

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA
PROGRAMA DE POSGRADO EN AGRONOMÍA TROPICAL
SOSTENIBLE



“Tratamiento de aguas residuales de tipo especial generadas por el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), utilizando humedales artificiales”

Presentada por:
Licenciada Ana Yaneth Valencia Rodríguez

Tesis
Presentada como requisito parcial para obtener el Grado de:
Maestra en ciencias
en Gestión Integral del Agua

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Lic. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

Ing. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

Ing. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

Esta Tesis fue realizada bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**Maestra
en Gestión Integral del Agua**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2019

Tribunal Evaluador de Tesis

Inga. M.Sc. Marcia Lizeth Barrera de Calderón
Asesora de Tesis y Presidenta del Tribunal Evaluador de Tesis

Ph. D. Mario Ernesto Parada Jaco
Secretario del Tribunal Evaluador de Tesis

Ph. D. Miguel Ángel Hernández Martínez
Vocal del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez
Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

Agradecimientos

A Dios y María Auxiliadora por guiarme y permitirme llegar a esta meta.

A mi madrina, la doctora Virginia del Pilar Minero, a mi madre, Ana Esperanza Rodríguez, a mis hermanos Laura, Raquel y Mauricio por su apoyo en cada momento.

A David Monroy por su comprensión y motivación.

Al Ing. Quirino Argueta Portillo por su ayuda en la recolección de las especies vegetales utilizadas en esta investigación.

A mis compañeras del laboratorio de suelos de CENTA, Inga. Sandra Najarro e Inga. Claudia Lino por su valiosa colaboración.

A la unidad de biometría de CENTA por su ayuda en la elaboración del análisis estadístico.

A mis asesores por motivarme a no darme por vencida en este proceso.

Índice

	Página
Resumen	1
Abstract.....	2
I. Introducción	3
II. Planteamiento del Problema	5
III. Objetivos.....	6
3.1. Objetivo General.....	6
3.2. Objetivos Específicos	6
IV. Hipótesis.....	6
V. Marco Teórico Conceptual	7
5.1. Recurso hídrico.....	7
5.1.1 Calidad del agua.....	7
5.1.2 Tratamiento de aguas residuales.....	7
5.2. Humedales	9
5.2.1 Concepto de Humedales Artificiales.....	10
5.2.2 Clasificación de los Humedales Artificiales.....	10
5.2.3 Componentes de los Humedales Artificiales.....	10
5.2.4 Mecanismos de depuración de los Humedales Artificiales.....	12
5.2.5 Investigación en tratamiento de aguas residuales.....	12
5.2.6 Plantas utilizadas en humedales artificiales.....	16
5.3. Legislación Salvadoreña relacionada a aguas residuales	18
5.3.1. Constitución de la República de El Salvador	18
5.3.2. Ley de Medio Ambiente	18
5.3.3 Reglamento Especial de Aguas Residuales.....	20
5.3.4. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09 “Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor.....	22
5.4. Efectos de los contaminantes en estudio sobre la salud humana y el medio ambiente	23

VI. Metodología.....	26
6.1 Ubicación del estudio.....	26
6.2 Universo.....	26
6.3 Muestra.....	26
6.4 Etapas y procedimiento del estudio.....	27
VII. Resultados y discusión.....	34
VIII. Conclusiones.....	48
IX. Recomendaciones.....	49
X. Bibliografía.....	50
XI. Anexos.....	59

Índice de Cuadros

Página

Cuadro 1. Mecanismos de depuración predominantes en los humedales artificiales.....	12
Cuadro 2. Frecuencia mínima de muestreo y análisis de aguas residuales de tipo especial	21
Cuadro 3. Valores máximos permisibles para los parámetros en estudio NSO.13.49.01:09.	23
Cuadro 4. Requerimientos de muestreo.....	32
Cuadro 5. Cuadro general de resultados.....	35
Cuadro 6. Tabla comparativa entre resultados obtenidos y NSO.13.49.01:09.....	43
Cuadro 7. Resultados de análisis de suelo.....	44
Cuadro 8. Comparación de contenido de calcio y magnesio del lecho de grava y suelo y su posible influencia en el agua tratada.....	46

Índice de Figuras

	Página
Figura 1.Humedales artificiales construidos en Yucatán, México.....	14
Figura 2.Diagrama del humedal artificial construido en Regimiento de Caballería, El Salvador.....	15
Figura 3. Fotografía de <i>Phragmites australis</i>	17
Figura 4.Fotografía de <i>Typha angustifolia</i>	18
Figura 5.Ubicación oficinas centrales del CENTA.....	26
Figura 6. Establecimiento de vivero de <i>Phragmites australis</i> y <i>Typha angustifolia</i>	27
Figura 7.Tanque de recolección de agua residual.....	28
Figura 8.Construcción de sistema de flujo subsuperficial.....	28
Figura 9.Construcción de sistema superficial.....	29
Figura 10.Establecimiento total de humedal artificial.....	30
Figura 11.Toma de temperatura y caudal en el humedal artificial.....	31
Figura 12.Muestreo de agua residual en la entrada del humedal artificial.....	31
Figura 13.Toma de muestra en la salida del humedal artificial.....	31
Figura 14.Diagrama de flujo de las etapas de la investigación.....	33
Figura 15.Porcentaje de remoción durante los meses de muestreo.....	36
Figura 16.Comportamiento de magnesio vrs.tiempo.....	38
Figura 17.Comportamiento de calcio vrs. tiempo.....	39
Figura 18.Incremento de oxígeno disuelto.....	39
Figura 19.pH vrs.tiempo.....	40
Figura 20.Relación de porcentaje de remoción respecto a pH.....	41
Figura 21.Concentración de calcio y magnesio vrs.pH.....	42
Figura 22.Comportamiento de oxígeno disuelto vrs.pH.....	42
Figura 23.Comparación de análisis de suelo inicial y final.....	45

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1. Listado reactivos del laboratorio de suelos CENTA.....	60
Anexo 2. Registro fotográfico de aguas residuales del laboratorio de suelos	61
Anexo 3. Cálculo de porcentajes de remoción de los contaminantes en estudio.	63
Anexo 4. Resultados de análisis estadísticos.....	67
Anexo 5. Resultados de análisis del agua residual.	78
Anexo 6. Resultados de análisis de suelo.	97
Anexo 7. Límites máximos permisibles Norma aguas residuales acantarillado ANDA.	98
Anexo 8. Resultados de análisis de grava.....	99

Resumen

Valencia Rodríguez, AY. 2019. Tratamiento de aguas residuales de tipo especial generadas por el Laboratorio de Suelos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), utilizando humedales artificiales. Tesis de Maestría. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 100 p.

En El Salvador se tiene poca información sobre el tratamiento que dan los laboratorios de análisis a sus aguas residuales vertidas a un cuerpo receptor. Esta investigación es necesaria ya que las aguas residuales provenientes de sus actividades contienen contaminantes perjudiciales a la vida humana y ecosistemas acuáticos. Debido a esto, en el Laboratorio de Suelos del CENTA, ubicado en la zona de influencia del Río Sucio, se realizó la presente investigación con la finalidad de disminuir la carga de contaminantes químicos y generar menor impacto ambiental. Para ello se construyó un humedal artificial, constituido por tres estructuras plásticas de un metro de largo, 0.5 metros de ancho y 0.8 metros de profundidad, los cuales se conectaron secuencialmente por medio de tubería PVC de media pulgada. Las primeras dos estructuras (flujo subsuperficial) se llenaron con grava de cinco mm de diámetro, y suelo en las cuales se sembró *Phragmites australis*, y la tercer estructura contenía solamente suelo, en ella se sembró *Typha angustifolia* (flujo superficial). El tiempo de retención fue de 4.7 días desde la primera hasta la tercer estructura. Se tomó muestras de agua a la entrada y salida del humedal, durante los meses de noviembre y diciembre 2013, y enero y junio 2014. Este sistema fue eficiente, disminuyendo la concentración de contaminantes químicos en porcentaje de remoción promedio superior al 60% para la mayoría de parámetros evaluados (DQO, sólidos suspendidos y sedimentables, metales, fosfatos, sulfatos, cloruros, sodio y cromo total) y se observó incremento de 2.7 ppm de oxígeno disuelto, así mismo se obtuvo cambio significativo en el pH del agua tratada (efecto buffer). También se demostró que *Phragmites australis* es eficiente para remoción de sólidos, fosfatos y cromo total así como también aumenta el oxígeno disuelto en 4 ppm (1.7 más que *Typha*). Aunque se obtuvieron altos porcentajes de remoción, algunos parámetros como sulfatos y hierro se mantienen elevados respecto a la NSO 13.49.01:09, por lo que se recomienda continuar investigaciones utilizando humedales artificiales y otros tratamientos para estos contaminantes.

Palabras claves: Humedal artificial, desechos químicos, *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, laboratorio de suelos, CENTA, Norma de aguas residuales.

Abstract

Valencia Rodríguez, AY. 2019. Treatment of special type waste water generated by the Soil Laboratory from Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), Using artificial wetlands. Master`s Thesis. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 100p.

In El Salvador there is little information about the treatment given by chemical analysis laboratories to their wastewater discharged to a water receiving body. Due to this and to comply with the Salvadoran legislation on wastewater in the soil Laboratory of CENTA, located in the area of influence of the Rio Sucio. This research work was carried out during the months of November 2013 to June 2014, which consisted of establishing a system for wastewater treatment with chemical waste from this laboratory. To this end, an artificial wetland was built, consisting of three plastic structures one meter long, 0.5 meters wide and 0.8 meters deep, which were sequentially connected by half-inch PVC pipe. The first two structures (subsurface flow) were filled with gravel of five mm in diameter, sand and soil in which *Phragmites australis* was planted, and the third structure contained only soil, in which *Typha angustifolia* (superficial flow) was planted. The retention time was 4.7 days from the first to the third structure. Water samples were taken at the entrance and exit of the wetland, during the months of November and December 2013, and January and June 2014. With this system, the concentration of chemical pollutants was reduced, obtaining an average removal percentage higher than 60% for most of parameters evaluated (COD, suspended and sedimentable solids, metals, phosphates, sulphates, chlorides, sodium and total chromium) and an increase of 2.7 ppm of dissolved oxygen was observed, as well as a significant change in the pH of the treated water. It was also shown that *Phragmites australis* is efficient for removal of solids, phosphates and total chromium as well as increasing dissolved oxygen until 4 ppm. Although high percentages of removal were obtained, some parameters such as sulfates and iron remain high with respect to NSO 13.49.01: 09, so it is recommended to continue research using artificial wetlands and other treatments for these pollutants .

Keywords: artificial wetland, chemical waste, *Phragmitesaustralis*, *Typha angustifolia*, soil laboratory, CENTA, Wastewater standard.

I. Introducción

La presente investigación se refiere a la evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes químicos en aguas residuales de tipo especial, utilizando un sistema de humedal artificial con las especies *Phragmites australis* y *Typha angustifolia*. Las aguas residuales depuradas corresponden a las generadas por los procesos diarios de trabajo en el laboratorio de suelos del CENTA, que se caracterizan por contener principalmente ácidos y álcalis fuertes, así como sustancias reductoras y oxidantes.

La evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales provenientes de laboratorios analíticos se hace necesaria porque son efluentes con cargas contaminantes muy elevadas y su efecto en los cuerpos receptores podría afectar su biodiversidad ya que contienen contaminantes altamente tóxicos y perjudiciales a la vida humana y ecosistemas acuáticos, además puede ingresar a las aguas subterráneas.

Considerando lo anterior, se realizó esta investigación como interés del laboratorio de suelos del CENTA por buscar alternativas de tratamiento para sus aguas residuales, y así dar cumplimiento a la normativa nacional vigente al respecto y contribuir a la reducción de la carga contaminante del río Sucio.

Por otra parte, la evaluación de estos sistemas de tratamiento en aguas residuales especiales, brinda aportes al conocimiento de los procesos físicos, químicos y biológicos presentes y permite obtener información sobre su eficiencia de remoción de contaminantes como: Demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables (SSed), sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto, bario, molibdeno, pH, calcio, magnesio, potasio, sodio, fosfatos, sulfatos, cloruros, nitratos, hierro, cromo total y cromo VI.

El trabajo fue realizado por medio de cuatro muestreos de parámetros físico químicos del sistema integrado y de respuesta individual de *Typha* y *Phragmites*. Se analizó además la composición química del sustrato de suelo y el contenido de calcio y magnesio en el sustrato de grava para explicar la composición química del agua residual a la salida del sistema.

El desarrollo de este documento se llevó a cabo a través de capítulos: Siendo el primero el correspondiente a la presente introducción, en un segundo capítulo se plantea la problemática a tratar, tercero se establecen los objetivos tanto a nivel general como específicos.

En el cuarto capítulo se plantea la hipótesis, quinto se desarrolla los conceptos teóricos relacionados a la temática de humedales artificiales, no sin antes hacer una reseña general del recurso hídrico.

Como sexto capítulo, se explica la metodología que se llevó a cabo para desarrollar la presente investigación, con la ayuda de registro fotográfico y esquemas.

El séptimo capítulo contiene los resultados obtenidos, así como también un análisis de los mismos, utilizando figuras en las cuales se muestra el comportamiento de los parámetros estudiados. Partiendo de estos resultados, se lleva a cabo conclusiones (capítulo VII) y recomendaciones (capítulo IX) que pueden generar aportes para desarrollar otras investigaciones. Así mismo, para dar soporte científico se ha incorporado en el capítulo X, las referencias bibliográficas correspondientes, y a través del capítulo XI referente a anexos, se presentan los certificados de análisis y registro fotográfico que respaldan los resultados y análisis de los mismos.

II. Planteamiento del problema

En El Salvador se tiene poca información sobre el tratamiento que dan los laboratorios e industrias que generan desechos químicos a sus aguas residuales antes de ser descargadas a un cuerpo receptor. Un ejemplo es el Río Sucio, el cual se considera uno de los más contaminados en El Salvador (ITCA- FEPADE2011), catalogándose la calidad de su agua como “regular” con un Índice de Calidad de Agua de 54, lo cual significa que no cumple para uso en potabilización, riego, consumo de especies animales y actividades recreativas (MARN 2017). Se ha determinado que gran parte de la carga contaminante del río proviene de desechos domésticos, industriales y agrícolas que se han vertido en él durante las últimas décadas.

Debido a lo anterior, es necesario que las industrias y laboratorios analíticos que se encuentran en la zona de influencia del Río Sucio que utilizan diversidad de compuestos químicos para llevar a cabo sus actividades, realicen tratamientos a sus aguas residuales. Es por esto que en el Laboratorio de análisis de suelos del CENTA, se consideró importante llevar a cabo investigación en tratamiento de los desechos químicos que se generan de sus actividades (aproximadamente 80litros semanales), para ello se diseñó un sistema de humedales artificiales utilizando dos especies vegetales: *P. australis* y *T. angustifolia*.

Así mismo esta investigación es importante para implementar la gestión medioambiental como parte del sistema de calidad en los laboratorios de la institución.

III. Objetivos

3.1 Objetivo General

Disminuir la carga de contaminantes químicos que genera el laboratorio de suelos de CENTA, utilizando sistema de humedal artificial, con el fin de generar un menor impacto ambiental.

3.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar la eficiencia del humedal artificial en la remoción de contaminantes químicos presentes en las aguas residuales del laboratorio de suelos de CENTA.

- b) Comparar los resultados de la calidad del agua tratada con los límites máximos permisibles en el Reglamento Especial de Aguas Residuales y en la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales descargadas a un cuerpo Receptor (NSO 13:49.01:09) vigente en El Salvador.

IV. Hipótesis

El humedal artificial disminuye la concentración de contaminantes químicos de las aguas residuales de tipo especial del laboratorio de suelos de CENTA, antes de la descarga a un cuerpo receptor.

V. Marco Teórico Conceptual

5.1 Recurso hídrico

El agua es un elemento esencial para la vida en la tierra. Según los Principios de Dublín, este recurso es finito y vulnerable, ya que el volumen de agua total en el planeta Tierra es de 1,500 millones de kilómetros cúbicos, de lo cual, 97% se encuentra en los mares y océanos, el 2% en glaciares y zonas polares, el 0.54% en aguas subterráneas y el 0.06% en ríos y lagos (Ibarra *et al.* 2012). Es decir, que uno de los problemas que enfrenta este recurso es su poca disponibilidad para muchos habitantes del planeta, a lo cual se suma otra problemática como la contaminación del agua(Ibarra *et al.* 2012).

5.1.1 Calidad del agua

La OEA (Organización de Estados Americanos) en 1995, determinó que las cuencas de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa eran las más contaminadas en El Salvador. Además en estudios realizados, se refleja que solamente el 17% de los ríos en El Salvador tienen calidad “buena”(SNET 2007), sin embargo investigaciones más recientes señalan que se ha logrado incrementar a un 27% los sitios con calidad de agua “buena”(MARN 2017). Por lo tanto, es necesario seguir buscando estrategias para conservar y recuperar la calidad del recurso hídrico, entre las cuales puede mencionarse la identificación de fuentes contaminantes, monitoreo preliminar y de control de la contaminación, así como también que las empresas que descargan sus aguas residuales a los ríos deben tener planes de adecuación para disminuir los niveles de contaminación. Estos planes por lo general se refieren a establecer tratamientos de las aguas residuales.(SNET 2002).

5.1.2 Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales pueden clasificarse en: aguas residuales de tipo ordinario y aguas residuales de tipo especial.

Las aguas residuales de tipo ordinario: son las generadas por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares(CONACYT 2009).

Las aguas residuales de tipo especial, se refieren a las generadas por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario (CONACYT 2009).

El tratamiento de las aguas residuales se define como los procesos físicos, químicos y biológicos, definidos para depurar las condiciones de las aguas residuales a través de operaciones y procesos unitarios: preliminares, primarios, secundarios o avanzados (terciarios), a fin de cumplir con las normas vigentes (Metcalf1991).

1. Tratamiento preliminar

Consiste en el uso de rejillas, tamices, micro filtros y desarenadores. Las rejillas sirven para retener el material grueso que pueda afectar el funcionamiento de bombas, válvulas y aireadores. Generalmente tienen un grosor de 6 mm y una distancia de 100 mm de distancia (Metcalf 1991).

Los tamices tienen una abertura máxima de 2.5 mm, una inclinación que deja correr el agua y hace deslizar los desechos fuera de la malla, además deben tener un desnivel entre el punto de entrada del agua y el de salida.

Micro filtros: son planillas giratorias plásticas o de acero, por las cuales circula el agua y recogen los desechos y las basuras en su interior, tienen sistemas de lavados para mantener limpias las mallas.

Desarenadores: retienen arena, tierra y otros elementos vegetales y minerales que contenga el agua residual.

2. Tratamiento primario

Sirve para remover materiales sedimentables usando tratamientos físicos o físico-químicos. En algunos casos se dejan las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o pueden añadirse sustancias químicas quelantes (coagulación) en dichos tanques, así como también neutralizantes del pH y para eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción). Otros procesos que se incluyen en este tratamiento son el desengrase, sedimentación primaria y filtración.

En este tipo de tratamiento se pueden retirar entre 60% al 65% de los sólidos sedimentables y del 30% al 35% de los sólidos suspendidos (Metcalf 1991).

3. Tratamiento secundario

Sirve para eliminar desechos y sustancias que no se pudieron eliminar en el tratamiento primario y para remover las demandas biológicas de oxígeno. Puede incluir procesos biológicos y químicos. Este proceso acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos, se hace en tanques que tienen sistema de burbujeo o agitación en condiciones aerobias para el crecimiento de microorganismos, luego se conduce este líquido hasta tanques cilíndricos con sección en forma de cono en los que se decantan los lodos. A este proceso se le llama lodos activos.

Otros procesos secundarios son los biodiscos y el lagunaje. El primero consiste en esparcir una película de microorganismos. Los biodiscos pueden estar sumergidos de un 40% a un 90% y la parte que queda en la superficie aporta oxígeno a la actividad celular.

El lagunaje es utilizado en terrenos muy extensos y su duración es 1/3 días en retención y debe haber buena agitación para mantener los lodos en suspensión, excepto en la salida del efluente (Metcalf 1991).

4. Tratamientos terciarios

Consiste en procesos físicos y químicos para limpiar las aguas de contaminantes específicos como fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus y compuestos orgánicos. Se usa por ejemplo para purificar agua en algunas industrias. Entre los tratamientos terciarios pueden considerarse los humedales artificiales (Metcalf 1991).

5.2 Humedales

Según la Convención Ramsar (1971) un humedal es una zona de la superficie terrestre que esta temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan. Se consideran humedales “las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. En los humedales crecen y se desarrollan diferentes tipos de vegetales, animales y microorganismos, adaptados a estas condiciones de

inundaciones temporales o permanentes. En este tipo de ecosistema se desarrollan también procesos físicos y químicos, que eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fosforo e incluso productos tóxicos. (PTEA 2012).

5.2.1 Humedales artificiales

Los humedales artificiales se definen como sistemas biológicos confinados mediante algún tipo de impermeabilización, los cuales son una simulación del funcionamiento de los humedales naturales, dándose procesos de sedimentación, filtración, adsorción, fotosíntesis y foto oxidación (Mena 2008).

5.2.2 Clasificación de los humedales artificiales

Los humedales artificiales pueden ser de dos tipos: de sistema de flujo libre o superficial (FS) y de sistema de flujo subsuperficial (FSS).

Los sistemas de flujo superficial son canales de poca profundidad construidos con una barrera que confina el sistema y evita filtraciones, contienen un lecho de grava o arena para soportar las raíces de la vegetación emergente a través de las cuales circula el agua residual. La superficie del agua está expuesta a la atmosfera y la trayectoria del flujo es horizontal.

Los humedales de flujo subsuperficial están diseñados específicamente para tratamiento de algún tipo de agua residual o su fase final de tratamiento y está construido típicamente en forma de lecho o canal que contiene un medio de soporte con un material sólido poroso (roca, arena o grava). El agua residual circula a través de éste y siempre por debajo de la superficie del mismo. Estos sistemas son plantados con vegetación emergente (EPA 2000).

5.2.3 Componentes de los humedales artificiales

Los humedales artificiales están formados por los siguientes elementos:

- a) **Agua Residual:** De ello depende el estado oxidativo del lecho, la disponibilidad de los nutrientes y salinidad, esto determina los seres vivos que van a desarrollarse en el humedal, los cuales influirán en las características fisicoquímicas del humedal. (Mena 2008).

b) Medio de soporte: Está formado por suelo, arena, grava, roca. Debe tener permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él.

Es importante porque permite soportar a muchos organismos vivientes en el humedal, permite muchas transformaciones químicas y biológicas y proporciona almacenamiento para muchos contaminantes. (Andrade *et al.* 2010).

c) Vegetación (plantas acuáticas emergentes): Contribuyen al tratamiento del agua residual de la siguiente manera: Actúan como canales de transporte de gases como CO₂ y metano hacia la atmosfera y oxígeno hacia el material de soporte. Esto depende de la especie, tamaño de la planta, época del año, edad de la planta y condiciones ambientales en general. Las plantas mantienen sus raíces en condiciones aerobias, por ejemplo *Phragmites australis* suministra entre 2.08 gramos de oxígeno por metro cuadrado por día y 12 g. de O₂/m²/d. (Brix y Schierup 1990). Además, contribuyen disminuyendo la velocidad del agua, permitiendo que los materiales suspendidos se depositen. Otra característica importante de las plantas en los humedales es que toman carbono y elementos traza y los incorporan a los tejidos vegetales, sus raíces influyen en la extracción de nutrientes (contaminantes) del agua residual, así como también sirven para fijar microorganismos y mantener temperatura constante. Existen estudios hechos con y sin plantas, resultando más eficiente la depuración cuando las plantas están presentes (Kadlec 1996).

d) Microorganismos: Incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. Consumen gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes como compuestos orgánicos, amonio, hidrógeno o sulfuros, oxígeno, nitrato, hierro (III), manganeso (IV) ó sulfato. La actividad microbiana altera las condiciones de potencial redox del sustrato y afecta la capacidad de proceso del humedal. Los microorganismos consumen nutrientes incorporándolos a su estructura celular y por lo tanto las condiciones químicas y físicas del humedal van a determinar qué tipo de microorganismos (autótrofos o heterótrofos) se van a desarrollar. La presencia de microorganismos puede ser afectada por sustancias tóxicas como pesticidas y metales pesados (Lara 1999).

5.2.4 Mecanismos de depuración en los humedales artificiales

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos y nitrógeno, así como metales, compuestos orgánicos traza y patógenos. Los mecanismos básicos por los que actúan los humedales son: tamizado, sedimentación, precipitación química, adsorción y degradación microbiológica de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y del nitrógeno, así como captación por parte de la vegetación (Mena 2008). En el cuadro 1 se presentan los mecanismos de depuración y los contaminantes que se eliminan.

Cuadro 1. Mecanismos de depuración en los humedales artificiales.

Contaminantes	Mecanismos de eliminación
Sólidos suspendidos	- Sedimentación y filtración
Materia orgánica	-Degradación microbiana aerobia y anaerobia.
Nitrógeno	Amonificación seguido por nitrificación microbiana y desnitrificación, Asimilación por parte de las plantas Adsorción principal y volatilización del amoniaco
Fósforo y metales	*Adsorción por parte del lecho y Asimilación por parte de las plantas.

Fuente: Mena 2008

5.2.5 Investigaciones en tratamiento de aguas residuales utilizando humedales artificiales.

La investigación en humedales artificiales la inició K. Seidel en el Max Planck Institute, a comienzos de los años 50 en Alemania, Actualmente se está implementando en diferentes partes del mundo (GIZ 2011). Por ejemplo, en España, Andreo (2014), evaluó la eficacia del proceso de depuración de aguas residuales domésticas mediante un sistema híbrido de humedales plantados con *Phragmites australis*. Obteniendo cumplimiento de los parámetros exigidos por la legislación española durante el primer año.

Con respecto a Latinoamérica, sobre todo en México y Colombia se han realizado diversas investigaciones en el tratamiento de desechos peligrosos, utilizando plantas para descontaminar suelo y agua, como los citados a continuación:

Gutiérrez *et al.* (2003) en Morelos, México, estableció un sistema secuencial de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, en el cual se instalaron tres módulos utilizando *Typha domingensis* en el primer contenedor, *Phragmites australis* en el segundo y mezclando ambas en el tercero. Las aguas tratadas correspondían a las generadas en el Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Los autores obtuvieron disminución en los contaminantes, dándose mayor remoción en el último humedal (combinación de ambas especies). Los parámetros como sólidos sedimentables, suspendidos totales, fósforo, demanda química de oxígeno (DQO) y metales como arsénico, cromo, mercurio, níquel, zinc no rebasaron los límites establecidos en la Norma, pero grasas y aceites, nitrógeno, coliformes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y plomo continuaron por arriba de los límites permitidos.

Vallejos *et al.* (2005), construyeron un humedal artificial de flujo subsuperficial a micro escala, para el tratamiento de aguas residuales del sector urbano en Yucatán, México. Se utilizó la especie *Typha latifolia*, concluyeron que al aumentar el tiempo de permanencia en el sistema, incrementó la eficiencia de remoción de los parámetros de calidad de agua analizados. El diseño utilizado se presenta en la figura 1.

Colín *et al.* (2009) llevó a cabo tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales, evaluando la carga orgánica. En este trabajo se diseñó un humedal artificial con tres módulos secuenciales, en el primero se estableció la especie *Phragmites australis*, en el segundo *Typha dominguensis* y en el tercero las dos especies. Se analizó los parámetros Demanda Química de Oxígeno (DQO), los iones de nitrógeno (N-NO³⁻, N-NO²⁻ y N-NH⁴⁺) y el fósforo total, llegando a la conclusión que este sistema es opción para la remoción de la carga orgánica y de nutrimentos, de bajo costo de operación y mantenimiento.



Figura 1. Humedales artificiales construidos en Yucatán, México.
Fuente: Vallejos 2005.

Por otra parte, Alfaro de la T *et al.* (2009) realizaron el trabajo “Contribución de *Typha latifolia* a la Remoción de Cadmio y Plomo en un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial”, llevado a cabo en San Luis Potosí, México. Se concluyó que el humedal fue eficiente para la remoción de cadmio y plomo (más del 90%), además, se determinó que el material de soporte (grava y piñón 1:1) remueve 40mg/Kg de plomo y más de 30 mg/Kg de cadmio.

En Manizales, Colombia, Zapata (2014) desarrolló un trabajo de investigación acerca de mitigación de la contaminación hídrica en la quebrada La Nutria, utilizando humedales artificiales. Se logró disminuir contenido de materia orgánica hasta un 98%, así como también eliminar grasas y aceites en un 47% y mejorar pH desde 13.6 a 4.5 utilizando especies macrófitas.

En El Salvador, también se ha iniciado la implementación de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario, como por ejemplo el implementado en el Regimiento de Caballería (Argueta *et al.* 2008) en el cual se mejoró la calidad de las aguas residuales generadas en dicho regimiento y se reutilizaron para propósitos agrícolas. Las especies más eficientes para la descontaminación fueron *P. australis* y *T. angustifolia*. Se obtuvo como resultado que la carga de coliformes disminuyera hasta un 99% respecto a los

valores iniciales, así también se mejoraron los parámetros fisicoquímicos como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, ORP (potencial de oxido reducción), conductividad eléctrica y salinidad (Figura 2).

Depuración de aguas residuales en laboratorios analíticos en El Salvador.

Con respecto a laboratorios de análisis, en El Salvador no se ha encontrado información del uso de humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales de tipo especial. Solamente se ha realizado investigación de otras metodologías para disminuir los contaminantes, como por ejemplo el llevado a cabo por Flores (2013), en el cual se generó una propuesta de tratamiento y disposición de los residuos químicos generados en el laboratorio de calidad de aguas del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, utilizando métodos de separación, precipitación, destilación y neutralización de acuerdo a las características y peligrosidad de los desechos generados. Con estos tratamientos se obtuvo eficiencia entre el 44.17% y 99.91% de remoción.

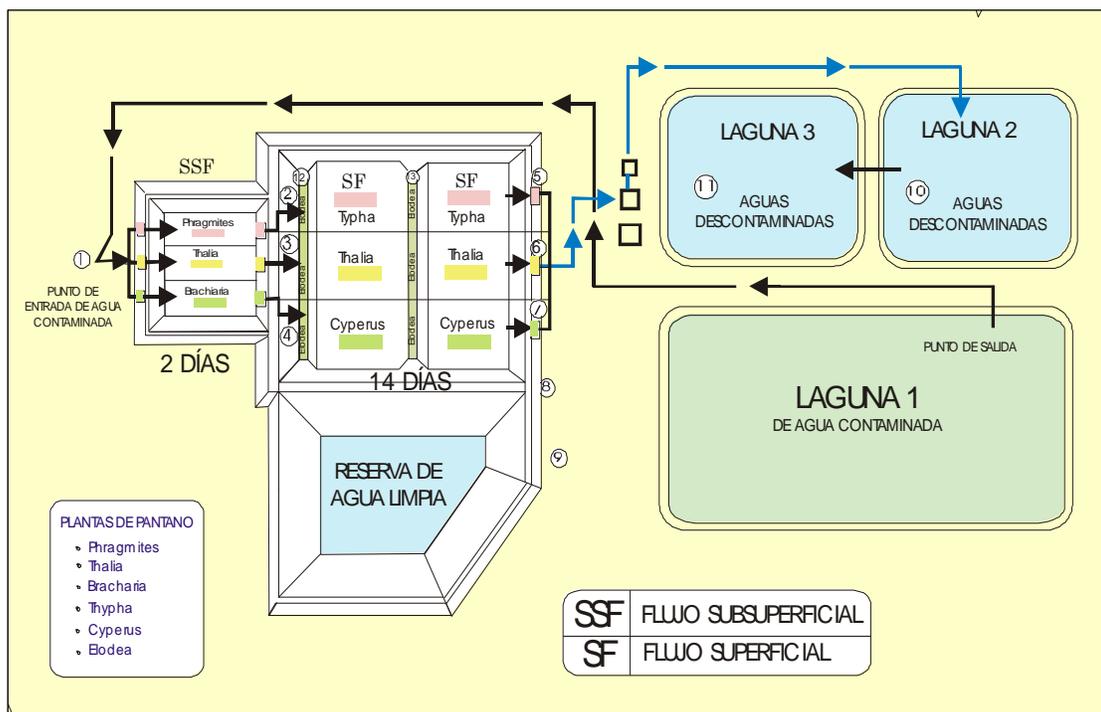


Figura 2. Diagrama del humedal artificial construido en el Regimiento de Caballería, San Andrés, La Libertad, El Salvador.

Fuente: Argueta 2008.

Con respecto a los laboratorios de CENTA, Álvarez (1999) a través de una consultoría de redimensionamiento de los laboratorios del CENTA para su acreditación, recomendó incorporar una planta de tratamiento biológica en pequeña escala, de tal forma que los desechos se vuelvan aceptables para ser tratados en el sistema de aguas negras. Además, sugirió que los ácidos y álcalis deben preferiblemente ser neutralizados antes de su disposición en el sistema de drenaje del laboratorio y que el descarte de sustancias químicas en este sistema debe limitarse a unos pocos cientos de gramos o mililitros.

5.2.6 Plantas utilizadas en Humedales Artificiales

Entre las especies de plantas utilizadas más ampliamente en investigación para depurar aguas residuales y que han dado mejores resultados, se mencionan *P. australis* y *T. angustifolia* (Gutiérrez *et al.* 2003), (Colín *et al.* 2009), (Londoño y Marín 2009), a continuación se describen ambas especies.

1) *Phragmites australis*.

Clasificación botánica

Nombre científico: *Phragmites australis*

Nombre común: Vara de cuete, carrizo o cañaveral

Familia: Poaceae

Tipo de planta: Emergente, anclada

Neófito de gran tamaño, perenne y provisto de un gran rizoma leñoso, cubierto con vainas coriáceas semejantes a escamas. Vive en marismas, lagunas y bordes de ríos formando densas poblaciones, desde el nivel del mar a los 1000 m de altitud. Distribución cosmopolita, presente en todo el mundo. En muchos lugares presenta comportamientos invasivos (Revista Astur Natura 2006).

En cuanto a la incidencia de plagas y enfermedades, en Europa se considera resistente a estos factores (Fernández *et al* s.f), sin embargo en algunas regiones de Latinoamérica como Argentina (Ortego 2004) y Perú (Vilca 2011) se ha reportado presencia de áfidos (pulgonos) en distintas especies de *Phragmites*.

En cuanto a luz, crece a plena luz aunque soporta sombra, temperatura debe ser calor moderado. Se desarrolla en suelos encharcados ricos en nitrógeno y tolera pH entre 4.5 a 7.5 (Revista Astur Natura 2006), sin embargo Correa (2015) menciona que resiste un rango de pH más amplio (2.0 a 8.0).



Figura3. *Phragmites australis*

Fuente: Argueta 2008.

2) *Typha angustifolia* (Núñez 2017), (Plaza y Vidal 2007)

Clasificación botánica

Nombre científico: *Typha angustifolia* L.

Nombre común: Junco de la pasión, junco de estera

Familia: Typhaceae

Tipo de planta: Emergente

Son plantas que poseen tallos erectos, de 2 a 3 metros de altura, que provienen de rizomas ramificados. Se propaga por rizomas y semillas. Soporta pH entre 5.5 a 8.0 (Revista Astur Natura 2006). Las plantas adultas de *Typha* son muy rústicas y resistentes a plagas y enfermedades (Fernández *et al* s.f).



Figura 4. *Typha angustifolia*
Fuente: Argueta y Quintanilla 2008.

5.3 Legislación Salvadoreña relacionada a aguas residuales

En El Salvador existe legislación diversa en el tema de aguas residuales, comprendiendo desde lo más general como la Constitución de la República de El Salvador hasta puntos más específicos como los contemplados en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor (NSO.13.49.01:09).

5.3.1 Constitución de la República de El Salvador:

La Constitución de la República de El Salvador de 1983, mediante el decreto legislativo número 38, establece que su finalidad es hacer valer los derechos de las personas y sus obligaciones. Hace referencia al medio ambiente a través del siguiente artículo:

Artículo 117. Es deber del Estado proteger los recursos naturales, así como la diversidad e integridad del medio ambiente, para garantizar el desarrollo sostenible.

Se declara de interés social la protección, conservación, aprovechamiento racional, restauración o sustitución de los recursos naturales, en los términos que establezca la Ley. (Asamblea Legislativa 1983).

5.3.2 Ley de Medio Ambiente

La Ley de Medio Ambiente surgió mediante Decreto Legislativo No.233 (Asamblea Legislativa 2007) surge para dar cumplimiento a los compromisos internacionales adquiridos en materia de medio ambiente. En algunos artículos establece lo siguiente:

Artículo. 2, literal b. El desarrollo económico y social debe ser compatible y equilibrado con el medio ambiente; tomando en consideración el interés social señalado en el Artículo 117 de la Constitución de la República.

Artículo 40: “El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, las Universidades, el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal del Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio de Educación y demás organismos que promuevan y desarrollen la investigación científica y tecnológica, incluirán en sus planes, programas y proyectos de ciencia y tecnología la dimensión ambiental”.

Artículo 61: De conformidad con el Artículo 40 de la Ley, las instituciones relacionadas, incorporaran en sus planes y proyectos de ciencia y tecnología la dimensión ambiental. Para tal efecto, realizaran las actividades siguientes:

- a. Coordinar con el ministerio, la asistencia técnica que facilite la incorporación de la dimensión ambiental, en sus actividades propias;
- b. Realizar esfuerzos para obtener financiamiento, a través de entidades nacionales o extranjeras, que apoyen este tipo de programas;
- c. Dar preferencia a la formación de profesionales y técnicos en la realización de estudios científicos y tecnológicos en materia ambiental y de desarrollo de tecnologías ambientales sanas.

Artículo 64. Para la formulación y actualización de las Normas Técnicas de calidad ambiental, deberá tomarse en cuenta:

- a. Que la contaminación no exceda los límites que pongan en riesgo la salud humana o el funcionamiento de los ecosistemas;
- b. Que la contaminación no rebase la capacidad de carga de los medios receptores;
- c. Que la contaminación de los medios receptores no exceda los límites permisibles para cualquier uso, y para la conservación de la sostenibilidad de los ecosistemas.

Artículo 69, literal b. El agua utilizada para el consumo humano, con fines energéticos, domésticos, industriales, turísticos, pecuarios, agrícolas, pesqueros y de acuicultura, no debe exceder los límites necesarios para el mantenimiento de los ecosistemas de la cuenca.

Artículo 70, literal c. Con la finalidad de garantizar la disponibilidad, cantidad y calidad del agua para el consumo humano y otros usos, deberá existir una activa participación de los usuarios, para lo que será necesario: Incentivar el uso de tecnologías limpias en los procesos productivos, con el objeto de optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico.

5.3.3 Reglamento Especial de Aguas Residuales

La Ley de Medio Ambiente manda a la creación de este Reglamento, el cual surgió por Decreto Ejecutivo No. 39. (MARN 2007). En él se regula el manejo de las aguas residuales para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico.

Artículo 1. El presente Reglamento tiene por objeto velar porque las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores, para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico respecto de los efectos de la contaminación.

Artículo 7. Toda persona natural o jurídica, pública o privada, titular de una obra, proyecto o actividad responsable de producir o administrar aguas residuales y de su vertido en un medio receptor, en lo sucesivo denominadas el titular, deberá instalar y operar sistemas de tratamiento para que sus aguas residuales cumplan con las disposiciones de la legislación pertinente y este Reglamento.

Artículo 12. En la evaluación de la calidad de las aguas residuales se incluirá el análisis de las características físico-químicas y microbiológicas, de conformidad con las normas técnicas de calidad de aguas residuales.

Artículo 15. En los análisis de las características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales de tipo especial vertidas a un medio receptor, deberán ser determinados esencialmente los valores de los siguientes componentes e indicadores:

- a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅);
- b) Demanda Química de Oxígeno (DQO);

- c) Potencial de hidrogeno (pH);
- d) Grasas y aceites (G y A);
- e) Sólidos sedimentables (Ssed);
- f) Sólidos suspendidos totales (SST), y
- g) Temperatura (T)

Frecuencia mínima de muestreo y análisis de aguas residuales de tipo especial

En el Reglamento Especial de Aguas Residuales, se establece el esquema de muestreo de acuerdo al tipo de agua residual, tal como se menciona a continuación:

Artículo 19. En lo que respecta a las aguas residuales de tipo especial, se estará a lo establecido a continuación:

Cuadro 2. Frecuencia mínima de muestreo y análisis de aguas residuales de tipo especial

Característica	Caudal m ³ /día		
	<10	10 a 100	>100
Temperatura, pH, Sólidos sedimentables y caudal	Mensual	Semanal	Diario
Grasas y aceites, DBO _{5,20} , Sólidos suspendidos, coliformes fecales	Anual	Semestral	Trimestral

Fuente: MARN 2007.

Artículo 20. Los análisis de aguas residuales deberán practicarse en muestras compuestas. Estas garantizan la caracterización del efluente.

Artículo 26. Para efectos de descarga de aguas residuales a un medio receptor, no es permitido:

- a) La explotación o uso de agua con fines de dilución de aguas residuales, como tratamiento previo a la descarga, y

- b) La dilución de cualquier materia que pudiera obstaculizar en forma significativa el flujo libre del agua, formar vapores o gases tóxicos, explosivos, inyección de gases, sustancias que causen mal olor o que pudiera alterar en forma negativa la calidad del agua del medio receptor(MARN 2007).

5.3.4 Norma Salvadoreña de Aguas Residuales descargadas a un Cuerpo Receptor

Objeto

Esta Norma establece las características y valores físico-químicos, microbiológicos y radiactivos permisibles, que debe presentar el agua residual para proteger y rescatar los cuerpos receptores (CONACYT 2009).

Campo de aplicación

Esta Norma se aplica en todo el país para la descarga de aguas residuales vertidas a cuerpos de agua receptores superficiales. Deberá observarse el cumplimiento de los valores permisibles establecidos en esta norma, de forma que no se causen efectos negativos en el cuerpo receptor, tales como color, olor, turbiedad, radiactividad, explosividad y otros.

Requisitos

Los niveles máximos permisibles de los parámetros de esta Norma deberán ser alcanzados por medio de los tratamientos respectivos. Para alcanzar dichos niveles no será permitida la dilución.

Parámetros complementarios sobre valores permisibles para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor

Los laboratorios analíticos, por las características de sus aguas residuales deben cumplir con los valores máximos permisibles de parámetros normales y complementarios. En el caso particular del laboratorio de suelos los contaminantes complementarios a considerar son los presentados según se detalla en el cuadro 3.

Cuadro 3. Valores máximos permisibles en aguas residuales relacionados con los parámetros en estudio.

Parámetros		Valores máximos permisibles
Bario total (Ba)	mg/l	5
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	mg/l	0,1
Cromo total (Cr)	mg/l	1
Hierro total (Fe)	mg/l	10
pH	Unidades	5,5 – 9,0
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mg/l	1000
Temperatura	°C	20-35 °C

Fuente: CONACYT 2009.

Nota: El valor de pH 5.5-9.0 aplica para descargas en aguas límnicas; definiéndose un valor de pH entre 6.0 a 9.5 para vertidos en aguas costero marinas. Con respecto a la temperatura del agua de descarga al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5 °C, con respecto a la temperatura natural del cuerpo hídrico receptor.

5.4. Efectos de los contaminantes en estudio sobre la salud humana y el medio ambiente.

Dentro de los contaminantes generalmente utilizados por laboratorios analíticos que son descargados a aguas residuales, existen algunos que destacan por su alta toxicidad y efectos en la salud y medioambiente, entre los cuales se pueden mencionar:

Acido clorhídrico

Es un compuesto halógeno altamente soluble en agua que al contacto causa irritación de tejidos, dermatitis, fotosensibilización, corrosión de las membranas mucosas, esófago y estómago. También puede causar efectos en el tracto respiratorio superior (UNAM 2016).

Acido sulfúrico

Pueden existir efectos por corta o por larga exposición. Por corta exposición puede presentarse corrosión en la piel, ojos y tracto respiratorio, la inhalación como aerosol puede causar edema pulmonar. En el caso de exposición prolongada puede darse erosión dental (ISHT, 2000).

Bario

El tiempo que el bario permanece en el aire, el suelo, el agua o los sedimentos después de ser liberado a estos medios depende de la forma de bario que se libera. Los compuestos como el cloruro de bario, nitrato de bario, o hidróxido de bario, que se disuelven fácilmente en agua, no permanecen mucho tiempo en el ambiente en estas formas. La ingestión de una cantidad muy alta de compuestos de bario solubles en agua o en el contenido estomacal produce alteraciones del ritmo cardíaco o parálisis. Algunas personas que ingieren cantidades de bario más bajas durante un período breve pueden sufrir vómitos, calambres estomacales, diarrea, dificultad para respirar, alteraciones de la presión sanguínea, adormecimiento de la cara y debilidad muscular (ATSDR 2007).

Calcio

La ingesta de más de 2.5 gramos de calcio al día puede causar cálculos en los riñones, esclerosis y problemas en los vasos sanguíneos. (Lenntech, 2013). El exceso de calcio en el organismo se acumula en la sangre y desencadena un proceso de intoxicación llamado hipercalcemia, el cual puede afectar a varios sistemas del organismo como el cardíaco, digestivo y hasta el nervioso. Los compuestos químicos como óxido e hidróxido de calcio que son utilizados en análisis químicos, causan irritación de los tejidos en ojos y tracto respiratorio (PNUMA 2002).

Cromo

El cromo es introducido en los ecosistemas como resultado de las actividades de industrias como el hierro, acero, industria de cueros y cromado (Mufarrega 2012). La exposición al cromo puede ocurrir por ingestión (bebiendo agua que lo contiene) o por contacto (baño con agua que contiene cromo). Los compuestos de cromo VI son carcinogénicos en seres humanos. Los compuestos de cromo III son mucho menos tóxicos y no parecen causar estos problemas (ATSDR 2012).

Hierro

El exceso de hierro en el organismo puede provocar hemosiderosis (excesivo depósito de hemosiderina en el hígado o en el bazo) o hemocromatosis (exceso de hierro en los tejidos corporales) ambas pueden causar escorbuto porque destruye la vitamina C por oxidación (Elcinto 2000).

Magnesio

El magnesio está relacionado junto al calcio respecto a la dureza del agua, la cual en niveles altos se relaciona con cálculos renales, ataques cardíacos, así como también enfermedades del sistema nervioso e incluso cáncer. (Rodríguez, 2010).

Molibdato de amonio

Es nocivo por ingestión e inhalación. Causa irritación en la piel, ojos y tracto respiratorio. Afecta los riñones y la sangre. Basado en experimentación animal, el molibdeno y sus compuestos son altamente tóxicos. Se ha informado de alguna evidencia de disfunción hepática con hiperbilirubinemia en trabajadores crónicamente expuestos a una planta soviética de molibdeno y cobre. Además, se han encontrado signos de gota en trabajadores de fábricas y entre los habitantes de zonas de Armenia ricas en molibdeno (Grupo Transmerquin2009).

Nitratos

Las fuentes de nitrato en agua incluyen fertilizantes, desechos industriales, etc. Niveles superiores a 10 mg/L pueden representar problemas de salud graves, ya que interfieren con la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. También se asocia a disfunción de la tiroides, infecciones respiratorias recurrentes y problemas reproductivos (Oficina de salud pública ambiental de Oregon 2011).

Potasio y Sodio

En análisis químicos son comúnmente utilizados compuestos que involucran estos contaminantes, por ejemplo hidróxido de potasio, hidróxido de sodio y carbonato de sodio, los cuales causan irritación corrosiva local de los tejidos, por ejemplo piel, ojos y tracto respiratorio (PNUMA 2002).

VI. Metodología

6.1 Ubicación del estudio

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de suelos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (CENTA), sede central, San Andrés, municipio de Ciudad Arce, departamento de La Libertad durante los meses de noviembre 2013 a junio 2014.

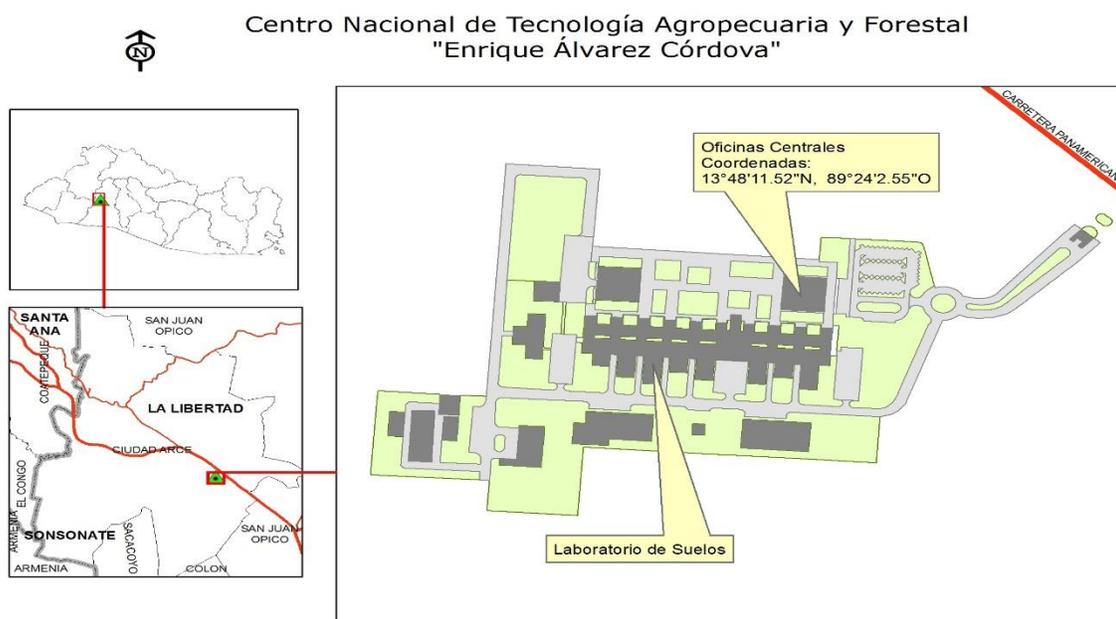


Figura 5. Ubicación del Laboratorio de suelos del CENTA, departamento de La Libertad, El Salvador.

Fuente: Elaboración propia

6.2. Universo

Lo constituyó el agua residual generada en los análisis realizados en el laboratorio de suelos del CENTA, el caudal ha sido cuantificado en 80 litros semanales.

6.3. Muestra

Se tomó un total de ocho muestras al azar del agua residual, de las cuales cuatro se muestrearon en el tanque de captación de la misma y cuatro en la salida del humedal artificial.

6.4 Etapas y procedimientos del estudio

El estudio se realizó en las siguientes etapas:

Selección de las especies vegetales

Las especies vegetales utilizadas en la construcción del humedal fueron *Phragmites australis* y *Typha angustifolia* debido a que han sido utilizadas en otros trabajos de investigación para depurar aguas residuales y tienen amplia distribución en El Salvador. (Argueta y Quintanilla 2008).

Recolección de las plantas y establecimiento de vivero

Se colectaron los rizomas de las especies vegetales seleccionadas en humedales naturales de la zona de San Diego, departamento de La Libertad, El Salvador.

Las especies vegetales recolectadas fueron sembradas en suelo contenido en bolsas plásticas de 9x12pulgadas para desarrollo de raíces durante un mes.



Figura 6. Establecimiento del vivero de *P. australis* y *T. angustifolia*.

Construcción del humedal artificial

Se construyó un humedal artificial combinando el flujo subsuperficial vertical y el flujo superficial. Este sistema consistió en lo siguiente:

Tanque de recolección del agua residual (Figura 7) El agua residual después de ser recolectada en bidones en el área de lavado del laboratorio, se depositó en un tanque de recolección con capacidad de 80 litros, el cual poseía un grifo que descargaba el contenido hacia la estructura 1 del humedal artificial. Se colocó en este tanque una advertencia que su contenido es peligroso.



Figura 7. Tanque de recolección de agua residual

A continuación del tanque de recolección, se instaló 3 depósitos plásticos de la siguiente forma: En los depósitos 1 y 2 (flujo subsuperficial) con dimensiones de 1 m. de largo, 0.5 m de ancho y 0.8 m de profundidad, se colocó como material de soporte grava de 5mm. En ambos depósitos se sembró 4 plantas de *P. australis* (con suelo alrededor de cada rizoma), a un distanciamiento de 20cm. entre ellas y a una profundidad de 20 cm. La estructura 1 se conectó por tubo de PVC de media pulgada a la estructura 2 (figura 8). En ambas estructuras no se observó agua en la superficie.



Figura 8. Construcción de estructuras para flujo subsuperficial

En el depósito 3 (flujo superficial) el cual tenía las mismas dimensiones que los depósitos 1 y 2, se sembró 4 plantas de *T. angustifolia* utilizando suelo como material de soporte, con un distanciamiento de 20 cm. entre planta y 20 cm. de profundidad. Se conectó al depósito 2 por medio de tubo de PVC de media pulgada y 10 cm de largo. Al depósito 3 se le adaptó en su extremo final un tubo de PVC de media pulgada y 10 cm de largo, formando un sifón para evacuar el agua tratada y llevar a cabo la toma de muestras (figura 9).



Figura 9. Construcción de estructura de flujo superficial

Cuando se completó la siembra en las estructuras se les dio mantenimiento con agua de chorro durante 1 mes para el desarrollo de raíces, se les realizó control manual de insectos plagas y malas hierbas cada semana.

Después de establecido el humedal se realizó pruebas de caudal con agua de chorro (40 mililitros por minuto) para determinar el tiempo de retención adecuado. Se utilizó la siguiente ecuación (Reed 1995):

$$t = \frac{L*W*d*n}{Q}$$

donde:

L: Longitud del estanque.

W: Ancho del estanque.

d: profundidad del agua en el estanque.

n: porosidad, o espacio utilizado por el agua para fluir a través del humedal. La porosidad es un por ciento y se expresa en forma decimal.

Los datos correspondientes al humedal artificial en estudio son:

L: 3.0 metros, W: 0.5 metros, d: 0.8 metros

n: Considerada como porosidad de la grava de 5 mm utilizada= 20%= 0.20. (Sanders 1998)

$$Q = \frac{40 \frac{ml}{min} * 1l * 60min * 24h * 1m^3}{1000ml * 1h * 1dia * 1000l} = 0.0576 \frac{m^3}{d}$$

$$t = \frac{3.0m*0.5m*0.8m*0.2}{0.0576\frac{m^3}{d}} = 4.7 \text{ días} , \text{Tiempo de retención}=4.7 \text{ días}$$

Luego de un mes de establecido el humedal se continuó con las siguientes etapas:

Recolección del agua residual. El agua residual de cada análisis, se depositó y mezcló en bidones plásticos de cinco galones de capacidad, ubicados en el área de lavado del laboratorio. Luego se trasladó los bidones al tanque de recolección del agua residual para recibir un pre tratamiento antes de ser incorporada al humedal. Este procedimiento se realizó una vez a la semana.

Pre tratamiento del agua residual. Se realizó pruebas previas para regular el pH del agua residual y así poderla incorporar al humedal. Para ello se calculó la cantidad de soda caustica comercial a utilizar, preparando una solución de NaOH 1N, la cual se agregó mediante una bureta a una cantidad determinada de agua residual hasta alcanzar pH entre 4.0 y 6.0. Luego la cantidad de soda cáustica fue extrapolada para el volumen de agua que se encontraba en el tanque de recolección. Sin embargo se tuvo problemas de homogenización de la soda cáustica con el agua residual, por lo que pudo no haberse obtenido el pH esperado en algunos muestreos.



Figura 10. Establecimiento total de humedal artificial.

Análisis de parámetros. Se realizó análisis físico químico al agua residual en el tanque de recolección (figura 12) y a la salida de la misma después de pasar por el depósito 3 (figura 13), según los parámetros establecidos para aguas residuales de tipo especial, contemplados en el Reglamento Especial de Aguas Residuales y en la Norma Salvadoreña de Aguas Residuales, estos parámetros fueron: Demanda química de oxígeno (DQO), pH, oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos (se llevó a cabo en el Laboratorio de aguas de la Facultad

de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador); la temperatura fue medida *in situ* en la entrada del agua (depósito 1) y a la salida del depósito 3 (figura 11). Además, se analizó otros parámetros por la naturaleza del agua residual descargada por el laboratorio, tales como: cromo total, cromo hexavalente, fosfatos, hierro total, nitratos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio y sodio realizados en Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES); bario y molibdeno llevados a cabo en Laboratorios Especializados en Control de Calidad (LECC).



Figura 11. Toma de temperatura y caudal en el humedal artificial



Figura 12. Muestreo de agua residual en la entrada del humedal artificial.



Figura 13. Toma de muestra en la salida del humedal artificial.

Los análisis de parámetros como pH, demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto, sólidos sedimentables (SSed) y sólidos suspendidos totales (SST), se realizaron durante los meses de noviembre 2013, enero y junio 2014 para tener representación de muestras en época seca y época de lluvia. Los parámetros complementarios: Cromo total, cromo hexavalente, fosfatos, hierro total, nitratos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio, bario y molibdeno se analizaron en los meses de diciembre 2013, enero y junio 2014 para evaluar cómo evolucionan las concentraciones de estos contaminantes en el tiempo de inicio, a mediados y al final del ensayo y considerar época seca y época de lluvia, ya que el Reglamento especial de Aguas Residuales no establece la frecuencia de muestreo para estos parámetros. El muestreo se realizó de acuerdo al protocolo mencionado en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Aguas Residuales descargadas a un Cuerpo Receptor (NSO.13.49.01:09) según el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Requerimientos para toma de muestras de agua

Parámetros	Recipiente	Preservante	Tiempo máximo de almacenamiento	Vol. Mínimo de muestreo ml.
Bario	Polietileno	2 ml. Concentrado. HNO ₃ /l muestra	6 meses	1000
Cinc	Polietileno	2 ml. Concentrado.HNO ₃ /l muestra	6 meses	1000
Cromo	Polietileno	2 ml. Concentrado.HNO ₃ /l muestra	24 horas	1000
DQO	Polietileno	Enfriar a 4º C	24 horas	1000
Fosforo disuelto	Vidrio	Filtrando in situ, usando membrana filtrante. Enfriar a 4 º C.	24 horas	1000
Hierro	Polietileno	2 ml. Concentrado.HNO ₃ /l muestra	6 meses	1000
Manganeso	Polietileno	2 ml. Concentrado.HNO ₃ /l muestra	6 meses	1000
Molibdeno	Polietileno	2 ml. Concentrado.HNO ₃ /l muestra	6 meses	1000
Nitrógeno amoniacal	Polietileno	Enfriar a 4º C	24 horas	1000
pH	Polietileno	Ninguno	Preferible tomar de inmediato	200
Sulfato	Polietileno	Enfriar a 4º C	7 días	1000

Metodología analítica

Los métodos analíticos implementados por los laboratorios en los cuales se realizaron las determinaciones corresponden a los recomendados por la APHA (American Public Health Association) (Anexo 5).

Análisis de suelo

Se llevó a cabo análisis de suelo antes y después de la investigación para relacionar cuánto aporta este factor en la remoción de contaminantes del agua residual. Los parámetros evaluados fueron: Textura por bouyoucos, fósforo, potasio, pH en agua, hierro, sodio, calcio y magnesio.

A continuación (figura 14) se presenta un esquema de la metodología implementada para la investigación:

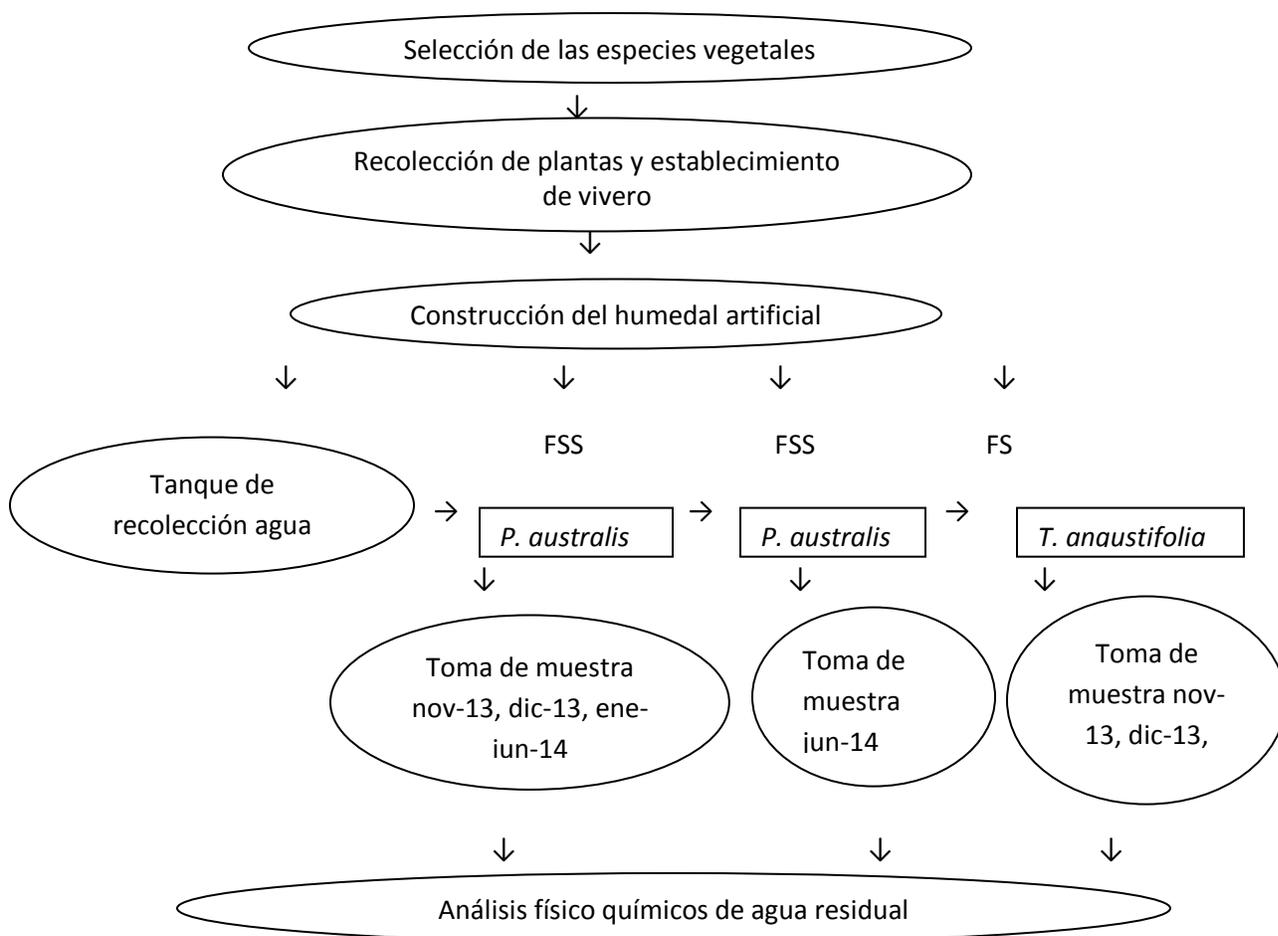


Figura 14. Diagrama de flujo de las etapas de la investigación.

VII. Resultados y discusión.

En el cuadro 5, se resume los resultados de los parámetros analizados en cuatro jornadas de muestreo, realizadas entre los meses de noviembre 2013 y junio 2014 a la entrada y salida del humedal artificial. Considerando el porcentaje de remoción para cada parámetro y un porcentaje de remoción promedio final.

Los datos indican que a los 3 meses de establecido el humedal (enero) se obtiene mayor eficiencia en la remoción de DQO, lo cual puede deberse a que en esa etapa las plantas han madurado fisiológicamente y ya están en capacidad de remover mayor cantidad de este tipo de contaminante, siendo *P.australis* quien contribuye mayoritariamente a este proceso (Figura 15).

A los 8 meses de establecido el sistema, se manifiesta una disminución de eficiencia de remoción de DQO posiblemente porque el lecho de soporte y el sistema de raíces se ha saturado, lo que coincide con lo mencionado por Colín (2009) que menciona en algunas etapas los humedales artificiales no presentan reducción de DQO debido al arrastre de raíces o desprendimiento de la biopelícula formada alrededor de los rizomas que genera más compuestos orgánicos en el medio. También se observa que la contribución de *T. angustifolia* es poca para la remoción de DQO (solamente 7.6%), atribuyéndose a *P. australis* la mayor remoción de DQO relacionada directamente con la inyección de oxígeno al sistema con esta especie (4 mg/L).

La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos y sedimentables, puede asociarse a que las plantas van alcanzando mayor madurez fisiológica sobre todo en su sistema de raíces, y a esto se le suma el lecho de soporte, el cual contribuye en gran medida a retener este tipo de partículas, esto lo confirma Fernández *et al.*(s.f) sobre todo en los sistemas de flujo subsuperficial, debido al efecto del lecho de arena y grava.

En el caso de fosfatos a medida que el sistema tiene más tiempo de establecido, aumenta la eficiencia de remoción, porque las plantas para desarrollarse extraen mayor cantidad de fósforo asimilado en forma de fosfatos, aproximadamente 30 a 150 kg/ha/año (Fernández *et al.* s.f) además la mayor eficiencia de remoción está relacionada a la época lluviosa, que aumenta la disponibilidad para las plantas, lo cual coincide con lo reportado por (Colín 2009).

Cuadro 5. Cuadro general de resultados de concentraciones de parámetros a la entrada y salida del humedal y porcentaje de remoción.

PARAMETRO	nov-13			dic-13			ene-14			jun-14				%R jun14	%PROM DE REMOCION	
	Concentraciones		% R	Concentraciones		%R	Concentraciones		%R	Concentraciones		% Remoción <i>P. australis</i>	Salida			%Remoción <i>T. angustifolia</i>
	Entrada	Salida		Entrada	Salida		Entrada	Salida		Entrada	Salida <i>P.australis</i>					
DQO (mg/L)	300.00	193.00	35.67	*	*	*	2134.00	268.00	87.44	5000.00	2020.00	59.60	1640.00	7.60	67.20	63.44
SST (mg/L)	5176.00	3568.00	31.07	*	*	*	676.00	68.00	89.94	112.00	0.20	99.82	0.20	0.00	99.82	73.61
SSed (ml/L)	200.00	0.20	99.90	*	*	*	0.40	0.20	50.00	9126.00	686.00	92.48	336	3.84	96.32	82.07
OD(mg/L)	7.20	7.20	**	*	*	*	0.40	3.10	**	6.00	10.00	-	8.30	**		**
Ba(mg/L)	*	*	*	0.61	0.13	78.69	2.60	0.16	93.85	*	*	*	*	*		86.27
Mo (mg/L)	*	*	*	11.50	0.96	91.65	39.20	0.12	99.69	74.05	*	*	44.36	*	40.09	77.14
pH	8.45	6.61	**	1.50	2.46	**	1.45	3.14	**	6.46	*	*	5.84	**		**
Ca (mg/L)	*	*	*	2.34	418.50	**	17.64	685.00	**	887.50	138.80	84.36	159.73	-2.36	82.00	**
Mg (mg/L)	*	*	*	10.25	460.00	**	12.25	337.50	**	10.88	27.50	-	68.75	**		**
K (mg/L)	*	*	*	587.5	81.05	86.20	270.63	51.25	81.06	*	*	*	*	*		83.63
Na (mg/L)	*	*	*	19000.00	767.5	95.96	4993.75	698.75	86.01	*	*	*	*	*		90.98
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	*	*	*	12296.30	1014.8	91.75	5557.5	810.60	85.41	771.75	8.24	98.93	15.95	-1	97.93	91.70
SO ₂ ²⁻ (mg/L)	*	*	*	40959.00	6682.1	83.69	4783.5	1347.24	71.84	2925.20	658.74	77.48	1384.30	-24.8	52.68	69.40
Cl ⁻ (mg/L)	*	*	*	2839.99	305.84	89.23	1223.38	257.78	78.93	1223.40	262.15	78.57	410.71	-12.14	66.43	78.20
NO ₃ ⁻ (mg/L)	*	*	*	145.62	89.11	38.81	1374.79	264.96	80.73	2076.30	317.16	84.72	569.39	-12.14	72.58	64.04
Fe (mg/L)	*	*	*	490.00	130.90	73.29	186.30	27.63	85.17	*	*	*	*	*		79.23
Cr total (mg/L)	*	*	*	113100.00	10700	90.54	533.99	1.17	99.78	14.59	0.12	99.18	0.10	0.13	99.31	96.54
Cr VI (mg/L)	*	*	*	0.01	0.01	0.00	0.06	0.01	83.33	*	*	*	*	*		41.67
Temperatura° C	31.00	29.00	*	30.00	29.00	**	31.00	28.00	**	31.00	*	*	28.00	**		**

* No se determinó ese parámetro durante ese periodo. **El comportamiento de ese parámetro no se puede medir como porcentaje de remoción debido a que tiene un comportamiento distinto. %R= Porcentaje de remoción.

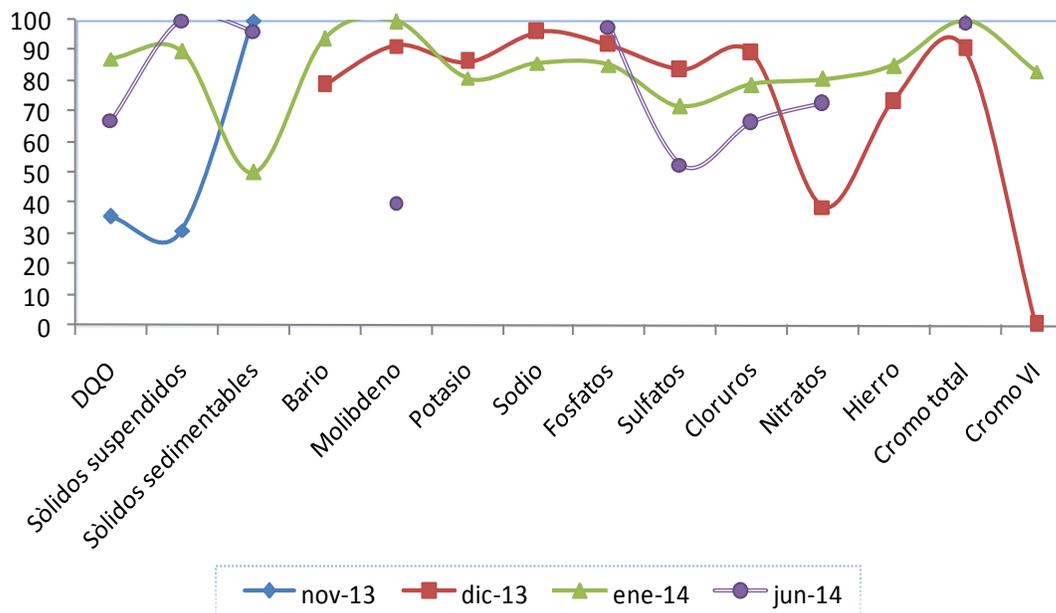


Figura 15. Porcentaje de remoción durante los meses de muestreo.

Nota: La discontinuidad de las líneas se debe a que no se muestreó algunos parámetros en esos períodos.

El humedal artificial es eficiente para remover nitratos, sobre todo cuando las plantas han alcanzado cierta madurez fisiológica, ya que el nitrógeno es uno de los principales macronutrientes para la vida de las mismas, llegando a extraer aproximadamente 200 a 2500 Kg/ha/año.(Fernández *et al.s.f*).Esto puede estar relacionado también a que el aumento del oxígeno disuelto y una menor DQO (baja concentración de carbono) favorece los procesos de remoción de nitrógeno por nitrificación- desnitrificación (Lolmede 2000).

Sin embargo, al igual que los sulfatos y cloruros se observa una disminución del porcentaje de remoción al final del período evaluado, lo cual puede deberse a saturación del lecho donde se encuentra *T. angustifolia*, ya que según el cuadro 5, se reportó disminución en la eficiencia de 24.8% para sulfatos y 12.1% para cloruros y nitratos en esta sección, es decir que este comportamiento significaría un retroceso en la remoción que ya había realizado *P.australis*. Esto podría asociarse a que el lecho donde se encuentra *T. angustifolia* tiene una porosidad inferior y por lo tanto se colmata más rápido.

El sistema de humedal en estudio es eficiente para la remoción de cromo total y la cantidad removida tiende a ser constante, sobre todo cuando las plantas están bien establecidas y desarrolladas (8 meses de establecimiento). Esto puede estar relacionado también a que

gran parte del cromo total incorporado se transforma en cromo III por reacciones redox, el cual puede formar complejos con la materia orgánica del suelo que sirve de soporte al humedal (Mufarrege 2012). Así mismo Suárez (2014) menciona investigaciones en las cuales se evaluaron *P.australis* y *T. latifolia* para remoción de cromo en la industria de curtiembres, alcanzando porcentajes de remoción mayores al 99% lo cual coincide con los resultados obtenidos en esta investigación.

Las cantidades de cromo VI generadas por el laboratorio de suelos no son significativas, pero lo poco que se origina, es removido eficientemente por el humedal artificial establecido, esto puede deberse a que el cromo VI es un agente oxidante fuerte y en presencia de materia orgánica, es reducido a cromo III (Mufarrege 2012), de manera que ésta es la forma predominante de encontrar este elemento en el humedal artificial.

El cromo removido podría estar presente en el lecho de soporte y la vegetación, sin embargo, no fue medida la concentración de cromo total en ese medio por encontrarse fuera de los alcances de esta investigación. No obstante, debe tenerse especial cuidado con la disposición de lodos y vegetación generados en el mantenimiento del humedal ya que se pueden considerar como materiales peligrosos.

Los resultados también indican que el humedal es eficiente para la remoción de bario, y que a medida transcurre el tiempo y las plantas van alcanzando madurez fisiológica aumenta la remoción de este contaminante por acción del sistema de raíces, ya que el bario genera precipitados que son atrapados por ellas, lo cual puede estar relacionado a la eficiencia mostrada por el humedal para remover sólidos sedimentables.

El humedal artificial establecido fue eficiente los primeros meses para remoción de molibdeno, pero por ser un oligoelemento, no es absorbido en cantidades significativas por las plantas (Fernández *et al.s.f*), por lo cual puede disminuir considerablemente su remoción por parte de las mismas al finalizar la investigación.

La remoción de hierro se ve favorecida cuando el humedal artificial tiene mayor tiempo de establecido, ya que las plantas van alcanzando mayor madurez fisiológica y lo utilizan para sus procesos enzimáticos. Sin embargo, este es un elemento que no lo utiliza la planta en grandes cantidades.

En el caso de sodio y potasio su comportamiento es similar, obteniéndose altos porcentajes de remoción, lo cual puede deberse a la capacidad que tienen las especies vegetales utilizadas para tolerar altas concentraciones de dichos contaminantes, considerando que fueron recolectadas en zona costera. Estos elementos mostraron acumulación en el lecho del suelo, discusión que se desarrollará adelante en el documento.

La parte media del humedal correspondiente a *P. australis* reportó un buen desempeño en la remoción de los contaminantes, sobre todo respecto a sólidos suspendidos y sedimentables, cromo total y fosfatos, esto puede estar relacionado con el porcentaje de oxígeno disuelto que esta especie inyecta al sistema, favoreciendo los procesos de descomposición y mineralización por parte de los microorganismos (Colín 2009).

Tanto el calcio como el magnesio presentan una tendencia a incrementar a la salida del humedal en comparación con la entrada del agua (Figuras 16 y 17), esto puede deberse a la composición del lecho de grava, ya que este material contiene estos dos elementos, de manera que al paso de agua con pH ácido reportada en los meses de diciembre y enero (2.46-3.14), arrastra el calcio y magnesio contenido en este lecho de soporte (anexo 9). Además, según los resultados de análisis de suelos (Cuadro 7) éste tiene alto contenido de calcio y magnesio que pudo haber sido arrastrado también por el pH ácido del agua (disolución). Al final de la investigación puede decirse que disminuye el arrastre de estos elementos porque el pH incrementa a 5.84 (Guerrero 2001).

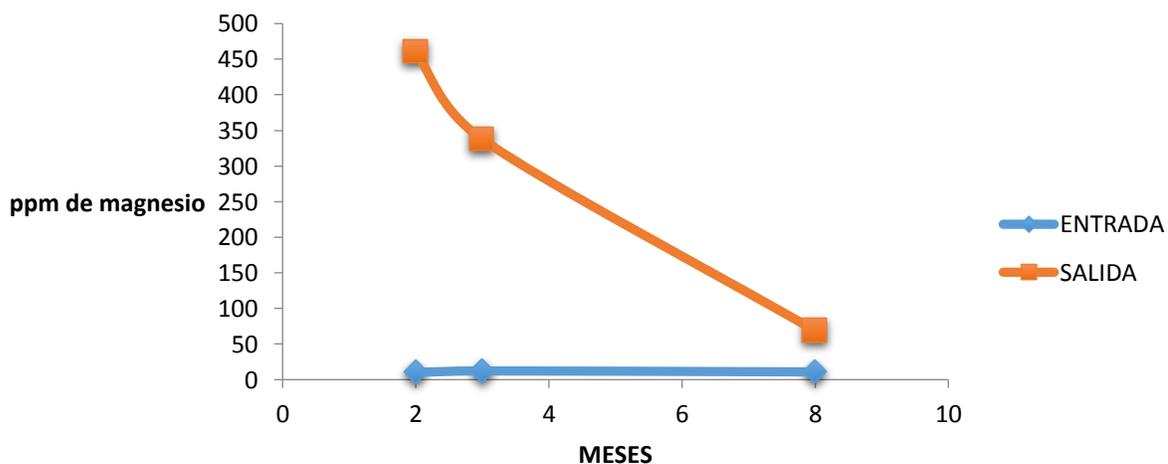


Figura 16. Porcentaje de remoción de magnesio vsr. tiempo.

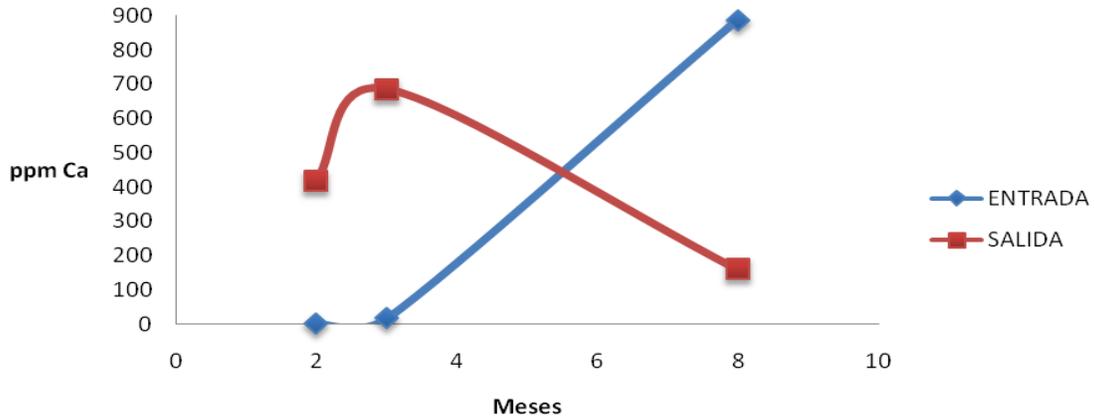


Figura 17. Remoción de calcio vrs tiempo.

En lo referente a oxígeno disuelto, según lo observado en la figura 18, al inicio no se presenta inyección de oxígeno al humedal artificial, debido a que no está bien desarrollado el sistema radicular de las plantas, pero a medida que éste se va desarrollando y las plantas maduran, dicho parámetro aumenta y se mantiene en valores cercanos durante los 3 meses y 8 meses de establecido (Figura 18).

Esto se debe a que principalmente *P. australis*, por ser planta acuática macrófita ha desarrollado mecanismos de aireación de sus tejidos lo cual consiste en pequeñas aberturas en hojas y tallos generando huecos interconectados, favoreciendo el intercambio gaseoso dentro de la planta y liberando oxígeno al medio. (Fernández *et al.s.f*). Así mismo según el cuadro 5, se observa también que la contribución de oxígeno disuelto de *P.australis* (4 ppm) es un poco más alta que el aporte de *T. angustifolia* (2.3 ppm).

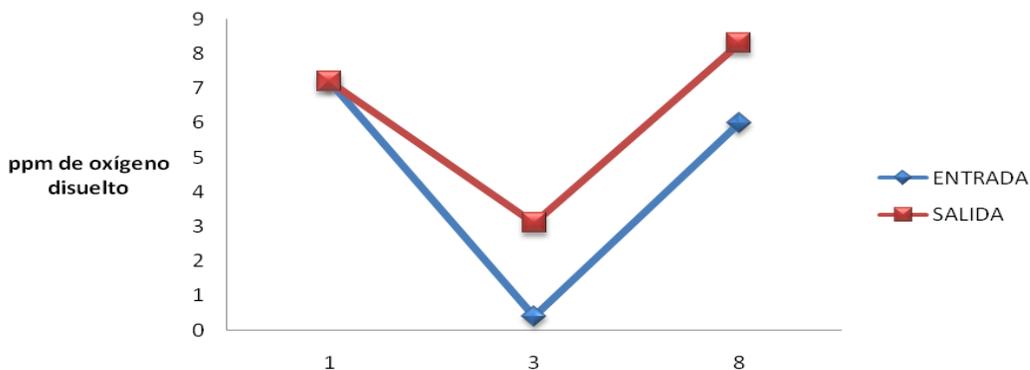


Figura 18. Incremento de oxígeno disuelto vrs. tiempo.

Influencia del pH y temperatura en la eficiencia de remoción de contaminantes en el humedal

En cuanto al pH el sistema de humedal en estudio tiende a regular el pH, es decir si es alcalino en la entrada, baja el pH y si por el contrario es ácido, el pH aumenta a la salida, aunque estos cambios no son drásticos., en el último muestreo (junio) puede observarse que el sistema ha mejorado el resultado de pH, alcanzando un nivel aceptable de acuerdo a la NSO13.49.01:09 (Figura 19).

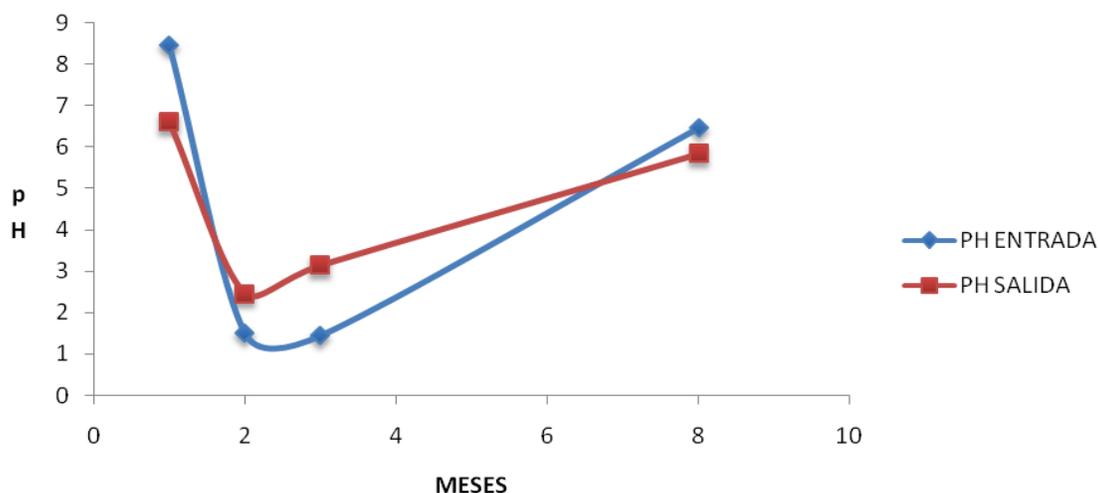


Figura 19. Comportamiento de pH vrs. tiempo

Así mismo, el pH es determinante para el comportamiento de algunos de los contaminantes en estudio, tal como puede observarse en la figura 20.

A medida aumenta el pH la remoción de sólidos sedimentables es mayor, no así para demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales. En el caso de demanda química de oxígeno, se confirmaría los resultados de Alzate (2015), en los cuales se menciona que a pH 6 se obtuvieron porcentajes de remoción más bajas de materia orgánica. Para sólidos suspendidos totales, se obtuvo mayor porcentaje de remoción a pH ácido (menor a 6) probablemente debido a mayor disolución de algunos materiales (Alzate 2015).

Con respecto a bario y cromo VI se observa que con un pH mayor el porcentaje de remoción aumenta, en el caso de potasio, sodio y hierro se obtienen buenos porcentajes de

remoción a pH ácidos, posiblemente porque permanecen en solución y se ponen disponibles para las plantas.

Para los resultados obtenidos no se observa relación directa entre fosfatos y el pH, sin embargo se logran elevados porcentajes de remoción con pH más bajo y con pH superior.

En el caso de sulfatos y molibdeno se observa que con pH más bajo se logra mayor porcentaje de remoción que con pH más alto, contrario a lo expresado por Alzate (2015) en donde el mayor porcentaje de remoción de sulfatos se obtuvo a pH entre 5.0 y 6.0.

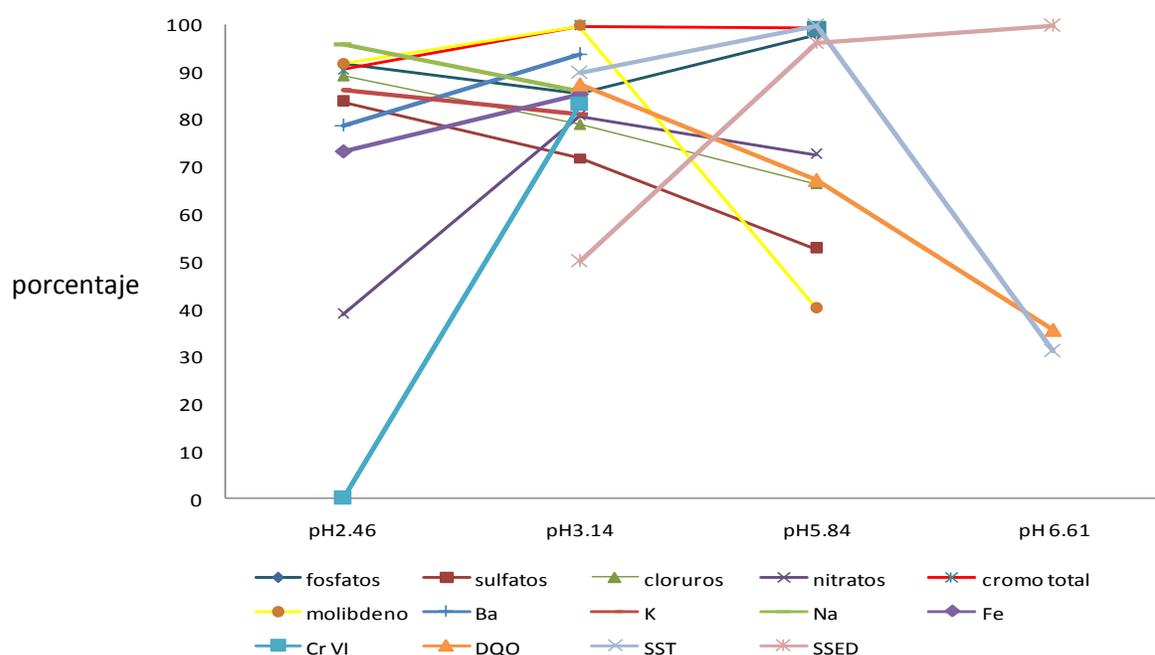


Figura 20. Relación entre porcentaje de remoción y pH para los contaminantes.

Con respecto a nitratos, en experiencias anteriores se ha determinado que hay mayor acción de las bacterias nitrificantes con pH entre 7.5 a 8.6 (Metcalf1991) citado por Montoya *et al.* (2010), sin embargo en los resultados obtenidos el mayor porcentaje de remoción, se obtiene con pH ácido.

Con respecto a calcio y magnesio (figura 21), cuando el pH es más ácido, la concentración de calcio y magnesio en el agua residual que sale del humedal es mayor, posiblemente por arrastre de estos elementos presentes en el lecho del humedal a pH más bajo.

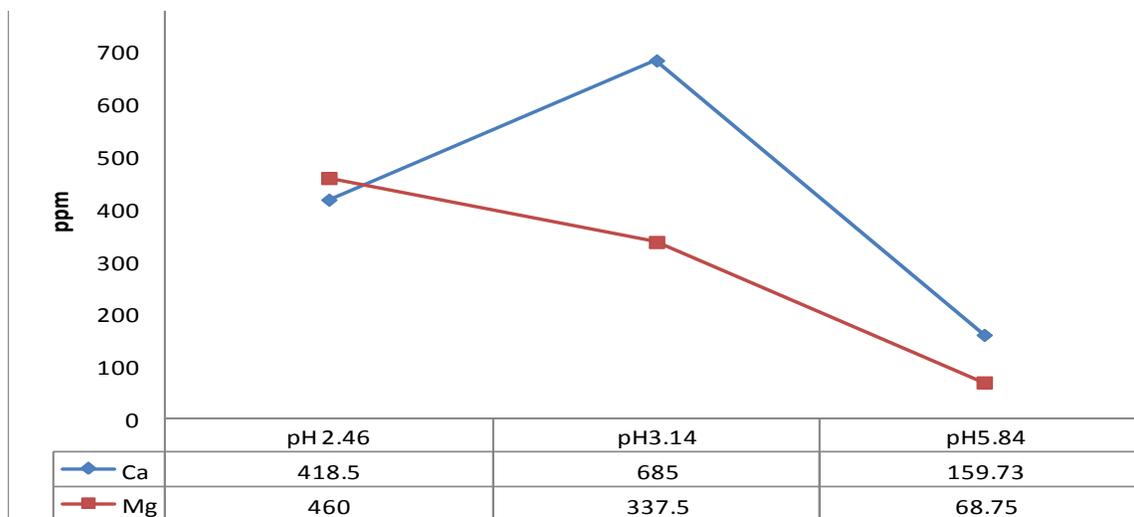


Figura 21. Relación de la concentración de calcio y magnesio respecto a pH

Con respecto al PH se supondría que al aumentar, aumentaría el oxígeno disuelto (Alzate 2015). Lo cual coincide con los datos obtenidos (figura 22), ya que según los resultados, a pH mayor el oxígeno disuelto es superior., es decir puede existir una relación directamente proporcional entre ambos parámetros.

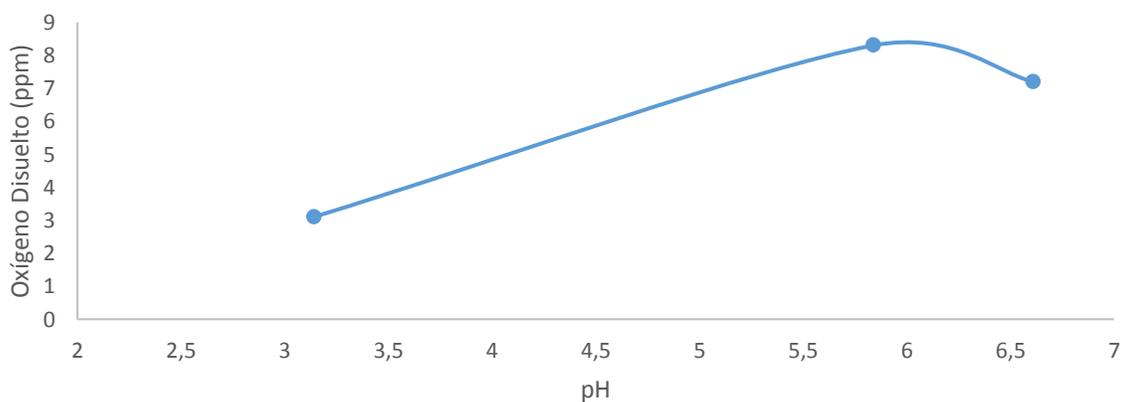


Figura 22. Comportamiento de oxígeno disuelto respecto al pH a la salida del humedal

Para el caso de temperatura, ésta osciló entre 28 y 31°C, lo cual contribuye a los procesos de remoción de contaminantes, ya que la incidencia de luz y temperatura ambiente son más favorables para el componente vegetal empleado (Land, *et.al* 2013), citado por Luna-Pabello (2014), contrario a lo que sucede en climas templados en los cuales disminuye la efectividad de depuración de los sistemas de humedales artificiales (Mena 2008).

Evaluación del cumplimiento de normativa del efluente del humedal artificial

De acuerdo a las concentraciones más bajas obtenidas, en comparación con la NSO13.49.01:09 y la Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario de ANDA (anexo 7), la mayoría de parámetros evaluados normados cumplen. Sin embargo algunos como sulfatos y hierro están elevados respecto a dichas norma. En cuanto al pH tiende a regularse a medida el humedal tiene mayor tiempo de establecimiento y tiende a alcanzar los niveles que requiere la norma (cuadro 6).

Cuadro 6. Tabla comparativa entre resultados promedio de las concentraciones más bajas obtenidas y norma salvadoreña obligatoria de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor (NSO.13.49.01:09).

Parámetro	Promedio concentraciones más bajas obtenidas.	Valor máximo permisible según norma
DQO(mg/L)	230.5	1000mg/L*
Sólidos suspendidos(mg/L)	34.1	450 mg/L*
Sólidos sedimentables(mg/L)	0.2	20 mg/L*
Oxígeno disuelto(mg/L)	6.2	No normado
Bario	0.15	5mg/L
Molibdeno	0.54	0.1 mg/L
pH	4.51	5.5-9mg/L
Calcio(mg/L)	159.73	No normado
Magnesio(mg/L)	68.75	No normado
Potasio	66.15	No normado
Sodio	733.13	No normado
Fosfatos(mg/L)	912.7	No normado
Sulfatos(mg/L)	3137.88	1000mg/L
Cloruros(mg/L)	324.77	No normado
Nitratos(mg/L)	307.82	No normado
Cromo total(mg/L)	0.64	1mg/L
Hierro	79.26	10mg/L
Cromo VI	0.01	0.1mg/L

*Parámetros no normados por la NSO 13.49.01:09, se han comparado con la Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario. (ANDA 2004). (Anexo 7).

Influencia del suelo en la depuración de aguas residuales en el humedal artificial

Para efectos de comprender el comportamiento de los humedales artificiales, se consideró llevar a cabo el análisis del suelo (cuadro 7 y figura 23) donde se sembró las plantas, el cual puede llegar a constituir una parte importante en la remoción de contaminantes en estos sistemas de depuración de aguas.

Cuadro 7. Resultados de análisis de suelo (anexo 6)

PARAMETRO	SUELO INICIO PHRAGMITES	SUELO FINAL PHRAGMITES	SUELO INICIO TYPHA	SUELO FINAL TYPHA
Textura por bouyoucos	Franco arenoso % arena= 63.32 %limo=16.72 %arcilla=19.96			
% materia orgánica	3.13 medio			
pH	5.1 Fuertemente ácido	6.9 Neutro	6 Moderadamente ácido	5.7 Moderadamente ácido
FOSFORO(ppm)	149 Muy Alto	408 Muy alto	61 Muy Alto	132 Muy Alto
POTASIO(ppm)	122 Alto	312 Muy alto	115 Alto	192 Alto
HIERRO(ppm)	35	130	42	40
CALCIO(cmolKg ⁻¹)	7	38	156	10.5
MAGNESIO(cmolKg ⁻¹)	1.9	1.12	6.5	3.9
SODIO(cmolKg ⁻¹)	0.63	19.4	40.9	18

El suelo recolectado en el estero de San Diego, según el levantamiento general de suelos(MAG 1962), se ubica en el cuadrante 2356III y 2356 IV, correspondiente al departamento de La Libertad, pertenece a la serie Jaltepeque areno francoso en planicies costeras, los cuales son suelos superficiales de 20 cm de espesor de color café grisáceo, de textura arena francosas o franco arenosos. Esto se confirmó mediante el análisis de textura por bouyoucos (anexo 6). Esta textura presenta capacidad de intercambio catiónico entre 5 a 10 meq/100g de suelo, lo cual significa que es baja (Nutriterra s.f).

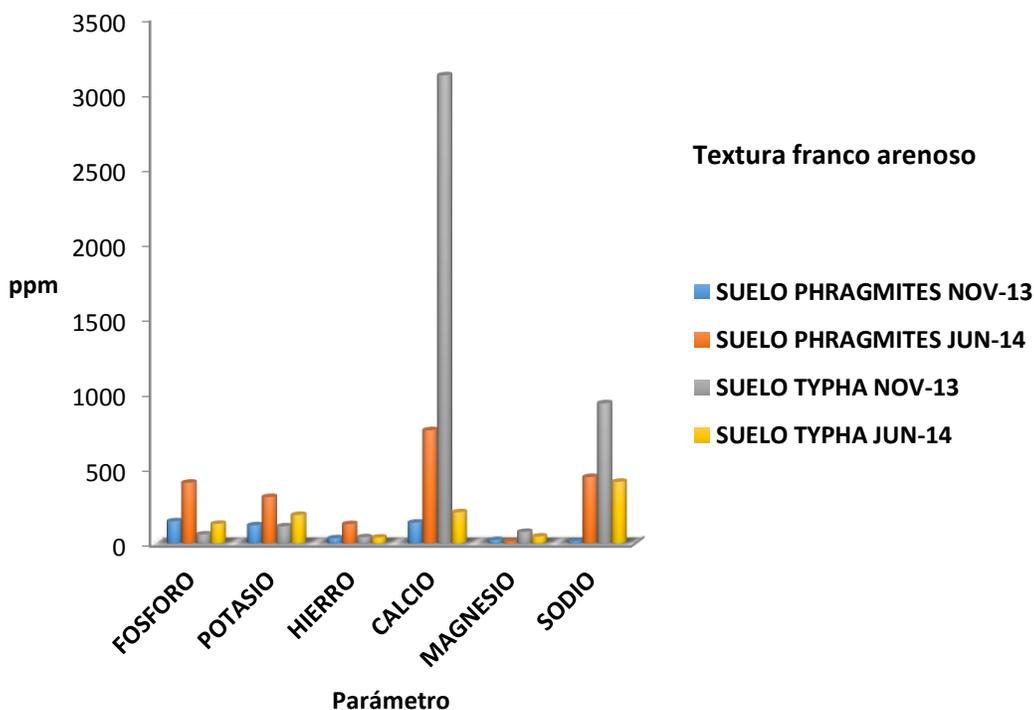


Figura 23. Comparación de análisis de suelo inicial y final.

El suelo donde se sembró originalmente *T. angustifolia* tenía un alto contenido de calcio y magnesio, lo cual sumado al contenido del agua residual de entrada posiblemente provocó que en la salida del humedal el agua contenga mayor cantidad de estos elementos con respecto a la entrada. Esto puede deberse al pH ácido obtenido en algunas etapas de operación del sistema de humedal artificial, ya que la acción de los ácidos empleados en el laboratorio y el CO₂ del ambiente disuelto en el agua determina la solución del carbonato cálcico en la misma (Guerrero 2001). Con respecto al sodio, el suelo donde se sembró originalmente *T. angustifolia* contiene niveles altos, lo cual sumado al hidróxido de sodio aplicado para regular el pH disminuyó la eficiencia del humedal para remover este elemento en algunas etapas. El suelo donde se sembró *P. australis* retuvo alto contenido de potasio, sin embargo el suelo donde se sembró *T. angustifolia* a pesar que removió cierta cantidad, no fue tan eficiente para retenerlo, ya que la capacidad de intercambio catiónico del suelo franco arenoso tiende a ser baja (Nutriterra s.f). Para el caso de fósforo y hierro, puede observarse que el suelo donde se sembró *P. australis* contribuyó a retener alto contenido de estos contaminantes.

Influencia del lecho de grava en el contenido de calcio y magnesio:

Al igual que el suelo, el lecho de grava por su alto contenido de calcio y magnesio (Cuadro 8 y anexo 8) es probable que esté relacionado con las altas concentraciones de dichos contaminantes en el agua a la salida del humedal (agua tratada) lo cual puede deberse a que con pH ácido se produzca arrastre de estos elementos (Guerrero 2001), ya que en el agua que entra al humedal artificial no existe suficiente cantidad de éstos como para aportarlos al agua tratada en altas concentraciones.

Cuadro 8. Comparación de contenido de calcio y magnesio del lecho de grava y suelo y su posible influencia en el agua tratada.

Elemento	Grava	Suelo antes paso de agua residual a través de <i>P. australis</i>	Suelo posterior paso de agua residual a través de <i>P. australis</i>	Suelo antes del paso de agua residual a través de <i>T. angustifolia</i>	Suelo posterior paso de agua residual a través de <i>T. angustifolia</i>	Agua residual no tratada primer muestreo	Agua tratada primer muestreo	Agua residual no tratada último muestreo	Agua tratada último muestreo
Ca (ppm)	17490.80	140.00	760.00	3120.00	210.00	2.34	418.50	887.50	138.80
Mg (ppm)	3349.40	23.00	13.00	78.00	47.00	10.25	460	10.88	27.50

7.7 Análisis estadístico.

Debido a la naturaleza de esta investigación, en la cual no se puede controlar que el afluente y el efluente tengan concentraciones constantes, se aplicó análisis estadístico con pruebas no paramétricas. En este caso se utilizó Prueba de “t” para dos medias, considerando nivel de confianza del 90%, mediante el programa InfoStat versión 2018.

Se obtuvo significancia estadística para las partes por millón removidas en todos los meses de muestreo para demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, magnesio, potasio, sodio, fosfatos, sulfatos, hierro y cromo total, lo cual demostraría que hay eficiencia de remoción por parte del sistema establecido. En el caso de molibdeno, calcio, cloruros y nitratos hubo significancia estadística entre los meses de diciembre 2013 y enero 2014, lo cual quiere decir que el tratamiento aplicado removió cantidades importantes en esos meses, sin embargo no hay significancia estadística entre los meses de enero y junio 2014. (Anexo 4).

Para efectos de comparación con la NSO.13.49.01:09 y la Norma para Regular Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario (ANDA 2004). Se utilizó prueba de “t” con una media, y nivel de confianza del 90%, obteniéndose significancia estadística en todos los meses de muestreo para sólidos sedimentables, bario, pH, cromo hexavalente, cromo total y molibdeno, lo cual explicaría que con el tratamiento aplicado pueden llegar a cumplirse los límites máximos permisibles. En el caso de hierro no hay diferencia significativa en todos los meses, lo cual indicaría que no hubo efecto de remoción suficiente para alcanzar el valor dado por la norma. (Anexo 7).

VIII. Conclusiones

- El humedal artificial en estudio es eficiente para la remoción de la mayor parte de contaminantes analizados, los cuales en promedio son DQO (63.4%), sólidos sedimentables (82.1%), sólidos suspendidos totales (73.6%), bario (82.27%), molibdeno (77.14%), potasio (83.6%), sodio (90.98%), fosfatos (91.70%), sulfatos (69.4%), cloruros (78.2%), nitratos (64%), hierro (79.23%), siendo su principal aporte la remoción de cromo total (96.54%) el cual es de riesgo para la salud pero con este tratamiento obtuvo niveles inferiores a los límites máximos permisibles dados por la NSO.13.49.01:09.
- Tradicionalmente los humedales son utilizados como tratamiento terciario, sin embargo, en esta investigación se ha demostrado el beneficio que estos sistemas aportan a la remoción de contaminantes de aguas residuales como tratamiento primario, de acuerdo a los porcentajes de remoción obtenidos para DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, bario, molibdeno, potasio, sodio, fosfatos, sulfatos, cloruros, nitratos, hierro y cromo.
- Uno de los principales aportes del humedal artificial es la alta capacidad de remoción de cromo total (96.54%) y cromo VI, el cual es de alto riesgo para la salud, pero con este tratamiento obtuvo niveles inferiores a los límites máximos permisibles dados por la NSO.13.49.01:09. debido a la transformación de cromo VI a cromo III, siendo la forma trivalente predominante en aguas residuales, además es menos peligroso para la salud y medio ambiente.
- Según los resultados obtenidos *Phragmites australis* remueve cantidades considerables de contaminantes, sobre todo para sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, nitratos, fosfatos y cromo total. Esta planta inyecta suficiente oxígeno al sistema para remover el hasta un 59.6% de DQO y aumentar la concentración de entrada de oxígeno en el humedal hasta 4 ppm, debido a las características morfológicas de esta especie vegetal. Esta condición la convierte en una planta idónea para ser utilizada en tratamientos de aguas residuales de tipo especial por medio de humedales. Además, esta condición aerobia representa una ventaja en el control de olores desagradables.

- Aunque se obtuvo buenos porcentajes de remoción para sulfatos y hierro, las concentraciones resultantes en el efluente fueron superiores a los límites máximos permisibles requeridos en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor NSO.13.49.01:09. Esto indica que el humedal artificial por sí sólo no es lo suficientemente eficiente para la remoción de estos parámetros.
- El control de pH es esencial para la remoción de contaminantes en el sistema de humedal artificial, caso contrario, con pH ácido puede haber arrastre de elementos, lo cual disminuye la eficiencia de remoción como por ejemplo calcio y magnesio.
- Según los resultados obtenidos *Phragmites australis* y *Typha angustifolia* toleran pH muy ácido (2.46) por lo cual son adecuadas para utilizarse en el tratamiento de aguas residuales de tipo especial a través de humedales artificiales.

IX. Recomendaciones

- Considerar la incorporación de un tratamiento primario para incrementar la eficiencia de remoción de los parámetros que resultaron superiores a los límites máximos permisibles según la NSO.13.49.01:09.
- Continuar la investigación en el humedal artificial mediante un muestreo más prolongado (doce meses consecutivos) e incluir análisis de suelos y grava (lecho), así como foliar y microbiológico antes y después de la investigación para mayor comprensión de este tipo de sistemas, para lo cual se debe buscar financiamiento.
- Realizar investigaciones para la reutilización en agricultura de las aguas residuales de los laboratorios de CENTA ya tratadas.
- Considerar el suelo y material vegetal como residuos peligrosos y por lo tanto darles disposición adecuada, llevando a cabo investigación para su reutilización.
- Evaluar un sistema de flujo subsuperficial con ambas especies, ya que puede haber influencia del tipo de sistema utilizando *Typha*.

X. Bibliografía

Alfaro de la T, M; García, R; Loredó, R. MX. 2009. Contribución de *Typha latifolia* a la remoción de cadmio y plomo en un humedal artificial de flujo subsuperficial (en línea).

México. Consultado 13 ago. 2013 Disponible

[enhttp://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/IV/carteles/CIV-22.pdf](http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/IV/carteles/CIV-22.pdf)

Alzate, E.2015. Influencia del pH y el tipo de macrofitas en la remoción de materia orgánica y cadmio de un drenaje sintético de minería de carbón, por medio de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto. Tesis Maestría. Colombia, Universidad de Antioquia. 73 p. Disponible

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/5744>

Álvarez Bolainez, RM. 1999. Proyecto Redimensionamiento de los laboratorios de CENTA para su Acreditación. San Andrés, El Salvador. CENTA.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2007. Resumen de Salud Pública. Bario (en línea). USA. Consultado 30 nov. 2018. Disponible en

https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs24.pdf

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2012. Resumen de Salud Pública. Cromo (en línea). USA. Consultado 30 nov. 2018. Disponible

https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf

ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, SV). 2004. Norma para regular la calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario (en línea). El Salvador. Consultado 20 mayo. 2013. 9 p. Disponible en

<http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/04/aguas-residuales.pdf>

Andrade, M; Camacho, A; Delgadillo, O; Pérez, L. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales (en línea), Cochabamba, Bolivia. Consultado 12 dic. 2018. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Andreo, P. 2014. Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas (en línea). Consultado 15 oct. 2018. Disponible en <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/286327/TPAM.pdf;sequence=1>

APHA (American Public Health Association, USA), AWWA (American Water Works Association, USA), WPCF (Water Pollution Control Federation, USA). 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, España, Díaz de Santos, S.A. 1714 p.

Argueta Portillo, Q; Quintanilla, R. 2008. Asesoría en Suelos, Producción y Mantenimiento de Plantas en Construcción de Humedales Artificiales para Tratamiento de Aguas Servidas. San Andrés, El Salvador, CENTA. 46 p.

Brix, H; Schierup, H. 1990. Soil Oxigenation in Constructed Reed Beds: The Role of Macrophyte and Soil-Atmosphere Interface Oxygen Transport. P. 53-66 en Cooper, P.F. y Findlater, B.C. (Eds.), "Proceedings of the Internacional Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control". *Pergamon Press*. Oxford, Inglaterra.

Colín, A; Ortiz, M; Romero, M; Sánchez, E. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la carga orgánica (en línea). México. Consultado 12 de jul. 2013. 12 p. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012012004&idp=1&cid=247333>

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV). 2009. Agua. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. NSO 13.49.01:09 (en línea). El Salvador. Consultado 12 de jul. 2013. Diario Oficial de la República de El Salvador 382.17 P. Disponible http://estadisticas.cne.gob.sv/images/boletines/Legislacion/ambiental/Norma_Aguas_Residuales.pdf

Convención Relativa a los humedales de importancia Internacional Especialmente como hábitat de aves acuáticas. 1971. Compilación de Tratados de las Naciones Unidas No.14583. Modificada según el Protocolo de París, 3 de diciembre de 1982, y las Enmiendas de Regina, 28 de mayo de 1987. (en línea). Consultado 12 de dic.2018. Disponible https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_s.pdf

Correa, S; Gamarra, Y; Salazar, A; Pitta, N. 2015. Evaluación de la Remoción de Nitrógeno, Fósforo y Sulfuros en Agua Residual Doméstica, Utilizando *Phragmites australis* en Bioreactores (en línea). Colombia. Consultado 30 de nov. 2018. Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v26n6/art11.pdf>

Cuellar, N; PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigación Sobre Desarrollo y Medio Ambiente). 2001. La Contaminación del Agua en El Salvador: Desafíos y Respuestas Institucionales (en línea). El Salvador.16 p. Consultado 12 jul.2013. Disponible en <file:///C:/Users/HP/Documents/La-contaminación-del-agua-en-El-Salvador-Desafios-y-respuestas-institucionales.pdf>

Elcinto, M. 2000. Efectos del exceso de hierro sobre la salud (en línea). Toronto, Canadá. Consultado 30 nov. 2018. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/202445.pdf>

Fernández, J; De Miguel, E; De Miguel, J; Curt, M. s.f. Manual de fitodepuración, filtros de macrófitas en flotación. (en línea). España. 129 p. Consultado oct. 2018. Disponible en <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%201%20a%202.pdf>

Flores, RA; Valladares, PA; Villegas, W. 2013. Propuesta de Tratamiento y Disposición de los Residuos Químicos Generados en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tesis Ing. Qca, El Salvador, Universidad de El Salvador. 40 p. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/4960/>

GIZ (Agencia de Cooperación Internacional de Alemania). 2011. Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas (en línea). Alemania. Consultado 30 nov. 2018. Disponible en

file:///C:/Users/HP/Documents/TESIS%202018/Revision-Tecnica-de-Humedales-Artificiales.pdf

Grupo Transmerquin. 2009. Hoja de datos de seguridad. Molibdato de amonio (en línea). Consultado 12 jul. 2013. Disponible en

<http://www.gtm.net/images/es/nuestrosproductos/m/MOLIBDATO%20DE%20AMONIO-2a%20revision.pdf>

Guerrero, C. 2001. Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, Propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña. (en línea). México. 14 p. Consultado 02 de oct. 2018. Disponible en

http://www.utm.mx/edi_anteriores/pdf/ensayo1t14R.pdf

Gutiérrez Osorio, A; Ortiz Hernández, M; Sánchez Salinas, E; Ortega Silva, M. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales por medio de la instalación secuencial de Humedales Artificiales (en línea). Edo. de Morelos, MX. 10 p. Consultado 13 ago. 2013.

Disponible en http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EC/TAC-52.pdf

Ibarra, A; Campos, U; Rivera, F. 2012. Hacia la Gestión Sustentable del Agua en El Salvador (en línea). El Salvador. 85 p. Consultado 12 jul. 2013. Disponible en

<http://unes.org.sv/es/documentos/2012/08/hacia-la-gestion-sustentable-del-agua-en-el-salvador>

INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, ecu). 1984. Agua potable. Determinación de cromo hexavalente. NTE 0983 (en línea). Ecuador. 8 p. Consultado 12 jul. 2013.

Disponible en <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0983.1984.pdf>

ISHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, es). 2000. Fichas

Internacionales de Seguridad Química. Ácido Sulfúrico. ICSC0362 (en línea). España. 2 p.

Consultado 18 ago. 2013. Disponible

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTécnicas/FISQ/Ficheros/301a400/nspn0362.pdf>

Kadlec, R; Knight, R. 1996. Treatment Wetlands. *CRC Press LLC.* , Boca Ratón, Nueva York, USA.

Lara, J. 1999. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales (en línea). Tesis Maestría, España. Universidad Politécnica de Cataluña. Consultado 12 dic.2018. Disponible en <https://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>

Lenntech. 2013. Water treatment solutions (en línea). Consultado 18 ago. 2013. Disponible en <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/index.htm>

Lolmede, Ph; Jacome, A; Vidart, T; Tejero, I. Tratamiento de Agua Residual con Elevado Contenido de Nitratos Utilizando Reactores Biomembrana Aireados (en línea). Valencia, España. Consultado 01 dic. 2018.

Disponible en <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2847/2852>

Londoño, L; Marín, C. 2009. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética (en línea). Pereira, Colombia. Consultado 12 dic.2018. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1817/628162L847.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Luna-Pabello, V; Aburto-Castañeda, S.2014. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón (en línea). D.F, México. Consultado 02 oct. 2018. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405888X14703183>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1962. Levantamiento General de Suelos. Primera edición. Santa Tecla, El Salvador. Esc.1:50,000. 29 h. Color. Cuadrantes 2356III y 2356IV, La Libertad.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV). 2007. Ley del Medio Ambiente y sus Reglamentos. Leyes Anexas. El Salvador. 155p.

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2017. Informe de la Calidad del Agua de los Ríos de El Salvador (en línea). El Salvador. Consultado 30 de nov. 2018. Disponible

<http://www.marn.gob.sv/descargas/Documentos/2018/Informe%20de%20la%20calidad%20de%20agua%202018.pdf>

Mena, J. 9º.Congreso Nacional del Medio Ambiente. 2008. Depuración de Aguas Residuales con Humedales Artificiales: Ventajas de los Sistemas Híbridos (en línea). Consultado 12 de jul. 2013. Disponible en http://www.conama9.org/conama9/download/files/CTs/2643_JMena.pdf

Metcalf; Eddy. 1991. Ingeniería de Aguas Residuales, volumen 1. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera Edición. McGraw Hill Interamericana de España. Madrid. Disponible en http://www.academia.edu/35963101/Ingeniería_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edición_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf

Montoya, J; Ceballos, L; Casas, JC; Morató, J. 2010. Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construídos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrófitas. (en línea). Antioquía, Colombia. 8 p. Consultado 02 oct. 2018.

Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-12372010000200007

Mufarrege, M. 2012. Tolerancia y eficiencia de *Typha domingensis* Pers. en la retención de metales y nutrientes de efluentes industriales. Tesis ph.D. Ciencias Biológicas. Argentina, Universidad Nacional del Litoral. 177 p.

Disponible en <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/handle/11185/406>

Núñez, M. 2017. Evaluación de la eficiencia en remoción de nitrato en un humedal construido a escala de laboratorio. Tesis Magíster en sistemas hidrológicos, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. 98p. Consultado 12 dic.2018. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/60955/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

Nutriterra. s.f. Relación entre la textura y la capacidad de intercambio catiónico de los suelos (en línea). Consultado 02 oct. 2018. Disponible en

https://www.nutriterra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/valores_suelos.pdf

Oficina de Salud Pública Ambiental. 2011. Información de Efectos de Salud. Nitratos. (en línea). Oregon, USA. Consultado 30 nov. 2018. Disponible en

<https://www.oregon.gov/oha/PH/HealthyEnvironments/DrinkingWater/Monitoring/Documents/health/no3-sp.pdf>

Ortego, J; Difabio, M; Mier, M. 2004. Nuevos registros y actualización de la lista faunística de los pulgones (Hemiptera: Aphididae) de la Argentina (en línea). Argentina. Consultado 30 nov. 2018. Disponible en <https://www.biotaxa.org/RSEA/article/download/28166/25691>

Plaza, C; Vidal, G. 2007. Humedales construidos: Una alternativa a considerar para el tratamiento de aguas residuales (en línea). Concepción, Chile. Consultado 12 dic.2018. Disponible https://www.researchgate.net/publication/256536707_Humedales_construidos_una_alternativa_a_considerar_para_el_tratamientos_de_aguas_residuales

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2002. Salud Ambiental Básica (en línea). Cuba. Consultado 30 nov. 2018. Disponible en http://www.pnuma.org/educamb/documentos/salud_ambiental_basica.pdf

PTEA (Plataforma Tecnológica Española del Agua, es). 2012. V Encuentro humedales Artificiales para la depuración de lixiviados de diferentes orígenes (en línea). Pamplona, Navarra, España. Consultado 12 jul. 2013. Disponible en http://www.plataformaagua.org/index.php?id=450&tx_ttnews%5Btt_news%5D=180&cHash=3c9c203936281f3e424e6f6ae97e3472

Revista Astur Natura.com. ES. 2006. Num.72 (en línea). España. Consultado 12 jul. 2013. Disponible en <http://www.asturnatura.com/especie/phragmites-australis.html>

Revista Astur Natura.com. ES. 2006. Núm. 87 (en línea). España. Consultado 12 jul. 2013. Disponible en <http://www.asturnatura.com/especie/typha-latifolia.html>

Reyes de Cabrales, C; García, A; (Escuela Especializada en Ingeniería ITCA FEPADE).2011. Diagnóstico y monitoreo de la calidad del agua del Río Sucio en la zona del Valle San Andrés (en línea). Santa Tecla, El Salvador. 26 p. Consultado 02 oct. 2018.

Disponible en <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2011-Diagnostico-y-monitoreo-de-la-calidad-del-agua.pdf>

Rodríguez, S. AR. 2010. La dureza del agua. Seminario de especialización y maestría en ingeniería ambiental (en línea). Argentina. Consultado 12 jul. 2013. Disponible en http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf

Reed S.C., Natural Systems for waste management and treatment. 2da edición McGraw Hill, New York 1995. (en línea). Consultado 12 jul. 2013. Disponible en

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/humedales.pdf>

Sanders, L. 1998. A manual of field Hydrogeology. Prentice-Hall, 381 pp. (en línea). Consultado 02 oct. 2018. Disponible en http://hidrologia.usal.es/Complementos/Valores_perm_porosidad.pdf

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales) SV. 2007. Diagnostico Nacional de Calidad de Aguas Superficiales. El Salvador (en línea). Consultado 12 jul 2013. 89 p. Disponible en <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00246/doc00246-contenido.pdf>

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2002. Estrategias de Descontaminación de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa. 59 p.

Suárez, A; Agudelo, R. 2014. Tratamiento de agua residual procedente de la industria de curtiembres mediante humedales subsuperficiales usando *Zante deschiaaethiopica*. Colombia (en línea). Consultado 12 oct. 2018. 6 p. Disponible en <http://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/download/300/237/>

UNAM (Universidad Autónoma de México). 2016. Hoja de datos de seguridad de sustancias químicas. Acido clorhídrico (en línea). México. Consultado 30 nov. 2018.

Disponible en

<https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2017/05/HDS-Acido-clorhidrico-NOM-018-2015-MARY-MEAG-Hoja-de-datos.pdf>

Vallejos, G; Tapia González F; Ponce Caballero Ma. Del Carmen. 2005. Humedales Artificiales (en línea). Campeche, MX. 3 p. Consultado 12 jul. 2013. Disponible en

http://www.fomixcampeche.gob.mx/documentos/articulos_05/FOCARE%205_humedales.pdf

Vilca, K; Vergara, C. 2011. Los áfidos (Hemiptera: Aphididae) en el callejón de Huaylas-Ancash, Perú (en línea). Perú. 6 p. Consultado 30 nov. 2018. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n2/a06v10n2.pdf>

Zapata, A. 2014. Humedales artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada La Nutria, de los cerros orientales de Bogotá D.C (en línea). Manizales, Colombia. Consultado 12 dic.2018. Disponible en http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1930/Zapata_Palacio_Aura_Raquel_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

XI. Anexos

Anexo 1. Listado de reactivos utilizados en el laboratorio de suelos

ANALISIS	REACTIVOS UTILIZADOS
Fosforo	Molibdato de amonio, Vanadato de amonio, Acido nítrico concentrado, Acido clorhídrico Acido Sulfúrico, Agua
Potasio	Oxido de Lantano, Acido clorhídrico, Acido sulfúrico
Calcio, Magnesio, Sodio	Oxido de lantano, acido clorhídrico, cloruro de potasio, agua
Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso	Acido clorhídrico, acido sulfúrico, agua
Acidez intercambiable	Hidróxido de sodio
Azufre	Sulfato de potasio, Acido acético, Polivinilpirrolidona, Cloruro de bario, acido clorhídrico, agua.
Materia orgánica	Acido sulfúrico, acido fosfórico, Dicromato de potasio, Difenilamina, Sulfato ferroso, agua.

Anexo 2.Registro fotográfico de aguas residuales del laboratorio de suelos de CENTA.

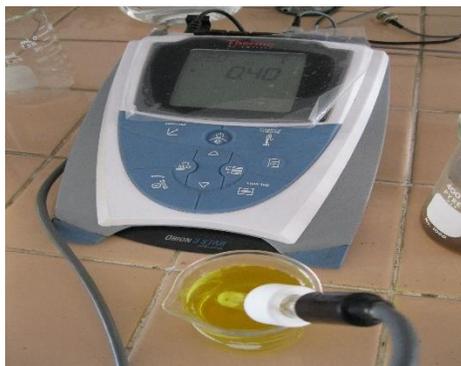
a. Mezcla de aguas residuales



b. Aguas Residuales generadas en cada análisis



c. pH de Agua Residual de análisis de fosforo



d. pH Agua Residual de análisis de Azufre



e. Lugar de establecimiento del humedal artificial



Anexo 3. Cálculo de porcentajes de remoción de los contaminantes en estudio.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Cálculo:

*Primer muestreo $300\text{ppm}-193\text{ppm}=107\text{ppm}=35.67\%$ de eficiencia

*Segundo muestreo: $2134\text{ppm}-268\text{ppm}=1866\text{ppm}$

$2134\text{ppm}-----100\%$

$1866\text{ppm}-----x$

Entonces: $1866\text{ppm}=87.44\%$ de eficiencia

*Tercer muestreo: $5000\text{ppm}-1640\text{ppm}=3360\text{ppm}$

Entonces: $3360=67.2\%$ de eficiencia

Sólidos suspendidos

Cálculo:

Primer muestreo: $5176\text{ppm}-3568\text{ppm}=1608\text{ppm}$

$5176\text{ppm}-----100\%$

$1608\text{ppm}-----x$

Entonces: $1608\text{ppm}=31.066\%$ de eficiencia

Segundo muestreo: $676\text{ppm}-68\text{ppm}=608\text{ppm}$

$608\text{ppm}=89.94\%$ de eficiencia

Tercer muestreo: $112\text{ppm}-0.2\text{ppm}=111.8\text{ppm}$

$111.8\text{ppm}=73.61\%$

Sólidos sedimentables

Cálculo:

Ejemplo $200 \text{ ml/L} - 0.2 \text{ ml/L} = 199.8 \text{ ml/L}$

$200 \text{ ml/L} \text{---} 100\%$

$199.8 \text{ ml/L} = 99.9\%$

7.7 Nitratos

Ejemplo de cálculo:

$145.62 \text{ ppm} - 89.11 \text{ ppm} = 56.51 \text{ ppm}$

$145.62 \text{-----} 100\%$

$56.51 \text{ ppm} = 38.81\%$

Sulfatos

Ejemplo de cálculo:

$40,959 \text{ ppm} - 6682.11 \text{ ppm} = 34,276.89$

$40,959 \text{ ppm} \text{-----} 100\%$

$34,276.89 = 83.69\%$

Fosfatos

Ejemplo de cálculo:

$5557.50 \text{ ppm} - 810.60 \text{ ppm} = 4746.9 \text{ ppm}$

$5557.50 \text{ ppm} \text{-----} 100\%$

$4746.9 \text{ ppm} = 85.41\%$

Cloruros

Ejemplo de cálculo:

$$2839.99\text{ppm}-305.84\text{ppm}=2534.15\text{ppm}$$

$$2839.99\text{ppm}-----100\%$$

$$2534.15\text{ppm}=89.23\%$$

Cromo total

Ejemplo de cálculo:

$$113,100\text{ppm}-10,700\text{ppm}=102,400\text{ppm}$$

$$113,100\text{ppm}-----100\%$$

$$102,400\text{ppm}=90.54\%$$

Bario

Ejemplo de cálculo:

$$0.61\text{ppm}-0.13\text{ppm}=0.48\text{ppm}$$

$$0.61\text{ppm}-----100\%$$

$$0.48\text{ppm}=78.69\%$$

Molibdeno

Ejemplo de cálculo:

$$11.5\text{ppm}-0.96\text{ppm}=10.54\text{ppm}$$

$$11.5\text{ppm}-----100\%$$

$$10.54\text{ppm}=91.65\%$$

Sodio

Ejemplo de cálculo:

$$19,000\text{ppm}-767.50\text{ppm}=18,232.5\text{ppm}$$

$$19,000\text{ppm}\text{-----}100\%$$

$$18,232.5\text{ppm}\text{-----}95.96\% \text{ de eficiencia}$$

Potasio

Ejemplo de cálculo:

$$587.50\text{ppm}-81.05\text{ppm}=506.45\text{ppm}$$

$$587.50\text{-----}100\%$$

$$506.45=86.21\%$$

Hierro

Ejemplo de cálculo:

$$490\text{ppm}-130.90\text{ppm}=359.1\text{ppm}$$

$$490\text{ppm}\text{-----}100\%$$

$$359.1\text{ppm}=73.29\% \text{ de eficiencia}$$

Cromo hexavalente

Ejemplo de cálculo:

$$0.06\text{ppm}-0.01\text{ppm}=0.05\text{ppm}$$

$$0.06\text{ppm}\text{-----}100\%$$

$$0.05\text{ppm}=83.33\%$$

Anexo 4. Resultados de análisis estadístico

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Variable:mg/lit - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	nov-13	
n	4	4	
Media		471.50	26.75
Media (1)-Media (2)		444.75	
LI (95)		105.76	
LS (95)		783.74	
pHomVar	0.0015		
T		4.18	
p-valor	0.0250		

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Variable:mg - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	jun-14	nov-13	
n	4	4	
Media		840.00	26.75
Media (1)-Media (2)		813.25	
LI (95)		455.07	
LS (95)		1171.43	
pHomVar	0.0013		
T		7.23	
p-valor	0.0055		

Variable:mg - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media		471.50	840.00
Media (1)-Media (2)		-368.50	
LI (95)		-746.62	
LS (95)		9.62	
pHomVar	0.9296		
T		-2.38	
p-valor	0.0544		

SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	nov-13	
n	4	4	
Media		152.00	402.00
Media (1)-Media (2)		-250.00	
LI (95)		-415.79	
LS (95)		-84.21	
pHomVar	0.0228		
T		-4.80	
p-valor	0.0172		

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	jun-14	nov-13	
n	4	4	
Media		27.95	402.00
Media (1)-Media (2)		-374.05	
LI (95)		-537.24	
LS (95)		-210.86	
pHomVar	0.0012		
T		-7.29	
p-valor	0.0053		

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media		152.00	27.95
Media (1)-Media (2)		124.05	
LI (95)		98.36	
LS (95)		149.74	
pHomVar	0.1306		
T		11.82	
p-valor	<0.0001		

SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	nov-13	
n	4	4	
Media		0.05	49.95
Media (1)-Media (2)		-49.90	
LI (95)		-59.00	
LS (95)		-40.80	
pHomVar	<0.0001		
T		-17.46	
p-valor	0.0004		

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	jun-14	nov-13	
n	4	4	
Media		2197.50	49.95
Media (1)-Media (2)	2147.55		
LI (95)	1573.70		
LS (95)	2721.40		
pHomVar	<0.0001		
T		11.91	
p-valor	0.0013		

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4.00	4	
Media		0.05	2197.50
Media (1)-Media (2)	-2197.45		
LI (95)	-2771.23		
LS (95)	-1623.67		
pHomVar	<0.0001		
T		-12.19	
p-valor	0.0012		

MOLIBDENO

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		2.64	9.77
Media (1)-Media (2)		-7.14	
LI (95)		-11.80	
LS (95)		-2.47	
pHomVar	0.0533		
T		-4.87	
p-valor	0.0166		

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	jun-14	
n	4	4	
Media		2.64	7.42
Media (1)-Media (2)		-4.79	
LI (95)		-7.26	
LS (95)		-2.31	
pHomVar	0.1591		
T		-4.74	
p-valor	0.0032		

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media		9.77	7.42
Media (1)-Media (2)		2.35	
LI (95)		-1.82	
LS (95)		6.51	
pHomVar	0.5173		
T		1.38	
p-valor	0.2171		

CALCIO

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		104.04	166.84
Media (1)-Media (2)		-62.80	
LI (95)		-129.85	
LS (95)		4.25	
pHomVar	0.0672		
T		-2.98	
p-valor	0.0586		

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	jun-14	
n	4	4	
Media		104.04	181.94
Media (1)-Media (2)		-77.90	
LI (95)		-148.80	
LS (95)		-7.00	
pHomVar	0.0570		
T		-3.50	
p-valor	0.0396		

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media		166.84	181.94
Media (1)-Media (2)		-15.10	
LI (95)		-87.45	
LS (95)		57.25	
pHomVar	0.9237		
T		-0.51	
p-valor	0.6277		

MAGNESIO

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		37.44	81.31
Media (1)-Media (2)		-43.88	
LI (95)		-73.19	
LS (95)		-14.56	
pHomVar	0.1478		
T		-3.66	
p-valor	0.0105		

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	jun-14	
n	4	4	
Media		37.44	14.47
Media (1)-Media (2)		22.97	
LI (95)		7.91	
LS (95)		38.03	
pHomVar	0.9532		
T		3.73	
p-valor	0.0097		

MAGNESIO

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media		81.31	14.47
Media (1)-Media (2)		66.85	
LI (95)		37.39	
LS (95)		96.30	
pHomVar	0.1622		
T		5.55	
p-valor	0.0014		

POTASIO

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		146.88	54.85
Media (1)-Media (2)		92.03	
LI (95)		-2.74	
LS (95)		186.80	
pHomVar	0.0201		
T		3.09	
p-valor	0.0537		

SODIO

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		4558.13	1073.75
Media (1)-Media (2)		3484.38	
LI (95)		2001.80	
LS (95)		4966.95	
pHomVar	0.0199		
T		7.48	
p-valor	0.0049		

FOSFATOS

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		2820.38	1186.73
Media (1)-Media (2)		1633.65	
LI (95)		-54.89	
LS (95)		3322.19	
pHomVar	0.0391		
T		3.08	
p-valor	0.0542		

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	jun-14	
n	4	4	
Media		2820.38	188.95
Media (1)-Media (2)		2631.43	

LI (95) 985.09
 LS (95) 4277.76
 pHomVar 0.0004
 T 5.09
p-valor 0.0147
Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media	1186.73	188.95	

Media (1)-Media (2) 997.78
 LI (95) 606.69
 LS (95) 1388.86
 pHomVar 0.0268
 T 8.12
p-valor 0.0039

SULFATOS

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	Dic-13	ene-14	
n	4.00	4	
Media	8569.23	859.07	

Media (1)-Media (2) 7710.16
 LI (95) 2434.95
 LS (95) 12985.37
 pHomVar 0.0046
 T 4.65
p-valor 0.0187

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	jun-14	
n	4.00	4	
Media	8569.23	385.23	

Media (1)-Media (2) 8184.00
 LI (95) 2934.73
 LS (95) 13433.27
 pHomVar 0.0004
 T 4.96
p-valor 0.0157

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	ene-14	jun-14

n	4	4	
Media		859.07	385.23
Media (1)-Media (2)	473.84		
LI (95)	-19.97		
LS (95)	967.65		
pHomVar	0.2236		
T		2.35	
p-valor	0.0572		

CLORUROS

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		633.54	241.40
Media (1)-Media (2)	392.14		
LI (95)	-24.55		
LS (95)	808.83		
pHomVar	0.0163		
T		2.99	
p-valor	0.0579		

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	jun-14	
n	4	4	
Media		633.54	203.17
Media (1)-Media (2)	430.37		
LI (95)	14.45		
LS (95)	846.28		
pHomVar	0.0133		
T		3.29	
p-valor	0.0460		

CLORUROS

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media		241.40	203.17
Media (1)-Media (2)	38.23		
LI (95)	-35.88		
LS (95)	112.34		
pHomVar	0.9114		
T		1.26	
p-valor	0.2537		

NITRATOS

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		14.13	277.46
Media (1)-Media (2)		-263.33	
LI (95)		-445.21	
LS (95)		-81.45	
pHomVar	0.0002		
T		-4.61	
<u>p-valor</u>	<u>0.0192</u>		

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	jun-14	
n	4	4	
Media		14.13	376.73
Media (1)-Media (2)		-362.60	
LI (95)		-556.02	
LS (95)		-169.18	
pHomVar	0.0002		
T		-5.97	
<u>p-valor</u>	<u>0.0094</u>		

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media		277.46	376.73
Media (1)-Media (2)		-99.27	
LI (95)		-303.26	
LS (95)		104.72	
pHomVar	0.9217		
T		-1.19	
<u>p-valor</u>	<u>0.2787</u>		

HIERRO

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2	
	dic-13	ene-14	
n	4	4	
Media		89.78	39.67

Media (1)-Media (2)	50.11
LI (95)	13.75
LS (95)	86.46
pHomVar	0.3648
T	3.37
<u>p-valor</u>	<u>0.0150</u>

CROMO TOTAL

Variable:MG/LT - Clasific:MES - prueba:Bilateral

	<u>Grupo 1</u>	<u>Grupo 2</u>	
	dic-13	ene-14	
n	4.00	4	
Media	25600.00	133.21	
Media (1)-Media (2)	25466.80		
LI (95)	-1069.32		
LS (95)	52002.91		
pHomVar	<0.0001		
T	3.05		
<u>p-valor</u>	<u>0.0552</u>		

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	<u>Grupo 1</u>	<u>Grupo 2</u>	
	dic-13	jun-14	
n	4.00	4	
Media	25600.00	3.62	
Media (1)-Media (2)	25596.38		
LI (95)	-939.70		
LS (95)	52132.45		
pHomVar	<0.0001		
T	3.07		
<u>p-valor</u>	<u>0.0546</u>		

Variable:mg/lt - Clasific:mes - prueba:Bilateral

	<u>Grupo 1</u>	<u>Grupo 2</u>	
	ene-14	jun-14	
n	4	4	
Media	133.21	3.62	
Media (1)-Media (2)	129.58		
LI (95)	83.94		
LS (95)	175.23		
pHomVar	0.0001		
T	9.03		
<u>p-valor</u>	<u>0.0029</u>		

Anexo 5. Resultados de análisis del agua residual.





F - 09

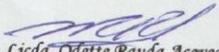
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 39-13	INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: ANA YANETH VALENCIA. REPARTO SAN ANTONIO ABAD, POLÍGONO "B", PASAJE 2 # 14. CUSCATANCINGO. SAN SALVADOR.			Pág. 1 de 1	
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL		N° DE MUESTRAS: 1		
Lugar de toma de muestra: HUMEDAL ARTIFICIAL CENTA. SAN ANDRES.				
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 25 DE NOVIEMBRE DE 2013.				
Fecha de recepción de muestra: 19 DE NOVIEMBRE DE 2013.		Fecha de Análisis: DEL 19 AL 21 DE NOVIEMBRE 2013.		
Método de Análisis: GRAVIMETRICO, CONO IMHOFF, FOTOMETRICO Y WINKLER MODIFICADO.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09. Tabla N° 2, Clasificación VI, numeral 4 por su Naturaleza
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	39-13	Muestra 1 Tanque	300 mg/L	150 mg/L
OXIGENO DISUELTO			7.20 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS TOTALES			13956 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS DISUELTOS			8780 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS SUSPENDIDOS			5176 mg/L	100 mg/L
SOLIDOS SEDIMENTABLES			200 ml/L	15 ml/L
Observaciones:				
1. La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

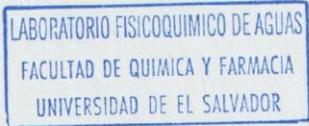
FECHA DE ENTREGA: 03 DEC 2013



Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas y Analista



Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Analista



Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO N° 40-13		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: ANA YANETH VALENCIA. REPARTO SAN ANTONIO ABAD, POLÍGONO "B", PASAJE 2 # 14. CUSCATANCINGO. SAN SALVADOR.				Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL			N° DE MUESTRAS: 1	
Lugar de toma de muestra: HUMEDAL ARTIFICIAL CENTA. SAN ANDRES.				
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 25 DE NOVIEMBRE DE 2013.				
Fecha de recepción de muestra: 20 DE NOVIEMBRE DE 2013.			Fecha de Análisis: DEL 20 y 21 DE NOVIEMBRE 2013.	
Método de Análisis: GRAVIMETRICO, CONO IMHOFF, FOTOMETRICO Y WINKLER MODIFICADO.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09. Tabla N° 2, Clasificación VI, numeral 4 por su Naturaleza
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	40-13	Muestra 2 Salida Humedal	193 mg/L	150 mg/L
OXIGENO DISUELTO			7.20 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS TOTALES			7288 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS DISUELTOS			3720 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS SUSPENDIDOS			3568 mg/L	100 mg/L
SOLIDOS SEDIMENTABLES			<0.2 ml/L	15 ml/L
Observaciones: 1. La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 03 DEC 2013

Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Analista

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

act*



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de inscripción 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

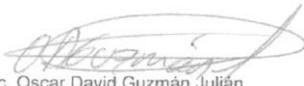
INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA:	ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ	CONTROL:	AG-312-942
MUESTRA:	AGUA RESIDUAL ENTRADA HUMEDAL, LABORATORIO DE SUELOS	LOTE:	NO APLICA
	FECHA: 04-12-13, HORA: 1:00 PM	VENCIMIENTO:	NO DISPONIBLE
		INGRESO:	04-DIC-2013
		MUESTREÓ:	CLIENTE
		EMISIÓN:	18-DIC-2013

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Descripción Referencia: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed (SMEWW) Método: 2110 Fecha final de análisis: 17-dic-2013	No Aplica	Líquido ligeramente opalescente, verde, con partículas
Molibdeno Referencia: SMEWW. Método: Absorción Atómica con HGA Fecha final de análisis: 17-dic-2013	0.1 mg/L	11.5 mg/L
Bario Referencia: SMEWW. Método: Absorción Atómica con HGA Fecha final de análisis: 17-dic-2013	5 mg/L	0.61 mg/L

ESPECIFICACIÓN: NSO 13.49.01:09, AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada


Lic. Oscar David Guzmán Julián
Signatario Autorizado



LECC

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC

Pag: 1 de 1

Laboratorio Acreditado por OSA bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para aguas, lodos, alimentos, desinfectantes, superficies y productos farmacéuticos.



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ	CONTROL: AG-312-963
MUESTRA: AGUA RESIDUAL SALIDA HUMEDAL, LABORATORIO DE SUELOS	LOTE: NO APLICA
FECHA: 05-12-13, HORA: 1:30 PM	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
	INGRESO: 05-DIC-2013
	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 19-DIC-2013

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Descripción Referencia: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed (SMEWW) Método: 2110 Fecha final de análisis: 19-dic-2013	No Aplica	Líquido opalescente, amarillo, con partículas .
Molibdeno Referencia: SMEWW. Método: Absorción Atómica con Llama Fecha final de análisis: 19-dic-2013	0.1 mg/L	0.96 mg/L
Bario Referencia: SMEWW. Método: Absorción Atómica con HGA Fecha final de análisis: 19-dic-2013	5 mg/L	0.13 mg/L

ESPECIFICACION: NSO 13.49.01:09, AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada


 Lic. Oscar David Guzman Julian
 Signatario Autorizado

Lic. OSCAR DAVID GUZMAN JULIAN
 QUIMICO FARMACEUTICO
 Insc. J.V.P.Q.F. No. 1810

LECC

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC

Pag: 1 de 1

Laboratorio Acreditado por OSA bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para aguas, lodos, alimentos, desinfectantes, superficies y productos farmacéuticos.

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 131211460-01

DATOS GENERALES

Muestra: ENTRADA HUMEDAL ARTIFICIAL LABORATORIO
Solicitante: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Responsable: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Dirección: 16 AV.NTE. # 10101, COL.GUATEMALA
Teléfono: 2302-0200 Fax: Correo Electronico:

FECHAS	
Recibido:	04/12/2013
Análisis:	10/12/2013
Reporte:	27/12/2013

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	METODO	REFERENCIA*
A004 Calcio	2.34	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A005 Magnesio	10.25	mg/L	4	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A006 Potasio	587.50	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A007 Sodio	19000.00	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	12296.25	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A009 Sulfatos	40959.00	mg/L	2000	Turbidimetría	4500-SO4-E
A010 Cloruros	2839.99	mg/L	S.R.D	Método Argentométrico	4500-CL-B
A011 Nitratos	145.62	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B
A016 Hierro	490.00	mg/L	20	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A026 Cromo en Itama	113100.00	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A065 Cromo VI	0.01	mg/L	0.5	Método Colorimétrico	3500-Cr B

mae

FSC 35.01 V.7 10/08/12

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 131211482-01

DATOS GENERALES

Muestra: SALIDA HUMEDAL ARTIFICIAL LABORATORIO
Solicitante: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Responsable: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Dirección: 16 AV. NTE. # 10101, COL. GUATEMALA
Teléfono: 2302-0200 Fax: Correo Electronico:

FECHAS	
Recibido :	05/12/2013
Análisis :	27/12/2013
Reporte :	02/01/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A001 pH	2.46	mg/L	5.5 - 9.0	Método Electrométrico	4500-H+
A004 Calcio	418.50	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A005 Magnesio	460.00	mg/L	4	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A006 Potasio	81.05	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A007 Sodio	767.50	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	1014.75	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A009 Sulfatos	6682.11	mg/L	2000	Turbidimetría	4500-SC4-E
A010 Cloruros	305.84	mg/L	S.R.D	Método Argentométrico	4500-CL-B
A011 Nitratos	89.11	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B
A015 Hierro	130.90	mg/L	20	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A026 Cromo en llama	10700.00	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A065 Cromo VI	0.01	mg/L	0.5	Método Colorimétrico	3500-Cr B

hac

FSC 35.01 V.7 10/08/12



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ	CONTROL: AG-401-313
MUESTRA: AGUA RESIDUAL ENTRADA HUMEDAL ARTIFICIAL LABORATORIO	LOTE: NO APLICA
ORIGEN: DESECHOS QUIMICOS, FECHA: 16/01/14, HORA: 10:00 AM	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
	INGRESO: 16-ENE-2014
	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 28-ENE-2014

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Descripción Referencia: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed (SMEWW) Método: 2110 Fecha final de análisis: 27-ene-2014	No Aplica	Líquido opalescente, verde claro, con partículas.
Molibdeno Referencia: SMEWW. Método: Absorción Atómica con Llama Fecha final de análisis: 27-ene-2014	0.1 mg/L	39.2 mg/L
Bario Referencia: SMEWW. Método: Absorción Atómica con HGA Fecha final de análisis: 27-ene-2014	5 mg/L	2.6 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09, AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada

Dra. Elizabeth Banegas de Salazar
Gerencia Técnica





Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ	CONTROL: AG-401-331
MUESTRA: AGUA RESIDUAL SALIDA HUMEDAL LABORATORIO	LOTE: NO APLICA
FECHA: 17/01/14, HORA: 12:00 PM	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
	INGRESO: 17-ENE-2014
	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 28-ENE-2014

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Descripción Referencia: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed (SMEWW) Método: 2110 Fecha final de análisis: 27-ene-2014	No Aplica	Líquido opalescente, blanquecino, con partículas.
Molibdeno Referencia: SMEWW. Método: Absorción Atómica con Llama Fecha final de análisis: 27-ene-2014	0.1 mg/L	0.12 mg/L
Bario Referencia: SMEWW. Método: Absorción Atómica con HGA Fecha final de análisis: 27-ene-2014	5 mg/L	0.16 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09, AGUA RESIDUAL TIPO ORDINARIO

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada

Dra. Elizabeth Banegas de Salazar
Gerencia Técnica



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC

Pag: 1 de 1

Laboratorio Acreditado por OSA bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para aguas, lodos, alimentos, desinfectantes, superficies y productos farmacéuticos.

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140100434-01

Pag 1/2

DATOS GENERALES

Muestra: SALIDA HUMEDAL ARTIFICIAL LABORATORIO
Solicitante: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Responsable: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Dirección: 16 AV. NTE. # 10101, COL. GUATEMALA
Teléfono: 2302-0200 Fax: Correo Electronico: anayanehvalenciario

FECHAS	
Recibido :	17/01/2014
Análisis :	17/01/2014
Reporte :	03/02/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA ***	MÉTODO	REFERENCIA *
A001 **pH	3.14	mg/L	5.5 - 9.0	Método Electrométrico	4500-H+
A004 Calcio	685.00	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A005 Magnesio	337.50	mg/L	4	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A006 Potasio	51.25	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A007 Sodio	698.75	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	810.60	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A009 Sulfatos	1347.24	mg/L	2000	Turbidimetría	4500-SO4-E
A010 Cloruros	257.78	mg/L	S.R.D	Método Argentométrico	4500-CL-B
A011 Nitratos	264.96	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B
A016 Hierro	27.63	mg/L	20	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A026 Cromo en llama	1.17	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A065 Cromo VI	0.01	mg/L	0.5	Método Colorimétrico	3500-Cr B

huc

FSC 36.01 V.7 10/08/12



Laboratorio de
Calidad Integral



Fundación Salvadoreña para
el Desarrollo Económico y Social

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140100404-01

Pag 1 / 2

DATOS GENERALES

Muestra: ENTRADA HUMEDAL ARTIFICIAL LABORATORIO
Solicitante: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Responsable: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Dirección: 16 AV.NTE. # 10101, COL. GUATEMALA
Teléfono: 2302-0200 Fax: Correo Electronico: anayanethvalenciario

FECHAS

Recibido : 16/01/2014
Análisis : 17/01/2014
Reporte : 03/02/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA ***	MÉTODO	REFERENCIA *
A001 pH	1.45	mg/L	5.5 - 9.0	Método Electrométrico	4500-H+
A004 Calcio	17.64	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A005 Magnesio	12.25	mg/L	4	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A006 Potasio	270.63	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A007 Sodio	4993.75	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	5557.50	mg/L	45	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A009 Sulfatos	4783.50	mg/L	2000	Turbidimetría	4500-SO4-E
A010 Cloruros	1223.38	mg/L	S.R.D	Método Argentométrico	4500-CL-B
A011 Nitratos	1374.79	mg/L	S.R.D	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B
A016 Hierro	186.30	mg/L	20	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A026 Cromo en llama	533.99	mg/L	S.R.D	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A065 Cromo VI	0.06	mg/L	0.5	Método Colorimétrico	3500-Cr B

me

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org



F - 09

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO Nº 01-14		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: ANA YANETH VALENCIA. REPARTO SAN ANTONIO ABAD, POLÍGONO "B", PASAJE 2 # 14. CUSCATANCINGO. SAN SALVADOR.				Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL			Nº DE MUESTRAS: 1	
Lugar de toma de muestra: HUMEDAL ARTIFICIAL CENTA. SAN ANDRES.				
Fecha de elaboración del informe: MIERCOLES, 22 DE ENERO DE 2014.				
Fecha de recepción de muestra: 16 DE ENERO DE 2014.			Fecha de Análisis: DEL 16 AL 21 DE ENERO DE 2014.	
Método de Análisis: GRAVIMETRICO, CONO IMHOFF, FOTOMETRICO Y WINKLER MODIFICADO.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09. Tabla Nº 2, Clasificación VI, numeral 4 por su Naturaleza
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	01-14	Entrada Humedal Artificial CENTA	2134 mg/L	300 mg/L
OXIGENO DISUELTO			0.4 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS TOTALES			27360 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS DISUELTOS			26684 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS SUSPENDIDOS			676 mg/L	100 mg/L
SOLIDOS SEDIMENTABLES			0.4 ml/L	15 ml/L
Observaciones:				
1. La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 28 JAN 2014

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic Henry Alfredo Hernández Contreras
Analista

ael*



F - 09

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

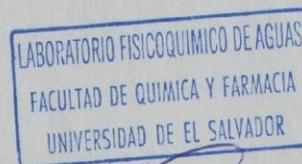
Copia

CODIGO N° 03-14		INFORME DE RESULTADOS		
Nombre y dirección del cliente: ANA YANETH VALENCIA. REPARTO SAN ANTONIO ABAD, POLÍGONO "B", PASAJE 2 # 14. CUSCATANCINGO. SAN SALVADOR.				Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL			N° DE MUESTRAS: 1	
Lugar de toma de muestra: HUMEDAL ARTIFICIAL CENTA. SAN ANDRES.				
Fecha de elaboración del informe: MIERCOLES, 22 DE ENERO DE 2014.				
Fecha de recepción de muestra: 17 DE ENERO DE 2014.			Fecha de Análisis: DEL 17 AL 21 DE ENERO DE 2014.	
Método de Análisis: GRAVIMETRICO, CONO IMHOFF, FOTOMETRICO Y WINKLER MODIFICADO.				
Parámetros	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09. Tabla N° 2, Clasificación VI, numeral 4 por su Naturaleza
	CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	03-14	Salida Humedal Artificial CENTA	268 mg/L	300 mg/L
OXIGENO DISUELTO			3.1 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS TOTALES			7656 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS DISUELTOS			7588 mg/L	NO NORMADO
SOLIDOS SUSPENDIDOS			68 mg/L	100 mg/L
SOLIDOS SEDIMENTABLES			<0.2 ml/L	15 ml/L
Observaciones: 1. La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.				

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 28 JAN 2014



Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefe del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Analista

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
- MUESTRA 140606039-01

DATOS GENERALES

Muestra: ENTRADA HUMEDAL ARTIFICIAL
Solicitante: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Responsable: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Dirección: 16 AV.NTE #10101,COL.GUATEMALA
Teléfono: 2225-8880 Fax: Correo Electronico: anayanehval@gmail

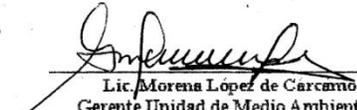
FECHAS	
Recibido :	24/06/2014
Análisis :	24/06/2014
Reporte :	10/07/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA ***	MÉTODO	REFERENCIA *
A001 pH	6.46		5.5-9.0 ²	Método Electrométrico	4500-H+
A004 Calcio	887.50	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A005 Magnesio	10.88	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	771.75	mg/L	15	Método de Acido Ascórb	4500-P E
A009 Sulfatos	2925.24	mg/L	1000	Turbidimetría	4500-SO4-E
A010 Cloruros	1223.38	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-CL-B
A011 Nitratos	2076.32	mg/L	S.R.D.	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B
A026 Cromo en llama	14.50	mg/L	1	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012 mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt.Unidades Cobalto platino mL: mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1: Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnicas. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***NSC 13.49.01:09 "Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor"

OBSERVACIONES


Lic. Morena López de Carcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra

FSC 36.01 V.7 10/08/12

Urbanización y Bulevar Santa Elena, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, C.A.
E-mail: laboratorio@fusades.org - Tel.: (503) 2248 5681, Fax: (503) 2248 5669
www.fusades.org

DATOS GENERALES

Muestra: ENTRADA HUMEDAL ARTIFICIAL
Solicitante: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Responsable: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Dirección: 16 AV NTE. # 10101, COL. GUATEMALA
Teléfono: 2225-8880 Fax: Correo Electronico: anayanethval@gmail

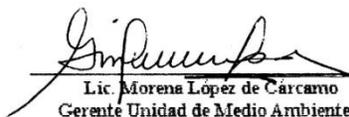
FECHAS	
Recibido :	25/06/2014
Análisis :	07/07/2014
Reporte :	11/07/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
AD61 Molibdeno	74.05	mg/L	0.1	Espectrof. Abs. Atómica	3500-Mo

*SMTWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
UnidadesCo-Pt:Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1:Efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor. *2:El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limpias. *3: En todo caso la temperatura del agua de descarga al cuerpo receptor. *4:No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5:Siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***NSO.13.49.01:09 "Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor"

OBSERVACIONES


Lic. Morena López de Cárcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.



F - 09

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

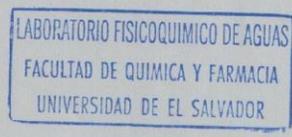
CODIGO N° 22-14		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: ANA YANETH VALENCIA. KM. 33 1/2, CARRETERA A SANTA ANA.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL.					N° DE MUESTRAS: 1
Lugar de toma de muestra: ENTRADA HUMEDAL ARTIFICIAL CENTA. SAN ANDRES. DEPTO. LA LIBERTAD.					
Fecha de elaboración del informe: MIERCOLES, 09 DE JULIO DE 2014.					
Fecha de recepción de muestra: 24 DE JUNIO DE 2014.			Fecha de Análisis: DEL 24/06/2014 AL 07/07/2014.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01-09. Tabla N° 2, Clasificación VI, numeral 4 por su Naturaleza
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico	22-14	Entrada humedal artificial	5000 mg/L	300 mg/L
Oxígeno Disuelto	Volumétrico			6 mg/L	NO NORMADO
Sólidos Sedimentables	Volumétrico			9126 ml/L	15 ml/L
Sólidos Suspendidos	Gravimétrico			112 mg/L	100 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Parámetros Acreditados: pH, Conductividad, Hierro y Manganeseo.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 11 JUL 2014

[Signature]
Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefa del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista



[Signature]
Licda. Rosa Mirian Rivas de Lara
Analista

[Signature]
Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Analista

ach*

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



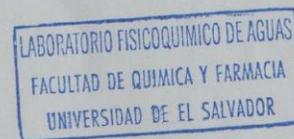
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FISCOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 23-14		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: ANA YANETH VALENCIA. KM. 33 1/2, CARRETERA A SANTA ANA.					Pág. 1 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL.					N° DE MUESTRAS: 2
Lugar de toma de muestra: SALIDA HUMEDAL ARTIFICIAL CENTA. SAN ANDRES. DEPTO. LA LIBERTAD.					
Fecha de elaboración del informe: MIERCOLES, 09 DE JULIO DE 2014.					
Fecha de recepción de muestra: 25 DE JUNIO DE 2014.			Fecha de Análisis: DEL 25/06/2014 AL 03/07/2014.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09, Tabla N° 2, Clasificación VI, numeral 4 por su Naturaleza
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico	23-14-01	Salida humedal artificial	1640 mg/L	300 mg/L
Oxígeno Disuelto	Volumétrico			8.3 mg/L	NO NORMADO
Sólidos Sedimentables	Volumétrico			336 ml/L	15 ml/L
Sólidos Suspendedos	Gravimétrico			<0.2 mg/L	100 mg/L
Observaciones:					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Parámetros Acreditados: pH, Conductividad, Hierro y Manganeso.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 11 JUL 2014



Odette Rauda Acevedo
Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefa del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista

Rosa Mirian Rivas de Lara
Licda. Rosa Mirian Rivas de Lara
Analista

Henry Alfredo Hernández Contreras
Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Analista

act

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com

DATOS GENERALES

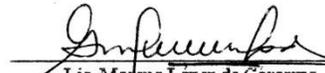
Muestra: SALIDA HUMEDAL ARTIFICIAL
Solicitante: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Responsable: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Dirección: 16 AV. NTE. # 10101, COL. GUATEMALA
Teléfono: 2225-8880 Fax: Correo Electronico: anavanethval@mai

FECHAS	
Recibido:	25/06/2014
Análisis:	25/06/2014
Reporte:	09/07/2014

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA ***	MÉTODO	REFERENCIA *
A001 pH	5.84		5.5-9.0 ²	Método Electrométrico	4500-H+
A004 Calcio	159.73	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A005 Magnesio	68.75	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A006 Fosfatos	15.95	mg/L	15	Método de Acido Ascórb.	4500-P E
A009 Sulfatos	1384.32	mg/L	1000	Turbidimetría	4500-SO4-E
A010 Cloruros	410.71	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-CL-B
A011 Nitratos	569.39	mg/L	S.R.D.	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B
A026 Cromo en llama	0.10	mg/L	1	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A081 Molibdeno	44.36	mg/L	0.1	Espectrof. Abs. Atómica	3800-Mo

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg:miligramos L:litro
µmhos:micromhos cm:centímetros °C:grados centígrados UNT:unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
Unidades Co-Pt: Unidades Cobalto platino mL:mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1: Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2: El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limpias. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4: No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5: Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***NSO.13.49.01.09 "Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor"

OBSERVACIONES


Lic. Mojena López de Carcano
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente
El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
Este es un informe preliminar emitido dentro de los 45 días del ingreso de la muestra.

UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE
INFORME DE ANÁLISIS EN AGUA RESIDUAL
MUESTRA 140605136-01

DATOS GENERALES

Muestra: PHRAGMITES (PARTE MEDIA)
Solicitante: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Responsable: ANA YANETH VALENCIA RODRIGUEZ
Direccion: 16 AV NTE #10101, COL. GUATEMALA
Teléfono: 2225-8880 Fax: Correo Electronico: anayanethval@gmail

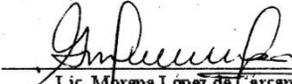
FECHAS	
Recibido :	25/06/2014
Análisis :	25/06/2014
Reporte :	09/07/2014

ANÁLISIS

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	Unidades	NORMA***	MÉTODO	REFERENCIA*
A001 pH	5.34		5.5-9 *2	Método Electrométrico	4500-H+
A004 Calcio	138.80	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A005 Magnesio	27.50	mg/L	S.R.D.	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B
A008 Fosfatos	8.24	mg/L	15	Método de Acido Ascórb.	4500-P E
A009 Sulfatos	658.74	mg/L	1000	Turbidimetría	4500-SO4-E
A010 Cloruros	262.15	mg/L	S.R.D.	Método Argentométrico	4500-CL-B
A011 Nitratos	317.16	mg/L	S.R.D.	Espectrofotometría UV	4500-NO3-B
A026 Cromo en llama	0.12	mg/L	1	Espectrof. Abs. Atómica	3111-B

*SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 th edition, 2012. mg: miligramos L: litro
µmhos: micromhos cm: centímetros °C: grados centígrados UNT: unidades nefelométricas de turbidez N.D.: No Detectado
Unidades Co-Pt: Unidades Cobalto platino mL: mililitro S.R.D.: Sin Rango Definido *1: Efluente líquido no deberá incrementar
color visible al cuerpo receptor. *2: El valor de pH 5.5 - 9.0 aplica para descargas de aguas limnicas. *3: En todo caso la temperatura
del agua de descarga al cuerpo receptor. *4: No se incrementa en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor. *5: Siempre y cuando el
cuerpo receptor lo permita. **Acreditado bajo NSR ISO/IEC 17025:05.
***NSO.13.49.01:09 "Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor"

OBSERVACIONES


Lic. Mirena López de Carcamo
Gerente Unidad de Medio Ambiente



Nota: Esta muestra fue tomada o remitida por Cliente

El informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita del Laboratorio.
Los resultados corresponden solamente a la muestra analizada en el Laboratorio.
No se recibirán quejas después de 45 días del ingreso de la muestra.

FSC 36.01 V.7 10/06/12



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO Nº 23-14		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: ANA YANETH VALENCIA. KM. 33 1/2, CARRETERA A SANTA ANA.					Pág. 2 de 2
Descripción de muestra: AGUA RESIDUAL.					Nº DE MUESTRAS: 2
Lugar de toma de muestra: SALIDA HUMEDAL ARTIFICIAL CENTA. SAN ANDRES. DEPTO. LA LIBERTAD.					
Fecha de elaboración del informe: MIÉRCOLES, 09 DE JULIO DE 2014.					
Fecha de recepción de muestra: 25 DE JUNIO DE 2014.			Fecha de Análisis: DEL 25/06/2014 AL 03/07/2014.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	Norma CONACYT Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09. Tabla Nº 2, Clasificación VI, numeral 4 por su Naturaleza
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotométrico	23-14-02	Parte media humedal artificial	2020 mg/L	300 mg/L
Oxígeno Disuelto	Volumétrico			10 mg/L	NO NORMADO
Sólidos Sedimentables	Volumétrico			686 ml/L	15 ml/L
Sólidos Suspendidos	Gravimétrico			<0.2 mg/L	100 mg/L
Observaciones:					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
* Parámetros Acreditados: pH, Conductividad, Hierro y Manganeseo.					

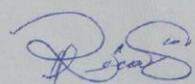
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. Se especificara en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

FECHA DE ENTREGA: 11 JUL 2014

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR


Licda. Odette Rauda Acevedo
Jefa del Laboratorio Físicoquímico de Aguas
y Analista


Licda. Rosa Mirian Rivas de Lara
Analista

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Analista

ach*

Anexo 6. Resultado de análisis de suelos.



CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL
CENTA "ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA"
LABORATORIO DE SUELOS

TEL. 2397-2248 Correo electronico: labsuelos@centa.gob.sv

No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Canton	Municipio	Departamento	Identi.	Profundidad cm	Utilizará riego si o no	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
20398	m20665-1	ANA V. RODRIGUEZ		SAN DIEGO	LA LIBERTAD	LA LIBERTAD	Inicia Phragmites australis			Phragmites australis	
	m20665-2	ANA V. RODRIGUEZ		SAN DIEGO	LA LIBERTAD	LA LIBERTAD	Final Phragmites australis			Phragmites australis	
	m20665-3	ANA V. RODRIGUEZ		SAN DIEGO	LA LIBERTAD	LA LIBERTAD	Inicia Typha angustifolia			Typha angustifolia	
	m20665-4	ANA V. RODRIGUEZ		SAN DIEGO	LA LIBERTAD	LA LIBERTAD	Final Typha angustifolia			Typha angustifolia	

N° Muestra	TEXTURA BOUYOCOS				pH en agua 1:2.5	Fósforo (mg kg ⁻¹)	Potasio (mg kg ⁻¹)		Ca (cmol kg ⁻¹)		Mg (cmol kg ⁻¹)		Na (cmol kg ⁻¹)	%Materia orgánica		Fe (mg kg ⁻¹)				
	%A	%C	%L	TEXTURA																
M20665-1	63.32	19.96	16.72	FRANCO ARENOSO	5.10	FA	149	MA	122	A	6.95	A	1.91	B	0.63	NS	3.13	M	35	MA
M20665-2					6.90	N	408	MA	312	MA	38.00	MA	1.12	B	19.40	S	3.13	M	130	MA
M20665-3					6.00	MA	61	MA	115	A	156.00	MA	6.50	A	40.90	S	3.13	M	42	MA
M20665-4					5.70	MA	132	MA	192	A	10.54	A	3.85	A	18.00	S	3.13	M	40	MA

A: arena, C: arcilla, L: limo

Analista: Inga. Claudia Lino



Análisis	Valores	Rangos	Significado
pH en Agua	4.1 a 4.4	EA	EXTREMADAMENTE ÁCIDO
	4.5 a 5.0	MFA	MUY FUERTEMENTE ÁCIDO
	5.1 a 5.5	FA	FUERTEMENTE ÁCIDO
	5.6 a 6.0	MA	MODERADAMENTE ÁCIDO
	6.1 a 6.5	LA	LIGERAMENTE ÁCIDO
	6.6 a 7.3	N	NEUTRO
	7.4 a 8.0	MAL	MODERADAMENTE ALCALINO
	8.1 a 9.0	FAL	FUERTEMENTE ALCALINO
> 9.0	EAL	EXTREMADAMENTE ALCALINO	

Rangos	Significado
MB	MUY BAJO
B	BAJO
M	MEDIO
A	ALTO
MA	MUY ALTO
NS	NO SODICO
S	SODICO

Analistas: Inga. Claudia Lino
Licda. Sonia de Alegria
Licda. Yaneth Valencia
Inga. Sandra Najarro



Anexo 7. Límites máximos permisibles según la norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario.

PLAN HIDRO 2009
ACTA No. 1937 PUNTO XIV DE FECHA 15 DE OCTUBRE DE 2004

4

11. Los sedimentos, lodos y/o sustancias sólidas provenientes de los sistemas de tratamiento de efluentes líquidos no podrán disponerse en sistemas de recolección de aguas residuales para su disposición final.
12. Descargas de aguas lluvias al Sistema de Alcantarillado Sanitario.
13. Las descargas al alcantarillado en cualquier punto sin autorización.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR MAXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	mg/l	150
Aluminio (Al)	mg/l	10
Arsénico (As)	mg/l	1.0
Boro (B)	mg/l	3
Cadmio (Cd)	mg/l	1
Cianuro Total (CN)	mg/l	1
Cinc (Zn)	mg/l	5
Cobalto (Co)	mg/l	0.5
Cobre (Cu)	mg/l	3
Color Real*		
Compuestos fenólicos	mg/l	5
Cromo hexavalente (Cr ⁺⁶)	mg/l	0.5
Cromo total (Cr)	mg/l	3
DBO ₅	mg/l	400
Detergentes (SAAM)	mg/l	35
DQO	mg/l	1000
Fluoruros (F)	mg/l	6
Fósforo Total (P)	mg/l	45
Herbicidas totales	mg/l	0.1
Hidrocarburos	mg/l	20
Hierro total (Fe)	mg/l	20
Manganeso total (Mn)	mg/l	4
Materiales Flotantes	mg/l	Ausentes
Mercurio (Hg)	mg/l	0.02
Molibdeno (Mo)	mg/l	4
Níquel (Ni)	mg/l	4
Nitrógeno Total (N)	mg/l	100
Organoclorados	mg/l	0.05
Órgano fosforados y Carbamatos	mg/l	0.25
PH	mg/l	5.5-9.0
Plata (Ag)	mg/l	3
Plomo (Pb)	mg/l	1.0
Selenio (Se)	mg/l	0.15
Sólidos sedimentables	ml/l	20
Sólidos suspendidos totales	mg/l	450

NORMA PARA REGULAR CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL DESCARGADAS AL ALCANTARILLADO SANITARIO.

La Vigencia de la Norma será a partir del 1° de enero del 2005

Anexo 8. Análisis de Calcio y Magnesio en grava (lecho).



04 de Diciembre de 2018

Informe número: 2018-068

Página 1 de 2

INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICO

DATOS GENERALES

- SOLICITANTE : Ana Valencia
- EMPRESA : No especificada
- DIRECCIÓN : No especificada
- IDENTIFICACION DE MUESTRA : Muestra sólida de grava
-CONDICIONES DE LA MUESTRA : Grava 5 mm
- FECHA DE TOMA DE MUESTRA : No especificada
- PROCEDENCIA : No especificada
- PUNTO DE MUESTREO : No especificado
- HORA DE MUESTREO : No especificado
- MUESTRA TOMADA POR : No especificada
- CODIGO DE LABORATORIO : 2018-059E
- FECHA DE INGRESO : 16 de Noviembre de 2018
- FECHA DE ANÁLISIS : Del 30 de Noviembre al 04 de Diciembre de 2018
- FECHA DE REPORTE : 04 de Diciembre de 2018

1. Análisis Químico

Parámetro	Resultado	Expresado como	Método	LDC (ppm)*
Calcio	17490.78	mg/Kg	1	15
Magnesio	3349.42	mg/Kg	2	0.01

NOTAS:

*LDC: Límite de cuantificación / El límite expresado es aplicable para matriz acuosa, donde ppm es equivalente a mg/litro.

Metodologías de Análisis:

1. Análisis de Calcio por absorción atómica, método de atómica-flama. Varian Company (2000), SpectrAA 240, Cookbook, Calcium, Atomic Absorption, Varian Australia.
2. Análisis de Magnesio por absorción atómica, método de atómica-flama. Varian Company (2000), SpectrAA 240, Cookbook, Magnesium, Atomic Absorption, Varian Australia.

Atentamente,



Lic. José Tenorio
Coordinador Laboratorio Geoquímico
e-mail: jtenorio@lageo.com.sv

LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS REMITIDAS.
PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME.

C.C. Archivo Laboratorio/AFQ.