

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Tratamiento Terciario de Agua Residual Doméstica Mediante el Uso de un
Humedal a Diferentes Tiempos de Retención Hidráulica

Por:

BRENDA MARTÍNEZ NAVARRO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE BOTANICA

Tratamiento Terciario de Agua Residual Doméstica Mediante el Uso de un
Humedal a Diferentes Tiempos de Retención Hidráulica

Por:

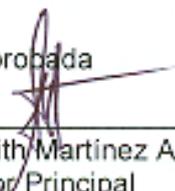
BRENDA MARTÍNEZ NAVARRO

TESIS

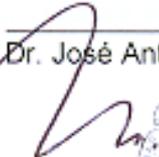
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

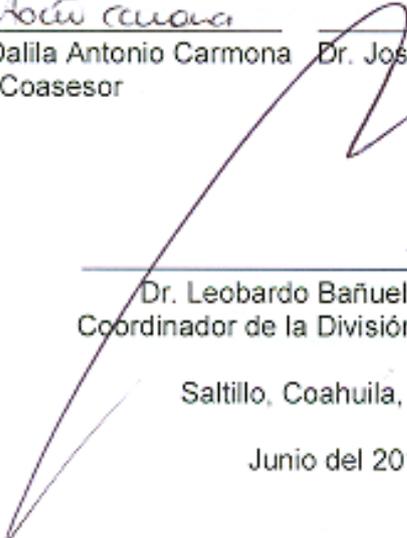
INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada


Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Asesor Principal


M.C. Iveth Dalila Antonio Carmona
Coasesor


Dr. José Antonio Rodríguez de la Garza
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2014

AGRADECIMIENTOS

No hay mejor herencia de los padres hacia los hijos que el estudio, por eso mismo agradezco mucho a mi padre Gregorio Martínez Elías y a mi madre Liduvina Navarro Orozco, por ser los pilares fundamentales en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a la Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, directora de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por mi trabajo y las sugerencias recibidas de la M.C. Iveth Dalila Antonio Carmona. También me gustaría agradecer la ayuda recibida del Dr. José Antonio Rodríguez de la Garza.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud a mis compañeros y amigos Naye, Tomy, Lupita, Isela y José Ángel del Departamento de Botánica.

Finalmente a todas las personas que se cruzaron en este camino y que me dieron palabras de aliento y apoyo.

La gratitud no es la única virtud, pero es la madre de todas las demás.

Marcus Tullius Cicero

DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir, por regalarme una familia maravillosa, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mis padres Liduvina Navarro Orozco y Gregorio Martínez Elías por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre han estado conmigo. Papás gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes. Los quiero con todo mi corazón.

Mis hermanas Angelina, Noelia, Ana Alicia, Sonia, Rosa Azucena y hermano Armando por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

Mis sobrinos y sobrinas para que vean en mí un ejemplo a seguir, los quiero mucho.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”.

Thomas Chalmers

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de depuración con plantas enraizadas.....	6
Figura 2	Humedales de la Planta de Ramos Arizpe Holcim Apasco...	9
Figura 3	Humedales de la Planta de Ramos Arizpe Holcim Apasco...	10
Figura 4	Material utilizado en el experimento (<i>Canna indica</i> y <i>Typha domingensis</i>)	10
Figura 5	Reactores con exceso de biopelícula (antes del lavado).....	12
Figura 6	Después del lavado de los reactores.....	12

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Datos obtenidos de los diferentes parámetros(DQO, sulfatos, nitratos) del TRH de 12 horas de la repetición 1.....	26
Tabla 2	Datos obtenidos del TRH de 12 horas de los diferentes parámetros (DQO, sulfatos, nitratos) repetición 2.....	29
Tabla 3	Datos obtenidos de los diferentes parámetros (DQO, nitratos, sulfatos) del TRH de 12 horas de la repetición 3.....	31
Tabla 4	Datos obtenidos de los parámetros (DQO, sulfatos, nitratos, amoniaco) del TRH de 24 horas	34

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1	Comportamiento de mg DQO/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.....	27
Grafica 2	Comportamiento de mg sulfatos/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.....	27
Grafica 3	Comportamiento de mg nitratos/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.....	28
Grafica 4	Comportamiento del pH en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.....	28
Grafica 5	Comportamiento de mg DQO/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.....	29
Grafica 6	Comportamiento de mg nitratos/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.....	30
Grafica 7	Comportamiento del pH en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.....	30
Grafica 8	Comportamiento de mg DQO/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 21°C.....	31
Grafica 9	Comportamiento de mg sulfatos/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 21°C.....	32
Grafica 10	Comportamiento de mg nitratos/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con	

	una temperatura ambiente de 21°C.....	33
Grafica 11	Comportamiento del pH en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 21°C.....	34
Grafica 12	Comportamiento de mg DQO/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 24 horas, con una temperatura ambiente de 22°C	35
Grafica 13	Comportamiento de mg sulfatos/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 24 horas, con una temperatura ambiente de 22°C	36
Grafica 14	Comportamiento de mg nitratos/l en un sistema humedal tratando agua residual domestica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), aun TRH de 24 horas, con una temperatura ambiente de 22°C	37

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1-3
1.1. Objetivo general.....	4
1.2. Objetivo específico.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Generalidades.....	5
2.1.1. Tratamiento de aguas residuales.....	5
2.1.2. Los humedales.....	5
2.1.2.1 La depuración con plantas enraizadas.....	5
2.1.3. La fitorremediación en México.....	6
2.1.4. Ejemplos de la utilización de la fitorremediación...	6
2.1.4.1 Ejemplo A.....	6
2.1.4.2 Ejemplo B.....	7
2.1.4.3 Ejemplo C.....	7
2.1.4.4 Ejemplo D.....	7
2.1.4.5 Ejemplo E.....	7-8
2.1.4.6 Ejemplo F.....	8
III. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Ubicación del experimento.....	9
3.2. Material experimental.....	10
3.3. Establecimiento del experimento.....	11
3.4. Agua residual.....	11
3.5. Lavado de los reactores.....	11
3.6. Variables a evaluar.....	13
3.6.1. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	13-16
3.6.2. Nitratos.....	17-18
3.6.3. Sulfatos.....	19-21
3.6.4. Amoníaco.....	22-23
3.6.5. Sólidos Totales Suspendidos (SST).....	23-24
3.6.6. Temperatura.....	24-25
3.6.7. pH.....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24-37

V CONCLUSIÓN.....	38
VI. GLOSARIO DE TERMINOS.....	39-40
VII. LITERATURA CITADA.....	41-44

TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA MEDIANTE EL USO DE UN HUMEDAL A DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA.

RESUMEN

La fitorremediación es una tecnología prometedora para la limpieza de suelos contaminados, aguas subterráneas y aguas residuales debido a que es una tecnología que requiere poca inversión. El objetivo de este estudio fue evaluar el proceso de tratamiento mediante fitorremediación de aguas residuales domésticas (comedor, internado y de los diversos departamentos de la UAAAN) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Saltillo Coahuila México. Para este propósito, se implementó un humedal utilizando diferentes especies de plantas acuáticas (*Canna indica* y *Typha domingensis*). El sistema trabajó con dos TRH: 12 y 24 horas, mostrando mejores resultados el de 24 horas (formación de nitratos y sulfatos).

Palabras claves: *agua residual doméstica, fitorremediación, humedal.*

ABSTRACT

Phytoremediation is a promising technology for wastewater treatment, bioremediation of contaminated soil and groundwater due to its minimal investment requirements. The aim of this study was to assess phytoremediation process of domestic wastewater (dormitories, cafeteria and all departments of the UAAAN) from the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, located in Saltillo Coahuila Mexico. For this purpose, a wetland was established using different species of aquatic plants (*Canna indica* and *Typha domingensis*). The system worked at two HRT: 12 and 24 hours, showing better results at 24 hours (nitrates and sulfates formation).

Keywords: *domestic wastewater, phytoremediation, wetland*

I. INTRODUCCIÓN

Los problemas de contaminación en el ámbito local, nacional e internacional son parte de nuestra vida cotidiana; es preocupante la manera en cómo se han ido degradando los ecosistemas de nuestro planeta. El crecimiento de la población humana ha contribuido a este problema y por lo tanto sus actividades, como son la agricultura, la minería, la industria y las actividades domésticas, todas estas han provocado un aumento dramático en la contaminación (Prado *et al*, 2011).

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento de las instalaciones, y de personal capacitado, sólo 36% de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración que no requieran una alta inversión inicial y mantenimiento de la misma y que tengan una alta eficiencia del tratamiento. Los humedales artificiales son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento.

Los humedales artificiales son ecosistemas en los cuales conviven diferentes especies de plantas y microorganismos que permiten mantener un equilibrio en el cual se remueven contaminantes de aguas residuales por medio de un conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos obteniendo un agua de mejor calidad que puede ser reutilizada en otros procesos dependiendo de sus contenidos. (Montoya *et al*, 2010). Los humedales artificiales han demostrado ser una forma eficaz para la eliminación de nutrientes de las aguas residuales. Sin embargo, un efecto negativo es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), como es el metano (CH₄), (Neves *et al*, 2011). Los componentes de este sistema son las plantas, el sustrato y la población microbiana, (Aguilar *et al*, 2009).

Además de la depuración de aguas residuales, los humedales ofrecen beneficios ambientales agregados como son: mejora de la calidad ambiental, crean y restauran nichos ecológicos, mejoramientos paisajísticos, contribuyen en la generación de zonas de amortiguamiento de crecidas de ríos y avenidas, además de poder ser reutilizada esta agua residual tratada en diversas actividades productivas, como la agricultura y la industria (Arias *et al*, 2003).

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas (López *et al*, 2011). En la fitorremediación las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes y estabilizan las sustancias metálicas presentes en el suelo y agua al fijarlos en sus raíces y tallos, o metabolizándolos tal como lo hacen los microorganismos para finalmente convertirlos en compuestos menos peligrosos y más estables, como dióxido de carbono, agua y sales minerales (Peña *et al*, 2001).

En la fitorremediación se identifican varios tipos de procesos de remediación que varían según las partes de la planta que participan o los microorganismos que contribuyen con la degradación de los contaminantes, como son la fitoextracción, rizofiltración, fitotransformación, fitodegradación, fitoestimulación, fitoestabilización (Martínez *et al*, 2010).

Este nuevo método donde se utilizan plantas o también conocido como tratamiento terciario se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien para obtener agua tratada de una calidad adecuada para su reusó, factor de importancia en la planeación de recursos hidráulicos donde el abastecimiento de agua potable es limitado (Vaca *et al*, 1996).

La fitorremediación de aguas residuales domésticas es una necesidad de la sociedad moderna debido al peligro que significan estas aguas tanto para el ser humano como para el ambiente.

La fitorremediación representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y aguas contaminadas (Márquez, 2012).

Phragmites australis y *Typha dominguensis* son ejemplo de plantas que se han utilizado en humedales artificiales como en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos donde evaluaron la remoción de la carga orgánica en aguas residuales con la utilización de estas dos plantas (Aguilar *et al*, 2009). También la utilización de la planta *Lemna minor* en labores de fitorremediación por su capacidad de absorber nutrientes y contaminantes de los ecosistemas acuáticos. Asimismo se discute su potencial como una especie adecuada para realizar ensayos de fitotoxicidad (Arroyave 2004).

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficiencia tratamiento de aguas residuales domesticas mediante un humedal compuesto por *Canna indica* y *Typha domingensis* a dos diferentes TRH.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Evaluar la eficiencia del tratamiento terciario de agua residual domestica con *Canna indica* y *Typha domingensis* a un tiempo de retención hidráulica de 12 horas.
- 2) Evaluar la eficiencia del tratamiento terciario de agua residual domestica con *Canna indica* y *Typha domingensis* a un tiempo de retención hidráulica de 24 horas.

1.3. HIPOTESIS

Mediante el empleo de un humedal como sistema de tratamiento de aguas residuales se logrará una alta eficiencia de remoción de contaminantes presentes en la misma.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades

2.1.1. Tratamiento de aguas residuales

Los procesos de tratamiento de aguas residuales que han recibido mayor atención en los últimos años se han enfocado a emular los procesos y fenómenos que ocurren en la naturaleza. Estos sistemas se denominan tratamientos naturales de aguas residuales y cada día es más frecuente el uso de lagunajes, de sistemas de infiltración, de humedales artificiales de toda la variedad de sistemas, pues producen efluentes de buena calidad, al mismo tiempo que presentan bajos costos de inversión, operación y mantenimiento y no requiere personal altamente capacitado (Arias *et al*, 2003).

2.1.2. Los humedales

El uso de humedales para depurar aguas se ha incrementado durante los últimos veinte años y actualmente son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales. Se ha demostrado que tienen una alta eficiencia en la reducción de la materia orgánica presente en el agua residual, así como también para transformar y asimilar nutrientes, además de retener o eliminar sustancias tóxicas que de otra manera serían vertidas sin tratamiento alguno al medio ambiente (Arias *et al*, 2003).

2.1.2.1 La depuración con plantas enraizadas

Hidalgo *et al* (2005), mencionaron que la depuración con plantas enraizadas consiste en la creación de un sustrato poroso de alta conductividad hidráulica, en el cual se favorece la actividad microbiana y por lo tanto se optimiza la degradación de la materia orgánica del agua residual. Este sustrato está formado por el suelo rizomas-raíces, conjunto a través del cual el agua fluye, manteniéndose siempre su nivel por debajo de la superficie.

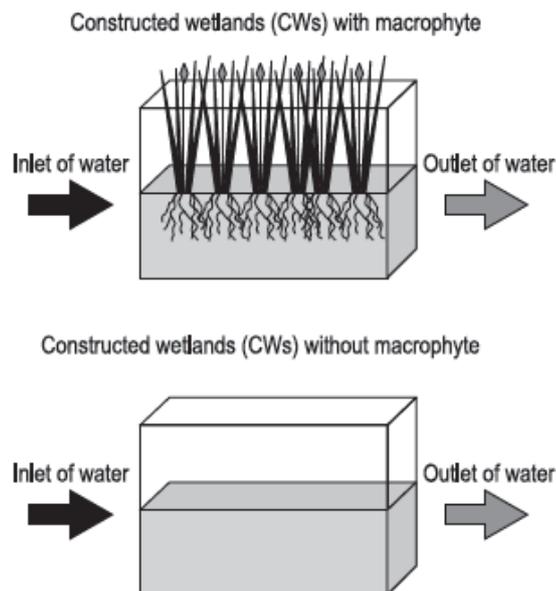


Figure 1. Experimental design of constructed wetlands (CWs), showing planted and unplanted plots with *Typha domingensis Pers.*

Figura 1: sistema de depuración con plantas enraizadas.

2.1.3. La fitorremediación en México

La fitorremediación en México ha sido poco estudiada en comparación con otros países en los cuales este proceso de tratamiento ha sido ampliamente estudiado e implementado con éxito desde principios de la década de 1970 en diversos sitios contaminados (López *et al*, 2004).

2.1.4. Ejemplos de la utilización de la fitorremediación

2.1.4.1. Ejemplo A

El Instituto de Ecología, localizado en Xalapa, Veracruz, en colaboración con el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) de Chihuahua, el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) y el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ) de Querétaro desarrollan un proyecto multidisciplinario titulado “Fitorremediación y bioabsorción para el uso sustentable del agua”, financiado por el Conacyt.

2.1.4.2 Ejemplo B

La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y en el Centro de Investigaciones Avanzadas (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, recientemente se han realizado investigaciones relacionadas con el uso de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas y de rastros, demostrando que estos sistemas pueden ser una opción viable y eficaz para el tratamiento de tales aguas.

2.1.4.3 Ejemplo C

Considerando precisamente la capacidad que tienen los sistemas de humedales naturales para purificar aguas contaminadas, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) recientemente incursiona en la fitorremediación acuática de metales pesados (López *et al*, 2004).

2.1.4.4. Ejemplo D

Coleman *et al*, (2000) desarrollaron una investigación donde utilizaron 3 especies de plantas comunes *Juncus effusus L.*, *Scirpus validus L.*, y *Typha latifolia L.*, para el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante un humedal, el promedio de todos los tratamientos mostraron una reducción del 70% de los sólidos suspendidos totales (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 50 a 60% de reducción en nitrógeno (TKN), amoníaco y fosfato, y una reducción de coliformes fecales por tres órdenes de magnitud.

2.1.4.5. Ejemplo E

Calheiros *et al*, (2007) realizaron un estudio donde se investigó la supervivencia de diferentes especies de plantas en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontales que reciben aguas residuales de curtiduría. Cinco unidades piloto se vegetadas con *Canna indica*, *Typha*

latifolia, *Phragmites australis*, *Stenotaphrum secundatum* e *Iris pseudacorus*, y una sexta unidad se quedó como un control sin vegetación.

2.1.4.6. Ejemplo F

Neves *et al*, (2011) mencionan que los humedales artificiales han demostrado ser un medio eficaz para la eliminación de nutrientes de las aguas residuales. Sin embargo, un efecto negativo es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). El metano (CH₄) es un GEI liberados de la degradación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas por bacterias metanogénicas. En los aportes excesivos de nutrientes pueden estimular la producción primaria y la metanogénesis y luego afectará el equilibrio general de costes y beneficios de este sistema. Por lo tanto se evaluó el papel de la totora (*Typha domingensis Pers.*) y las concentraciones de CH₄ en los humedales artificiales eutróficos y mesotrófico.

III. METODOLOGIA

3.1. Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Biología del Departamento de Botánica ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicado en Buenavista Saltillo, Coahuila, México en el periodo verano invierno.

En este experimento se utilizaron las especies de plantas de *Canna indica* y *Typha domingensis*, las cuales fueron obtenidas de la Planta de Ramos Arizpe Holcim Apasco en donde existe un tratamiento de rizofiltración para aguas residuales generadas en la empresa (figura 1y 2).



Figura 2.- Humedal de la Planta de Ramos Arizpe Holcim Apasco.



Figura 3.- Humedal de la Planta de Ramos Arizpe Holcim Apasco.

3.2. Material experimental

El humedal artificial se diseñó a escala laboratorio en contenedores de plástico a manera de módulos, los cuales tenían medidas de 40 centímetros de ancho, 72 centímetros de largo y una altura de 16 centímetros, en cada módulo se agregaron 8 centímetros de lodo y 4 centímetros de agua. Las plantas utilizadas fueron *Canna indica* y *Typha domingensis*.



Figura 4: Material utilizado en el experimento (*Canna indica* y *Typha domingensis*.)

3.3. Establecimiento del experimento

Fueron colocadas las plantas en los contenedores de plástico agregándoles suelo y en la última capa se le colocó grava para evitar la evaporación del agua. Las cajas fueron perforadas para la entrada del agua (influyente) y la salida de esta (efluente). El humedal fue utilizado como un tratamiento terciario de agua residual doméstica generada en la UAAAN, el influente de este tratamiento provenía de un tratamiento biológico anaerobio-aerobio (tratamiento secuencial).

3.4. Agua residual

El agua residual con la que se alimentaba el reactor fue traída del cárcamo ubicado dentro de las instalaciones de la universidad donde fue llevado a cabo este experimento. El agua era tratada primeramente en un reactor secuencial (anaerobio-aerobio) y por último entraba al humedal.

3.5. Lavado de los reactores

El lavado de los reactores se realizó el 21 de octubre del 2013 por los motivos de que la primera repetición los resultados obtenidos fueron muy altos y dudosos, esto se debió a que el sistema secuencial se encontraban con exceso de lodo.



Figura 5: Reactores con exceso de biopelícula (antes del lavado).

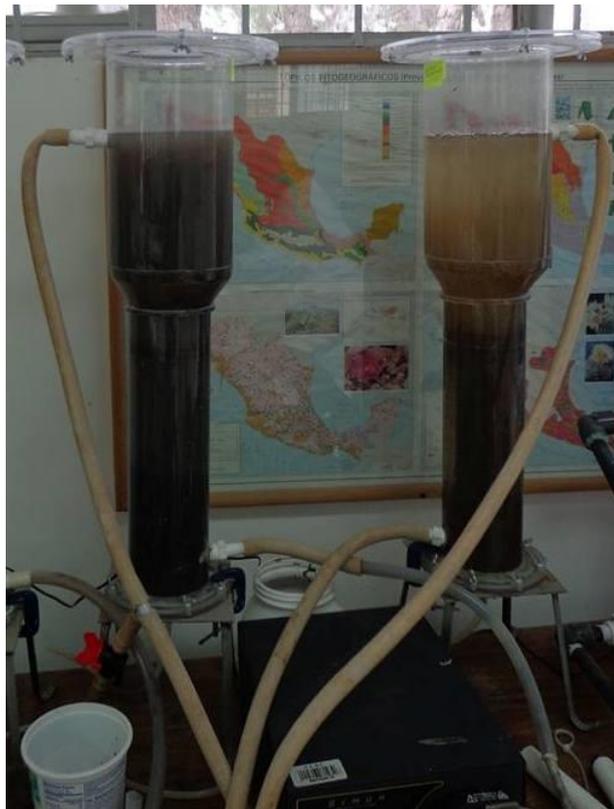


Figura 6: Después del lavado de los reactores.

3.6 Variables a evaluar

Los parámetros que se evaluaron en esta investigación fueron: la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales Suspendidos (STS), temperatura, pH, nitratos, amonio, sulfatos, a dos diferentes tiempos de retención hidráulica (36, 24 y 12 h.). Con tres repeticiones en cada TRH. El diseño experimental que se utilizó en esta investigación fue completamente al azar. Los parámetros se determinaron de acuerdo a la norma oficial mexicana NMX-AA-074-1981 al menos que se mencione lo contrario.

3.6.1. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica presentes en una muestra de agua. Se entiende por Demanda Química de Oxígeno (DQO) como la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua, susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte. Se expresa en mg/l de oxígeno.

Esta prueba está basada en una oxidación química en condiciones severas en donde el oxidante utilizado (ion dicromato= Cr_2O_7), para oxidar la materia orgánica en la muestra.

Materiales

- 2 dispersores del 1.5 ml o pipetas
- Tubos de HACH con tapón rosca
- Frascos ámbar de 1 litro
- Matraces de aforación de 1 litro
- Baño con hielo

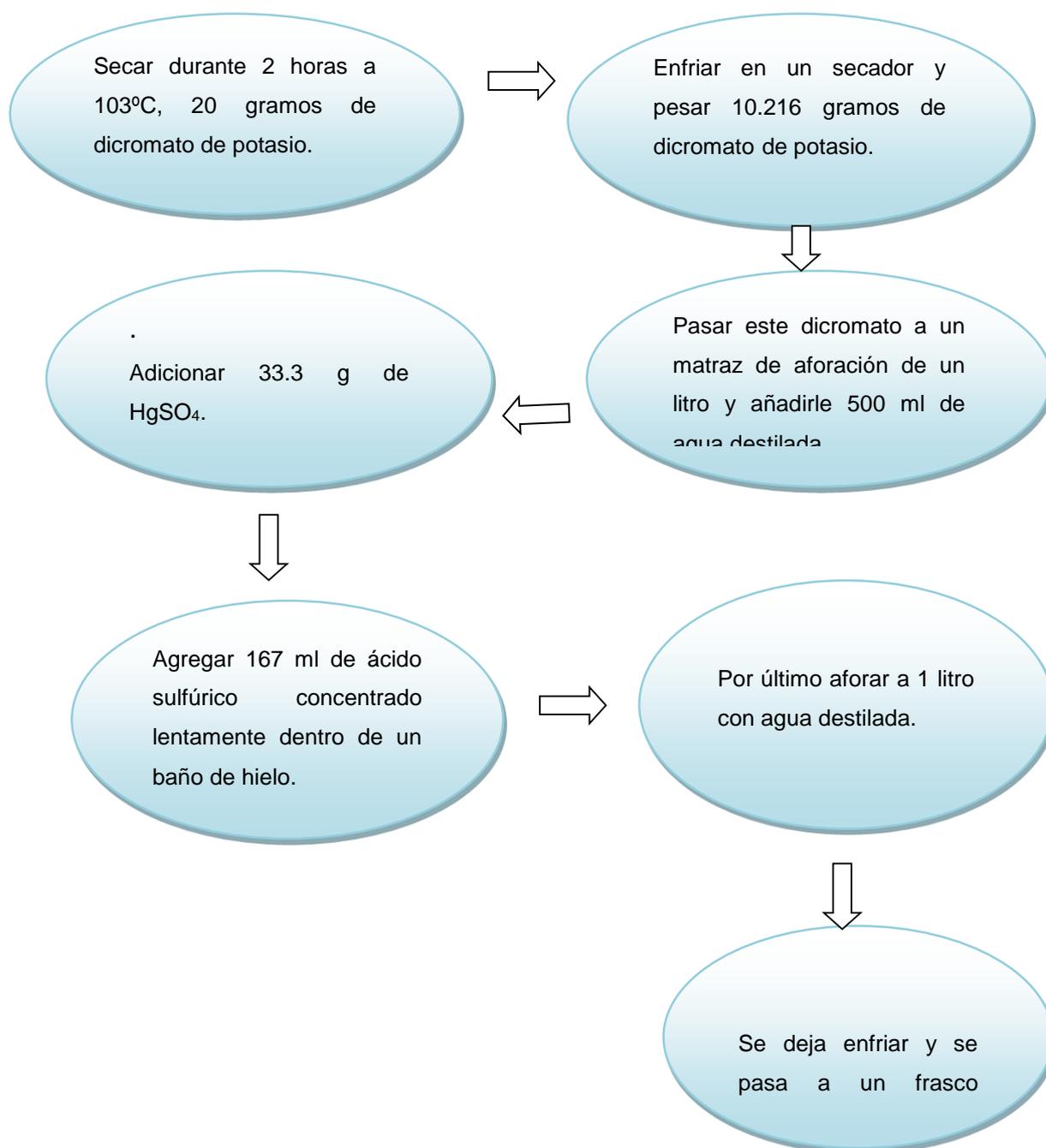
Equipos

- Espectrofotómetro HACH DR 2010
- Termoreactor TR-3000 MERK

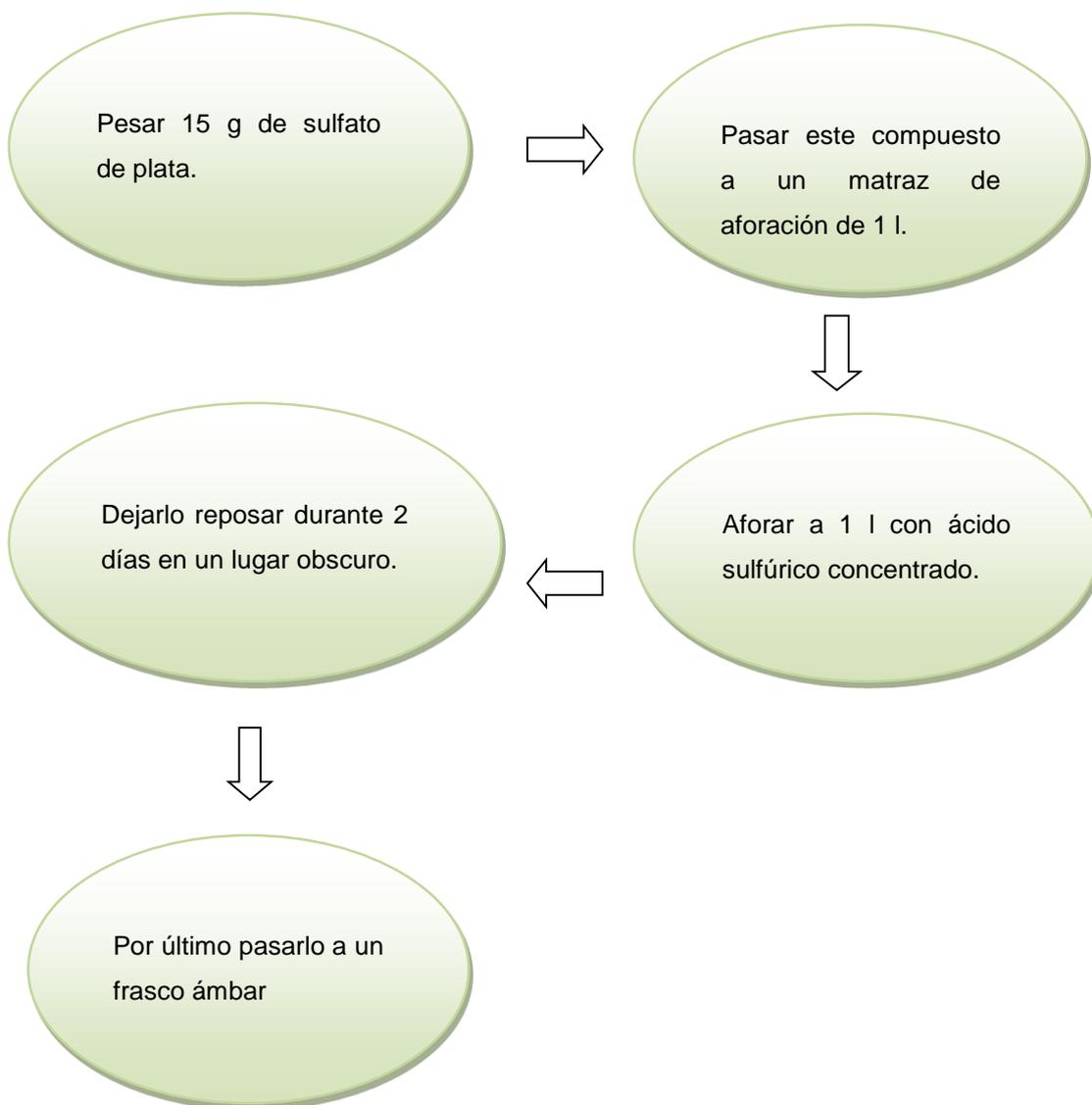
Reactivos

- Dicromato de potasio (K_2, Cr_2, O_7)
- Sulfato de mercurio, alquime ($HgSO_4$)
- Ácido sulfúrico, alquime (H_2SO_4)
- Sulfato de plata, alquime o aldrich (Ag_2SO_4)
- Biftalato de potasio, alquime ($HOOC-C_6H_4-COOK$)

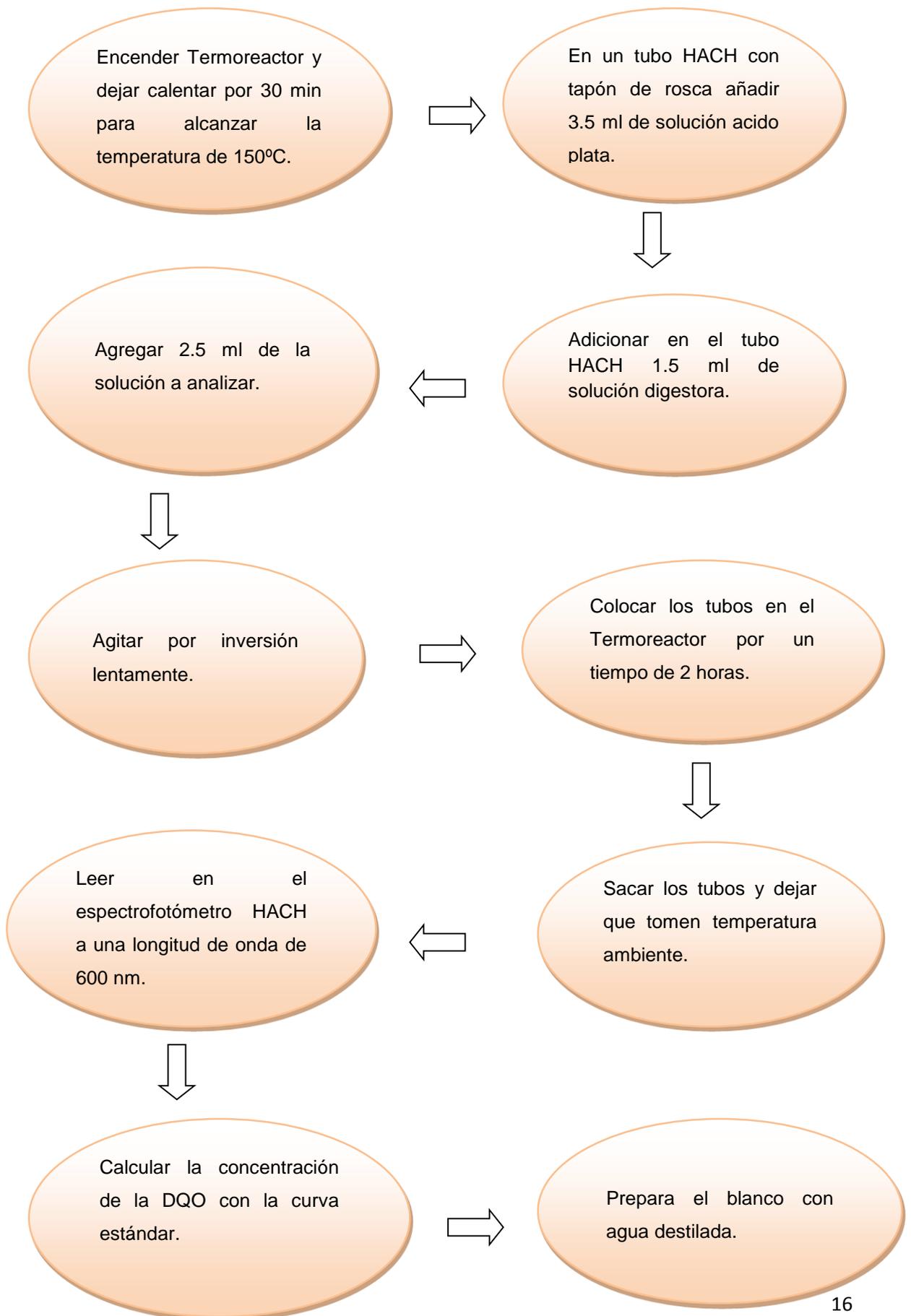
Preparación para solución digestora



Preparación de ácido plata



Procedimiento para DQO



3.6.2. Nitratos

El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas, se presenta generalmente a nivel de trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas.

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas, pero en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico desnitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como N/L.

El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos.

Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. En las aguas de algunos pozos suele encontrarse cantidades apreciables de nitratos, lo que es objetable desde el punto de vista sanitario (NMX-AA-079-SCFI-2001).

Materiales

- 2 dispersores del 1.5 ml o pipetas
- Tubos de HACH
- Frascos ámbar de 1 litro
- Baño con hielo

Equipos

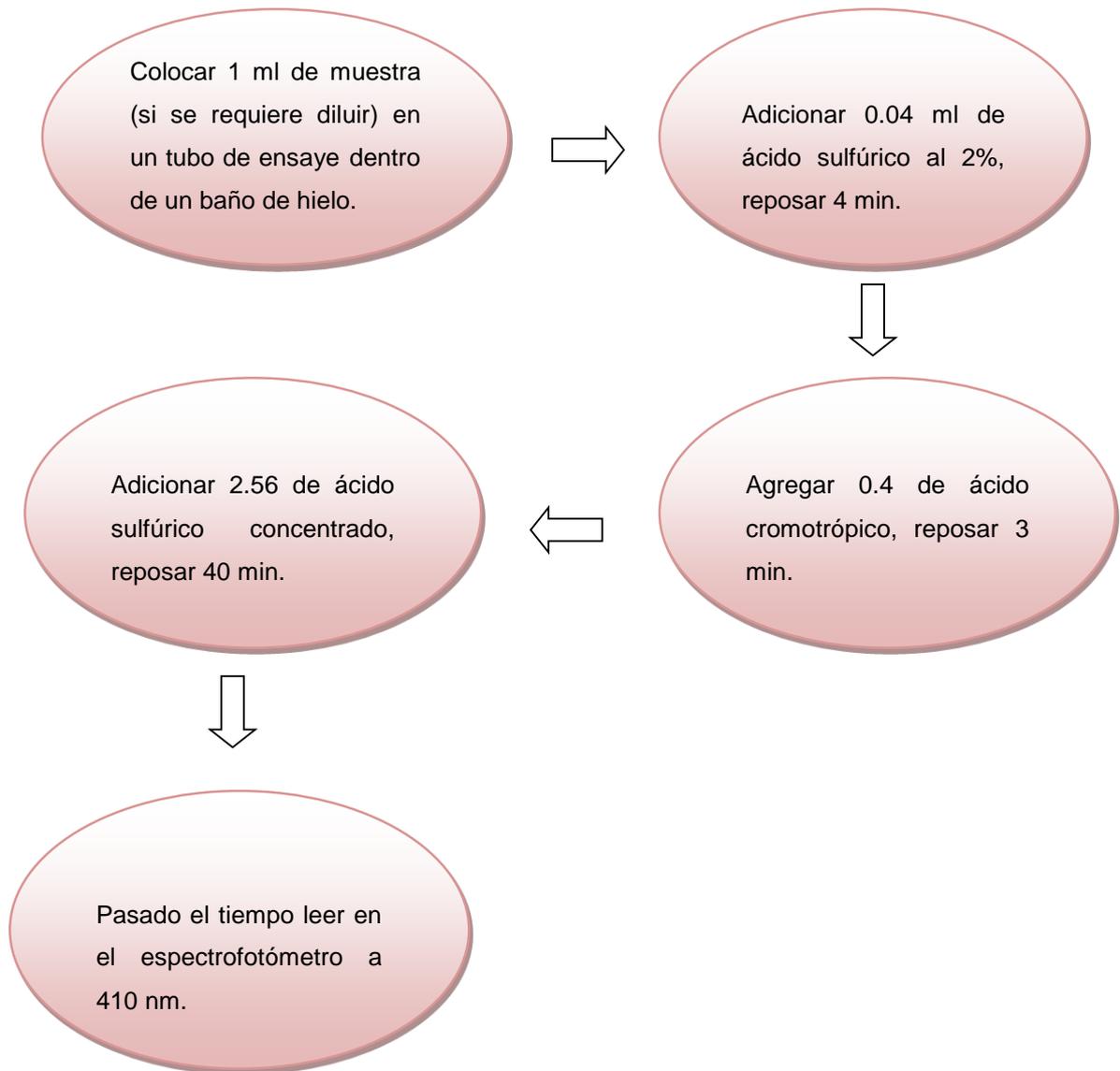
- Espectrofotómetro HACH DR 2010

Reactivos

- Nitrato de sodio
- Ácido homotrópico

- Ácido sulfámico
- Ácido sulfúrico
- Hidróxido de sodio

Procedimiento



3.6.3. Sulfatos

El ion sulfato precipita con cloruro de bario, en un medio ácido (HCl), formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La absorción espectral de la suspensión del sulfato de bario se mide con un nefelómetro o fotómetro de transmisión. La concentración de ion sulfato se determina por comparación de la lectura con una curva patrón. (NMX-AA-074-1981).

Materiales

- 2 dispersores del 1.5 ml o pipetas
- Tubos de HACH
- Frascos ámbar de 1 litro

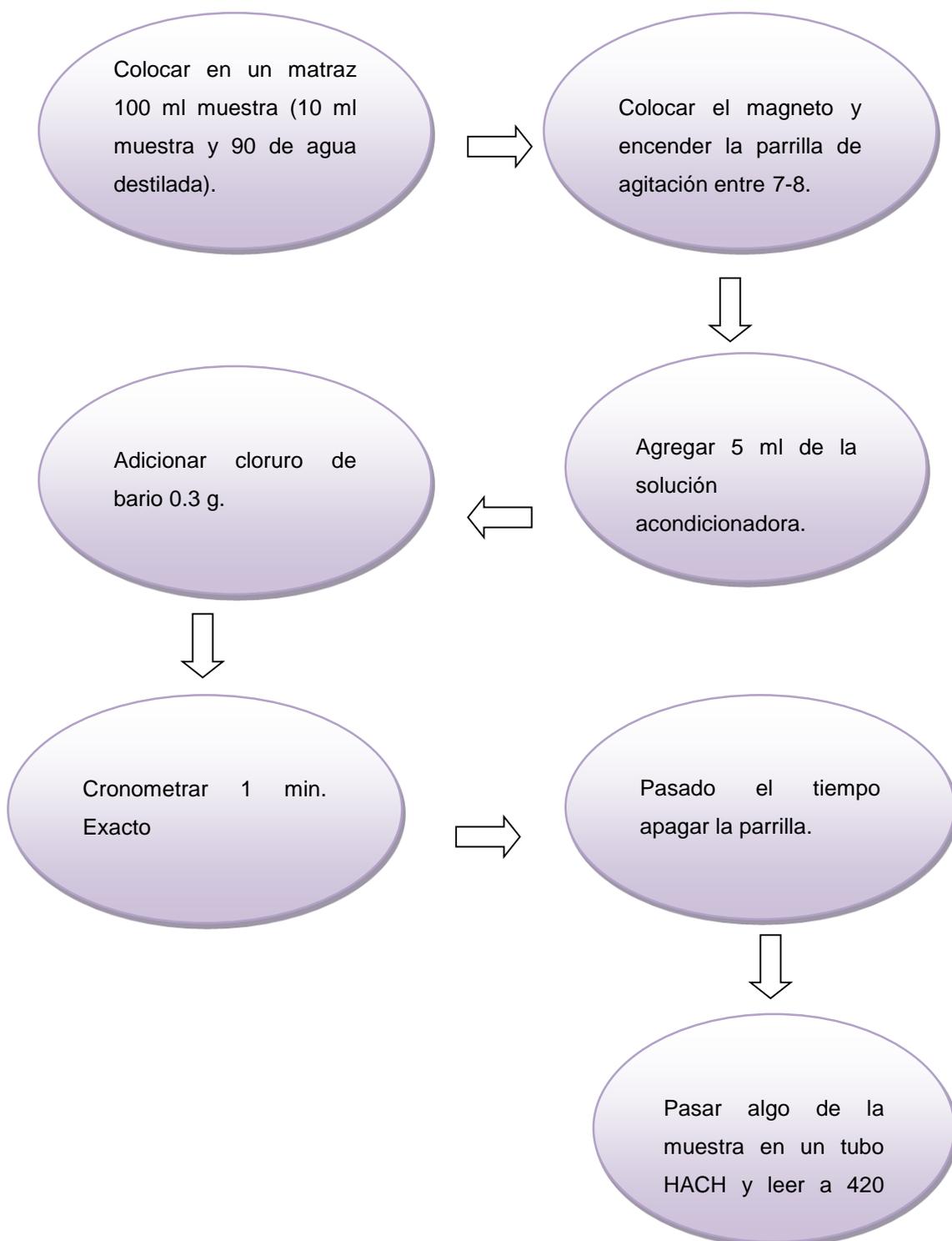
Equipos

- Espectrofotómetro HACH DR 2010

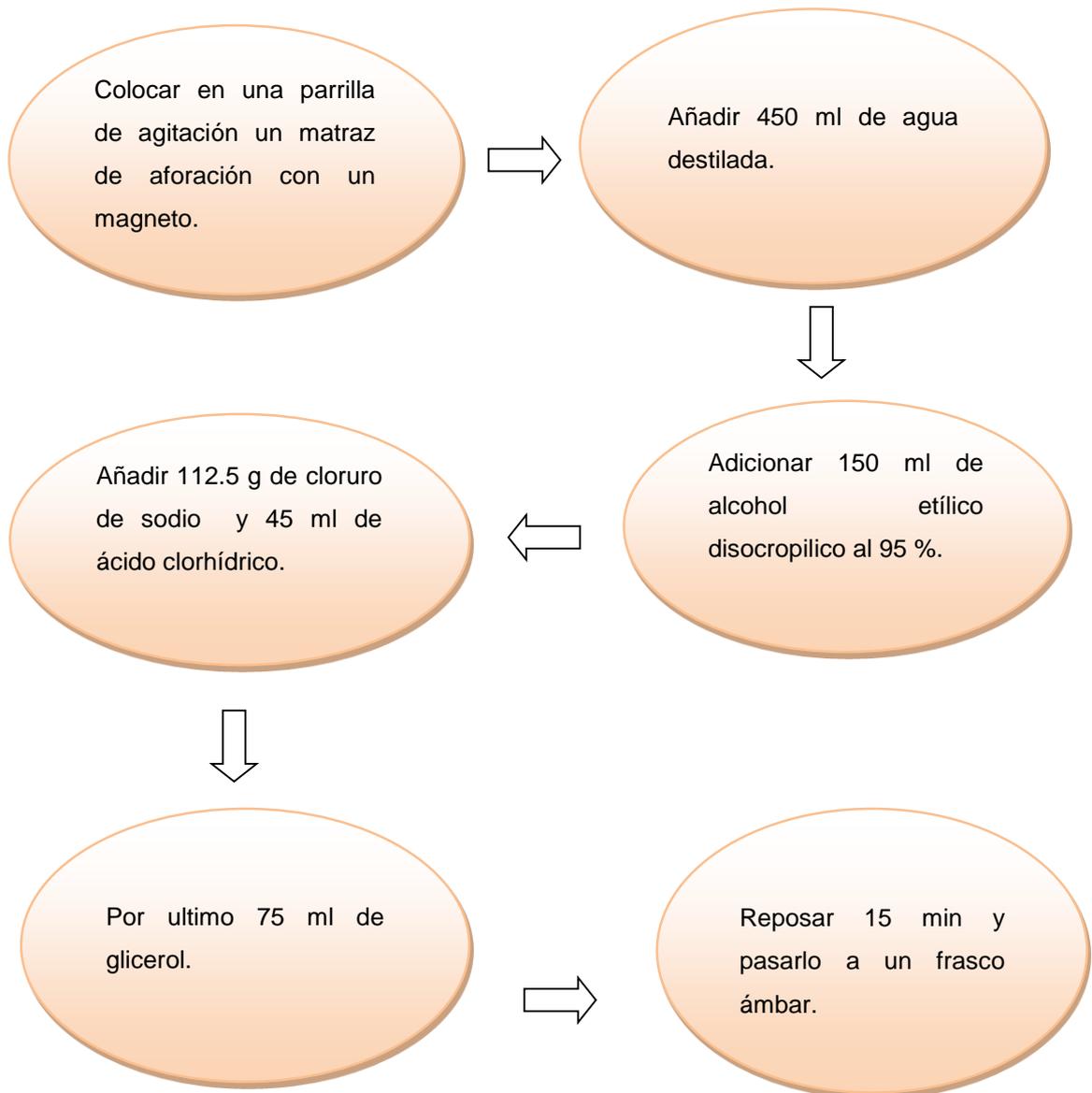
Reactivos

- Agua destilada
- Cloruro de bario
- Glicerol
- Sulfato de sodio
- Ácido clorhídrico concentrado
- Alcohol etílico o isopropílico al 95%
- Cloruro de sodio

Procedimiento



Preparación de la solución acondicionadora



3.6.4. Amoniaco

Los compuestos nitrogenados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Las fuentes de nitrógeno incluyen además de la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, productos de limpieza y tratamiento de aguas potables.

Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos, es importante el monitoreo y control de descargas del mismo al ambiente (NMX-AA-026-SCFI-2001).

Materiales

- 2 dispersores del 1.5 ml o pipetas
- Matraces erlenmeyer 250 ml
- Tiras de pH
- Tubos HACH
- Papel filtro
- Embudos de filtración

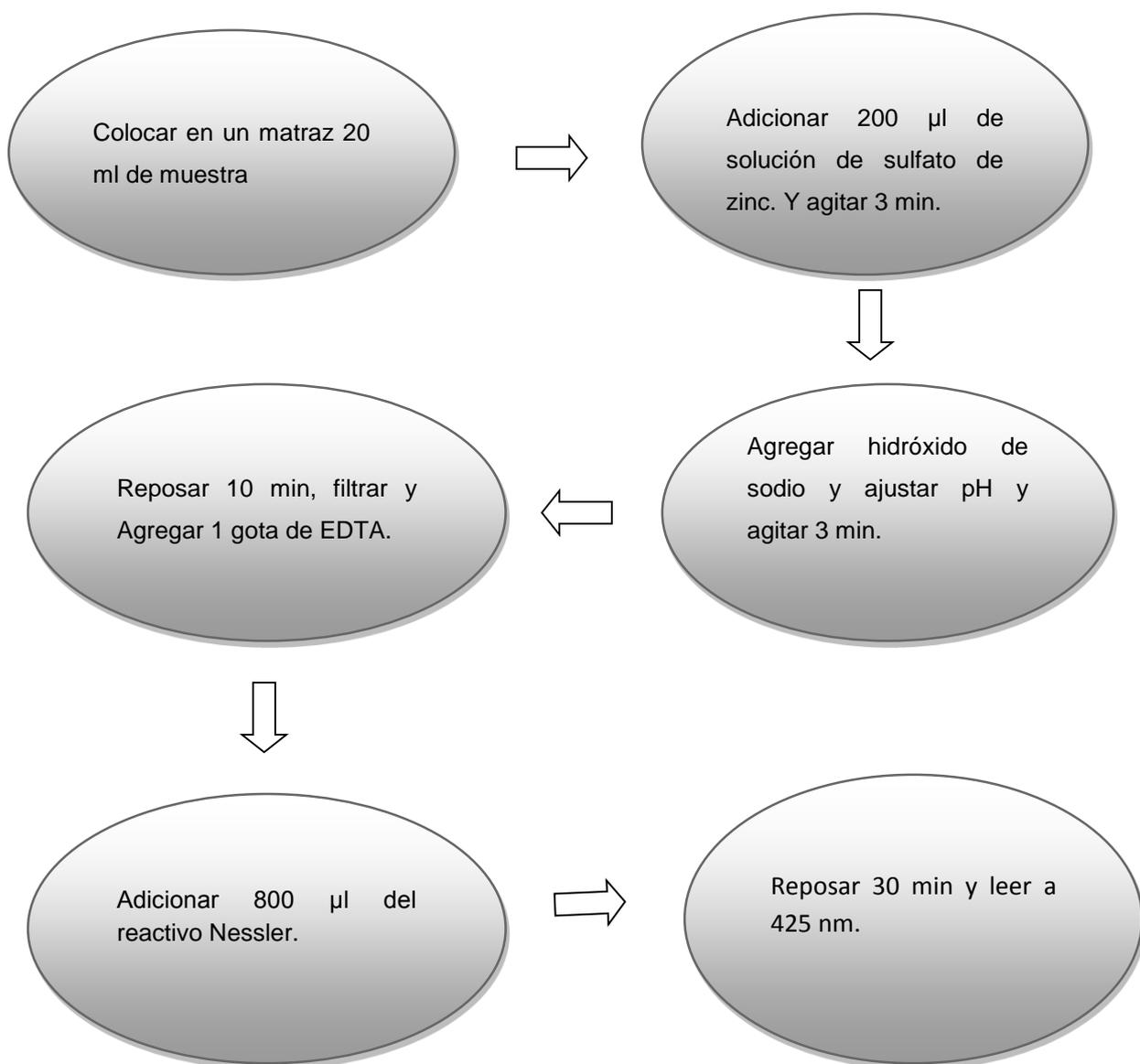
Equipos

- Espectrofotómetro HACH DR 2010

Reactivos

- Agua destilada
- Sulfato de zinc
- Reactivo EDTA
- Reactivo de Nessler (yoduro de mercurio y yoduro de potasio)
- Cloruro de amonio

PROCEDIMIENTO



3.6.5. Sólidos Totales Suspendedos (SST)

Sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante.

Equipo

- Bomba de vacío
- Estufa eléctrica, para operar de 103°C a 105°C
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg
- Mufla eléctrica para operar a 500°C ± 50°C
- Materiales
- Cápsulas de evaporación adecuadas al volumen de la muestra
- Desecador, provisto con un desecante que contenga un indicador colorido
- de humedad
- Crisol Gooch de poro fino con adaptador de hule para el equipo de filtración
- Matraz Kitazato de 1 L a 2 L de capacidad
- Filtro de fibra de vidrio de tamaño adecuado al crisol Gooch utilizado con una porosidad de 2 µm o menor
- Pinzas para crisol
- Guantes para protección al calor
- Careta para protección al calor

Reactivos

- Cloruro de sodio (NaCl)
- Carbonato de calcio (CaCO₃)
- Almidón en polvo
- Disolución estándar para muestras de control. Agregar la cantidad necesaria de almidón, Cloruro de Sodio y Carbonato de Calcio de acuerdo con la concentración deseada de sólidos en las muestras de control y diluir a 1 L. Este patrón debe prepararse cada vez que se realice el método. (NMX-AA-034-SCFI-2001).

3.6.6. Temperatura

Las temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física en el agua, lo anterior tiene influencia en los

tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes en el agua, a través del método de prueba que se establece en la presente Norma Mexicana.

El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales (NMX-AA-007-SCFI-2000).

Material

- Termómetro

3.6.7. pH

La medición del pH del agua es muy importante para muchos tipos de muestra. Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directamente o indirectamente. Es el parámetro más importante utilizado en la evaluación de las propiedades corrosivas de un medio ambiente acuático. Asimismo, es importante para el funcionamiento efectivo de los procesos de tratamiento de aguas y su control (por ejemplo, floculación y desinfección de cloro), el control de plumbosolencia de aguas potables y tratamiento biológico de aguas residuales y los vertidos de aguas residuales.

Se utilizan distintos métodos de determinación, que van desde la simple utilización de papel indicador a sofisticados métodos utilizando un medidor de pH. La determinación de pH se puede clasificar en dos clases, colorimétricas y electrométrico métodos (NMX-AA-008-SCFI-2011).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos que a continuación se muestran fueron obtenidos del tiempo de retención hidráulica de 12 horas de la repetición 1 a una temperatura de 22°C que se realizó antes del lavado de los reactores. La tabla indica las fechas en que se tomó la muestra.

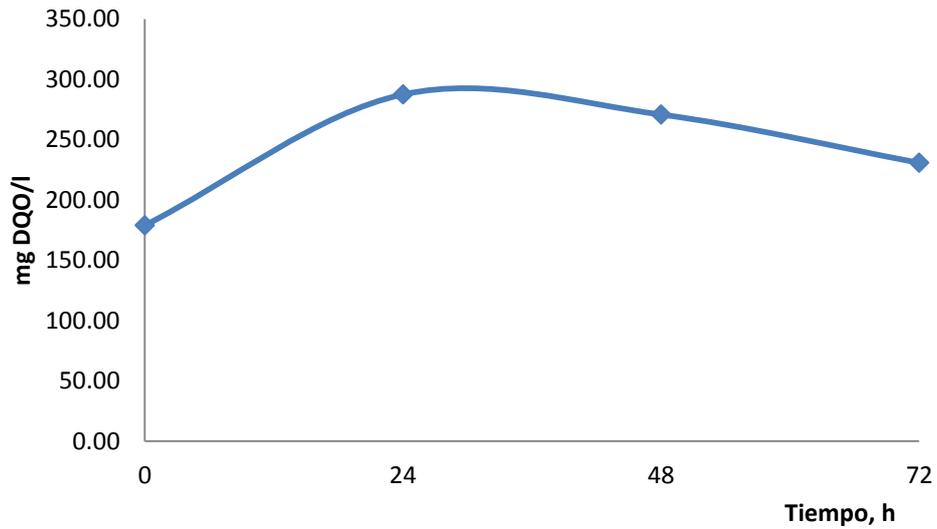
Se realizó la curva de calibración para cada técnica en particular, y se graficaron los datos para obtener la pendiente de la curva y calcular cada parámetro.

Tabla 1.- Datos obtenidos de los diferentes parámetros (DQO, sulfatos, nitratos) del tiempo de retención hidráulica de 12 horas de la repetición 1.

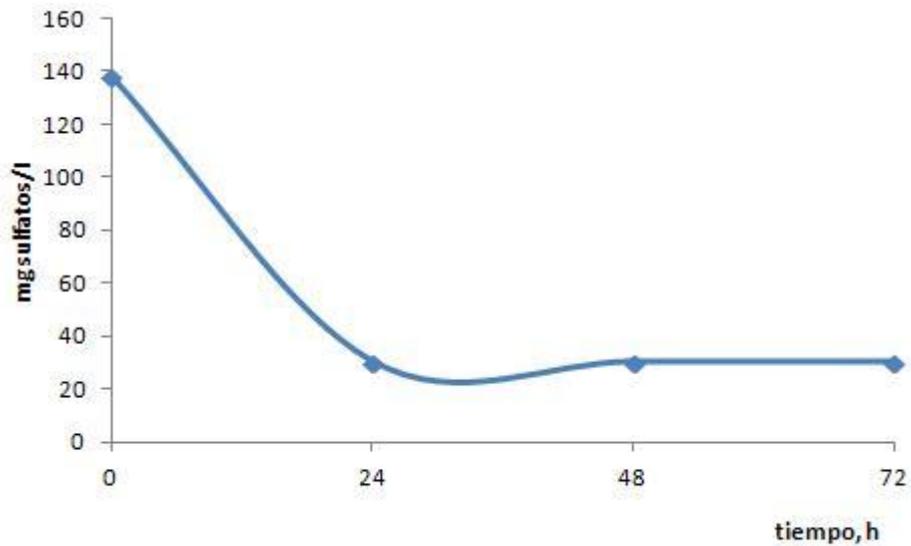
<i>Día</i>	<i>Tiempo h</i>	<i>mg DQO/l</i>	<i>mg SO₄⁻²/l</i>	<i>mg NO₃⁻/l</i>
04/10/2013	0	179.04	138	0
05/10/2013	24	287.56	347.75	11
06/10/2013	48	270.89	214	37
07/10/2013	72	230.89	309	33

Los resultados obtenidos de este experimento fueron dudosos, ya que se encontraban demasiados altos en el tratamiento secuencial (DQO, nitratos, sulfatos, sólidos), lo cual nos indicaba que no funcionaban los reactores.

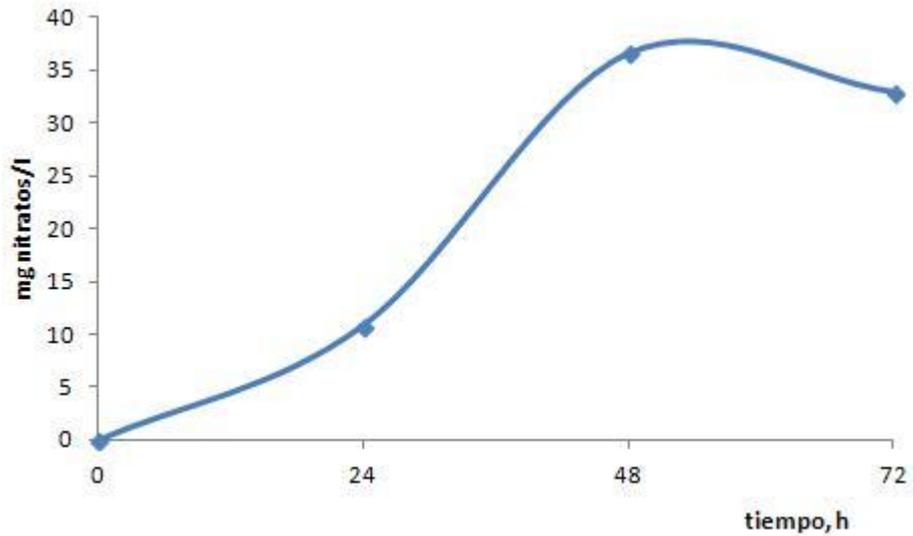
A simple vista se podía observar que las muestras contenían demasiados sólidos y su color era muy fuerte. Por el mismo motivo las técnicas de amoníaco y sólidos ya no fueron llevadas a cabo. La conclusión de esto fue que los reactores no estaban funcionando correctamente, porque se encontraban con un exceso de lodos (gráficas 1, 2, 3 y 4).



Gráfica 1: Comportamiento de mg DQO/l en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.

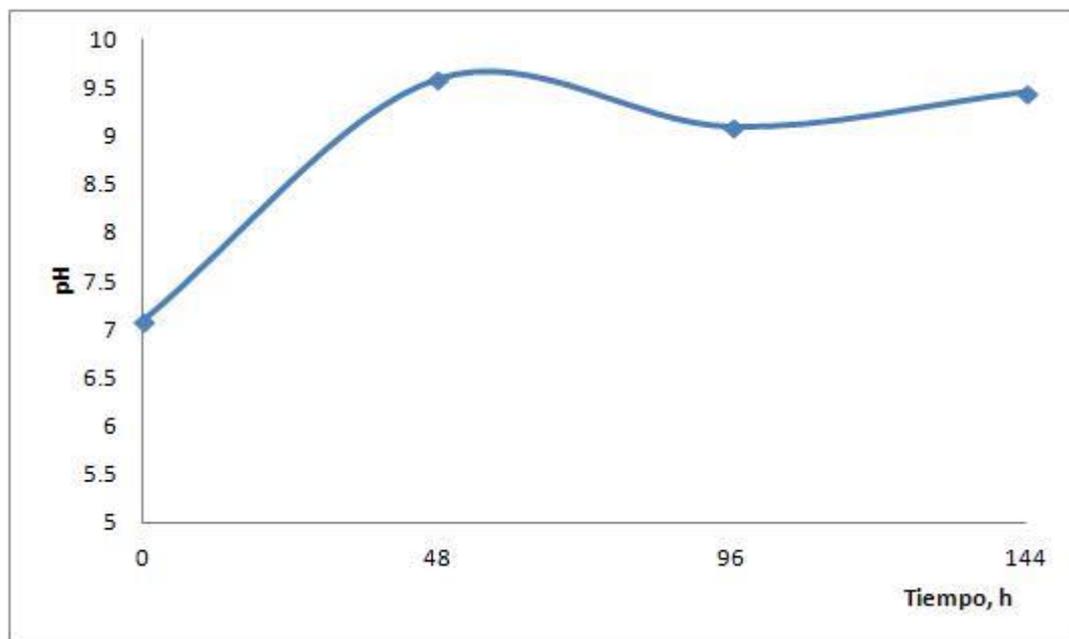


Gráfica 2: Comportamiento de sulfatos (mg/l) en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.



Gráfica 3: Comportamiento de nitratos (mg/l) en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.

Podemos observar en la gráfica 4 como se mantuvo el pH en las muestras durante el experimento. La muestra inicial entro al humedal con un pH de 7.8. Posteriormente este aumento para la hora 12 y 24, pero luego para la hora 36 disminuyo llegando a 8.0.



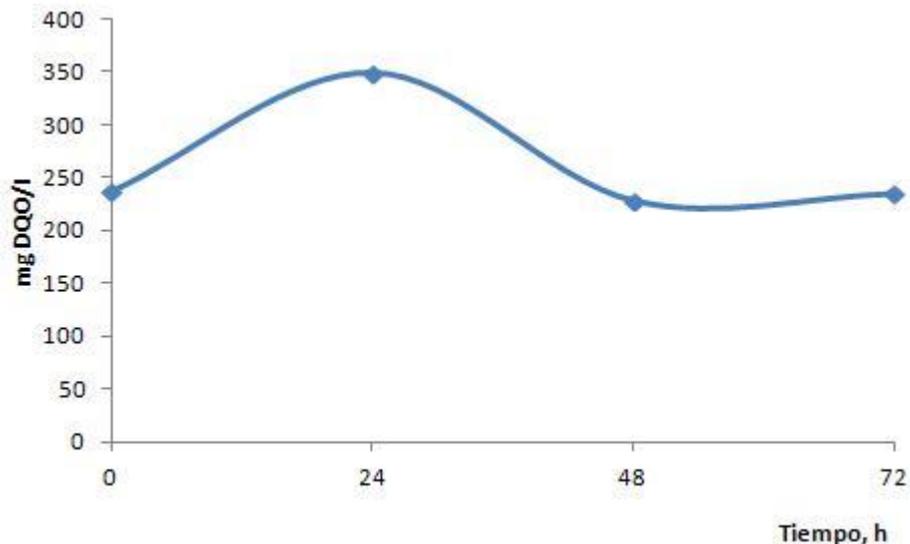
Gráfica 4: Comportamiento del pH en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.

Resultados del agua residual domestica obtenidos del tiempo de retención hidráulica de 12 horas, de la repetición 2, a una temperatura de 22°C. La tabla indica la fecha en que se tomó la muestra.

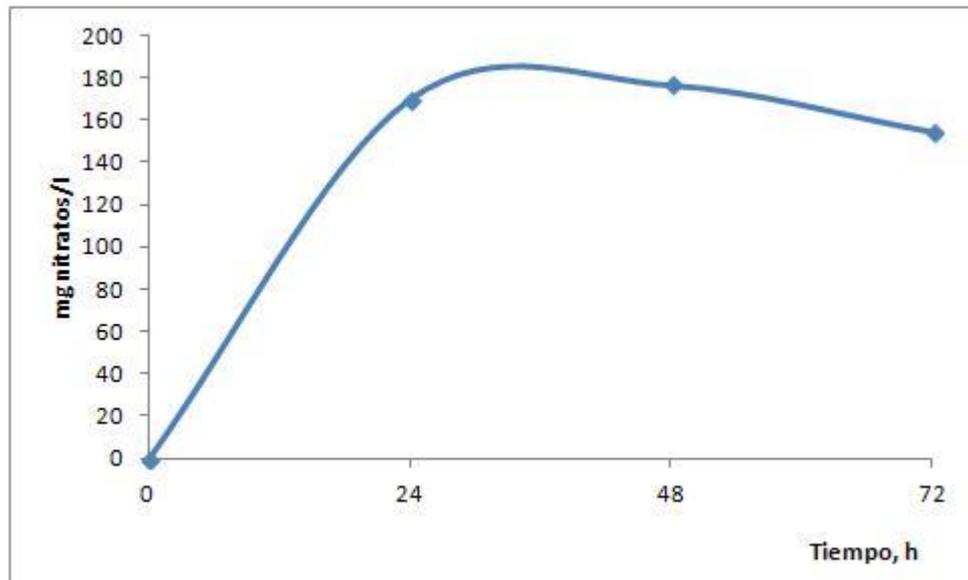
Tabla 2: Datos obtenidos del tiempo de retención hidráulica de los diferentes parámetros (DQO, sulfatos, nitratos) de 12 horas de la repetición 2.

Día	Tiempo h	mg DQO/l	mg sulfatos/l	mg nitratos/l
24/10/2012	0	238	204	10.22666667
25/10/2013	24	349	30986	170.04
26/10/2013	48	229	30619	176.84
27/10/2013	72	235	30594	154.84

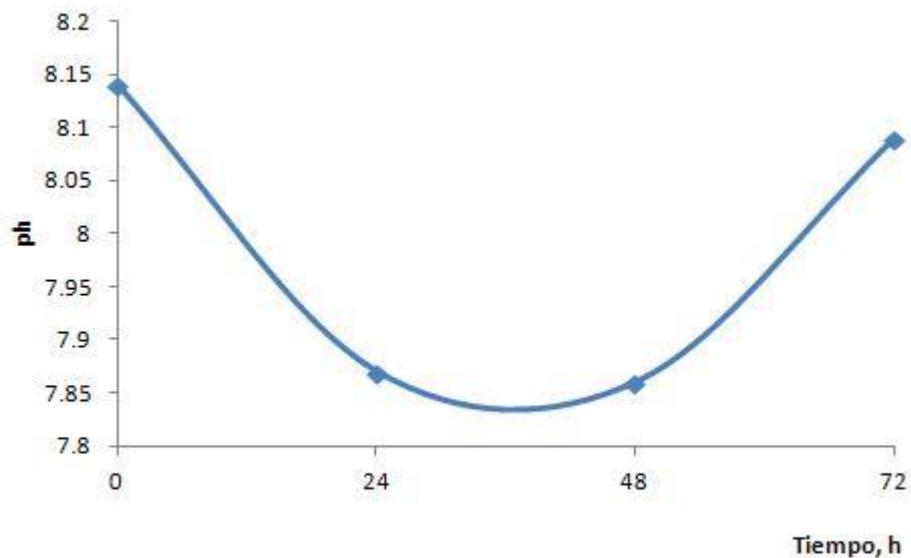
Estos datos fueron tomados después del lavado de los reactores, pero también se encontraban muy dudosos, altos en el tratamiento secuencial (DQO, nitratos, sulfatos, sólidos), lo cual nos indicaba que no funcionaban los reactores. Por lo tanto tampoco fueron tomados en cuenta. Las consecuencias fueron las mismas que en la repetición 1 (gráficas 5, 6,7 y 8). Por lo tanto no se llevaron a cabo las técnicas de amoniaco y sólidos totales.



Gráfica 5: comportamiento de mg DQO/l en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.



Gráfica 6: comportamiento de mg nitratos/en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.



Gráfica 7: Determinación de pH en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.

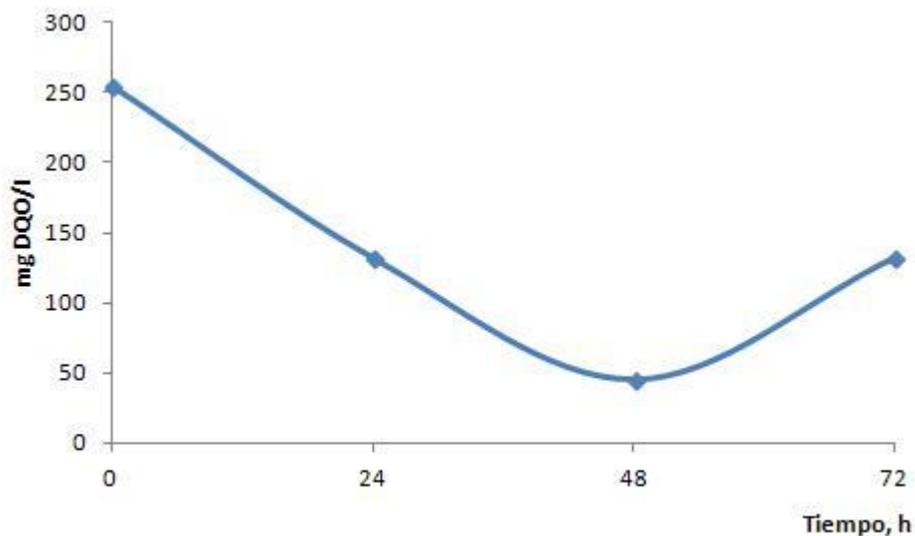
El comportamiento del pH se mantuvo muy diferente durante el transcurso del experimento.

Resultados del agua residual domestica obtenidos del tiempo de retención hidráulica de 12 horas de la repetición 3, a una temperatura de 21°C.

Tabla 3: Datos obtenidos de los diferentes parámetros DQO, sulfatos, nitratos, de la repetición 3 del tiempo de retención hidráulica de 12.

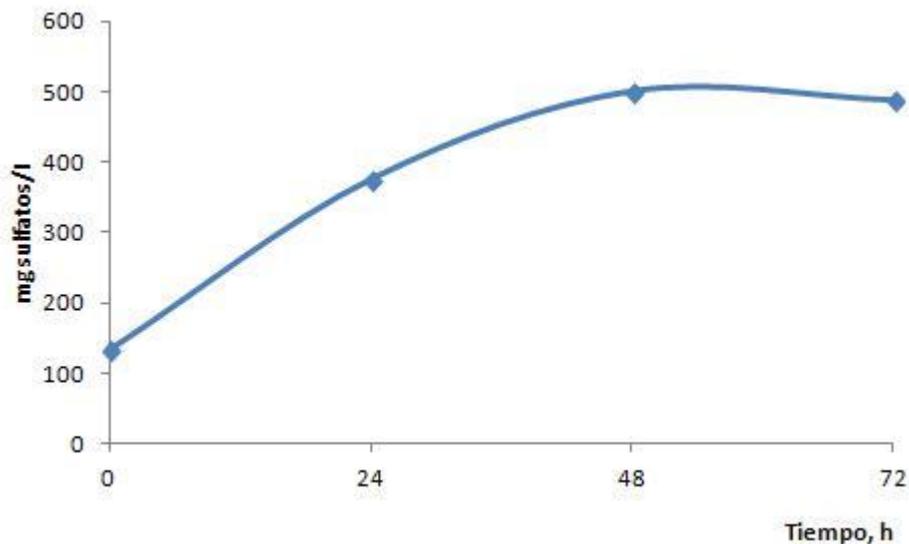
Tiempo h	mg DQO/l	mg sulfatos/l	mg nitratos/l	mg amoniaco/l
0	254	133	21.64	21.01
24	132	375	890.84	0
48	45	500	837.24	0
72	132	487	740.44	0

La siguiente grafica muestra el comportamiento la remoción que hubo de la DQO. El afluente llego con 254 mg DQO/l, con el trascurso de las horas esta disminuyo llegando a 45 mg DQO/l en la hora 24, pero para la hora 36 volvió a aumentar un poco. Estos datos son parecidos a los reportados por Lorenzen *et al* 2001, quien encontró que en su experimento hubo una remoción de un 80%. De igual manera En el 2012 Villa *et al*, realizaron un experimento similar al presente donde encontraron que hubo una disminución de 5 mg DQO/l (gráfica 9).



Gráfica 8: Comportamiento de mg DQO/l en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 21°C.

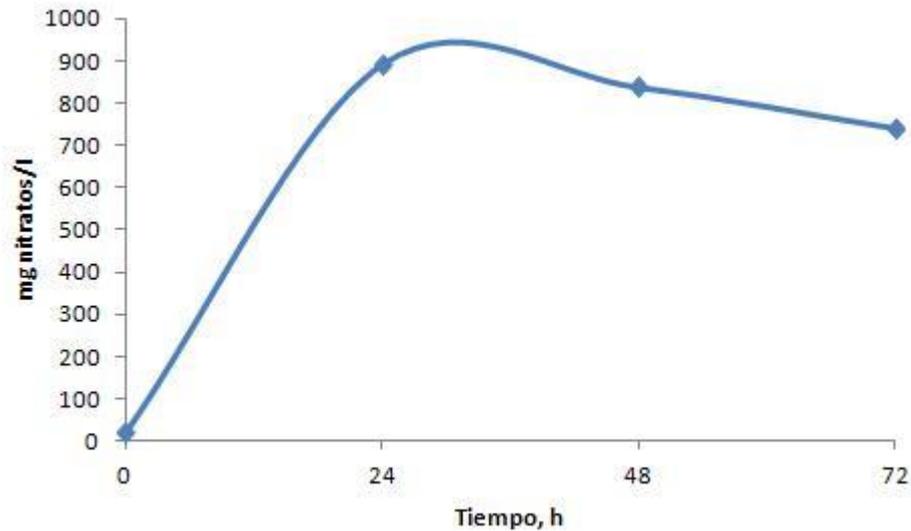
En la gráfica 10 se puede observar el comportamiento que hubo de los sulfatos. El agua entrante llegó con una baja concentración de sulfatos, pero en el transcurso de las horas ésta concentración aumentó llegando a 487 mg sulfatos/l. Esto se debió a que se formaron sales solubles para las plantas. Estos datos son diferentes a los reportados por Borin *et al* 2013 quien encontró que en su experimento los sulfatos se redujeron hasta un 60%. De la misma forma Steven M.D. En 1991 realizó un experimento donde utilizó la planta *Typha domingensis* junto con *C. jamaicense* en un humedal para el tratamiento de aguas residuales y donde observó que *Typha domingensis* se adapta mejor a un entorno de alto contenido de nutrientes.



Gráfica 9: comportamiento de mg sulfatos/l en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 21°C.

El gráfico 11 muestra cómo se mantuvieron los nitratos durante el experimento. El agua entrante contenía 21 mg nitratos/l, esta concentración aumentó en las horas de 12 y 24, pero para la hora 36 volvieron a disminuir llegando a 740 mg nitratos/l. Estos datos son parecidos a los reportados por Farid *et al* (2014) quienes encontraron que la concentración de nitratos se redujo en un 77.6%. Estos datos son parecidos a los obtenidos por Maine *et*

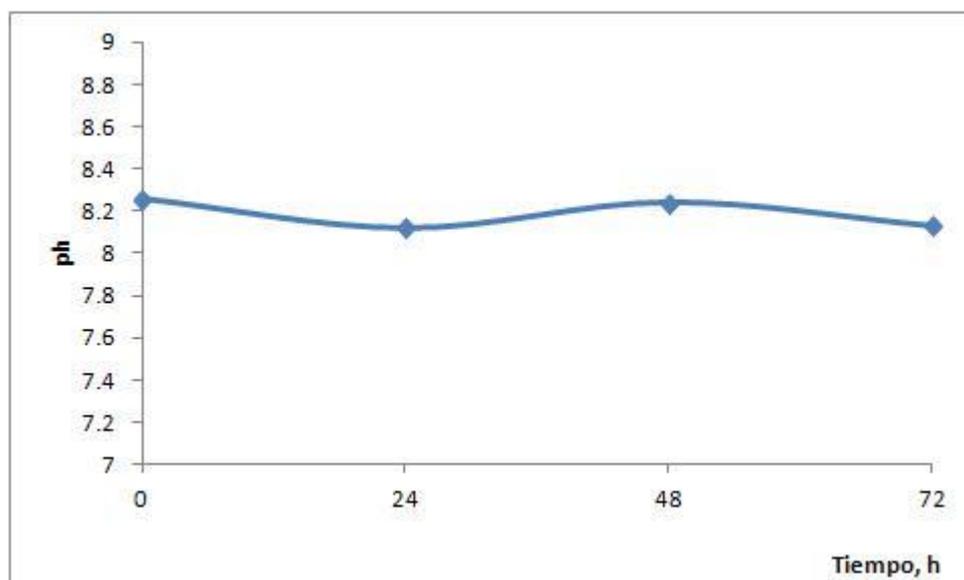
al (2006) en un experimento similar donde utilizo *Typha domingensis*, donde el encontró una disminución del 60% de nitratos en el humedal.



Gráfica 10: comportamiento de mg nitratos/l en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 21°C.

Los datos obtenidos de los sólidos totales en esta investigación fueron muy altos, no hubo una remoción de estos. Estos resultados son diferentes a los reportados en el 2004 por Zambrano X. *et al* en la cual encontraron una remoción del 90%.

En la gráfica 12, se observa el comportamiento que tuvo el pH el cual se encontró equilibrado manteniéndose en un rango de 8.12 a 8.27.



Gráfica 11: Comportamiento del pH en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 12 horas, con una temperatura ambiente de 21°C.

Se realizó la determinación de sólidos totales. El influente tenía 895 mg/l, y el efluente 1,600 mg/l.

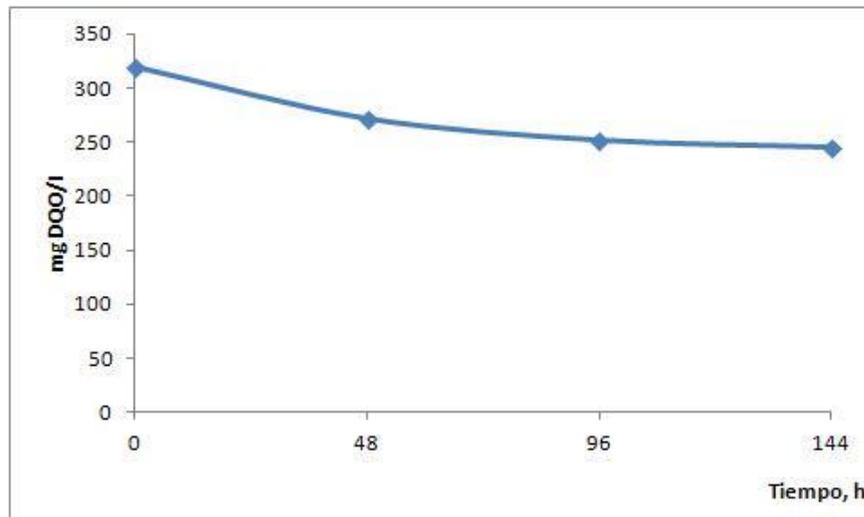
Los resultados del agua residual doméstica obtenidos del tiempo de retención hidráulica de 24 horas, a una temperatura de 22°C se muestran en la tabla 5.

Tabla 4: Datos obtenidos de los parámetros DQO, sulfatos, nitratos, amoníaco del tiempo de retención hidráulica de 24 horas.

Tiempo h	PH	mg DQO/l	mg sulfatos/l	mg nitratos/l	mg amoníaco/l
0	7.87	320	12	42.53	19.99
48	7.86	272	37	649.64	5.30
96	7.86	252	12	780.44	0
144	7.86	245	50	625.24	0

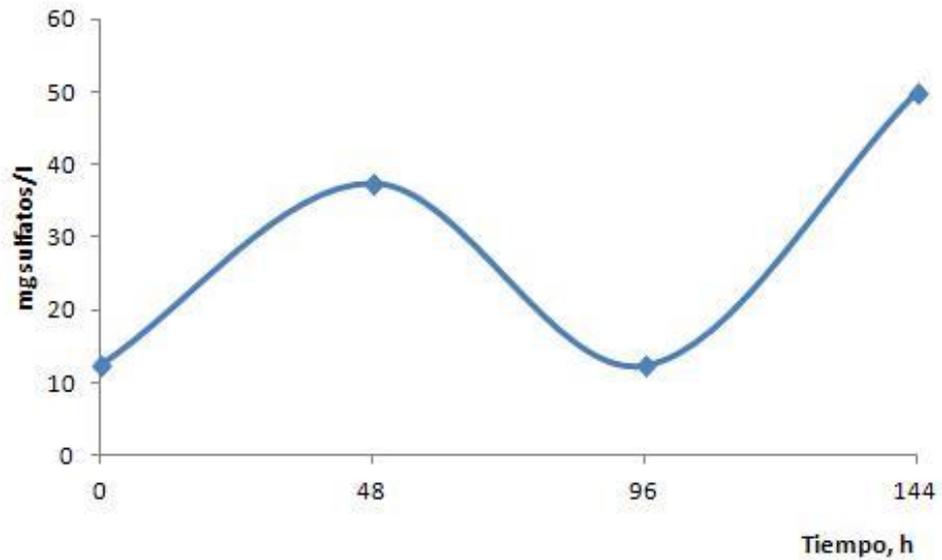
Los datos obtenidos de mg DQO/l son mostrados en la gráfica 13, los cuales indican que el agua entrante al humedal contenía 320 mg DQO/l, esta con el transcurso de las horas fue disminuyendo llegando a 245 mg DQO/l en 72 horas. Estos resultados tuvieron un equilibrio durante el experimento. Los

datos obtenidos en el presente experimento son similares a los reportados por Lahora A. en el 2001 quien trabajo en un tratamiento similar en el cual el agua de salida del humedal contaba con 125 mg DQO/l.



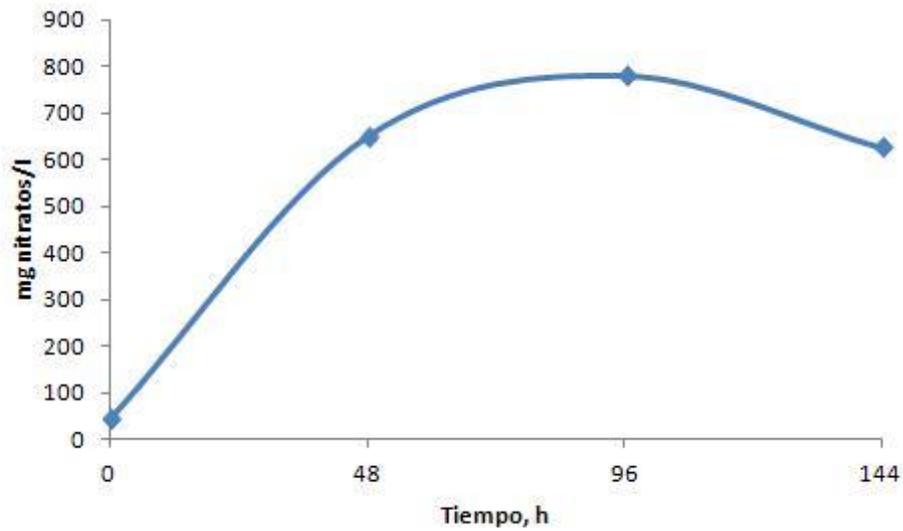
Gráfica 12: comportamiento de mg DQO/l en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 24 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.

Los resultados obtenidos para la variable sulfatos son presentados en la gráfica 14, la cual nos indica que el afluente al humedal contenía 12 mg sulfatos/l, pero para la hora 24 el líquido aumento llegando para la hora 72 a 50 mg sulfatos/l. Suñe *et al* reportaron datos similares demostrando que hubo una baja remoción de sulfatos, ya que estos se convierten en sales solubles para las plantas.



Gráfica 13: comportamiento de mg sulfatos/l en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 24 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.

En el gráfico 15 se muestra el comportamiento de los nitratos en las diferentes muestras tomadas durante el experimento. El agua inicial contenía muy baja concentración de nitratos en comparación de las muestras tomadas durante el TRH 24 horas de la repetición 1. Los datos se mantuvieron en un equilibrio. Estos resultados son similares a los reportados por James en 1988, quien encontró que en un humedal con la utilización de *Typha domingensis* se reducen los nitratos en un 30 a 35%.



Grafica 14: comportamiento de mg nitratos/l en un sistema humedal tratando agua residual doméstica pre-tratada (sistema anaerobio-aerobio), a un TRH de 24 horas, con una temperatura ambiente de 22°C.

Se realizó la determinación de sólidos totales. El influente tenía 3,608 mg/l, y el efluente 4,093 mg/l.

El pH en el TRH de 24 horas se mantuvo constante con alrededor de 7.86.

V. CONCLUSIONES

La depuración de aguas residuales con la utilización de macrófitas es reconocida por su gran eficacia. Es una forma económica de ayudar a tratar y recuperar las aguas residuales para regadío o simplemente para depurar las aguas antes de su desembocadura a cuerpos receptores de agua. Por todo ello, no sólo habría que invertir en construcción de humedales artificiales sino hacer especial hincapié en conservar y recuperar humedales naturales.

Se puede concluir que el sistema de humedales utilizados en esta investigación podría ser una solución adecuada para la purificación de aguas residuales (remoción de sólidos suspendidos), siempre que se establezca el uso del agua residual tratada así como seguir evaluando otros indicadores para mejorar el tratamiento.

VI. GLOSARIO DE TERMINOS

Humedal: son ecosistemas en los cuales conviven diferentes especies que permiten mantener un equilibrio en el cual se remueven contaminantes de aguas residuales por medio de un conjunto de procesos químicos, físicos y biológicos depurando un agua de una mejor calidad que puede ser reutilizada en otros procesos dependiendo de sus contenidos.

Fitorremediación: es un conjunto de tecnologías que reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas.

Rizofiltración: es una técnica de fitorremediación para descontaminar aguas, en donde el elemento contaminante se absorbe, forma complejos e interacciona con las raíces, de modo que se acumula en las raíces ya sea estrena o internamente.

Tiempo de retención hidráulica: tiempo medio teórico que permanece las partículas del líquido en un proceso de tratamiento.

DQO: es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación química de la materia orgánica presente en una muestra de agua.

Afluente: líquido que ingresa a un reservorio o a un proceso de tratamiento.

Efluente: líquido que sale de un reservorio o de un proceso de tratamiento.

Aguas residuales domesticas: residuos líquidos provenientes de viviendas o de edificios comerciales o institucionales.

Reactor: reservorio donde se lleva a cabo una transformación físico-química o biológica de un sustrato.

Sólidos totales: toda sustancia o materia contenida en una muestra de agua excluyendo el agua misma.

VII. LITERATURA CITADA

1. Aguilar-Romero M., Colín-Cruz A., Sánchez-Salinas E. y Ortiz-Hernández M. L. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25 (3) 157-167.
2. Arias C.A. y Brix H. 2003. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.* Vol. 13: pp. 17-24.
3. Arroyave M. P. 2004. La lenteja de agua (*Lemna minor L.*) una planta acuática promisor. *Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 1 p.* 33-38.
4. Baca M. F. 2012. Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de san Juan de Marcona. Universidad Nacional del Callao.
5. Borin M., Politeo M. y Stefani D.G. 2013. Performance of a hybrid constructed wetland treating piggery. *V 53,* 229-236.
6. Calheiros C. S., Rangel A. O. y Castro P. M. 2007. Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water Research* 41: 1790-1798.
7. Coleman J., Hench K., Garbutt K., Sexstone A., Bissonnette G. and Skousen J. 2000. Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands. *Water, Air, and Soil Pollution* 128: 283–295.
8. Farid M., Irshad M., Muhammad F., Awan A.Z., Eneji E.A. y Aurangzeb N. Grace B.J. 1988. The effects of nutrient additions on mixtures of *Typha*

latifolia L. and *Typha domingensis* pers. along a water-depth gradient. V 31, pages 83-92.

9. Hidalgo-C.J., Montano-J.J. y Estrada S.M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*, Vol. 14 (1): 17-25.
10. Lahora A. 2001. Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la edar de los gallardos (Almería). Tre cada literatura citada.
11. López D.A. E., Ramírez G. C. A., García P. F., Ibarra V. J. R. y Sandoval A. O. 2011. Fitorremediación una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 597- 612.
12. López Ñ. R. A., Vong M. Y., Borges O. R. y Olguín E. J. 2004. Fitorremediación fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*. Pp. 69-82.
13. Lorenzen B., Brix H., Mendelsohn A.I., Mckee L.K. Y Miao L.S. 2001. Growth, biomass allocation and nutrient use efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* as affected by phosphorus and oxygen availability. *Aquatic Botany* 70, 117–133.
14. Maine A.M., Suñe N., Hadad H., Sánchez G. y Bonetto C. 2006. Nutrient and metal removal in a constructed wetland for wastewater treatment from a metallurgic industry. *Ecologil engineering* 2 6, 341–347.
15. Maine A.M., Suñe N., Panigatti M.C., Sánchez G. y Hadad H. Wetland piloto para tratamiento de un efluente metalúrgico. Facultad de Ingeniería Química.
16. Márquez R.M. J. 2012 Fitorremediación de aguas residuales domesticas de lavado mediante la planta *Eichhornia crassipes*. Universidad internacional.file:///F:/Tesis/Introduccion/Fitorremediaci%C3%B3n%20de

%20aguas%20residuales%20dom%20C3%A9sticas%20de%20lavado%20 mediante%20....htm_

17. Martínez A.S.A., Toro B. F. M., Rojas G. G., Giraldo S. J. P. y Ángel H. M. L. 2010. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Informador Técnico (Colombia) Vol. 74, p 12 – 22.
18. Montoya M.J.P. y Correa R.J.C. 2010. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* kunth. Tesis de maestría. Universidad tecnológica de Pereira. Pp. 100.
19. Neves S. J.M., Aragón T. G. and Filho S. E.V. (2011). Effects of eutrophication and *Typha domingensis* Pers on methanogenesis in tropical constructed wetland. *Acta Limnologica Brasiliensia*. Vol. 23, no. 2, p. 145-153.
20. Norma oficial mexicana NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de agua - determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
21. Norma oficial mexicana NMX-AA-008-SCFI-2011. Análisis de agua - determinación del pH método de prueba.
22. Norma oficial mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
23. Norma oficial mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

24. Norma oficial mexicana. NMX-AA-026-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
25. Olmedilla P.M. y Rojo C. 2000. Función depuradora de los humedales una revisión bibliográfica sobre el papel de los macrófitas. Boletín SEHUMED, ISSN 1137 – 7747.
26. Peña C. E., Carter D. E. y Fierro-Ayala F. 2011. Toxicología ambiental. The university of Arizona. Pp. 2- 20.
27. Prado M. A., López P. M. E., Espinoza P. J., Nevares G. B. A. y Rodríguez O. A. L. 2011. Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. Rev. Int. Contam. Ambie. 27(3) 241-252.
28. Steven M.D. 1991. Growth, decomposition, and nutrient retention of *Cladium jamaicense* Crantz and *Typha domingensis* Pers. in the Florida Everglades. V40, pages 203-224.
29. Vaca M. M., Magdaleno C. L., Sosa C. M., Monroy M. M. y Jiménez C.B. 1996. Tratamiento terciario de aguas residuales por filtración e intercambio iónico. Instituto de Ingeniería, UNAM. Pp. 1-8.
30. Villar P.M.M., Domínguez R.P., Tack F., Ruiz H.M-J., Morales S y Arteaga E.L. 2012. Vertical subsurface wetlands for wastewater purification. Procedia Engineering 42, 1960 – 1968.
31. Zambrano X., Saltos X. y Villam F. 2004. Diseño del Sistema de Tratamiento para la Depuración de las Aguas Residuales Domésticas de la Población San Eloy en la Provincia de Manabí por medio de un Sistema de Tratamiento Natural compuesto por un Humedal Artificial de Flujo Libre. Facultad de Ingeniero en Ciencias de la Tierra.