superficie respuesta.

$$NH_4^+ (mg/L) = 3.109 - 1.090 + 0.065x_2 - 0.010x_1x_2 + 0.096x_1^2 \quad (9)$$

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/L)**  
 Design Points:  
 ● Above Surface  
 ○ Below Surface  
 0.15  2.39  
 X1 = A  
 X2 = B



**Figura 19.** Gráfica de superficie respuesta para el modelo de remoción amonio.



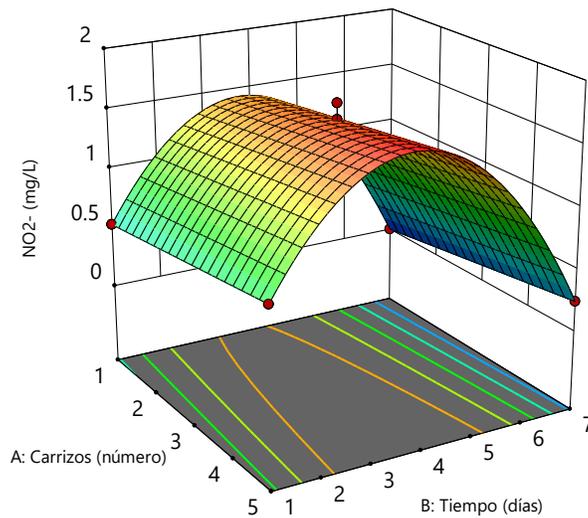
**Figura 20.** Comparación de datos calculados contra datos experimentales para el modelo de remoción de amonio.

### Remoción de nitritos

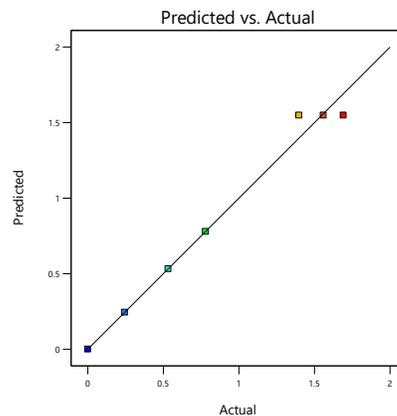
En el caso del modelo para la remoción de nitritos se observa que su ecuación (10) tiene un coeficiente de determinación de 0.983 y un coeficiente de variabilidad de 16.62. En la figura 21 se muestra la gráfica de superficie respuesta para el modelo.

$$NO_2^-(mg/L) = -0.343 + 0.942x_1 + 0.061x_2 - 0.0001x_1x_2 - 0.128x_1^2 \quad (10)$$

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)  
 Design Points:  
 ● Above Surface  
 ○ Below Surface  
 0  1.691  
 X1 = A  
 X2 = B



**Figura 21.** Gráfica de superficie respuesta para el modelo de remoción de nitritos.



**Figura 22.** Comparación de datos calculados contra datos experimentales para el modelo de remoción de nitritos.

En los biofiltros se observa un aumento en los valores de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales a un mayor tiempo y con un menor número de carrizos, esto podría deberse a la producción de exudados en las raíces de los carrizos.

Escudero-Garrido, (2022) reporta una relación positiva entre los valores de sólidos disueltos con el tiempo de residencia en los biofiltros usados para tratar agua de canal.

Para la remoción de amonio y nitritos el modelo obtenido indica que el tiempo de retención es la variable con más peso en el sistema, siendo el mejor tratamiento a mayor tiempo de retención y con un mayor número de carrizos.

La disminución de amonio en el sistema puede deberse a la conversión a otras especies de nitrógeno, como la efectuada por bacterias del género *Nitrosomonas*, de igual forma, se ha reportado el uso de  $\text{SiO}_2$  para la transformación de amonio a nitritos mediante fotocatalisis.



**Figura 23.** Proceso de nitrificación observado en el biofiltro.

En la figura 23 se observa el proceso de nitrificación propuesto que se da en el biofiltro, los resultados experimentales indican una disminución en el amonio a los 7 días, al observar la concentración de nitritos a través del tiempo estos aumentan a los 4 días y posterior a este tiempo descienden, lo que indica que se convierten a nitratos. Este proceso es conocido como nitrificación

De los pocos trabajos que se han efectuado con SiO<sub>2</sub> para la remoción de amonio (Jiang et al., 2022) reportaron una remoción de nitrógeno total en un sistema que contiene amonio y anilina, observando que el amonio se mantiene constante y la anilina disminuye. Concluyen que es posible que durante el proceso se está produciendo amonio a partir de la anilina y ocurre la oxidación del amonio.

#### Rendimiento del biofiltro

Los resultados observados para las variables fisicoquímicas se muestran en las tablas 10, 11 y 12, mientras que las concentraciones de los metales medidos se encuentran en la tabla 13.

**Tabla 10.** Variables fisicoquímicas en los distintos tratamientos.

	pH	ORP (mV)	OD (%)	CE (mS/cm)	SDT (ppm)	Salinidad (PSU)
Agua de canal	7.45±0.35	155.3±3.80	31.73±2.33	0.64±0.27	322±137	0.31±0.14
Tratamiento	8.24±0.05	213.8±2.80	29.2±2.0	1.09±0.62	545±307	0.54±0.32
Control	8.47±0.15	202.18±7.67	26.48±3.38	1.26±0.23	617±127	0.63±0.11
Tratamiento + filtro	8±0.06	196.05±5.35	22.03±5.35	1.92±0.11	960.25±57.25	0.97±0.06
Control	8.38±0.2	203.3±6.50	26.5±6.50	1.16±0.75	569.5±388.5	0.58±0.39
MNB	8.92±0.04	251.45±1.25	54.65±12.65	1.85±0.1	924.75±111.5	0.94±0.05
Control	8.92±0.08	233.88±13.58	60.83±4.77	1.57±0.29	784.5±144.5	0.79±0.15

**Tabla 11.** Concentración de Nitrógeno y Carbono total en los distintos tratamientos.

	NT (ppm)	COT (ppm)
Agua de canal	28.52±0.72	23.99±3.42
Tratamiento	25.93±9.98	21.78±4.95

Control	21.51±7.21	19.8±5.05
MNB	30.19±1.59	22.67±0.85
Control	21.69±5.81	21.14±5.34

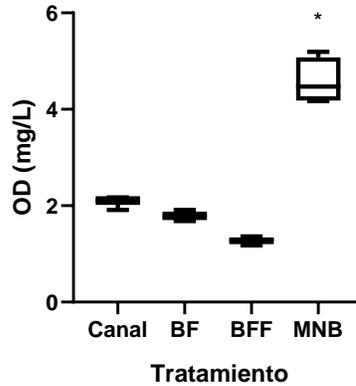
**Tabla 12.** Variables fisicoquímicas en los distintos tratamientos.

	NO <sub>2</sub> -N (µg/L)	NO <sub>2</sub> - (µg/L)	NaNO <sub>2</sub> (µg/L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	DQO (mg/L)	C. totales x10 <sup>5</sup> (NMP/100 mL)
Agua de canal	33	109	164	3.65	3.87	3	92	>11
Tratamiento	53	173	259	0.54	0.57	0.44	83	4.6
Control	1	4	5	0.42	0.44	0.34	54	4.6
Tratamiento + filtro	456	1496	2244	0.31	0.33	0.26	125	4.6
Control	0	0	0	0.15	0.16	0.12	50	4.6
MNB	127	416	624	1.23	1.31	1.23	78	0.0043
Control	0	0	0	0.21	0.22	0.17	47	0.0043

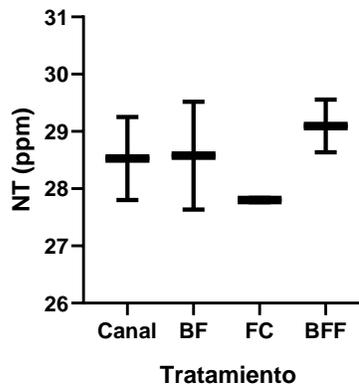
**Tabla 13.** Concentración de metales en los distintos tratamientos.

	Fe (mg/L)	Cd (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)
Agua de canal	39.15±0.36	0.29±0.08	0.89±0.1	0.63±0.11	1.53±0.08
Tratamiento	39.38±1.51	0.25±0.07	0.84±0.19	0.66±0.21	1.34±1.34
Control	39.74±1.67	0.26±0.1	0.70±0.7	0.60±0.6	1.46±0.12
Tratamiento + filtro	39.44±1.56	0.26±0.07	0.89±0.16	0.69±0.15	1.48±0.22
Control	39.13±4.20	0.27±0.06	0.85±0.12	0.78±0.33	1.51±0.18
Planta	13082.17±5227.7	92.32±37.85	258.56±112.77	426.09±147.93	500.89±204.84

Se realizó el método LSD de Fisher para determinar si existen diferencias significativas entre los grupos para cada una de las variables respuesta del experimento.

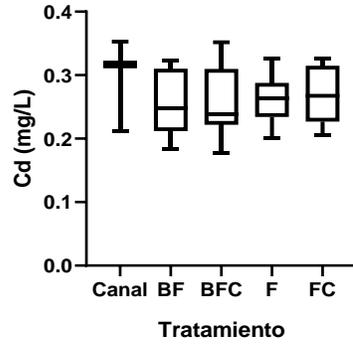


**Figura 24.** Comparación de oxígeno disuelto en los distintos tratamientos. Nota. (\*) diferencia estadísticamente significativa con 95 % de confianza

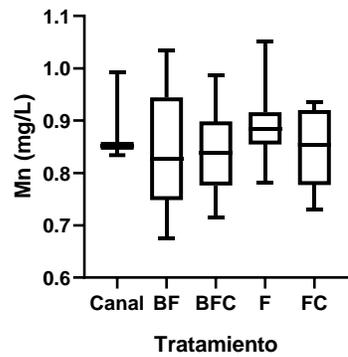


**Figura 25.** Comparación de la concentración de nitrógeno en los distintos tratamientos.

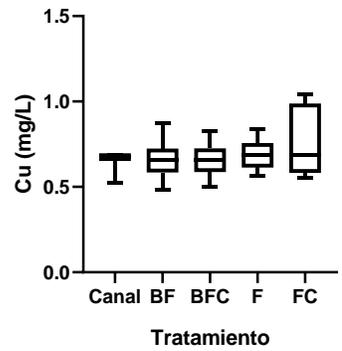
En las figuras 26-30 se muestran las concentraciones para cada uno de los metales analizados en las muestras de agua, en las gráficas se comparan los grupos entre ellos, señalando las diferencias estadísticamente significativas con asteriscos. Como se puede ver en las figuras, no existen diferencias entre los grupos para todas las concentraciones de metales observadas.



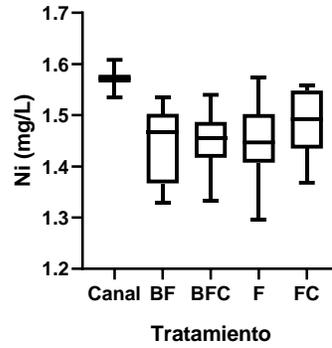
**Figura 26.** Gráfica de barras para Cd comparando los diferentes tratamientos.



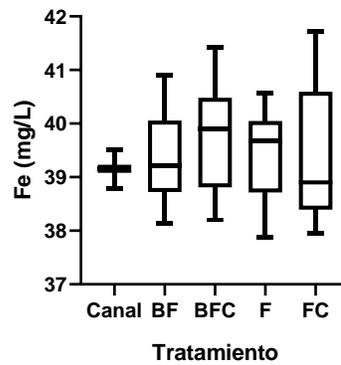
**Figura 27.** Gráfica de barras para Mn comparando los diferentes tratamientos.



**Figura 28.** Gráfica de barras para Cu comparando los diferentes tratamientos.



**Figura 29.** Gráfica de barras para Ni comparando los diferentes tratamientos.



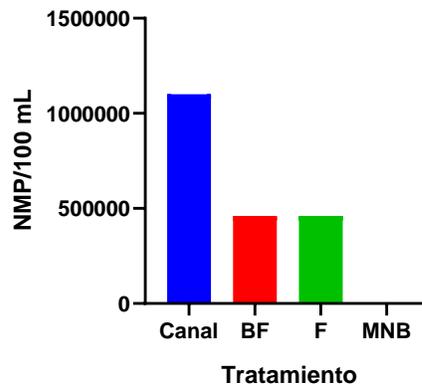
**Figura 30.** Gráfica de barras para Fe comparando los diferentes tratamientos.

En el caso de los coliformes totales se observó una disminución del 60 % con respecto al agua de canal gracias al tratamiento del biofiltro, igualmente, se obtuvo una reducción del 99.9 %, representando una reducción logarítmica de 3.4, después de la aplicación de micro-nano burbujas como se puede observar en la tabla 14 y en la figura 31.

**Tabla 14.** Resultados de coliformes fecales y totales en los diferentes tratamientos.

	C. totales X10 <sup>5</sup> (NMP/100 mL)
Canal	>11
BF	4.6
CBF	4.6

BFF	4.6
CBFF	4.6
MNB	0.0043
CMNB	0.0043



**Figura 31.** Número más probable de coliformes totales en los distintos tratamientos.

Se observó un aumento en el pH con el uso del biofiltro con respecto al agua sin tratamiento, así como con el control del biofiltro, esto podría deberse a procesos de desnitrificación, mientras que la diferencia entre el biofiltro y el control de éste sería explicada por exudados de ácidos orgánicos, así como la liberación de CO<sub>2</sub> en las raíces de las plantas lo que provocaría una disminución en el pH (Bezbaruah & Zhang, 2004).

En cuanto a ORP, los mayores valores se observaron después de la aplicación de micro-nano burbujas, se ha reportado que este proceso aumenta los valores de ORP en el agua (Nghia et al., 2021).

Así mismo, los valores de conductividad eléctrica aumentaron con los tratamientos secuenciales, siendo el mayor valor con el uso de biofiltro y un filtro, esto concuerda con lo reportado por Wang et al., (2021), donde observan un aumento en la CE con el uso de gravilla en comparación con otros soportes, esto debido a los componentes del material, siendo SiO<sub>2</sub> en el caso de la gravilla, el cual contribuye al aumento de la CE.

El aumento en los sólidos disueltos totales con respecto al agua sin tratamiento podría deberse a exudados en las raíces de los carrizos usados.

Igualmente, se observó una disminución de oxígeno disuelto en el biofiltro causada por el consumo de éste en la nitrificación, seguido de esto se observó un aumento en el oxígeno disuelto después de la aplicación de micro-nano burbujas, como lo esperado.

No se encontraron cambios en cuanto al carbono total en los diferentes tratamientos, mientras que en el caso del nitrógeno total se observó un aumento en los diferentes tratamientos.

El mismo caso que el carbono total se presentó con los metales analizados en el agua, no existieron cambios en la concentración de estos en ninguno de los diferentes tratamientos. Algunas explicaciones a este fenómeno podrían ser que el tiempo de retención es muy corto para lograr ser asimilado por la planta, así como que es posible que la gravilla se encuentre saturada por lo que no se dan procesos de adsorción.

#### Aumento en el tiempo de retención

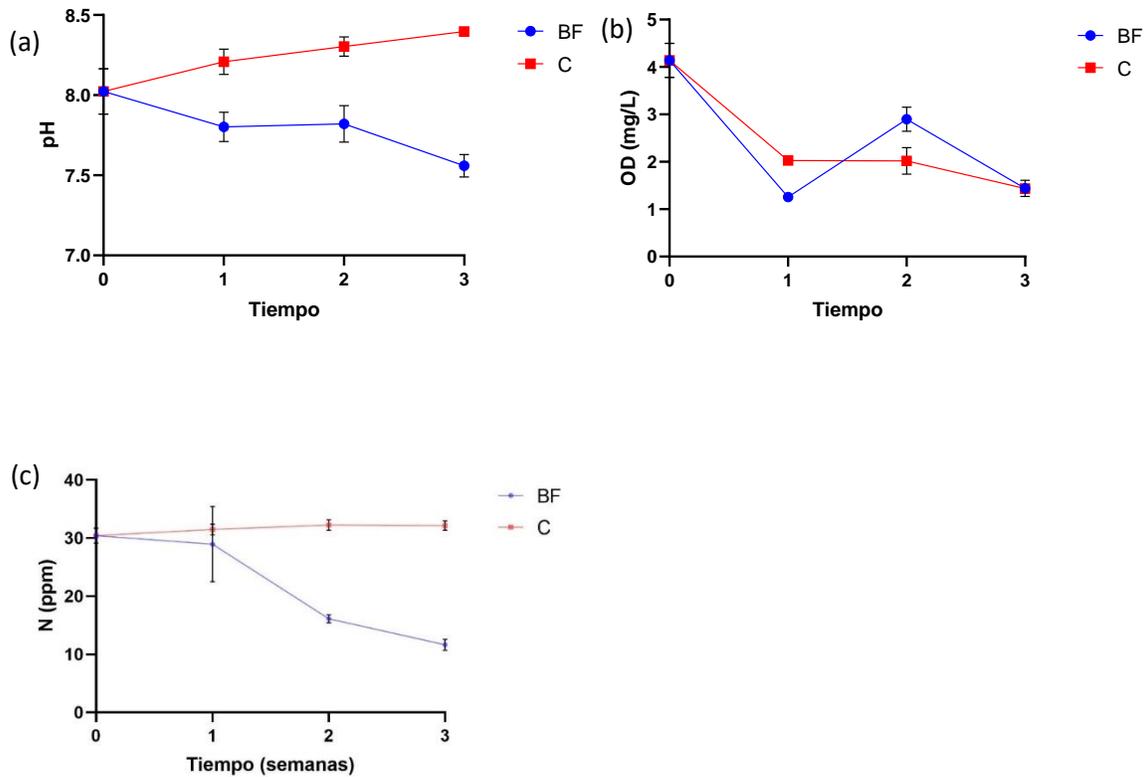
Los resultados con respecto al tiempo para las variables fisicoquímicas se presentan en las tablas 15 y 16.

**Tabla 15.** *Resultados de los parámetros con respecto al tiempo.*

	1 semana		2 semanas		3 semanas	
	BF	Control	BF	Control	BF	Control
pH	7.84±0.04	8.21±0.07	7.82±0.16	8.30±0.05	7.56±0.10	8.40±0.03
ORP (mV)	84.4±12.5	101.32±10.78	106.48±12.08	122.63±3.87	128.43±5.87	145.74±3.04
OD (mg/L)	1.43±0.67	2.03±0.14	2.90±0.42	2.02±0.86	1.50±0.13	1.44±0.08
CE (µS/cm)	654.±30.5	578.33±26,33	497.75±16.25	507.00±34.00	926.75±29.25	810.00±131.00
SDT (ppm)	324.±41.5	305.66±43.4	290.50±5.50	267.33±12.67	543.75±3.75	519.00±108.00
Salinidad (PSU)	0.34±0.10	0.29±0.05	0.31±0.04	0.26±0.01	0.54±0.01	0.48±0.15

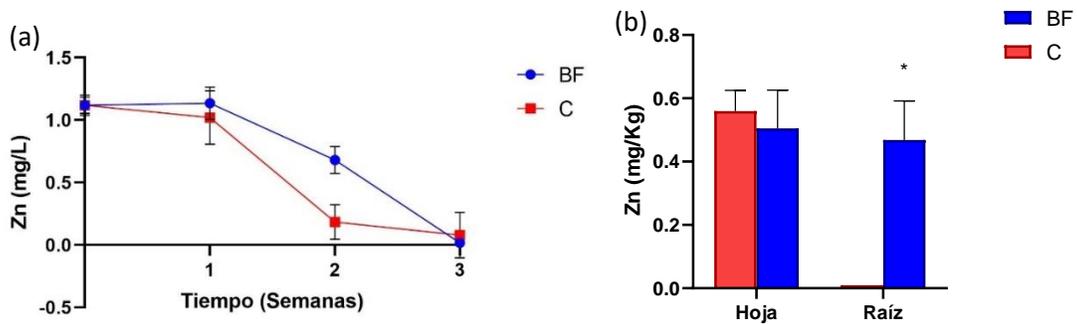
**Tabla 16.** *Concentración de nitrógeno total y carbono orgánico total.*

	Semana					
	1		2		3	
	BF	C	BF	C	BF	C
NT (ppm)	32.70±0.37	31.48±0.90	16.12±0.67	32.26±0.92	11.63±0.96	32.14±0.80
COT (ppm)	82.86±2.79	86.75±2.39	88.08±17.97	84.54±5.43	83.11±1.64	62.63±1.25



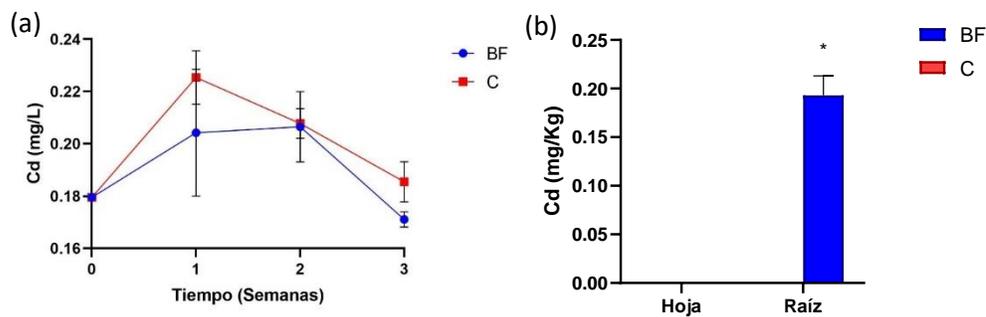
*Nota.* (a) Cambio de pH en el biofiltro en comparación a su control a través del tiempo; (b) cambio en el oxígeno disuelto en el biofiltro en comparación a su control a través del tiempo; (c) cambio de nitrógeno total en el biofiltro en comparación a su control a través del tiempo.

**Figura 32.** Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos con respecto al tiempo.



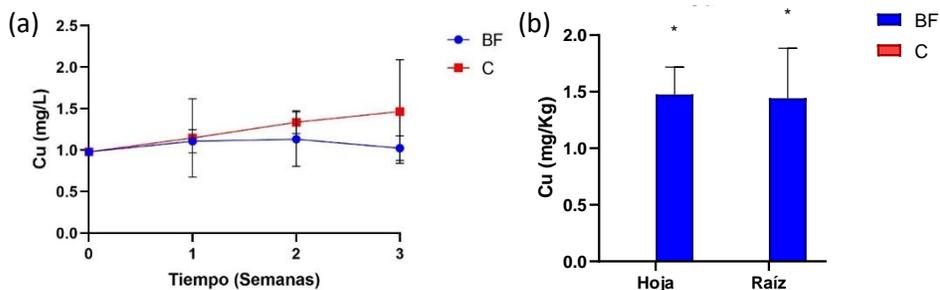
*Nota.* (a) Concentración de Zn en el agua con respecto al tiempo; (b) concentración de Zn en hoja y raíz antes y después del tratamiento; (\*) diferencia estadísticamente significativa con 95 % de confianza.

**Figura 33.** Concentración de Zn en agua y biomasa.



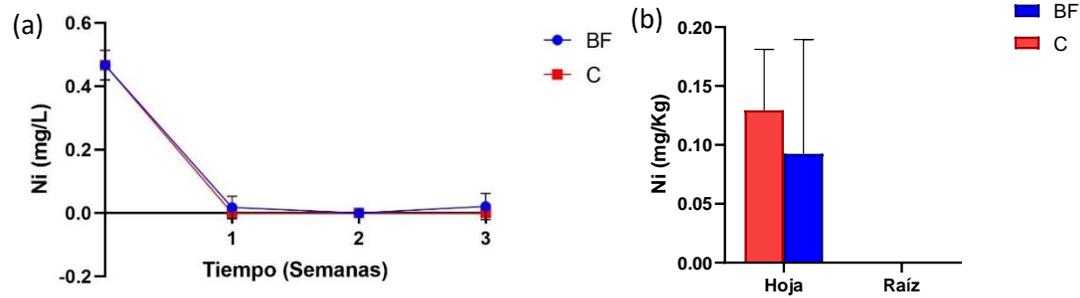
*Nota.* (a) Concentración de Cd en el agua con respecto al tiempo; (b) concentración de Zn en hoja y raíz antes y después del tratamiento; (\*) diferencia estadísticamente significativa con 95 % de confianza.

**Figura 34.** Concentración de Cd en agua y biomasa.



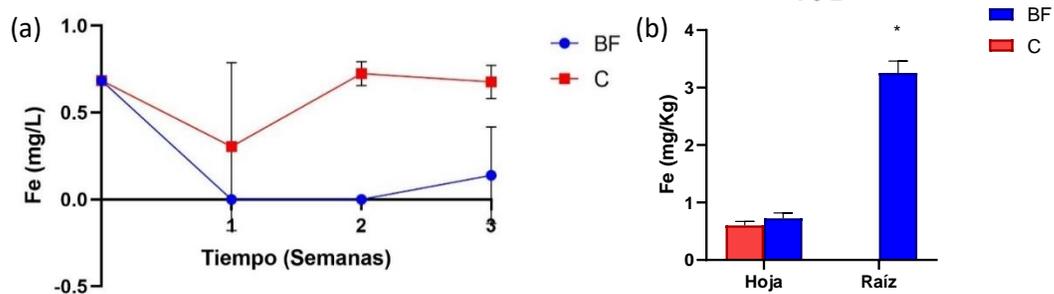
*Nota.* (a) Concentración de Cu en el agua con respecto al tiempo; (b) concentración de Zn en hoja y raíz antes y después del tratamiento; (\*) diferencia estadísticamente significativa con 95 % de confianza.

**Figura 35.** Concentración de Cu en agua y biomasa.



*Nota.* (a) Concentración de Ni en el agua con respecto al tiempo; (b) concentración de Zn en hoja y raíz antes y después del tratamiento; (\*) diferencia estadísticamente significativa con 95 % de confianza.

**Figura 36.** Concentración de Ni en agua y biomasa.



*Nota.* (a) Concentración de Fe en el agua con respecto al tiempo; (b) concentración de Zn en hoja y raíz antes y después del tratamiento; (\*) diferencia estadísticamente significativa con 95 % de confianza.

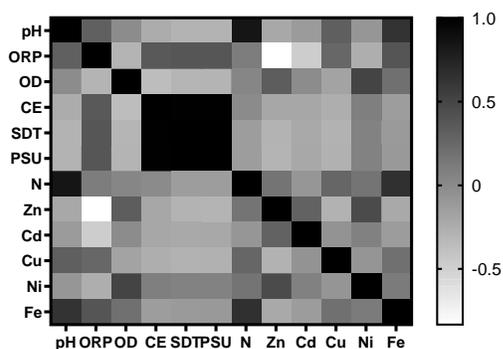
**Figura 37.** Concentración de Fe en agua y biomasa.

**Tabla 17.** Factores de bioacumulación y translocación de los distintos metales.

	Zn	Cd	Cu	Ni	Fe
FT	1.42	NA	1.02	NA	0.22
FBA-H	101.12	0.00	307.18	42.63	216.59
FBA-R	71.17	215.64	300.31	0.00	973.24

*Nota.* FT: Factor de translocación; FBA-H: Factor de bioacumulación en hoja; FBA-R: Factor de bioacumulación en raíz.

Se realizó una correlación de Pearson para observar una posible relación lineal entre las variables dependientes, la figura 37 ilustra la relación que tienen las variables entre sí.



**Figura 38.** Gráfico de calor de correlación entre variables.

Se consideraron como variables con alguna correlación aquellas que presentaron un valor de  $p > 0.05$  y un coeficiente de correlación mayor a 0.8, encontrando, de esta forma, las correlaciones mostradas en la tabla 18.

**Tabla 18.** Variables correlacionadas.

Variable 1	Variable 2	Coficiente
NT	pH	0.845
Zn	ORP	-0.834
SDT	CE	0.989
Salinidad	CE	0.987

La correlación observada entre el nitrógeno total y el pH podría deberse al proceso de nitrificación en el biofiltro y el consumo de las especies de nitrógeno por parte de la planta, lo que causaría una disminución en la concentración del nitrógeno total, así como una disminución de pH, así mismo, la internalización de amonio provoca la acidificación del medio (Sindilariu et al., 2008; Weng et al., 2020).

El aumento en ORP puede ser atribuido a la secreción de ácidos orgánicos en las raíces de la planta (Fang et al., 2021).

Así mismo, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales están relacionados con la salinidad debido a que las sales inorgánicas son parte de los SDT y estas afectan a la CE (Rusydi, 2018).

## Conclusión

Se determinó que la remoción de nitrógeno con el uso de un adsorbente como lo es la gravilla, una disminución del 100 % a un menor tiempo. Sin embargo, esta eficiencia en la remoción disminuyó conforme aumentó el tiempo en los diferentes tratamientos, esto indica una posible adsorción a menor tiempo de retención y una posible desorción conforme el tiempo aumenta, lo que muestra la necesidad de emplear vegetales para consumir este nutriente.

En los biofiltros se observó una disminución en los valores de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales a un mayor tiempo y con un menor número de carrizos, esto podría deberse a la producción de exudados en las raíces de los carrizos.

Para la remoción de amonio y nitritos el modelo obtenido indica que el tiempo de retención es la variable con más peso en el sistema, siendo el mejor tratamiento a mayor tiempo de retención y con un mayor número de carrizos.

La disminución de amonio en el sistema puede deberse a la conversión a otras especies de nitrógeno, como la efectuada por diversos procesos, así mismo, podría estar influido por la presencia de la gravilla en la cual se ha reportado un alto contenido de  $\text{SiO}_2$  que podría influir en la transformación de amonio a nitritos mediante un proceso de fotocatalisis.

Así mismo, al aumentar el tiempo de retención en los biofiltros se observan resultados favorables en cuanto a la reducción de los contaminantes. Se logró reducir en un 63 % el nitrógeno total en el biofiltro comparado con el uso de un filtro convencional, así como la reducción del 99 % en Ni y Zn y 80 % en Fe en comparación con el agua sin ningún tratamiento.

De la misma forma, la aplicación secuencial del sistema de micro-nano burbujas al agua tratada anteriormente por el biofiltro logró el aumento del oxígeno disuelto en el agua, así mismo, se determinó que en este proceso se redujeron en un 99.9 % los coliformes totales presentes en las muestras.

La aplicación secuencial del tratamiento con biofiltros y la oxigenación con micro-nano burbujas favorece el cumplimiento de los parámetros establecidos por la norma 001

de SEMARNAT para los contaminantes medidos, así mismo se alcanzaron concentraciones lo suficientemente bajas de Cu y Ni para cumplir con los criterios establecidos por la norma 127 de la Secretaría de Salud, la cual establece los límites máximos permisibles para agua de consumo humano, considerando aun que el agua se emplea en servicios.

Estos resultados establecen que el sistema secuencial estudiado es una alternativa real y confiable a los tratamientos de agua convencionales y su posible aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

## Bibliografía

- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, *91*(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Aranda Sánchez, M. (2004). *Sistema lacustre “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.”*
- Berenzen, N., Schulz, R., & Liess, M. (2001). Effects of chronic ammonium and nitrite contamination on the macroinvertebrate community in running water microcosms. *Water Research*, *35*(14), 3478–3482. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00055-0)
- Bezbaruah, A. N., & Zhang, T. C. (2004). pH, redox, and oxygen microprofiles in rhizosphere of bulrush (*Scirpus validus*) in a constructed wetland treating municipal wastewater. *Biotechnology and Bioengineering*, *88*(1), 60–70. <https://doi.org/10.1002/bit.20208>
- Bratieres, K., Fletcher, T. D., Deletic, A., & Zinger, Y. (2008). Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study. *Water Research*, *42*(14), 3930–3940. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.009>
- Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario. (1994). NORMA Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994, Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. In *Diario Oficial de la Federación*.
- Dagenais, D., Brisson, J., & Fletcher, T. D. (2018). The role of plants in bioretention systems; does the science underpin current guidance? *Ecological Engineering*, *120*, 532–545. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.007>
- Díaz-Torres, O., de Anda, J., Lugo-Melchor, O. Y., Pacheco, A., Orozco-Nunnally, D. A., Shear, H., Senés-Guerrero, C., & Gradilla-Hernández, M. S. (2021). Rapid Changes in the Phytoplankton Community of a Subtropical, Shallow, Hypereutrophic Lake During the Rainy Season. *Frontiers in Microbiology*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.617151>
- Dirección General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica. (1992, May 11). DECLARATORIA que establece como una prioritaria de preservación y conservación en del equilibrio ecológico y se declara como área natural protegida, bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica, la superficie que se indica de los ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, D. F. *Diario Oficial de La Federación*.
- Enríquez García, C., Nandini, S., & Sarma, S. S. S. (2009). Seasonal dynamics of zooplankton in Lake Huetzalín, Xochimilco (Mexico City, Mexico). *Limnologia*, *39*(4), 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.06.010>
- Escudero-Garrido, G. (2022). *Evaluación de un sistema de biofiltración /micronanoburbujeo para el tratamiento de agua de un canal de Xochimilco*. CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
- Fang, J., Dong, J., Li, C., Chen, H., Wang, L., Lyu, T., He, H., & Liu, J. (2021). Response of microbial community composition and function to emergent plant rhizosphere of a constructed wetland in northern China. *Applied Soil Ecology*, *168*, 104141. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104141>

- Fossen Johnson, S. (2019). Methemoglobinemia: Infants at risk. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, 49(3), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2019.03.002>
- González-Guadarrama, M. de J., Castillo-Blum, S. E., & Armienta, M. A. (2022). Complejación de metales por sustancias húmicas acuáticas como proceso natural, tomando como caso de estudio el Lago de Xochimilco. *Geofísica Internacional*, 61(1), 55–65. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2022.61.1.2188>
- Jiang, Y., Shang, Y., Zhang, W., Zhang, X., Li, J., & Shao, S. (2022). Assessing the effect of SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on granule stability and microbial community shift in aerobic granular sludge process. *Chemosphere*, 307, 135677. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135677>
- Li, P., Wu, J., Qian, H., Lyu, X., & Liu, H. (2014). Origin and assessment of groundwater pollution and associated health risk: a case study in an industrial park, northwest China. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(4), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s10653-013-9590-3>
- Maurya, A., Singh, M. K., & Kumar, S. (2020). Biofiltration technique for removal of waterborne pathogens. In *Waterborne Pathogens* (pp. 123–141). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818783-8.00007-4>
- Meza-González, J., Hernández-Quiróz, M., Rojo-Callejas, F., Hjort-Colunga, E., Mazari-Hiriart, M., Valiente-Riveros, E., Arellano-Aguilar, O., & Ponce de León-Hill, C. (2022). Screening and Risk Evaluation of Organic Contaminants in an Urban Wetland Fed with Wastewater Effluents. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 108(1), 114–121. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03243-2>
- Morales-Mendoza, A. G., Flores-Trujillo, A. K. I., Ramírez-Castillo, J. A., Gallardo-Hernández, S., & Rodríguez-Vázquez, R. (2023). Effect of Micro-Nanobubbles on Arsenic Removal by *Trichoderma atroviride* for Bioscorodite Generation. *Journal of Fungi*, 9(8), 857. <https://doi.org/10.3390/jof9080857>
- Nghia, N. H., Van, P. T., Giang, P. T., Hanh, N. T., St-Hilaire, S., & Domingos, J. A. (2021). Control of *Vibrio parahaemolyticus* (AHPND strain) and improvement of water quality using nanobubble technology. *Aquaculture Research*, 52(6), 2727–2739. <https://doi.org/10.1111/are.15124>
- Picetti, R., Deeney, M., Pastorino, S., Miller, M. R., Shah, A., Leon, D. A., Dangour, A. D., & Green, R. (2022). Nitrate and nitrite contamination in drinking water and cancer risk: A systematic review with meta-analysis. *Environmental Research*, 210, 112988. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112988>
- Rahimi, S., Modin, O., & Mijakovic, I. (2020). Technologies for biological removal and recovery of nitrogen from wastewater. *Biotechnology Advances*, 43, 107570. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107570>
- Rusydi, A. F. (2018). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118, 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>

- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015. In *Diario Oficial de la Federación*.
- SEMARNAT. (2022, March 11). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. *Diario Oficial de La Federación*.
- Sindilariu, P.-D., Wolter, C., & Reiter, R. (2008). Constructed wetlands as a treatment method for effluents from intensive trout farms. *Aquaculture*, 277(3–4), 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.026>
- Sobrinho-Figueroa, A., H. Álvarez Hernández, S., & Álvarez Silva C, C. (2020). Evaluation of the freshwater copepod *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1983) (Cyclopidae) response to Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni and Pb. *AIMS Environmental Science*, 7(6), 449–463. <https://doi.org/10.3934/environsci.2020029>
- Tarcea, M., Bacarea, A., Fulop, E., Ruta, F., Comaneanu, R. M., Hancu, V., & Ormenisan, A. (2016). Chemical Pollution with Nitrates of Underground Water Supplies and Risk Evaluation for Methemoglobinemia on Infants. *Revista De Chimie*, 67(12), 2256–2260.
- Unesco. (2013). *Historic Centre of Mexico City and Xochimilco*. Unesco World Heritage Convention. <https://whc.unesco.org/en/list/412/>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2016). *Análisis del estado de conservación ecológica del sistema lacustre chinampero de la superficie reconocida por la UNESCO como Sitio Patrimonio de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta*.
- U.S. EPA. (1996). *Method 3052 Microwave Assisted Acid Digestion Of Siliceous And Organically Based Matrices*.
- U.S. EPA. (2007). *Method 3015A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts*.
- Vázquez-Tapia, I., Salazar-Martínez, T., Acosta-Castro, M., Meléndez-Castolo, K. A., Mahlkecht, J., Cervantes-Avilés, P., Capparelli, M. V., & Mora, A. (2022). Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico – A review. *Chemosphere*, 308, 136285. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136285>
- Wang, H., Sun, J., Xu, J., & Sheng, L. (2021). Study on clogging mechanisms of constructed wetlands from the perspective of wastewater electrical conductivity change under different substrate conditions. *Journal of Environmental Management*, 292, 112813. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112813>
- Wang, Q., Cui, Y., & Dong, Y. (2002). Phytoremediation of Polluted Waters Potentials and Prospects of Wetland Plants. *Acta Biotechnologica*, 22(1–2), 199–208. [https://doi.org/10.1002/1521-3846\(200205\)22:1/2<199::AID-ABIO199>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/1521-3846(200205)22:1/2<199::AID-ABIO199>3.0.CO;2-T)
- Weng, L., Zhang, M., Wang, K., Chen, G., Ding, M., Yuan, W., Zhu, Y., Xu, W., & Xu, F. (2020). Potassium alleviates ammonium toxicity in rice by reducing its uptake through activation of

plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase to enhance proton extrusion. *Plant Physiology and Biochemistry*, 151, 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.03.040>

Zhao, M., Yao, D., Li, S., Zhang, Y., & Aweya, J. J. (2020). Effects of ammonia on shrimp physiology and immunity: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2194–2211. <https://doi.org/10.1111/raq.12429>

## Anexo 1. Concentración de metales en biomasa de carrizos colectados

Se realizó una determinación de metales en la biomasa de carrizos colectados en Rio San Javier con coordenadas 19.522000, -99.142617

**Tabla 1**

*Concentración de metales en carrizos*

Metales	Concentración (mg/Kg)
Fe	15696.03±1444.53
Cd	111.25±3.75
Mn	314.94±38.94
Zn	355.19±38.69
Cu	500.06±6.06
Ni	603.31±67.81
Pb	1343.56±322.56

## Anexo 2. Estadísticos de los modelos lineales generalizados

Oxígeno disuelto

**Tabla 1.**

*ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
<b>Model</b>	5.62	4	1.40	230.96	< 0.0001 significant
A-Tiempo	0.9120	1	0.9120	150.00	0.0003
B-Tamaño	0.0020	1	0.0020	0.3331	0.5948
AB	0.0210	1	0.0210	3.46	0.1365
A <sup>2</sup>	4.68	1	4.68	770.05	< 0.0001
<b>Pure Error</b>	0.0243	4	0.0061		
<b>Cor Total</b>	5.64	8			

**Tabla 2**

*Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	0.0780	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9957
<b>Mean</b>	3.63	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.9914
<b>C.V. %</b>	2.15	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	34.8253

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000.

**Tabla 3**

*Ecuación del modelo*

OD	=
+2.98600	
+0.477500	Tiempo
+0.022500	Tamaño
+0.072500	Tiempo * Tamaño
+1.45150	Tiempo <sup>2</sup>

Conductividad Eléctrica

**Tabla 4***ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
<b>Model</b>	0.8237	4	0.2059	25.44	0.0042 significant
A-Tiempo	0.0001	1	0.0001	0.0069	0.9376
B-Tamaño	0.0001	1	0.0001	0.0069	0.9376
AB	0.0082	1	0.0082	1.01	0.3714
A <sup>2</sup>	0.8154	1	0.8154	100.73	0.0006
<b>Pure Error</b>	0.0324	4	0.0081		
<b>Cor Total</b>	0.8561	8			

**Tabla 5***Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	0.0900	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9622
<b>Mean</b>	0.7852	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.9244
<b>C.V. %</b>	11.46	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	9.7075

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000.**Tabla 6***Ecuación del modelo*

CE	=
+0.516000	
+0.003750	Tiempo
+0.003750	Tamaño
-0.045250	Tiempo * Tamaño
+0.605750	Tiempo <sup>2</sup>

Potencial oxido reducción

**Tabla 7***ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
<b>Model</b>	5644.57	4	1411.14	39.99	0.0018 significant

A-Tiempo	1380.12	1	1380.12	39.11	0.0033
B-Tamaño	5.52	1	5.52	0.1565	0.7126
AB	607.62	1	607.62	17.22	0.0143
A <sup>2</sup>	3651.30	1	3651.30	103.47	0.0005
<b>Pure Error</b>	141.15	4	35.29		
<b>Cor Total</b>	5785.72	8			

**Tabla 8**

*Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	5.94	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9756
<b>Mean</b>	212.26	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.9512
<b>C.V. %</b>	2.80	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	15.8683

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000.

**Tabla 9**

*Ecuación del modelo*

$$\begin{aligned}
 \text{ORP} &= \\
 &+194.24000 \\
 &+18.57500 \text{ Tiempo} \\
 &+1.17500 \text{ Tamaño} \\
 &-12.32500 \text{ Tiempo} * \text{Tamaño} \\
 &+40.53500 \text{ Tiempo}^2
 \end{aligned}$$

Nitrógeno Total

**Tabla 10**

*ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	6698.78	4	1674.69	179.38	0.0007	significant
A-Tiempo	969.39	1	969.39	103.83	0.0020	
B-Tamaño	4742.39	1	4742.39	507.97	0.0002	

AB	969.39	1	969.39	103.83	0.0020
A <sup>2</sup>	17.61	1	17.61	1.89	0.2632
<b>Pure Error</b>	28.01	3	9.34		
<b>Cor Total</b>	6726.79	7			

**Tabla 11**

*Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	3.06	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9958
<b>Mean</b>	64.08	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.9903
<b>C.V. %</b>	4.77	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	41.3981

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000.

**Tabla 12**

*Ecuación del modelo*

$$\begin{aligned}
 & \text{NT} = \\
 & +62.59977 \\
 & +15.56750 \text{ Tiempo} \\
 & -34.43250 \text{ Tamaño} \\
 & +15.56750 \text{ Tiempo} * \text{Tamaño} \\
 & +2.96773 \text{ Tiempo}^2
 \end{aligned}$$

Carbono Total

**Tabla 13**

*ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	7465.19	4	1866.30	7.70	0.0626	not significant
A-Tiempo	2393.17	1	2393.17	9.87	0.0516	
B-Tamaño	2393.17	1	2393.17	9.87	0.0516	
AB	2393.17	1	2393.17	9.87	0.0516	
A <sup>2</sup>	285.69	1	285.69	1.18	0.3572	
<b>Pure Error</b>	727.44	3	242.48			
<b>Cor Total</b>	8192.63	7				

**Tabla 14***Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	15.57	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9112
<b>Mean</b>	81.52	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.7928
<b>C.V. %</b>	19.10	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	7.9477

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000.**Tabla 15***Ecuación del modelo*

$$\begin{aligned}
 \text{CT} &= \\
 &+87.49180 \\
 &+24.46000 \text{ Tiempo} \\
 &-24.46000 \text{ Tamaño} \\
 &+24.46000 \text{ Tiempo} * \text{Tamaño} \\
 &-11.95180 \text{ Tiempo}^2
 \end{aligned}$$

pH

**Tabla 16***ANOVA del modelo*

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>	
<b>Model</b>	0.2643	4	0.0661	2.79	0.1720	not significant
A-Tiempo	0.0625	1	0.0625	2.64	0.1795	
B-Tamaño	0.0049	1	0.0049	0.2070	0.6727	
AB	0.1225	1	0.1225	5.18	0.0853	
A <sup>2</sup>	0.0744	1	0.0744	3.14	0.1509	
<b>Pure Error</b>	0.0947	4	0.0237			
<b>Cor Total</b>	0.3590	8				

### Anexo 3. Modelos cuadráticos en el biofiltro

#### Conductividad Eléctrica

**Tabla 1**

*ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
<b>Model</b>	0.0135	4	0.0034	7.23	0.0680 not significant
A-Carrizos	0.0056	1	0.0056	12.05	0.0403
B-Tiempo	0.0006	1	0.0006	1.34	0.3309
AB	0.0072	1	0.0072	15.48	0.0292
B <sup>2</sup>	0.0000	1	0.0000	0.0268	0.8804
<b>Pure Error</b>	0.0014	3	0.0005		
<b>Cor Total</b>	0.0149	7			

**Tabla 2**

*Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	0.0216	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9060
<b>Mean</b>	1.37	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.7806
<b>C.V. %</b>	1.58	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	9.3686

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000.

**Tabla 3**

*Ecuación del modelo*

$$\begin{aligned}
 \text{CE} &= \\
 &+1.37764 \\
 &-0.009583 \text{ Carrizos} \\
 &-0.014861 \text{ Tiempo} \\
 &+0.007083 \text{ Carrizos} * \text{Tiempo} \\
 &-0.000278 \text{ Tiempo}^2
 \end{aligned}$$

pH

**Tabla 4***ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
<b>Model</b>	0.1853	4	0.0463	158.81	0.0008	significant
A-Carrizos	0.0156	1	0.0156	53.57	0.0053	
B-Tiempo	0.0072	1	0.0072	24.77	0.0156	
AB	0.0272	1	0.0272	93.34	0.0024	
B <sup>2</sup>	0.1352	1	0.1352	463.54	0.0002	
<b>Pure Error</b>	0.0009	3	0.0003			
<b>Cor Total</b>	0.1862	7				

**Tabla 5***Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	0.0171	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9953
<b>Mean</b>	8.19	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.9890
<b>C.V. %</b>	0.2086	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	26.8488

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000**Tabla 6***Ecuación del modelo*

$$\begin{aligned}
 \text{pH} &= \\
 &+8.50514 \\
 &+0.023750 \text{ Carrizos} \\
 &-0.204028 \text{ Tiempo} \\
 &-0.013750 \text{ Carrizos} * \text{ Tiempo} \\
 &+0.028889 \text{ Tiempo}^2
 \end{aligned}$$

Sólidos Disueltos Totales

**Tabla 7***ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
--------	----------------	----	-------------	---------	---------

<b>Model</b>	0.0036	4	0.0009	13.45	0.0294	significant
A-Carrizos	0.0020	1	0.0020	30.37	0.0118	
B-Tiempo	0.0002	1	0.0002	3.37	0.1635	
AB	0.0012	1	0.0012	18.38	0.0233	
B <sup>2</sup>	0.0001	1	0.0001	1.69	0.2848	
<b>Pure Error</b>	0.0002	3	0.0001			
<b>Cor Total</b>	0.0038	7				

**Tabla 8**

*Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	0.0082	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9472
<b>Mean</b>	0.6862	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.8768
<b>C.V. %</b>	1.19	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	12.3935

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000

**Tabla 9**

*Ecuación del modelo*

$$\begin{aligned}
 \text{SDT} &= \\
 &+0.667917 \\
 &-0.000417 \text{ Carrizos} \\
 &+0.000417 \text{ Tiempo} \\
 &+0.002917 \text{ Carrizos} * \text{Tiempo} \\
 &-0.000833 \text{ Tiempo}^2
 \end{aligned}$$

Amonio

**Tabla 10**

*ANOVA del modelo*

<b>Source</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>df</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F-value</b>	<b>p-value</b>	
<b>Model</b>	5.78	4	1.45	14.60	0.0651	not significant
A-Carrizos	0.0090	1	0.0090	0.0911	0.7912	
B-Tiempo	4.47	1	4.47	45.17	0.0214	
AB	0.0156	1	0.0156	0.1578	0.7296	
B <sup>2</sup>	1.29	1	1.29	12.98	0.0692	
<b>Pure Error</b>	0.1981	2	0.0990			

<b>Cor Total</b>	5.98	6
------------------	------	---

**Tabla 11**

*Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	0.3147	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9669
<b>Mean</b>	0.8514	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.9007
<b>C.V. %</b>	36.96	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	8.4221

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000

**Tabla 12**

*Ecuación del modelo*

NH4+	=
+3.10968	
+0.065417	Carrizos
-1.09088	Tiempo
-0.010417	Carrizos * Tiempo
+0.096204	Tiempo <sup>2</sup>

Nitritos

**Tabla 13**

*ANOVA del modelo*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
<b>Model</b>	2.65	4	0.6632	30.58	0.0319 significant
A-Carrizos	0.0603	1	0.0603	2.78	0.2374
B-Tiempo	0.2846	1	0.2846	13.13	0.0685
AB	2.250E-06	1	2.250E-06	0.0001	0.9928
B <sup>2</sup>	2.31	1	2.31	106.43	0.0093
<b>Pure Error</b>	0.0434	2	0.0217		
<b>Cor Total</b>	2.70	6			

**Tabla 14**

*Bondad de ajuste*

<b>Std. Dev.</b>	0.1473	<b>R<sup>2</sup></b>	0.9839
<b>Mean</b>	0.8860	<b>Adjusted R<sup>2</sup></b>	0.9517
<b>C.V. %</b>	16.62	<b>Predicted R<sup>2</sup></b>	NA <sup>(1)</sup>
		<b>Adeq Precision</b>	12.4465

<sup>(1)</sup> Case(s) with leverage of 1.0000

### Tabla 15

*Ecuación del modelo*

NO2-	=
-0.343625	
+0.061875	Carrizos
+0.942792	Tiempo
-0.000125	Carrizos * Tiempo
-0.128917	Tiempo <sup>2</sup>

## Anexo 4. Rendimiento del biofiltro

### ANOVA para pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5.64108	6	0.940181	61.51	0.0000
Intra grupos	0.305717	20	0.0152858		
Total (Corr.)	5.9468	26			

### LSD para pH

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Canal	3	7.44667	X
F	4	7.9975	X
BF	4	8.235	X
FC	4	8.4475	X
BFC	4	8.465	X
MNBC	4	8.915	X
MNB	4	8.92	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF - BFC	*	-0.23	0.182363
BF - Canal	*	0.788333	0.196975
BF - F	*	0.2375	0.182363
BF - FC	*	-0.2125	0.182363
BF - MNB	*	-0.685	0.182363
BF - MNBC	*	-0.68	0.182363
BFC - Canal	*	1.01833	0.196975
BFC - F	*	0.4675	0.182363
BFC - FC		0.0175	0.182363
BFC - MNB	*	-0.455	0.182363
BFC - MNBC	*	-0.45	0.182363
Canal - F	*	-0.550833	0.196975
Canal - FC	*	-1.00083	0.196975
Canal - MNB	*	-1.47333	0.196975
Canal - MNBC	*	-1.46833	0.196975
F - FC	*	-0.45	0.182363
F - MNB	*	-0.9225	0.182363
F - MNBC	*	-0.9175	0.182363
FC - MNB	*	-0.4725	0.182363
FC - MNBC	*	-0.4675	0.182363
MNB - MNBC		0.005	0.182363

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para pH

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF	4	9.5
BFC	4	15.625
Canal	3	2.0
F	4	5.5
FC	4	15.375
MNB	4	23.25
MNBC	4	23.75

Estadístico = 24.5011 Valor-P = 0.000422245

## ANOVA para ORP

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	681054.	6	113509.	0.93	0.4937
Intra grupos	2.43571E6	20	121785.		
Total (Corr.)	3.11676E6	26			

## LSD para ORP

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Canal	3	155.3	X
F	4	196.05	X
FC	4	203.925	X
BF	4	213.8	X
MNBC	4	233.875	X
MNB	4	251.45	X
BFC	4	652.175	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BF - BFC		-438.375	514.742
BF - Canal		58.5	555.985
BF - F		17.75	514.742
BF - FC		9.875	514.742
BF - MNB		-37.65	514.742
BF - MNBC		-20.075	514.742
BFC - Canal		496.875	555.985
BFC - F		456.125	514.742
BFC - FC		448.25	514.742
BFC - MNB		400.725	514.742
BFC - MNBC		418.3	514.742
Canal - F		-40.75	555.985
Canal - FC		-48.625	555.985
Canal - MNB		-96.15	555.985
Canal - MNBC		-78.575	555.985
F - FC		-7.875	514.742
F - MNB		-55.4	514.742
F - MNBC		-37.825	514.742
FC - MNB		-47.525	514.742
FC - MNBC		-29.95	514.742
MNB - MNBC		17.575	514.742

\* indica una diferencia significativa.

## Kruskal-Wallis para ORP

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BF	4	16.5
BFC	4	13.75
Canal	3	2.0
F	4	6.25
FC	4	11.5
MNB	4	24.5
MNBC	4	20.5

Estadístico = 21.1508 Valor-P = 0.00172359

## ANOVA para oxígeno disuelto

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	39.7515	6	6.62526	41.43	0.0000
Intra grupos	3.19799	20	0.1599		
Total (Corr.)	42.9495	26			

## LSD para oxígeno disuelto

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F	4	1.275	X
BFC	4	1.6075	XX
FC	4	1.645	XX
BF	4	1.785	XX
Canal	3	2.06333	X
MNB	4	3.9075	X
MNBC	4	4.5775	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF - BFC		0.1775	0.589816
BF - Canal		-0.278333	0.637074
BF - F		0.51	0.589816
BF - FC		0.14	0.589816
BF - MNB	*	-2.1225	0.589816
BF - MNBC	*	-2.7925	0.589816
BFC - Canal		-0.455833	0.637074
BFC - F		0.3325	0.589816
BFC - FC		-0.0375	0.589816
BFC - MNB	*	-2.3	0.589816
BFC - MNBC	*	-2.97	0.589816
Canal - F	*	0.788333	0.637074
Canal - FC		0.418333	0.637074
Canal - MNB	*	-1.84417	0.637074
Canal - MNBC	*	-2.51417	0.637074
F - FC		-0.37	0.589816
F - MNB	*	-2.6325	0.589816
F - MNBC	*	-3.3025	0.589816
FC - MNB	*	-2.2625	0.589816
FC - MNBC	*	-2.9325	0.589816
MNB - MNBC	*	-0.67	0.589816

\* indica una diferencia significativa.

## Kruskal-Wallis para oxígeno disuelto

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF	4	13.375
BFC	4	8.5
Canal	3	17.8333
F	4	2.5
FC	4	9.75
MNB	4	22.25
MNBC	4	24.75

Estadístico = 23.8548 Valor-P = 0.000555358

## ANOVA para conductividad eléctrica

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.30112	6	0.716853	12.23	0.0000
Intra grupos	1.17194	20	0.0585972		
Total (Corr.)	5.47306	26			

## LSD para conductividad eléctrica

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Canal	3	0.643667	X
BF	4	1.08958	X
BFC	4	1.2585	XX
MNBC	4	1.56925	XX
FC	4	1.611	XX
MNB	4	1.84975	X
F	4	1.92025	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BF - BFC		-0.168925	0.357052
BF - Canal	*	0.445908	0.38566
BF - F	*	-0.830675	0.357052
BF - FC	*	-0.521425	0.357052
BF - MNB	*	-0.760175	0.357052
BF - MNBC	*	-0.479675	0.357052
BFC - Canal	*	0.614833	0.38566
BFC - F	*	-0.66175	0.357052
BFC - FC		-0.3525	0.357052
BFC - MNB	*	-0.59125	0.357052
BFC - MNBC		-0.31075	0.357052
Canal - F	*	-1.27658	0.38566
Canal - FC	*	-0.967333	0.38566
Canal - MNB	*	-1.20608	0.38566
Canal - MNBC	*	-0.925583	0.38566
F - FC		0.30925	0.357052
F - MNB		0.0705	0.357052
F - MNBC		0.351	0.357052
FC - MNB		-0.23875	0.357052
FC - MNBC		0.04175	0.357052
MNB - MNBC		0.2805	0.357052

\* indica una diferencia significativa.

## Kruskal-Wallis para conductividad eléctrica

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BF	4	7.0
BFC	4	9.5
Canal	3	2.66667
F	4	24.0
FC	4	17.0
MNB	4	20.75
MNBC	4	14.25

Estadístico = 20.3307 Valor-P = 0.00241786

## ANOVA para SDT

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.0844E6	6	180733.	12.08	0.0000
Intra grupos	299294.	20	14964.7		
Total (Corr.)	1.38369E6	26			

## LSD para SDT

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Canal	3	322.0	X
BF	4	545.0	X
BFC	4	617.0	XX
MNBC	4	784.5	XX
FC	4	805.5	X
MNB	4	924.75	X
F	4	960.25	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BF - BFC		-72.0	180.437
BF - Canal	*	223.0	194.895
BF - F	*	-415.25	180.437
BF - FC	*	-260.5	180.437
BF - MNB	*	-379.75	180.437
BF - MNBC	*	-239.5	180.437
BFC - Canal	*	295.0	194.895
BFC - F	*	-343.25	180.437
BFC - FC	*	-188.5	180.437
BFC - MNB	*	-307.75	180.437
BFC - MNBC		-167.5	180.437
Canal - F	*	-638.25	194.895
Canal - FC	*	-483.5	194.895
Canal - MNB	*	-602.75	194.895
Canal - MNBC	*	-462.5	194.895
F - FC		154.75	180.437
F - MNB		35.5	180.437
F - MNBC		175.75	180.437
FC - MNB		-119.25	180.437
FC - MNBC		21.0	180.437
MNB - MNBC		140.25	180.437

\* indica una diferencia significativa.

## Kruskal-Wallis para SDT

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BF	4	7.0
BFC	4	9.5
Canal	3	2.66667
F	4	24.0
FC	4	17.0
MNB	4	20.625
MNBC	4	14.375

Estadístico = 20.2357 Valor-P = 0.00251414

## ANOVA para salinidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.14747	6	0.191245	12.18	0.0000
Intra grupos	0.314092	20	0.0157046		
Total (Corr.)	1.46156	26			

## LSD para salinidad

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Canal	3	0.313333	X
BF	4	0.54	X
BFC	4	0.6275	XX
MNBC	4	0.79	XX
FC	4	0.8075	XX
MNB	4	0.94	X
F	4	0.9675	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BF - BFC		-0.0875	0.184844
BF - Canal	*	0.226667	0.199655
BF - F	*	-0.4275	0.184844
BF - FC	*	-0.2675	0.184844
BF - MNB	*	-0.4	0.184844
BF - MNBC	*	-0.25	0.184844
BFC - Canal	*	0.314167	0.199655
BFC - F	*	-0.34	0.184844
BFC - FC		-0.18	0.184844
BFC - MNB	*	-0.3125	0.184844
BFC - MNBC		-0.1625	0.184844
Canal - F	*	-0.654167	0.199655
Canal - FC	*	-0.494167	0.199655
Canal - MNB	*	-0.626667	0.199655
Canal - MNBC	*	-0.476667	0.199655
F - FC		0.16	0.184844
F - MNB		0.0275	0.184844
F - MNBC		0.1775	0.184844
FC - MNB		-0.1325	0.184844
FC - MNBC		0.0175	0.184844
MNB - MNBC		0.15	0.184844

\* indica una diferencia significativa.

## Kruskal-Wallis para salinidad

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BF	4	6.875
BFC	4	9.5
Canal	3	2.83333
F	4	23.625
FC	4	16.375
MNB	4	21.375
MNBC	4	14.625

Estadístico = 20.202 Valor-P = 0.00254914

## ANOVA para carbono

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	35.1458	4	8.78645	0.72	0.5948
Intra grupos	171.785	14	12.2703		
Total (Corr.)	206.93	18			

## LSD para carbono

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
BFC	4	19.8	X
MNBC	4	21.1393	X
BF	4	21.7784	X
MNB	4	22.6675	X
Canal	3	23.9919	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BF - BFC		1.97835	5.31249
BF - Canal		-2.2135	5.73815
BF - MNB		-0.889075	5.31249
BF - MNBC		0.639075	5.31249
BFC - Canal		-4.19185	5.73815
BFC - MNB		-2.86742	5.31249
BFC - MNBC		-1.33928	5.31249
Canal - MNB		1.32443	5.73815
Canal - MNBC		2.85258	5.73815
MNB - MNBC		1.52815	5.31249

\* indica una diferencia significativa.

## Kruskal-Wallis para carbono

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BF	4	10.75
BFC	4	7.25
Canal	3	13.6667
MNB	4	10.0
MNBC	4	9.25

Estadístico = 2.37105 Valor-P = 0.667865

## ANOVA para nitrógeno total

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	6.98185	4	1.74546	2.65	0.1570
Intra grupos	3.29396	5	0.658791		
Total (Corr.)	10.2758	9			

## LSD para nitrógeno total

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
MNBC	2	26.6831	X
BFC	2	27.8015	XX
Canal	2	28.5274	XX
BF	2	28.5765	XX
MNB	2	29.0956	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BF - BFC		0.77495	2.08644
BF - Canal		0.04905	2.08644
BF - MNB		-0.5192	2.08644
BF - MNBC		1.89335	2.08644
BFC - Canal		-0.7259	2.08644
BFC - MNB		-1.29415	2.08644
BFC - MNBC		1.1184	2.08644
Canal - MNB		-0.56825	2.08644
Canal - MNBC		1.8443	2.08644
MNB - MNBC	*	2.41255	2.08644

\* indica una diferencia significativa.

#### Kruskal-Wallis para nitrógeno total

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BF	2	6.0
BFC	2	5.0
Canal	2	6.5
MNB	2	8.5
MNBC	2	1.5

Estadístico = 5.78182 Valor-P = 0.216045

#### ANOVA para Fe

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.76603	4	0.691506	0.39	0.8118
Intra grupos	78.9581	45	1.75462		
Total (Corr.)	81.7241	49			

#### LSD para Fe

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
FC	12	39.1298	X
Canal	3	39.1508	X
BF	12	39.3834	X
F	11	39.5853	X
BFC	12	39.7414	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BF - BFC		-0.358	1.08918
BF - Canal		0.232583	1.72214
BF - F		-0.201856	1.11366
BF - FC		0.253583	1.08918
BFC - Canal		0.590583	1.72214
BFC - F		0.156144	1.11366
BFC - FC		0.611583	1.08918
Canal - F		-0.434439	1.73773
Canal - FC		0.021	1.72214
F - FC		0.455439	1.11366

\* indica una diferencia significativa.

#### Kruskal-Wallis para Fe

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BF	12	23.9167
BFC	12	29.1667
Canal	3	20.3333

F	11	27.6364
FC	12	22.75
Estadístico = 1.94106 Valor-P = 0.746599		

### ANOVA para Cd

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00482252	4	0.00120563	0.52	0.7220
Intra grupos	0.106819	46	0.00232216		
Total (Corr.)	0.111642	50			

### LSD para Cd

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BF	12	0.253083	X
BFC	12	0.256917	X
F	12	0.261333	X
FC	12	0.268333	X
Canal	3	0.294	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF - BFC		-0.00383333	0.0395997
BF - Canal		-0.0409167	0.0626127
BF - F		-0.00825	0.0395997
BF - FC		-0.01525	0.0395997
BFC - Canal		-0.0370833	0.0626127
BFC - F		-0.00441667	0.0395997
BFC - FC		-0.0114167	0.0395997
Canal - F		0.0326667	0.0626127
Canal - FC		0.0256667	0.0626127
F - FC		-0.007	0.0395997

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Cd

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF	12	22.5
BFC	12	24.625
Canal	3	33.0
F	12	27.0417
FC	12	28.0833

Estadístico = 1.72803 Valor-P = 0.785619

### ANOVA para Mn

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0250514	4	0.00626285	0.72	0.5813
Intra grupos	0.381453	44	0.00866938		
Total (Corr.)	0.406504	48			

### LSD para Mn

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Canal	3	0.818667	X

BFC	10	0.8407	X
BF	12	0.84475	X
FC	12	0.849333	X
F	12	0.893083	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF - BFC		0.00405	0.080347
BF - Canal		0.0260833	0.121128
BF - F		-0.0483333	0.0766079
BF - FC		-0.00458333	0.0766079
BFC - Canal		0.0220333	0.123526
BFC - F		-0.0523833	0.080347
BFC - FC		-0.00863333	0.080347
Canal - F		-0.0744167	0.121128
Canal - FC		-0.0306667	0.121128
F - FC		0.04375	0.0766079

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Mn

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF	12	22.9167
BFC	10	22.65
Canal	3	21.0
F	12	30.75
FC	12	24.2917

Estadístico = 2.73373 Valor-P = 0.603326

### ANOVA para Cu

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.139509	4	0.0348771	1.71	0.1652
Intra grupos	0.919753	45	0.020439		
Total (Corr.)	1.05926	49			

### LSD para Cu

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Canal	3	0.627667	XX
BFC	11	0.657364	X
BF	12	0.658667	X
F	12	0.689333	XX
FC	12	0.783583	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF - BFC		0.00130303	0.120196
BF - Canal		0.031	0.185869
BF - F		-0.0306667	0.117554
BF - FC	*	-0.124917	0.117554
BFC - Canal		0.029697	0.187551
BFC - F		-0.0319697	0.120196
BFC - FC	*	-0.12622	0.120196
Canal - F		-0.0616667	0.185869
Canal - FC		-0.155917	0.185869
F - FC		-0.09425	0.117554

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Cu

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF	12	23.25
BFC	11	23.1364
Canal	3	21.0
F	12	27.75
FC	12	28.7917

Estadístico = 1.75888 Valor-P = 0.779997

### ANOVA para Ni

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0298049	4	0.00745123	0.91	0.4647
Intra grupos	0.367336	45	0.00816301		
Total (Corr.)	0.39714	49			

### LSD para Ni

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BFC	12	1.45783	X
BF	11	1.46155	X
F	12	1.48075	X
FC	12	1.51142	X
Canal	3	1.533	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF - BFC		0.00371212	0.07596
BF - Canal		-0.0714545	0.118526
BF - F		-0.0192045	0.07596
BF - FC		-0.0498712	0.07596
BFC - Canal		-0.0751667	0.117463
BFC - F		-0.0229167	0.0742903
BFC - FC		-0.0535833	0.0742903
Canal - F		0.05225	0.117463
Canal - FC		0.0215833	0.117463
F - FC		-0.0306667	0.0742903

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Ni

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF	11	22.7727
BFC	12	21.75
Canal	3	35.0
F	12	24.625
FC	12	30.25

Estadístico = 3.77206 Valor-P = 0.437732

## Anexo 5. Aumento en el tiempo de retención

### ANOVA para pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.11664	6	0.519441	108.17	0.0000
Intra grupos	0.134453	28	0.0048019		
Total (Corr.)	3.2511	34			

### LSD para pH

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BF-S3	6	7.56	X
BF-S2	6	7.82	X
BF-S1	5	7.836	X
Canal	2	8.1	X
C-S1	5	8.234	X
C-S2	6	8.30333	X
C-S3	5	8.398	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2		0.016	0.0859527
BF-S1 - BF-S3	*	0.276	0.0859527
BF-S1 - C-S1	*	-0.398	0.0897747
BF-S1 - C-S2	*	-0.467333	0.0859527
BF-S1 - C-S3	*	-0.562	0.0897747
BF-S1 - Canal	*	-0.264	0.118761
BF-S2 - BF-S3	*	0.26	0.0819527
BF-S2 - C-S1	*	-0.414	0.0859527
BF-S2 - C-S2	*	-0.483333	0.0819527
BF-S2 - C-S3	*	-0.578	0.0859527
BF-S2 - Canal	*	-0.28	0.115899
BF-S3 - C-S1	*	-0.674	0.0859527
BF-S3 - C-S2	*	-0.743333	0.0819527
BF-S3 - C-S3	*	-0.838	0.0859527
BF-S3 - Canal	*	-0.54	0.115899
C-S1 - C-S2		-0.0693333	0.0859527
C-S1 - C-S3	*	-0.164	0.0897747
C-S1 - Canal	*	0.134	0.118761
C-S2 - C-S3	*	-0.0946667	0.0859527
C-S2 - Canal	*	0.203333	0.115899
C-S3 - Canal	*	0.298	0.118761

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para pH

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	5	12.4
BF-S2	6	11.6667
BF-S3	6	3.5
C-S1	5	23.0
C-S2	6	26.6667
C-S3	5	33.0
Canal	2	18.5

Estadístico = 32.0147 Valor-P = 0.0000162119

### ANOVA para ORP

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	14966.8	6	2494.47	<b>46.41</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	1397.55	26	53.7521		
Total (Corr.)	16364.4	32			

### LSD para ORP

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
BF-S1	5	80.36	X
Canal	2	92.45	XX
C-S1	5	95.46	X
BF-S2	5	106.48	X
C-S2	5	120.54	X
BF-S3	6	128.433	X
C-S3	5	145.74	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BF-S1 - BF-S2	*	<b>-26.12</b>	9.5313
BF-S1 - BF-S3	*	<b>-48.0733</b>	9.12553
BF-S1 - C-S1	*	<b>-15.1</b>	9.5313
BF-S1 - C-S2	*	<b>-40.18</b>	9.5313
BF-S1 - C-S3	*	<b>-65.38</b>	9.5313
BF-S1 - Canal		-12.09	12.6087
BF-S2 - BF-S3	*	<b>-21.9533</b>	9.12553
BF-S2 - C-S1	*	<b>11.02</b>	9.5313
BF-S2 - C-S2	*	<b>-14.06</b>	9.5313
BF-S2 - C-S3	*	<b>-39.26</b>	9.5313
BF-S2 - Canal	*	<b>14.03</b>	12.6087
BF-S3 - C-S1	*	<b>32.9733</b>	9.12553
BF-S3 - C-S2		7.89333	9.12553
BF-S3 - C-S3	*	<b>-17.3067</b>	9.12553
BF-S3 - Canal	*	<b>35.9833</b>	12.3049
C-S1 - C-S2	*	<b>-25.08</b>	9.5313
C-S1 - C-S3	*	<b>-50.28</b>	9.5313
C-S1 - Canal		3.01	12.6087
C-S2 - C-S3	*	<b>-25.2</b>	9.5313
C-S2 - Canal	*	<b>28.09</b>	12.6087
C-S3 - Canal	*	<b>53.29</b>	12.6087

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para ORP

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BF-S1	5	4.0
BF-S2	5	14.0
BF-S3	6	24.8333
C-S1	5	9.2
C-S2	5	20.8
C-S3	5	31.0
Canal	2	8.5

Estadístico = 29.5137 Valor-P = **0.0000486231**

### ANOVA para Oxígeno disuelto

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	18.5113	6	3.08522	<b>76.63</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	1.0468	26	0.0402615		
Total (Corr.)	19.5581	32			

## LSD para Oxígeno disuelto

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BF-S1	5	1.426	X
C-S3	5	1.44	X
BF-S3	5	1.498	X
C-S2	5	1.936	X
C-S1	6	2.025	X
BF-S2	5	2.812	X
Canal	2	4.315	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2	*	-1.386	0.260855
BF-S1 - BF-S3		-0.072	0.260855
BF-S1 - C-S1	*	-0.599	0.24975
BF-S1 - C-S2	*	-0.51	0.260855
BF-S1 - C-S3		-0.014	0.260855
BF-S1 - Canal	*	-2.889	0.345079
BF-S2 - BF-S3	*	1.314	0.260855
BF-S2 - C-S1	*	0.787	0.24975
BF-S2 - C-S2	*	0.876	0.260855
BF-S2 - C-S3	*	1.372	0.260855
BF-S2 - Canal	*	-1.503	0.345079
BF-S3 - C-S1	*	-0.527	0.24975
BF-S3 - C-S2	*	-0.438	0.260855
BF-S3 - C-S3		0.058	0.260855
BF-S3 - Canal	*	-2.817	0.345079
C-S1 - C-S2		0.089	0.24975
C-S1 - C-S3	*	0.585	0.24975
C-S1 - Canal	*	-2.29	0.336763
C-S2 - C-S3	*	0.496	0.260855
C-S2 - Canal	*	-2.379	0.345079
C-S3 - Canal	*	-2.875	0.345079

\* indica una diferencia significativa.

## Kruskal-Wallis para Oxígeno disuelto

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	5	6.8
BF-S2	5	29.0
BF-S3	5	10.5
C-S1	6	21.1667
C-S2	5	19.0
C-S3	5	8.5
Canal	2	32.5

Estadístico = 25.8628 Valor-P = 0.000236129

## ANOVA para Conductividad eléctrica

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	657219.	6	109536.	38.11	0.0000
Intra grupos	60357.8	21	2874.18		
Total (Corr.)	717576.	27			

## LSD para Conductividad eléctrica

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C-S2	6	507.0	X
BF-S2	5	523.8	X
C-S1	4	560.25	X
BF-S1	4	654.5	X

Canal	2	790.5	X
C-S3	3	810.0	X
BF-S3	4	926.75	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2	*	130.7	74.7906
BF-S1 - BF-S3	*	-272.25	78.8362
BF-S1 - C-S1	*	94.25	78.8362
BF-S1 - C-S2	*	147.5	71.9673
BF-S1 - C-S3	*	-155.5	85.1528
BF-S1 - Canal	*	-136.0	96.5542
BF-S2 - BF-S3	*	-402.95	74.7906
BF-S2 - C-S1		-36.45	74.7906
BF-S2 - C-S2		16.8	67.5113
BF-S2 - C-S3	*	-286.2	81.4217
BF-S2 - Canal	*	-266.7	93.2802
BF-S3 - C-S1	*	366.5	78.8362
BF-S3 - C-S2	*	419.75	71.9673
BF-S3 - C-S3	*	116.75	85.1528
BF-S3 - Canal	*	136.25	96.5542
C-S1 - C-S2		53.25	71.9673
C-S1 - C-S3	*	-249.75	85.1528
C-S1 - Canal	*	-230.25	96.5542
C-S2 - C-S3	*	-303.0	78.8362
C-S2 - Canal	*	-283.5	91.0322
C-S3 - Canal		19.5	101.777

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Conductividad eléctrica

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	4	17.25
BF-S2	5	7.2
BF-S3	4	25.75
C-S1	4	11.5
C-S2	6	6.5
C-S3	3	23.0
Canal	2	22.0

Estadístico = 22.9389 Valor-P = 0.000817198

### ANOVA para SDT

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	290872.	6	48478.6	19.57	0.0000
Intra grupos	64393.4	26	2476.67		
Total (Corr.)	355265.	32			

### LSD para SDT

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C-S2	6	267.333	X
C-S1	5	305.6	XX
BF-S2	6	312.5	XX
BF-S1	5	350.4	X
Canal	3	438.333	X
C-S3	4	482.25	XX
BF-S3	4	543.75	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2		37.9	61.9433
BF-S1 - BF-S3	*	-193.35	68.6222

BF-S1 - C-S1		44.8	64.6977
BF-S1 - C-S2	*	83.0667	61.9433
BF-S1 - C-S3	*	-131.85	68.6222
BF-S1 - Canal	*	-87.9333	74.7064
BF-S2 - BF-S3	*	-231.25	66.0318
BF-S2 - C-S1		6.9	61.9433
BF-S2 - C-S2		45.1667	59.0606
BF-S2 - C-S3	*	-169.75	66.0318
BF-S2 - Canal	*	-125.833	72.3342
BF-S3 - C-S1	*	238.15	68.6222
BF-S3 - C-S2	*	276.417	66.0318
BF-S3 - C-S3		61.5	72.3342
BF-S3 - Canal	*	105.417	78.1299
C-S1 - C-S2		38.2667	61.9433
C-S1 - C-S3	*	-176.65	68.6222
C-S1 - Canal	*	-132.733	74.7064
C-S2 - C-S3	*	-214.917	66.0318
C-S2 - Canal	*	-171.0	72.3342
C-S3 - Canal		43.9167	78.1299

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para SDT

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	5	18.7
BF-S2	6	13.25
BF-S3	4	30.5
C-S1	5	12.8
C-S2	6	3.5
C-S3	4	26.5
Canal	3	25.0

Estadístico = 27.4113 Valor-P = 0.000121244

### ANOVA para salinidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.305741	6	0.0509568	19.27	0.0000
Intra grupos	0.06875	26	0.00264423		
Total (Corr.)	0.374491	32			

### LSD para salinidad

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C-S2	6	0.26	X
C-S1	5	0.294	XX
BF-S2	6	0.306667	XX
BF-S1	5	0.338	X
Canal	3	0.433333	X
C-S3	4	0.4775	XX
BF-S3	4	0.5425	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2		0.0313333	0.0640044
BF-S1 - BF-S3	*	-0.2045	0.0709056
BF-S1 - C-S1		0.044	0.0668504
BF-S1 - C-S2	*	0.078	0.0640044
BF-S1 - C-S3	*	-0.1395	0.0709056
BF-S1 - Canal	*	-0.0953333	0.0771922
BF-S2 - BF-S3	*	-0.235833	0.0682289
BF-S2 - C-S1		0.0126667	0.0640044
BF-S2 - C-S2		0.0466667	0.0610258

BF-S2 - C-S3	*	-0.170833	0.0682289
BF-S2 - Canal	*	-0.126667	0.0747411
BF-S3 - C-S1	*	0.2485	0.0709056
BF-S3 - C-S2	*	0.2825	0.0682289
BF-S3 - C-S3		0.065	0.0747411
BF-S3 - Canal	*	0.109167	0.0807296
C-S1 - C-S2		0.034	0.0640044
C-S1 - C-S3	*	-0.1835	0.0709056
C-S1 - Canal	*	-0.139333	0.0771922
C-S2 - C-S3	*	-0.2175	0.0682289
C-S2 - Canal	*	-0.173333	0.0747411
C-S3 - Canal		0.0441667	0.0807296

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para salinidad

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	5	18.1
BF-S2	6	14.1667
BF-S3	4	30.5
C-S1	5	12.0
C-S2	6	3.75
C-S3	4	26.375
Canal	3	25.1667

Estadístico = 27.0513 Valor-P = 0.000141636

### ANOVA para nitrógeno

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1893.96	6	315.659	44.51	0.0000
Intra grupos	170.215	24	7.09228		
Total (Corr.)	2064.17	30			

### LSD para nitrógeno

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BF-S3	4	11.6341	X
BF-S2	4	16.1199	X
BF-S1	4	26.5401	X
C-S1	4	31.4787	X
Canal	3	32.0	X
C-S3	6	32.1373	X
C-S2	6	32.2578	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2	*	10.4203	3.88658
BF-S1 - BF-S3	*	14.906	3.88658
BF-S1 - C-S1	*	-4.9386	3.88658
BF-S1 - C-S2	*	-5.71768	3.54794
BF-S1 - C-S3	*	-5.5971	3.54794
BF-S1 - Canal	*	-5.45985	4.19798
BF-S2 - BF-S3	*	4.48573	3.88658
BF-S2 - C-S1	*	-15.3589	3.88658
BF-S2 - C-S2	*	-16.138	3.54794
BF-S2 - C-S3	*	-16.0174	3.54794
BF-S2 - Canal	*	-15.8802	4.19798
BF-S3 - C-S1	*	-19.8446	3.88658
BF-S3 - C-S2	*	-20.6237	3.54794
BF-S3 - C-S3	*	-20.5031	3.54794
BF-S3 - Canal	*	-20.3659	4.19798
C-S1 - C-S2		-0.779083	3.54794

C-S1 - C-S3	-0.6585	3.54794
C-S1 - Canal	-0.52125	4.19798
C-S2 - C-S3	0.120583	3.17338
C-S2 - Canal	0.257833	3.88658
C-S3 - Canal	0.13725	3.88658

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para nitrógeno

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	4	17.25
BF-S2	4	6.5
BF-S3	4	2.5
C-S1	4	16.5
C-S2	6	22.8333
C-S3	6	21.3333
Canal	3	20.0

Estadístico = 19.3075 Valor-P = 0.0036747

### ANOVA para carbono

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2127.78	6	354.63	13.09	0.0000
Intra grupos	541.878	20	27.0939		
Total (Corr.)	2669.66	26			

### LSD para carbono

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C-S3	6	60.2742	X
BF-S2	2	72.6778	X
C-S2	6	80.2515	XX
C-S1	4	81.2496	XX
Canal	3	82.0	XX
BF-S1	2	82.8634	XX
BF-S3	4	83.1098	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2		10.1856	10.8578
BF-S1 - BF-S3		-0.24645	9.40316
BF-S1 - C-S1		1.6138	9.40316
BF-S1 - C-S2		2.61187	8.86539
BF-S1 - C-S3	*	22.5892	8.86539
BF-S1 - Canal		0.8634	9.9118
BF-S2 - BF-S3	*	-10.432	9.40316
BF-S2 - C-S1		-8.5718	9.40316
BF-S2 - C-S2		-7.57373	8.86539
BF-S2 - C-S3	*	12.4036	8.86539
BF-S2 - Canal		-9.3222	9.9118
BF-S3 - C-S1		1.86025	7.67765
BF-S3 - C-S2		2.85832	7.0087
BF-S3 - C-S3	*	22.8356	7.0087
BF-S3 - Canal		1.10985	8.29281
C-S1 - C-S2		0.998067	7.0087
C-S1 - C-S3	*	20.9754	7.0087
C-S1 - Canal		-0.7504	8.29281
C-S2 - C-S3	*	19.9773	6.26877
C-S2 - Canal		-1.74847	7.67765
C-S3 - Canal	*	-21.7258	7.67765

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para carbono

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	2	19.5
BF-S2	2	8.5
BF-S3	4	19.5
C-S1	4	18.0
C-S2	6	16.1667
C-S3	6	3.5
Canal	3	18.0

Estadístico = 16.5661 Valor-P = 0.0110172

### ANOVA para Zn

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7.7534	6	1.29223	85.42	0.0000
Intra grupos	0.363087	24	0.0151286		
Total (Corr.)	8.11649	30			

### LSD para Zn

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C-S3	5	0.005	X
BF-S3	4	0.017	X
C-S2	5	0.213	X
BF-S2	4	0.68025	X
C-S1	5	1.0908	X
Canal	2	1.1185	X
BF-S1	6	1.19267	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2	*	0.512417	0.163864
BF-S1 - BF-S3	*	1.17567	0.163864
BF-S1 - C-S1		0.101867	0.153718
BF-S1 - C-S2	*	0.979667	0.153718
BF-S1 - C-S3	*	1.18767	0.153718
BF-S1 - Canal		0.0741667	0.207273
BF-S2 - BF-S3	*	0.66325	0.179504
BF-S2 - C-S1	*	-0.41055	0.170292
BF-S2 - C-S2	*	0.46725	0.170292
BF-S2 - C-S3	*	0.67525	0.170292
BF-S2 - Canal	*	-0.43825	0.219847
BF-S3 - C-S1	*	-1.0738	0.170292
BF-S3 - C-S2	*	-0.196	0.170292
BF-S3 - C-S3		0.012	0.170292
BF-S3 - Canal	*	-1.1015	0.219847
C-S1 - C-S2	*	0.8778	0.160553
C-S1 - C-S3	*	1.0858	0.160553
C-S1 - Canal		-0.0277	0.212392
C-S2 - C-S3	*	0.208	0.160553
C-S2 - Canal	*	-0.9055	0.212392
C-S3 - Canal	*	-1.1135	0.212392

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Zn

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	6	26.3333
BF-S2	4	16.5
BF-S3	4	5.25
C-S1	5	23.4

C-S2	5	12.0
C-S3	5	4.8
Canal	2	25.0

---

Estadístico = 27.4908 Valor-P = 0.000117144

### ANOVA para Cd

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0102449	6	0.00170748	5.19	0.0018
Intra grupos	0.0072339	22	0.000328814		
Total (Corr.)	0.0174788	28			

### LSD para Cd

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BF-S3	3	0.171	X
Canal	2	0.179	XX
C-S3	5	0.1854	XX
C-S2	6	0.203833	XX
BF-S1	5	0.215	X
BF-S2	3	0.223333	X
C-S1	5	0.2254	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2		-0.00833333	0.0274636
BF-S1 - BF-S3	*	0.044	0.0274636
BF-S1 - C-S1		-0.0104	0.0237842
BF-S1 - C-S2		0.0111667	0.0227716
BF-S1 - C-S3	*	0.0296	0.0237842
BF-S1 - Canal	*	0.036	0.0314635
BF-S2 - BF-S3	*	0.0523333	0.0307052
BF-S2 - C-S1		-0.00206667	0.0274636
BF-S2 - C-S2		0.0195	0.0265915
BF-S2 - C-S3	*	0.0379333	0.0274636
BF-S2 - Canal	*	0.0443333	0.0343295
BF-S3 - C-S1	*	-0.0544	0.0274636
BF-S3 - C-S2	*	-0.0328333	0.0265915
BF-S3 - C-S3		-0.0144	0.0274636
BF-S3 - Canal		-0.008	0.0343295
C-S1 - C-S2		0.0215667	0.0227716
C-S1 - C-S3	*	0.04	0.0237842
C-S1 - Canal	*	0.0464	0.0314635
C-S2 - C-S3		0.0184333	0.0227716
C-S2 - Canal		0.0248333	0.0307052
C-S3 - Canal		0.0064	0.0314635

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Cd

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	5	18.2
BF-S2	3	21.0
BF-S3	3	2.0
C-S1	5	23.8
C-S2	6	16.4167
C-S3	5	9.1
Canal	2	6.0

Estadístico = 19.3595 Valor-P = 0.00359763

### ANOVA para Cu

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
--------	-------------------	----	----------------	---------	---------

Entre grupos	1.76252	6	0.293753	4.16	0.0094
Intra grupos	1.20169	17	0.0706876		
Total (Corr.)	2.9642	23			

### LSD para Cu

Grupo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Canal	3	0.994667	X
BF-S1	4	1.00925	X
BF-S3	5	1.0874	X
C-S1	5	1.1442	X
BF-S2	1	1.188	X
C-S2	5	1.2576	X
C-S3	1	2.391	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2		-0.17875	0.627151
BF-S1 - BF-S3		-0.07815	0.37629
BF-S1 - C-S1		-0.13495	0.37629
BF-S1 - C-S2		-0.24835	0.37629
BF-S1 - C-S3	*	-1.38175	0.627151
BF-S1 - Canal		0.0145833	0.428426
BF-S2 - BF-S3		0.1006	0.61448
BF-S2 - C-S1		0.0438	0.61448
BF-S2 - C-S2		-0.0696	0.61448
BF-S2 - C-S3	*	-1.203	0.79329
BF-S2 - Canal		0.193333	0.647719
BF-S3 - C-S1		-0.0568	0.35477
BF-S3 - C-S2		-0.1702	0.35477
BF-S3 - C-S3	*	-1.3036	0.61448
BF-S3 - Canal		0.0927333	0.409653
C-S1 - C-S2		-0.1134	0.35477
C-S1 - C-S3	*	-1.2468	0.61448
C-S1 - Canal		0.149533	0.409653
C-S2 - C-S3	*	-1.1334	0.61448
C-S2 - Canal		0.262933	0.409653
C-S3 - Canal	*	1.39633	0.647719

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Cu

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	4	9.5
BF-S2	1	17.0
BF-S3	5	12.8
C-S1	5	8.8
C-S2	5	17.0
C-S3	1	24.0
Canal	3	9.33333

Estadístico = 7.77805 Valor-P = 0.254819

### ANOVA para Ni

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.353852	6	0.0589753	13.53	0.0000
Intra grupos	0.104575	24	0.00435731		
Total (Corr.)	0.458427	30			

## LSD para Ni

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BF-S2	4	0	X
BF-S3	3	0	X
C-S1	5	0	X
C-S2	5	0	X
C-S3	6	0	X
BF-S1	6	0.0735	X
Canal	2	0.434	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2		0.0735	0.0879413
BF-S1 - BF-S3		0.0735	0.0963349
BF-S1 - C-S1		0.0735	0.0824963
BF-S1 - C-S2		0.0735	0.0824963
BF-S1 - C-S3		0.0735	0.0786571
BF-S1 - Canal	*	-0.3605	0.111238
BF-S2 - BF-S3		0	0.104054
BF-S2 - C-S1		0	0.0913913
BF-S2 - C-S2		0	0.0913913
BF-S2 - C-S3		0	0.0879413
BF-S2 - Canal	*	-0.434	0.117986
BF-S3 - C-S1		0	0.0994942
BF-S3 - C-S2		0	0.0994942
BF-S3 - C-S3		0	0.0963349
BF-S3 - Canal	*	-0.434	0.124368
C-S1 - C-S2		0	0.0861645
C-S1 - C-S3		0	0.0824963
C-S1 - Canal	*	-0.434	0.113985
C-S2 - C-S3		0	0.0824963
C-S2 - Canal	*	-0.434	0.113985
C-S3 - Canal	*	-0.434	0.111238

\* indica una diferencia significativa.

## Kruskal-Wallis para Ni

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	6	20.75
BF-S2	4	13.5
BF-S3	3	13.5
C-S1	5	13.5
C-S2	5	13.5
C-S3	6	13.5
Canal	2	30.5

Estadístico = 20.6379 Valor-P = 0.00213057

## ANOVA para Fe

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.54161	6	0.256935	2.26	0.0678
Intra grupos	3.07128	27	0.113751		
Total (Corr.)	4.61289	33			

## LSD para Fe

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BF-S1	5	0	X
BF-S3	5	0.207	XX
C-S1	6	0.305	XXX
C-S2	6	0.362167	XXX

BF-S2	5	0.4732	XX
Canal	2	0.669	XX
C-S3	5	0.6774	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BF-S1 - BF-S2	*	-0.4732	0.437674
BF-S1 - BF-S3		-0.207	0.437674
BF-S1 - C-S1		-0.305	0.419041
BF-S1 - C-S2		-0.362167	0.419041
BF-S1 - C-S3	*	-0.6774	0.437674
BF-S1 - Canal	*	-0.669	0.578988
BF-S2 - BF-S3		0.2662	0.437674
BF-S2 - C-S1		0.1682	0.419041
BF-S2 - C-S2		0.111033	0.419041
BF-S2 - C-S3		-0.2042	0.437674
BF-S2 - Canal		-0.1958	0.578988
BF-S3 - C-S1		-0.098	0.419041
BF-S3 - C-S2		-0.155167	0.419041
BF-S3 - C-S3	*	-0.4704	0.437674
BF-S3 - Canal		-0.462	0.578988
C-S1 - C-S2		-0.0571667	0.39954
C-S1 - C-S3		-0.3724	0.419041
C-S1 - Canal		-0.364	0.565034
C-S2 - C-S3		-0.315233	0.419041
C-S2 - Canal		-0.306833	0.565034
C-S3 - Canal		0.0084	0.578988

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Fe

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BF-S1	5	9.0
BF-S2	5	21.6
BF-S3	5	12.8
C-S1	6	16.5
C-S2	6	18.1667
C-S3	5	24.6
Canal	2	23.5

Estadístico = 10.2372 Valor-P = 0.115011

### ANOVA para Zn en biomasa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10281.0	3	3426.98	21.32	0.0159
Intra grupos	482.12	3	160.707		
Total (Corr.)	10763.1	6			

### LSD para Zn en biomasa

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T0-R	1	0	X
BFR	2	79.6	X
T0-H	2	111.9	X
BFH	2	113.1	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BFH - BFR		33.5	40.3439
BFH - T0-H		1.2	40.3439
BFH - T0-R	*	113.1	49.411
BFR - T0-H		-32.3	40.3439
BFR - T0-R	*	79.6	49.411

T0-H - T0-R \* 111.9 49.411

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Zn en biomasa

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BFH	2	5.5
BFR	2	2.5
T0-H	2	5.5
T0-R	1	1.0

Estadístico = 4.82143 Valor-P = 0.185347

### ANOVA para Cd en biomasa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2737.28	3	912.425	114.34	0.0002
Intra grupos	31.92	4	7.98		
Total (Corr.)	2769.2	7			

### LSD para Cd en biomasa

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BFH	2	0	X
T0-R	1	0	X
T0-H	2	37.6	X
BFR	3	38.6	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BFH - BFR	*	-38.6	7.15981
BFH - T0-H	*	-37.6	7.84317
BFH - T0-R		0	9.60589
BFR - T0-H		1.0	7.15981
BFR - T0-R	*	38.6	9.05652
T0-H - T0-R	*	37.6	9.60589

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Cd en biomasa

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BFH	2	2.0
BFR	3	6.33333
T0-H	2	5.5
T0-R	1	2.0

Estadístico = 5.46414 Valor-P = 0.140797

### ANOVA para Cu en biomasa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	159091.	3	53030.4	11.86	0.0185
Intra grupos	17884.3	4	4471.08		
Total (Corr.)	176975.	7			

### LSD para Cu en biomasa

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T0-R	1	0	X
T0-H	2	0	X
BFR	3	288.6	X
BFH	2	295.2	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BFH - BFR		6.6	169.475
BFH - T0-H	*	295.2	185.651
BFH - T0-R	*	295.2	227.375
BFR - T0-H	*	288.6	169.475
BFR - T0-R	*	288.6	214.371
T0-H - T0-R		0	227.375

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Cu en biomasa

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BFH	2	6.5
BFR	3	5.66667
T0-H	2	2.0
T0-R	1	2.0

Estadístico = 5.39583 Valor-P = 0.145001

### ANOVA para Ni en biomasa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1040.44	3	346.813	2.88	0.1667
Intra grupos	481.96	4	120.49		
Total (Corr.)	1522.4	7			

### LSD para Ni en biomasa

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
BFR	3	0	X
T0-R	1	0	X
BFH	2	18.5	X
T0-H	2	25.9	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
BFH - BFR		18.5	27.8212
BFH - T0-H		-7.4	30.4766
BFH - T0-R		18.5	37.326
BFR - T0-H		-25.9	27.8212
BFR - T0-R		0	35.1913
T0-H - T0-R		25.9	37.326

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Ni en biomasa

Grupo	Tamaño Muestra	Rango Promedio
BFH	2	6.0
BFR	3	2.5
T0-H	2	7.0
T0-R	1	2.5

Estadístico = 6.24324 Valor-P = 0.100355

### ANOVA para Fe en biomasa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	439081.	3	146360.	196.99	0.0006
Intra grupos	2228.92	3	742.973		
Total (Corr.)	441309.	6			

### LSD para Fe en biomasa

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
T0-R	1	0	X
T0-H	2	120.2	X
BFH	2	144.9	X
BFR	2	651.1	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
BFH - BFR	*	-506.2	86.7457
BFH - T0-H		24.7	86.7457
BFH - T0-R	*	144.9	106.241
BFR - T0-H	*	530.9	86.7457
BFR - T0-R	*	651.1	106.241
T0-H - T0-R	*	120.2	106.241

\* indica una diferencia significativa.

### Kruskal-Wallis para Fe en biomasa

<i>Grupo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
BFH	2	4.5
BFR	2	6.5
T0-H	2	2.5
T0-R	1	1.0

Estadístico = 5.67857 Valor-P = 0.128337

## Anexo 6. Correlación de Pearson

	pH	ORP	OD	CE	SDT	PSU	N	Zn	Cd	Cu	Ni	Fe
pH	1.000	0.303	-0.014	-0.238	-0.294	-0.294	0.846	-0.210	-0.118	0.312	-0.083	0.632
ORP	0.303	1.000	-0.298	0.356	0.375	0.378	0.100	-0.834	-0.475	0.255	-0.255	0.383
OD	-0.014	-0.298	1.000	-0.359	-0.305	-0.298	0.033	0.325	-0.013	-0.178	0.508	0.194
CE	-0.238	0.356	-0.359	1.000	0.989	0.987	0.000	-0.205	-0.205	-0.258	0.085	-0.133
SDT	-0.294	0.375	-0.305	0.989	1.000	1.000	-0.131	-0.290	-0.216	-0.284	0.065	-0.113
PSU	-0.294	0.378	-0.298	0.987	1.000	1.000	-0.134	-0.301	-0.211	-0.274	0.064	-0.105
N	0.846	0.100	0.033	0.000	-0.131	-0.134	1.000	0.161	-0.082	0.260	0.159	0.653
Zn	-0.210	-0.834	0.325	-0.205	-0.290	-0.301	0.161	1.000	0.293	-0.286	0.456	-0.217
Cd	-0.118	-0.475	-0.013	-0.205	-0.216	-0.211	-0.082	0.293	1.000	-0.058	0.065	-0.128
Cu	0.312	0.255	-0.178	-0.258	-0.284	-0.274	0.260	-0.286	-0.058	1.000	-0.073	0.188
Ni	-0.083	-0.255	0.508	0.085	0.065	0.064	0.159	0.456	0.065	-0.073	1.000	0.110
Fe	0.632	0.383	0.194	-0.133	-0.113	-0.105	0.653	-0.217	-0.128	0.188	0.110	1.000

## Valores de p para la correlación de Pearson

	pH	ORP	OD	CE	SDT	PSU	N	Zn	Cd	Cu	Ni	Fe
pH	0.0000	0.0641	0.9334	0.1503	0.0728	0.0729	0.0000	0.2490	0.5282	0.1474	0.6501	0.0005
ORP	0.0641	0.0000	0.0694	0.0284	0.0204	0.0194	0.5983	0.0000	0.0069	0.2404	0.1586	0.0535
OD	0.9334	0.0694	0.0000	0.0267	0.0625	0.0688	0.8627	0.0699	0.9457	0.4165	0.0030	0.3429
CE	0.1503	0.0284	0.0267	0.0000	0.0000	0.0000	0.9983	0.2598	0.2698	0.2338	0.6435	0.5162
SDT	0.0728	0.0204	0.0625	0.0000	0.0000	0.0000	0.4911	0.1072	0.2430	0.1890	0.7240	0.5832
PSU	0.0729	0.0194	0.0688	0.0000	0.0000	0.0000	0.4799	0.0944	0.2550	0.2050	0.7282	0.6102
N	0.0000	0.5983	0.8627	0.9983	0.4911	0.4799	0.0000	0.4132	0.6766	0.2677	0.4018	0.0005
Zn	0.2490	0.0000	0.0699	0.2598	0.1072	0.0944	0.4132	0.0000	0.1166	0.1968	0.0100	0.2975
Cd	0.5282	0.0069	0.9457	0.2698	0.2430	0.2550	0.6766	0.1166	0.0000	0.7919	0.7315	0.5513
Cu	0.1474	0.2404	0.4165	0.2338	0.1890	0.2050	0.2677	0.1968	0.7919	0.0000	0.7458	0.4410
Ni	0.6501	0.1586	0.0030	0.6435	0.7240	0.7282	0.4018	0.0100	0.7315	0.7458	0.0000	0.5848
Fe	0.0005	0.0535	0.3429	0.5162	0.5832	0.6102	0.0005	0.2975	0.5513	0.4410	0.5848	0.0000

Anexo 7. Constancia de participación en congreso

**AMIDIQ**  
Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. otorga el presente

**RECONOCIMIENTO**

a:

**Josué Benito Rodríguez Gámez, Refugio Rodríguez Vázquez.**

**Por la presentación del trabajo:**

**REDUCCIÓN DE NITRÓGENO Y LINDANO DE AGUA EN UN SISTEMA DE BIOFILTRACIÓN/OXIGENACIÓN CON MICRONANOBUBUJAS**

**En el área de BIOTECNOLOGÍA en modalidad CARTEL**

ID: 864

**XLIV Encuentro Nacional de la AMIDIQ**

Investigación e industria: inclusión, retos y oportunidades para la Ingeniería Química en México

**UDLAP**

Dr. Karón Romo Hernández  
Presidente del Comité Organizador

Dr. Jorge Raimon Robledo Ortiz  
Presidente Nacional de la AMIDIQ

Dr. Tomás Viveros García  
Presidente del Comité Técnico

Huautlaco, Oaxaca, México 30 de mayo al 2 de junio de 2023