

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE *Heliconia stricta* EN LA
ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NITRÓGENO
DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
UTILIZANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

GABRIELA ALEJANDRA GUACHAMIN CELI
gagc2120@gmail.com

DIRECTOR: Dra. CRISTINA ALEJANDRA VILLAMAR AYALA
cristina.villamar@usach.cl

CO DIRECTOR: VÍCTOR HUGO GUERRERO
victor.guerrero@epn.edu.ec

Quito, agosto 2018

DECLARACIÓN

Yo, Gabriela Alejandra Guachamin Celi, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Gabriela Alejandra Guachamin Celi

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriela Alejandra Guachamin Celi, bajo nuestra supervisión.

Dra. CRISTINA VILLAMAR
DIRECTORA DEL PROYECTO

Dr. VICTOR GUERRERO
CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mis padres que han dedicado tiempo y esfuerzo para guiarme a lo largo de todos estos años.

A mi familia por su apoyo incondicional y por ser el mejor ejemplo de unión y perseverancia.

A la Dra. Cristina Villamar quien ha dirigido este trabajo y quien desde el primer día puso todo el esfuerzo y dedicación en él, demostrándome con su ejemplo que con esfuerzo y el trabajo continuo se logran cumplir metas y sueños.

Al Dr. Víctor Guerrero por su colaboración en la realización y dirección de este trabajo.

A la Dra. Ana Balarezo y a la Ing. Cristina Almeida por su colaboración en la revisión y evaluación del trabajo realizado.

Al Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) y a cada una de las personas que lo conforman por brindarme su apoyo durante la realización del proyecto.

Finalmente agradezco a mis amigos que durante la carrera han formado parte de mí día a día brindándome su apoyo y amistad, los cuatro de siempre han sido un ejemplo de trabajo, amistad y compañerismo y que han hecho de esta etapa algo especial.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, hermano, profesores y amigos que ha contribuido cada uno de una forma especial durante esta etapa.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
PRESENTACIÓN.....	xiv
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS	xv
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 ALCANCE	5
1.4 OBJETIVOS.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	7
2.2 PROBLEMAS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	9
2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	11

2.4 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO Y TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	12
2.5 HUMEDALES.....	15
2.6 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES.....	28
2.7 <i>Heliconia stricta</i>	33
CAPÍTULO 3.....	36
METODOLOGÍA.....	36
3.1 ETAPA EXPERIMENTAL.....	36
3.2 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	40
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	41
CAPÍTULO 4.....	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES	42
4.2 COMPORTAMIENTO VEGETATIVO DE <i>Heliconia stricta</i> Y BIOMASA EN HUMEDALES CONSTRUIDOS	50
4.3 RELACIÓN ENTRE LA ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES Y EL COMPORTAMIENTO VEGETATIVO DE LA ESPECIE <i>Heliconia stricta</i>	56
CAPÍTULO 5.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS.....	66
ANEXO NO 1: TABLAS DE ANÁLISIS DE CORRELACIÓN SIMPLE DEL PROGRAMA INFO STAT - STATISTICAL	67

ANEXO NO 2: INFORMES DE RESULTADOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	69
ANEXO NO 3: ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA	91

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 VALORES TÍPICOS PARA DQO, N Y P DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	8
TABLA 2.2 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	12
TABLA 2.3 PROCESOS DE FITOREMEDIACIÓN.....	15
TABLA 2.4 CARACTERÍSTICAS DE ESPECIES PRINCIPALES USADAS EN HUMEDALES	18
TABLA 2.5 CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES	27
TABLA 2.6 COSTOS DE COMPONENTES DE HUMEDALES	27
TABLA 3.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO PARA AGUAS RESIDUALES	40
TABLA 4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AFLUENTE.....	42
TABLA 4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE EFLUENTES	43
TABLA 4.3 EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES EN LOS HFSSV Y HFSSH.....	45
TABLA 4.4 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE SPERMAN EN LOS HUMEDALES.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.2.1 NIVELES DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	11
FIGURA 2.2 FUNCIONES DE ORGANISMOS HETERÓTROFOS EN HUMEDALES.....	21
FIGURA 2.3 HUMEDAL DEL FLUJO SUPERFICIAL	23
FIGURA 2.4 HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL.....	24
FIGURA 2.5 HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL	26
FIGURA 2.6 VÍAS DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.....	30
FIGURA 2.7 PROCESOS IMPLICADOS EN LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO	31
FIGURA 2.8 CICLO DEL NITRÓGENO EN EL HUMEDAL	32
FIGURA 2.9 CARACTERÍSTICAS DE HELICONIA	35
FIGURA 4.1 PORCENTAJES DE PÉRDIDA DE AGUA EN HUMEDALES.....	44
FIGURA 4.2 CONCENTRACIÓN DE DQO DE AFLUENTE Y EFLUENTES	45
FIGURA 4.3 CONCENTRACIÓN DE NH_4^+ EN EL AFLUENTE Y LOS EFLUENTES	46
FIGURA 4.4 CONCENTRACIÓN DE NO_2^- EN AFLUENTE Y EFLUENTES.....	47
FIGURA 4.5 CONCENTRACIÓN DE NO_3^- EN EL AFLUENTE Y EFLUENTES DE HUMEDALES.....	48
FIGURA 4.6 CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL DEL AFLUENTE Y EFLUENTES DE HUMEDALES	49

FIGURA 4.7 ABUNDANCIA RELATIVA DE <i>Heliconia stricta</i> EN EL HFSSV Y HFSSH	51
FIGURA 4.8 CRECIMIENTO APICAL DE INDIVIDUOS DE <i>Heliconia stricta</i>	52
FIGURA 4.9 CRECIMIENTO BASAL DE INDIVIDUOS DE <i>Heliconia stricta</i>	53
FIGURA 4.10 CRECIMIENTO DE HOJAS DE <i>Heliconia</i> <i>stricta</i> EN HFSSV Y HFSSH	54
FIGURA 4.11 SÓLIDOS DEL MATERIAL DE SOPORTE EN HUMEDALES	55
FIGURA 4.12 PESO SECO DE INDIVIDUOS DE <i>Heliconia</i> <i>stricta</i>	56
FIGURA 4.13 RELACIONES LINEALES ENCONTRADAS EN LOS HUMEDALES	58

RESUMEN

En zonas rurales, los sistemas de tratamiento no convencionales de aguas residuales domésticas (ARD) son una alternativa viable. Los humedales construidos, permiten el tratamiento de ARD utilizando especies vegetales ornamentales dotando además de valor estético a la zona. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar la influencia de *Heliconia stricta* en el tratamiento de ARD en humedales construidos.

La metodología se basó en un modelo experimental constituido de dos humedales construidos de flujo sub-superficial vertical y horizontal (HFSSV – HFSSH, respectivamente) en serie, alimentados con ARD sintéticas y plantados con individuos de la especie *Heliconia stricta*. El sistema fue monitoreado por 49 días mediante parámetros como: Demanda Química de Oxígeno (DQO), amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y fósforo total (PT). De forma paralela se evaluó semanalmente el crecimiento de *Heliconia stricta* mediante medidas alométricas (abundancia relativa, altura apical y diámetro basal).

Los resultados, demostraron que la eliminación de materia orgánica y nutrientes fue mayor en el HFSSV con valores de 82,6 % (DQO), 88,8 % (NH_4^+) y 44,8 % (PT) respecto al HFSSH que alcanzó valores promedio de -2,81 % (DQO), 61,79 % (NH_4^+) y 23,39 % (PT). El análisis vegetativo en los humedales demostró, mayor desarrollo de los individuos en el HFSSH con valores promedios de 50 individuos/m² (abundancia relativa), 0,40 mm (crecimiento apical) y 0,25 mm (crecimiento basal). Finalmente el análisis de correlación entre la eliminación de contaminantes y el crecimiento de *Heliconia stricta* en HFSSH determinó que su crecimiento fue significativamente ($p < 0,05$; $R^2 > 0,7$) afectado por la DQO; mientras que, en el HFSSV no se encontró relación significativa.

Palabras clave: aguas residuales domésticas, humedales construidos, *Heliconia stricta*, flujo sub-superficial.

ABSTRACT

In rural areas, unconventional domestic wastewater (DWW) treatment systems are a viable alternative. The constructed wetlands allow the treatment of DWW using ornamental plant species, providing aesthetic value to the area. Therefore, the objective of this study was to analyze the influence of *Heliconia stricta* in the treatment of DWW in constructed wetlands.

The methodology was based on an experimental model consisting of two wetlands constructed of vertical and horizontal subsurface flow (VSS – HSSF, respectively) in series, fed with synthetic DWW and planted with individuals of the species *Heliconia stricta*. The system was monitored for 49 days by parameters such as: Chemical Oxygen Demand (COD), ammonium (NH₄)⁺, nitrate (NO₃)⁻, nitrite (NO₂)⁻ and total phosphorus (TP). In parallel, the growth of *Heliconia stricta* was evaluated weekly using allometric measurements (relative abundance, apical height and basal diameter).

The results showed that the elimination of organic matter and nutrients was higher in the VSSF with values of 82,6 % (COD), 88,8 % (NH₄)⁺ and 44,8 % (TP) with respect to the HSSF that reached values average of -2,81% (COD), 61,79 % (NH₄)⁺ and 23,39 % (TP). The vegetative analysis in the wetlands showed greater development of the individuals in the HSSF with average values of 50 individuals/m² (relative abundance), 0,40 mm (apical growth) and 0,25 mm (basal growth). Finally, the correlation analysis between the elimination of pollutants and the growth of *Heliconia stricta* in HSSF determined that its growth was significantly ($p < 0,05$; $R^2 > 0,7$) affected by the COD; whereas, in the VSSF no significant relationship was found.

Keywords: domestic sewage, constructed wetlands, *Heliconia stricta*, sub-surface flow.

PRESENTACIÓN

El presente documento constituye un estudio del comportamiento de un sistema de humedales construidos de flujo sub-superficial en la eliminación de contaminantes de agua residuales domésticas en zonas tropicales durante su puesta en marcha. Para lo cual se han considerado cinco capítulos, como se detalla a continuación.

El capítulo I, “Introducción” presenta los antecedentes, justificación, el alcance y los objetivos generales y específicos planteados en el estudio.

El capítulo II “Marco teórico” contempla una revisión bibliográfica de la caracterización y generación de aguas residuales domésticas, problemas ambientales asociados a las mismas y las bases teóricas de su tratamiento y tipologías.

El capítulo III, “Metodología” abarca dos etapas, la etapa experimental que comprende la determinación de parámetros de diseño y construcción de humedales, su montaje, puesta en marcha, estrategia de operación y monitoreo. La segunda etapa comprende la descripción del proceso de análisis de resultados para la determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual doméstica, determinación del comportamiento vegetativo de *Heliconia stricta* y la correlación entre la eliminación de nutrientes y el crecimiento vegetativo de la planta.

El capítulo IV, “Resultados y discusión” presenta la evaluación de la eficiencia de eliminación de nutrientes y materia orgánica del agua residual doméstica, la evaluación del comportamiento vegetativo de *Heliconia stricta* en humedales construidos y el análisis correlativo entre el comportamiento vegetativo de *Heliconia stricta* y la eliminación de materia orgánica y nutrientes en humedales construidos. Finalmente, el capítulo V “Conclusiones y recomendaciones” incluye conclusiones de acuerdo a cada objetivo establecido y se ofrecen recomendaciones para futuros trabajos.

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

FV: Flujo Vertical

FH: Flujo Horizontal

Hab-eq: Habitante equivalente

HFS: Humedal de Flujo Superficial

HFSSH: Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal

HFSSV: Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical

KH₂PO₄: Fosfato básico de potasio

K₂HPO₄: Fosfato dibásico de potasio

LMP: Límite Máximo Permissible

NT: Nitrógeno Total

pH: Potencial de hidrógeno

PM: Punto de Muestreo

PT: Fósforo Total

PTARs: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

SST: Sólidos Suspendidos Totales

SV: Sólidos Volátiles

ST: Sólidos Totales

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El aumento de la población, ha derivado en un incremento del volumen de agua extraída y consecuentemente de las aguas residuales y de la carga contaminante proveniente de las mismas (Arias y Brix, 2016). La población mundial aumentó 4,4 veces en el último siglo mientras que la extracción de agua aumentó 7,3 veces en el mismo periodo (Aquastat, 2012). El volumen de agua extraída para uso doméstico aumentará de un 40 % a 50 % para 2030. La extracción de agua dulce, a nivel mundial, para consumo alcanza los 3 928 km³/año, de los cuales se estima que un 44 % se consume en agricultura y el 56 % se convierte en aguas residuales municipales. En cuanto al tratamiento de aguas residuales, la situación varía en función de las rentas de un país, para países ricos, con rentas medio altas, medio bajas y bajas se tratan en un 70 %, 38 %, 28 % y 8 %, respectivamente. De acuerdo a estos datos, se tiene que el promedio mundial de tratamiento es del 20 % (Unesco, 2017). Luego del proceso de depuración el destino del agua residual tratada es en un 56,4 % en ríos, 26,3 % en quebradas y un 19,6 % en otros, mientras que para el agua residual no tratada en un 59,3 % ríos, 25,2 % quebradas, 15,6 % otros (INEC, 2015).

En el Ecuador, la extracción de agua corresponde a un volumen de 9,9 km³ anuales (Banco Mundial, 2002), de los cuales 8,1 km³ (81%) son para uso agropecuario, 1,3 km³ (13%) para uso municipal, y 0,5 km³ (6%) para uso industrial (INEC, 2015). La producción de agua residual en el Ecuador es de aproximadamente el 80 % del agua extraída, es decir 7,9 km³ al año (0,631 km³ son de tipo municipal), y de esta cantidad solo se trata el 20,8 % previo a la descarga, es decir un volumen de 1,64 km³ de los cuales 0,158 km³ de origen municipal (Aquastat, 2015).

El vertido directo de agua sin tratar tiene un impacto negativo directo sobre los ecosistemas (Unesco, 2017), como la muerte de peces (anoxia) y la proliferación de algas (eutrofización) con la consecuente disminución de la diversidad de los cuerpos del agua y la transmisión de enfermedades (Izembart, 2003). La falta de tratamiento del agua residual es consecuencia de los elevados precios de los tratamientos convencionales, la elección de sistemas de tratamiento no adecuados a la situación del lugar, o la falta de una legislación ambiental eficiente (CEPIS, 2004 & Konnerup et al., 2009).

Por la problemática ambiental que representan las descargas de aguas residuales domésticas, se requiere de sistemas de tratamiento y depuración de fácil fabricación, implementación, manejo, mantenimiento, bajo costo y alta eficiencia (Konnerup et al, 2009). Los humedales cumplen con las condiciones antes descritas y por esta razón en la actualidad, se reproducen estos sistemas con el fin de depurar aguas residuales.

El uso de humedales para la depuración de agua se da a partir de los años 50, pero es hasta el año de 1971 cuando se trata sobre el uso de humedales construidos en Irán en la Convención sobre los humedales Ramsar (Suárez, et.al, 2014). El primer humedal construido para tratar aguas residuales fue hecho en Othresen, Alemania. A partir de este se han ido construyendo otros bajo diferentes condiciones y con diferentes resultados. Estos sistemas se están aplicando de forma creciente en todo el mundo, tanto en el norte y sur considerando sus particularidades locales y para todo tipo de aguas (Arias y Brix, 2016).

Los humedales han demostrado ser una buena alternativa en comunidades pequeñas, para eliminar materia orgánica y sustancias peligrosas como metales pesados presentes en el agua residual (García, 2008). Estos sistemas tienen aceptación entre los usuarios debido a que proveen otros servicios como regulación del ciclo del agua y de nutrientes, captura de CO₂, restauración de nichos ecológicos, mejoramiento del paisaje y son zonas de amortiguamiento en inundaciones (Suárez et.al, 2014). Las especies típicas de plantas más usadas en humedales construidos y que han demostrado buenos resultados en la eliminación de contaminantes corresponden a helófitas como *Typha spp.*, *Phragmites australis*

e higrófitos como *Scirpus spp.* Estas especies se encuentran en diferentes zonas, por lo que su uso se ha extendido a nivel mundial (Fernandez et al, 2005). Si se usan especies ornamentales alternativas dentro de los humedales como del género *Heliconia* se tiene un sistema eficiente para la eliminación de contaminantes y su comercialización podría constituir una fuente de ingresos económicos para las comunidades que hacen uso de estos sistemas (Arias y Brix, 2016). Se debe tomar en cuenta que el uso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) modernas, no es compatible con comunidades pequeñas o a nivel unifamiliar por los altos costos de construcción y mantenimiento (Izembart, 2003).

1.2 JUSTIFICACIÓN

La conservación de los recursos naturales en la actualidad es uno de los mayores retos de las sociedades, una forma para contribuir a este fin es el tratamiento de aguas residuales, mediante fitorremediación (Nerio, 2008). Por lo tanto, el uso de especies del género *Heliconia* presente en países tropicales, sería una alternativa económica y eficiente para eliminar materia orgánica y nutrientes, en zonas rurales de países en vías de desarrollado como el Ecuador por sus propiedades depurativas. El uso de la fitorremediación permite tratar más de un contaminante presente en las aguas residuales. La simbiosis de plantas con bacterias adheridas a sus raíces favorece la eliminación de materia orgánica y nutrientes en una sola tecnología (Carrillo, 2015).

El estudio de humedales construidos en zonas tropicales y el uso de especies autóctonas de climas tropicales en este tipo de tecnologías, aún está en desarrollo. En los últimos años, se ha empezado a realizar estudios con *Heliconia psittacorum* en Colombia, Bangkok, y Brasil, así como *Heliconia rostrata* en México (Konnerup, 2009; Vymazal, 2011). Especies del género *Heliconia* han permitido eliminar alrededor del 70 % (DQO), 23 % (NH₄)⁺ y 38 % (NO₃)⁻ presente en aguas residuales domésticas, constituyéndose por lo tanto en un género idóneo para humedales construidos (Peña, 2013).

Los sistemas de tratamiento no convencionales, como los humedales construidos de flujo sub-superficial, simulan los procesos existentes en la naturaleza para

depurar agua. Estos procesos pueden ser: físicos, químicos y biológicos (Mancilla, et. al, 2013), siendo más complejos que los procesos desarrollados en los sistemas convencionales (Sánchez, 2011). El uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas es adecuado, porque permite trabajar con flujos discontinuos o intermitentes, característicos de poblados pequeños (Kadlec, 2009). Esta última es una ventaja sobre los sistemas convencionales, debido a que generalmente trabajan con cultivos bacterianos en suspensión, cuyo crecimiento se ve influenciado por el cambio en la cargas hidráulicas (Sosa, 2012).

El uso de un sistema híbrido (sub-superficial vertical/horizontal), se hace con el fin de mejorar la eliminación de nitrógeno. Los HFSSV favorecen los procesos de nitrificación por el contacto del agua residual con la atmósfera. Mientras, los HFSSH favorecen la desnitrificación, debido a que el flujo no es expuesto a la atmósfera generando condiciones anaerobias (Vymazal, 2002). En forma general, se tiene que en humedales híbridos de HFSSV-HFSSH las eficiencias encontradas en aguas residuales domésticas alcanzan hasta el 80 % en la eliminación de $(\text{NH}_4)^+$ y 75 % en DQO. En experimentos conducidos al respecto, se estima que la planta tuvo una intervención en la eliminación de nutrientes del 30 % (Araya, 2012).

La presente investigación hará uso de la especie vegetal tropical *Heliconia stricta*, debido a su condición de especie autóctona y su factibilidad en el uso de tecnologías de depuración (Vymazal, 2011). El género *Heliconia* ha mostrado tolerar altas cargas orgánicas y de nutrientes y tiene un importante crecimiento a escala de individuo (biomasa) o comunidad (reproducción vegetativa por estolones) (Zurita, 2009; Sosa, 2013). Además, soporta porcentajes de humedad superiores al 80 %, tiene robusta área rizomal (Alarcón, 2012) y capacidad de adaptación a temperaturas entre los 14°C hasta los 32°C (Sosa, 2013). El principal mecanismo de acción del género *Heliconia* es el uso del tejido vegetal, el cual contribuye a la filtración y es sustrato de biomasa microbiana (Vymazal, 2002).

1.3 ALCANCE

La presente investigación plantea el uso de tecnologías de tratamiento pasivo para la depuración de agua residual doméstica, usando especies de plantas nativas. La tecnología usada se basa en la construcción de un modelo experimental a escala de laboratorio que consiste en un sistema de humedales híbridos de flujo sub-superficial (HFSSV – HFSSH) plantados con *Heliconia stricta*. Con este modelo, se busca evaluar el comportamiento de la especie vegetal autóctona escogida, como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales.

La valoración inicial del sistema de humedales estará dada por la evaluación del comportamiento vegetativo de la *Heliconia stricta* y el análisis analítico del influente – efluente (eficiencias de eliminación) de los mismos durante un periodo de 7 semanas. La información obtenida determinará la influencia en forma indirecta de esta especie vegetal sobre la operación de humedales construidos.

Los resultados obtenidos son preliminares para establecer la factibilidad de uso de esta especie vegetal sobre humedales construidos. No obstante, al ser un estudio previo, esta investigación daría pie a investigaciones futuras que evalúen este comportamiento a escalas temporales mayores. En zonas templadas, el funcionamiento de humedales construidos es influenciado por la estacionalidad, debido a la condición no perenne de las plantas acuáticas. En zonas tropicales, los ciclos vegetativos de especies similares son distintos, condición que debería ser evaluada en investigaciones futuras y que no es el alcance de la presente investigación. No obstante, este trabajo aportaría con información adicional referente al uso de humedales construidos en zonas tropicales con variabilidad de temperatura diaria (14 a 32 °C).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Analizar la influencia de *Heliconia stricta* en el tratamiento de aguas residuales domésticas sobre humedales construidos de flujo sub-superficial para la eliminación de materia orgánica y nitrógeno.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la eliminación de materia orgánica y nutrientes en puesta en marcha de humedales construidos de flujo sub-superficial vertical y horizontal, alimentados con aguas residuales domésticas e influenciados por la presencia de *Heliconia stricta*, mediante el seguimiento periódico del agua residual y la planta.
- Evaluar el ciclo vegetativo inicial de *Heliconia stricta* sobre humedales construidos de flujo sub-superficial alimentados con aguas residuales domésticas, mediante mediciones alométricas.
- Establecer la relación del comportamiento vegetativo inicial de *Heliconia stricta* respecto a la eliminación de materia orgánica y nitrógeno, en la puesta en marcha de humedales construidos de flujo sub-superficial alimentados con aguas residuales domésticas, mediante correlación de variables en el agua residual y la planta.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

2.1.1 Generación de las aguas residuales

La producción de aguas residuales alcanza valores entre 0,05 a 0,4 m³/hab-día, en zonas urbanas y el promedio en zonas rurales es de 0,05 y 0,2 m³/hab-día (Unesco, 2017). A nivel mundial el 56 % del agua extraída correspondiente a 2 199,68 km³ se convierte en aguas residuales. En el Ecuador, el agua residual producida corresponde al 80 % del agua extraída, es decir 7,9 km³/año de los cuales 0,63 km³ son de origen municipal (Aquastat, 2015).

2.1.2 Caracterización de aguas residuales

Las características físico-químicas de las aguas residuales dependen de la densidad poblacional y de aspectos socioeconómicos y culturales (Araya, 2012).

En cuanto a la composición de las aguas residuales domésticas estas, se componen de aguas grises (aguas de cocina, baño) y aguas negras (inodoros) (Martín et al., 2006). Las aguas residuales domésticas son diferenciadas además por su procedencia, es decir aguas residuales domésticas urbanas y rurales, siendo las rurales más concentradas y las urbanas las que se generan en mayor cantidad (Fernández et al., 2005). El agua residual en forma general presenta las siguientes características físicas, químicas y biológicas (García, 2008):

Características físicas:

- Color: gris y con el tiempo puede tornarse a negra.
- Olor: no presenta olores cuando se genera, los olores aparecen generalmente cuando la descomposición comienza.

- Sólidos: presenta un 1 % de Sólidos Totales (ST), de los cuales 80 % son sólidos disueltos (SD), un 13 % de Sólidos Sedimentables (SSed) y un 7 % son Sólidos coloidales (SS).

Características químicas:

- Materia orgánica: medida como DBO₅ o DQO, los valores de DBO₅ oscilan de 100 a 300 mg/L y la DQO entre valores de 150 a 800 mg/L. La relación DBO₅ - DQO suele ser de 0,5.
- Oxígeno disuelto: con valores entre 1 y 3 mg/L.
- pH: los valores típicos van de 6 a 9.
- Nutrientes: se hallan formas de nitrógeno (NH₄)⁺, (NO₃)⁻, (NO₂)⁻ y fósforo (PT). Los valores de (NH₄)⁺ varían entre 12 a 50 mg/L, (NO₃)⁻ de 0 a 10 mg/L y los valores de PT van de 4 a 15 mg/L (Martín et al, 2006).

TABLA 2.1 VALORES TÍPICOS PARA DQO, N Y P DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Valores típicos de DQO, N y P para aguas residuales domésticas		
Parámetro	Urbana	Rural
DQO (mg/L)	500	1000
N (mg/L)	40	85
P (mg/L)	8	15

FUENTE: Martín et al (2006)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

Características biológicas:

Por la presencia de excretas humanas se puede hallar principalmente adenovirus, enterovirus, renovirus y rotavirus (Unesco, 2017).

2.2 PROBLEMAS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

a) Contaminación del agua

Las aguas residuales domésticas no pueden ser arrojadas a un recurso hídrico, debido a que contaminan otros cuerpos de agua pudiendo provocar eutrofización por su contenido de materia orgánica y nutrientes (Araya, 2012). La eutrofización, provoca la pérdida de vegetación y fauna, además afecta a los ecosistemas terrestres dependientes de estos cuerpos de agua (Fernández et al., 2005). La liberación de nitrógeno y fósforo en la eutrofización, estimula el crecimiento de algas. Las algas al morir constituyen alimento para las bacteria, adicionalmente el nitrógeno amoniacal es tóxico para los peces (Izembart, 2003).

El agua utilizada en actividades domésticas contiene principalmente materia orgánica que mediante la acción de bacterias se transforman en moléculas más simples. Para transformar la materia orgánica se necesita una importante cantidad de oxígeno (2 a 4 g/m²d) que se obtienen del cuerpo de agua. El uso del oxígeno con este fin reduce la disponibilidad del mismo para la fauna acuática. Se sabe que el vertido de agua residual en mares y océanos es la causa de la aparición de 245 000 km² de zonas desoxigenadas (Unesco, 2017).

b) Contaminación del suelo

La contaminación del suelo con aguas residuales, se da por su uso inadecuado en agricultura como consecuencia de la baja disponibilidad de agua de riego. Los recursos hídricos superficiales, son la principal fuente de suministro de agua de riego con un 74 %, seguido por aguas subterráneas con un 17,3 %, aguas mixtas (superficial y subterránea) con un 7 % y tan solo un 1,4 % de uso directo de aguas residuales tratadas (Aquastat, 2016). Porcentajes bajos tomando en cuenta que las aguas residuales domésticas podrían ser una valiosa fuente en zonas semiáridas o zonas con escasas de agua para riego (Zamora et al, 2008). El 7 % del área irrigada a nivel mundial usa aguas residuales lo que trae como beneficio la adición

de materia orgánica y nutrientes al suelo que mejoran su fertilidad y como perjuicio la adición metales pesados, sales y patógenos (Unesco, 2017).

c) Contaminación del aire

La contaminación al aire se da por la descomposición de aguas residuales durante su almacenamiento. La materia orgánica comienza a degradarse y genera metano que corresponde al 7 % de las emisiones de metano globales de origen antropogénico (Global Methane Initiative, 2013). La descomposición de la materia orgánica del agua genera además olores por la presencia de compuesto volátiles (Llagas, 2016).

d) Problemas sanitarios

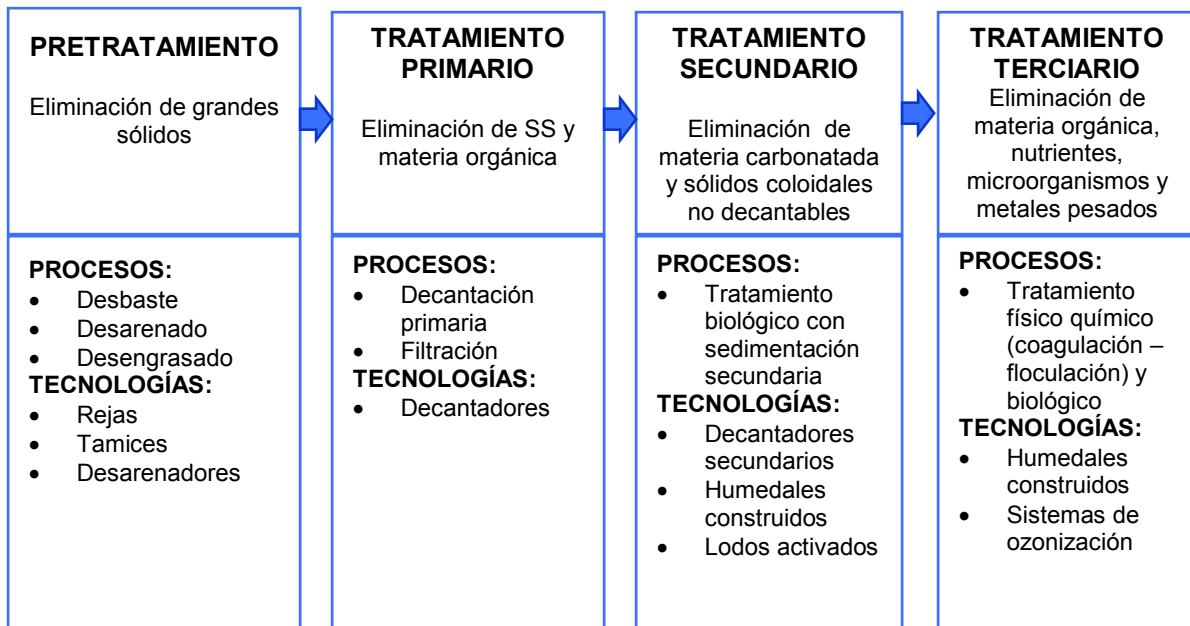
Las aguas residuales domésticas contienen gérmenes, patógenos y huevos de parásitos provenientes de la flora microbiana intestinal y de otras fuentes de contaminación (Izembart, 2003). El contacto de las fuentes de agua para consumo y de los alimentos con agua residual, provoca infecciones como fiebre tifoidea, salmonelosis, cólera y gastroenteritis; infecciones víricas como gastroenteritis, hepatitis A y parasitosis (Fernández et al, 2005). El uso de agua contaminada es la principal causa de mortalidad y morbilidad infantil en un 60 % y se estima que 2 300 millones de personas sufren de enfermedades relacionadas con el agua (CEPIS, 2004). Además, que cada año mueren 2 millones de niños a causa de enfermedades producidas por la contaminación de agua, en los países pobres uno de cada cinco niños no superan la edad de 5 años (Carrillo et al, 2015).

El agua contaminada tiene la capacidad de producir enfermedades debido a que se requieren dosis infectivas mínimas en el caso de parásitos intestinales, siendo necesario únicamente un quiste viable para producir la enfermedad. Además existen diversos mecanismos de transmisión y adquisición de la enfermedad como el contacto directo con el agua contaminada y/o organismos acuáticos y vectores asociados al agua (CEPIS, 2004).

2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Según el nivel de tratamiento del agua residual, en la Figura 2.1, se muestran los procesos llevados a cabo y los materiales eliminados en cada etapa.

FIGURA 2.2.1 NIVELES DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS



FUENTE: Martín et al (2006), Fernández et al (2005), Izembart (2003) y García, (2008).

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

Los humedales construidos son considerados sistemas de tratamiento secundario, en la Tabla 2.2 se presenta según el número de habitantes para el que están diseñados, los porcentajes de eficiencia para la eliminación de DQO, N y P, además se muestran los datos de otras tecnologías con este nivel de tratamiento.

TABLA 2.2 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Tecnología	Habitantes equivalentes	Eficiencia (%)		
		DQO	N	P
Zanjas filtrantes	< 300	75 - 85	50 -80	40 - 70
Lechos filtrantes	< 300	75 - 85	50 -80	40 - 70
Pozo filtrante	< 300	75 - 85	50 -80	40 - 70
Filtro verde	< 500	80 - 90	50 - 90	40 - 90
Humedales artificiales	< 2000	75 - 85	35 - 50	20 - 35
Lagunajes				
L. Anaerobia		40 - 50	5 - 10	0 - 5
L. Facultativa	< 2000	55 - 75	30 - 60	0 - 30
L. Maduración		70 - 80	40 - 80	30 - 60
Filtros de turba	< 2000	70 - 80	30 - 50	15 - 35
Lechos Bacterianos	< 5000	75 - 85	20 - 35	10 -35

FUENTE: Martín (2006)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales construidos requiere que estas hayan pasado por un tratamiento previo, que dependerá de la calidad del agua residual.

2.4 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO Y Terciario DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

2.4.1 Tecnologías convencionales de tratamiento secundario y terciario

Son sistemas usados generalmente para grandes núcleos de población (>2000 habitantes), porque utilizan pequeñas superficies de tierra y grandes cantidades de energía (2,39 kW-h/m³) para tratar grandes volúmenes de agua (1500 m³/día) (Fernández et al., 2005). Son sistemas usados generalmente en países desarrollados porque estos sistemas no se adaptan a la realidad económica y técnica de países en vías de desarrollo. La tecnología más usada para el tratamiento de agua residual doméstica son las lagunas de estabilización debido a

que requieren un 20 % de la inversión y un 10 % de los costos por operación y mantenimiento frente a otras tecnologías. (CEPIS, 2004).

El sistema de lodos activados es una tecnología que usa una comunidad microbiana en suspensión (lodos activados) en un sistema aireado y agitado para la eliminación de sólidos suspendidos totales y sedimentables, materia orgánica, nitrógeno y fósforo con eficiencias entre 90 a 95 % para DBO₅, 85 a 95 % para SST, 70 a 90 % para NT y 25 al 70 % de PT (Fernández et al., 2017). Las condiciones de operación consideran Tiempos de Retención Hidráulica (TRH) de 5 a 15 días, temperatura ambiental y tiempos de vida útil de 20 años. Los costos asociados para el tratamiento son de 70 a 100 dólares/hab (construcción) y de 0,05 dólares/m³-hab (operación) (Sinia, 2011&CEPIS, 2004). Las principales ventajas que presentan este tipo de sistemas son: alta eficiencia de eliminación de materia orgánica, minimización de olores y ausencia de vectores. Las principales desventajas se dan en los costos de mantenimiento, generación de lodo no estabilizado y dependencia de las condiciones operacionales. Además, estas tecnologías no eliminan coliformes fecales (Sinia, 2011).

2.4.2 Tecnologías no convencionales

Son sistemas menos costosos, requieren de menos energía y generalmente utilizan energía solar; son más fáciles de operar y dar mantenimiento que los sistemas convencionales pero requieren mayores extensiones de terreno. Estas tecnologías son generalmente utilizadas en zonas rurales que cuentan con vastas extensiones de terreno. Respecto a las eficiencias de eliminación suelen ser iguales que los convencionales en cuanto a materia orgánica y nutrientes (85 a 95 % para DQO, 70 a 90 % para NT y entre el 25 al 70 % de PT).

La fitorremediación es un mecanismo no convencional de tratamiento (Fernández et al., 2005), consiste de un conjunto de tecnologías que usan plantas y los microorganismos asociados a ellas como bacterias y hongos (Carrillo et al, 2015). Estas tecnologías remueven, degradan, acumulan, volatilizan o inmovilizan contaminantes del suelo, agua o aire mediante sus hojas o raíces a través de procesos como fotosíntesis, metabolismo y nutrición (Delgadillo, 2011).

La fitorremediación puede tratar contaminantes orgánicos e inorgánicos, los contaminantes orgánicos son producto de la utilización de pesticidas, fertilizantes, detergentes, productos de higiene personal y medicamentos y los inorgánicos son principalmente metales que no pueden ser degradados (Carrillo et al, 2015).

Entre las principales ventajas de la fitorremediación se pueden mencionar:

- Realización del tratamiento in situ y ex situ.
- Se puede tratar más de un tipo de contaminante y en todo tipo de matrices.
- Requiere prácticas agronómicas convencionales.
- No requiere personal especializado para su manejo.
- Las fitotecnologías son 40% menos costosas que otras utilizadas in situ y si se compara con tecnologías en ex situ el costo es 10 veces menor.
- Es una tecnología sustentable.
- No requiere energía.
- Es estéticamente agradable y no hay alteración del paisaje
- El material vegetal obtenido puede ser descontaminado y reciclado (Olivera, 2008, Delgadillo, 2011 & Carrillo et al, 2015).

Las principales desventajas de la fitoremediación son:

- El contaminante debe estar en la zona radicular de la planta.
- La concentración de los contaminantes debe estar dentro de los límites de tolerancia de la planta.
- Requiere de grandes superficies para su aplicación.
- No es un proceso rápido.
- Los contaminantes acumulados en los tejidos vegetales podrían ser consumidos por otros organismos e ingresar a la cadena trófica (Nerio, Olivera, 2008; Delgadillo, 2011).

Se tienen registros de al menos 400 especies vegetales utilizadas en fitorremediación, son ejemplos de esto el buchón de agua, lechuga de agua, girasol, la alfalfa, la calabaza y el pepino (Nerio, Olivero, 2008).

De acuerdo a la función que cumple la planta, tenemos los siguientes procesos:

TABLA 2.3 PROCESOS DE FITOREMEDIACIÓN

Proceso	Característica	Uso
Fitoextracción o fitoacumulación	Absorción del contaminante a través de las raíces de plantas hiperacumuladoras	Tratamiento de agua
Rizofiltración	Adsorción o absorción de contaminantes en las raíces de las plantas	Tratamiento de agua
Fitoestabilización	Adsorción, absorción o precipitación del contaminantes en la zona radicular	Tratamiento de suelos
Rizodegradación o fitoestimulación	Degradación de contaminantes por enzimas excretadas por las raíces	Tratamiento de agua y suelo
Fitovolatilización	Eliminación de contaminantes a través de las hojas por transpiración	Tratamiento de agua
Fitodegradación o fitotransformación	Dstrucción de contaminantes al interior de la planta por enzimas	Tratamiento de suelos, sedimentos y lodos contaminados

FUENTE: Nerio & Olivero, (2008), Carrillo et al, (2015) y Delgado, (2011).

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

2.5 HUMEDALES

2.5.1 Humedales naturales

Son zonas de transición entre los ambientes terrestres y acuáticos (ecotonos), están inundadas o saturadas con aguas superficiales o subterráneas con vegetación palustre y pueden ser especies sumergidas, flotantes y emergentes que poseen un elevado potencial autodepurador como los carrizales (Martín, 2006). Los humedales son un importante sistema generador de agua al igual que los páramos, en el Ecuador se tiene un área de 1 589 km² de humedales naturales (Cabrera et al., 2012). Estas zonas tienen láminas poco profundas de agua y en conjunto con sus componentes, tienen la capacidad de depurar el agua que pasa a través de ellas. Por lo tanto, son considerados sumideros de nutrientes y amortiguadores para contaminantes (Arias y Brix, 2016). Otras funciones importantes de los humedales naturales son; el mantenimiento de las redes tróficas y la estabilización de sedimentos (Llagas, 2016).

2.5.2 Humedales construidos

Por las características depuradoras de los humedales naturales, se han creado humedales construidos con el fin de depuración, utilizando macrófitas emergentes (Arias y Brix, 2016). Un humedal construido simula los procesos de un humedal natural pero con una mayor velocidad de depuración (Martín, 2006). Los humedales, están clasificados como sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales simples de operar, no presentan ruidos ambientales, presentan baja productividad de lodos residuales (350 a 400 g/m³ de agua tratada, se requiere retirar cada 10 años). Además no requieren del uso de reactivos químicos y no consumen energía para airear el agua o recircularla (Izembart, 2003). La infraestructura que se requiere es simple, de fácil mantenimiento y precio accesible (\$500/hab), por lo que es una tecnología que no genera dependencia tecnológica pero requiere mayor superficie de tratamiento (García, 2008).

Los humedales construidos consisten en excavaciones en el suelo aisladas mediante membranas plásticas u hormigón, rellenas con capas sucesivas de grava o de arena de una granulometría variable según la calidad de las aguas residuales que se deben tratar (Comisión Europea, 2001). Tienen profundidades de menos de 1 m y están plantados con especies propias de una zona (García, 2008). La profundidad de los lechos depende de la profundidad máxima de penetración de las raíces de las macrófitas, esto para minimizar las zonas sin oxígeno. El caso más común son los humedales plantados con *Phragmites australis*, la profundidad es de 0,6 a 0,8 m (Vymazal, 2002).

En cuanto a precios en relación con sistemas de tratamiento convencional el uso de procesos extensivos debería permitir, para una capacidad idéntica, realizar un ahorro medio del 20 al 30 % sobre los costes de inversión, y del 40 al 50 % sobre los gastos de funcionamiento (una estación de depuración de una capacidad incluida entre 2 000 y 15 000 hab-eq, cuesta 185 EURO en promedio en la comunidad europea).

2.5.3 Partes de un humedal

- **Impermeabilización**

Es el aislamiento entre el humedal y el suelo, se coloca láminas sintéticas o se compacta el suelo. Las láminas se colocan a los lados y el fondo del humedal con el objetivo de evitar la infiltración del agua residual y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones locales puede ser suficiente una adecuada compactación del terreno o la adición de arcillas (Fernandez et al, 2017).

- **Entrada y salida de agua**

Los humedales requieren de una entrada y salida de agua que facilite el proceso de depuración del agua. Generalmente se cuenta con varias tuberías para la repartición del agua sobre el lecho y para la recogida de la misma. La repartición adecuada del afluente permitirá alcanzar las eficiencias esperadas (García, 2008).

- **Medio granular**

El medio granular elegido para los humedales debe facilitar el crecimiento de las macrófitas, proporcionar un efecto de filtración alto y sostenible y mantener una alta conductividad hidráulica, adicionalmente debe ser limpio, homogéneo, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo (Vymazal, 2002). Además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula (García, 2008). Los materiales más comunes que cumplen con estas características son materiales gruesos como la grava y la gravilla, el inconveniente que presentan estos materiales es la baja concentración de Ca, Fe y Al necesarios para la adsorción de fósforo (Fernández et al., 2005).

- **Vegetación y microorganismos**

El uso de una especie vegetal en humedales requiere de varias características debido a que si la selección no es bien hecha, las condiciones redox del humedal ni el crecimiento microbiano dentro del sistema serán los más óptimos (Araya, 2012). Las plantas por lo tanto deben tolerar altas cargas de materia orgánica y de nutrientes, tener abundantes y grandes raíces y rizomas, sistema de aireación

especializado para favorecer la respiración de las raíces y tener alta biomasa aérea (Fernandez y Doménech, 2017). La biomasa contribuye con el aislamiento y con la eliminación de contaminantes por cosecha de la planta (Vymazal, 2011). Entre las plantas que cumplen con las condiciones mencionadas tenemos por ejemplo: los carrizos (*Phragmites* spp.), los esparganios (*Sparganium* spp.), las espadañas (*Typha* spp.) el lirio de agua (*Iris pseudacorus* L.), jacinto de agua (*Eichornia crassipes*), el centavito o sombrero acuático (*Hydrocotyle verticillata* Thunb.), el papiro egipcio (*Cyperus papyrus* L.) o el papiro estrellado (*Cyperus alterinifolius* L.), la menta acuática (*Mentha aquatica* L.), la ortiga acuática (*Cabomba aquatica*), la cola de zorro o cola de gato (*Ceratophyllum demersum* L.) (Carrillo et al. 2015 & Fernandez y Doménech, 2017).

Las especies más usadas para la depuración en humedales son *Scirpus* spp. *Phragmites* spp, y *Typha* spp, frente a esto se están utilizando nuevas especies tropicales como las *Heliconias*. A continuación se muestra un cuadro con las características de estas especies (Espinoza, 2014).

TABLA 2.4 CARACTERÍSTICAS DE ESPECIES PRINCIPALES USADAS EN HUMEDALES

Especie	Tipo	Profundidad del hábitat (m)	Altura especie(m)	pH del hábitat	Salinidad del hábitat (ppt)	Biomasa (t /ha-año)	Temperatura del hábitat (°C)
<i>Scirpus</i> spp.	Herbáceas cespitosa higrófitas perenne	0,6	3,0 m	4,0 – 9,0	20,0	5,0 – 12,0	16,0 -27,0
<i>Phragmites</i> spp.	Hierba perenne emergente acuática	0,6 – 1,0	0,5 – 8,0	2,0 – 8,0	20,0	50,0	12,0 -23,0
<i>Typha</i> spp.	Plantas acuáticas helófitas	0,3	1,0 – 3,0	4,0 – 10,0	30,0	130,0	10,0 – 30,0
<i>Heliconia</i> spp.	Herbácea higrófitas perenne	0,6	1,0 – 5,0	4,0- 6,0	20,0	3,0 – 5,0	14,0 – 32,0

FUENTE: Vymazal (2002), Vymazal (2005), Vymazal (2011), Martín (2006)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

Las diferentes partes de las plantas proporcionan beneficios dentro del humedal, las partes aéreas de la planta por ejemplo brindan una función estética y almacenamiento de nutrientes, además ayudan en el amortiguamiento frente a las variaciones ambientales. Cuando las plantas están desarrolladas reducen la intensidad de la luz solar sobre el medio granular evitándose así grandes gradientes de temperatura en el fondo del lecho que pueden afectar el proceso de depuración (García, 2008).

Las raíces y rizomas de la planta tienen un efecto de filtrado, reducen la velocidad de la corriente, incrementan la proporción de sedimentación, y reducen el riesgo de resuspensión, proporcionan oxígeno a la rizosfera para la degradación aeróbica, contribuye en la remoción de nutrientes, y proporcionan superficie para la fijación del perifiton (Espinoza, 2014). Entre otras funciones podemos mencionar la prevención del clogging en humedales de flujo vertical y la liberación de antibióticos, compuestos orgánicos tales como metabolitos anaeróbicos, ácidos orgánicos (actividad antimicrobiana son los ácidos tánico y gálico), alcaloides, fenólicos que son venenosos para los microorganismos, terpenoides o esteroides en el agua. Adicionalmente el carbono orgánico exudado por las raíces puede actuar como una fuente de carbono para la desnitrificación y por lo tanto aumentar la eliminación de nitrato (Vymazal, 2011). Por otra parte los tallos conservan la capacidad de filtración por su movimiento, sirve de soporte para bacterias, además en conjunto con las hojas proporcionan sombra (Izembart, 2003).

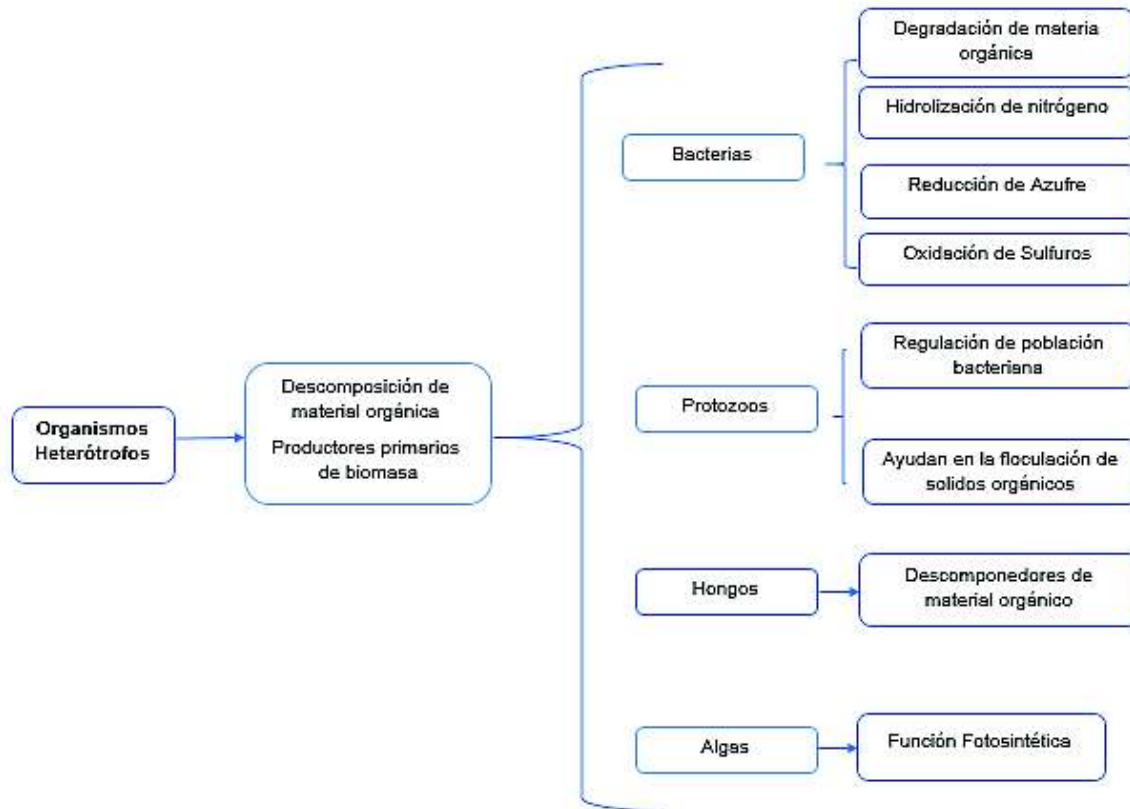
Las plantas dentro de los humedales obtienen oxígeno de sus órganos aéreos por encontrarse es un medio anóxico. La presencia del tejido aerénquima en las plantas, permite almacenar aire en su interior y distribuirlo a las zonas que carecen de él. Estos tejidos se pueden encontrar en hojas, tallos, rizomas y raíces (Fernández et al, 2017). La velocidad de liberación de oxígeno por medio de las raíces de una planta depende de la concentración, la demanda de oxígeno del medio circundante y la permeabilidad de las paredes radiculares (Espinoza, 2014). Las tasas de fuga de oxígeno son generalmente más altas en la región sub-apical de las raíces y disminuyen con la distancia desde el ápice de la raíz. La fuga de oxígeno en las puntas de las raíces sirve para: oxidar y desintoxicar sustancias

reductoras potencialmente dañinas en la rizosfera, apoyar la nitrificación y la descomposición aerobia de sustancias orgánicas (Vymazal, 2011).

Las plantas en humedales absorben nutrientes a través de sus sistemas radiculares. Estos nutrientes se utilizan para el crecimiento y reproducción, y a través de este mecanismo se eliminan nutrientes del agua residual que pasan a formar parte de su biomasa. La cantidad de nutrientes eliminados del agua es baja en comparación con la carga de entrada del agua. Si se tratan aguas residuales urbanas de tipo medio eliminan entre un 10 % del N y un 20 % del P y en aguas residuales diluidas su contribución es más del 50 % (García, 2008). Esta eficiencia de remoción se ve favorecida en regiones subtropicales y tropicales debido a que la cosecha puede darse varias veces durante el año. Si las plantas no son cosechadas, la descomposición de las mismas devolverá al humedal los nutrientes de la biomasa (Vymazal, 2011).

Los microorganismos dentro del humedal tienen la función de transformar sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias más simples e insolubles. En función de la ubicación en el humedal se tienen organismos aerobios cerca de la superficie del agua y rizomas y organismo anaerobios en el resto del humedal. La Figura 2.2 muestra algunas funciones de los organismos heterótrofos más comunes en un humedal (Espinoza, 2014).

FIGURA 2.2 FUNCIONES DE ORGANISMOS HETERÓTROFOS EN HUMEDALES



FUENTE: Martín (2006)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

2.5.4 Tipos de humedales

Los humedales se clasifican generalmente de acuerdo al tipo de vegetación y por la posición de la superficie del agua a tratar (EPA, 2000).

De acuerdo con las características del material vegetal predominante en los lechos los humedales se clasifican así:

- a) Humedales contruidos con macrófitas flotantes.
- b) Humedales contruidos con macrófitas de hojas flotantes.
- c) Humedales contruidos con macrófitas sumergidas.
- d) Humedales contruidos con macrófitas emergentes.

Todos los tipos de humedales mencionados, se pueden usar pero, la elección depende de la adaptación de las plantas a las condiciones ambientales. Sin embargo de los cuatro tipos, las plantas macrófitas emergentes son las que han demostrado mayor resistencia al estar en contacto con aguas residuales (Arias y Brix, 2016).

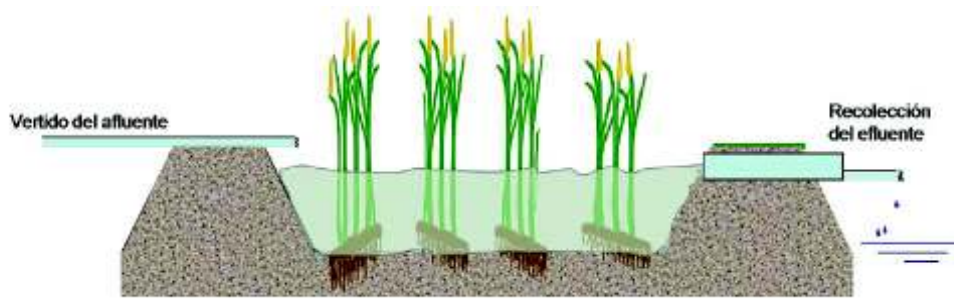
De acuerdo a la circulación del flujo de agua los humedales pueden ser de flujo superficial y subsuperficial.

a) Humedales de flujo superficial (HFS)

Los HFS son sistemas diseñados para obtener niveles de tratamiento secundario y consisten en estanques o canales con soporte para evitar la infiltración del agua (Llagas, 2016). Están expuestos directamente a la atmósfera y el agua circula generalmente, a través del tallo y las hojas de las plantas, la profundidad del agua en estos sistemas es generalmente de 0,3 a 0,4 m y están plantados. Estos sistemas son utilizados generalmente con efluentes que ya fueron tratados en una depuradora (García, 2008).

Las ventajas que presenta un HFS frente a un HFSS es que admite mayor carga orgánica, pero su uso podría implicar el contacto con el agua a tratar y aparición de insectos (García, 2008).

Los humedales de flujo libre superficial requieren de mayor extensión de terreno, pero a pesar de ello son más convenientes si el caudal de agua a tratar sobrepasa 227 200 L/día, esto debido a los gastos que representa el uso de roca o grava en sistemas con flujo subsuperficial. Esta tipología es factible cuando no hay acceso público por problemas de mosquitos, o se requiere favorecer a la presencia de vida silvestre (EPA, 2000).

FIGURA 2.3 HUMEDAL DEL FLUJO SUPERFICIAL

FUENTE: García (2008)

b) Humedales de flujo subsuperficial (HFSS)

En los HFSS la circulación del agua es subterránea y a través de un medio granular raíces y rizomas, se recoge al fondo del lecho a través de tuberías o vertederos (Arias y Brix, 2016). La profundidad del humedal es de aproximadamente 0,3 a 0,9 m, y posee un sustrato en el que se fija la vegetación y la biopelícula (García, 2008). Presenta como beneficio la no exposición del agua residual, lo que reduce la contaminación de ecosistemas y contribuye a la eliminación de moscos y malos olores (Araya, 2012 & EPA, 2000).

Las dimensiones y características de los humedales dependen de varios factores como la ubicación, el clima y la calidad del afluente y del efluente, entre otros aspectos. El área de tratamiento debe ser mínima, generalmente las dimensiones típicas de los humedales suelen ser 1 m de ancho, 2 m de largo, y 0,60 m de profundidad para una vivienda unifamiliar. Además deben tener una pendiente de 0,01 – 0,02 m/m, que conserve las condiciones de flujo laminar y que facilite la movilidad del agua. El lecho debe estar aislado del suelo para evitar la contaminación del agua subterránea (Arias y Brix, 2016).

Según el sentido del flujo se clasifican en horizontales, verticales y humedales híbridos.

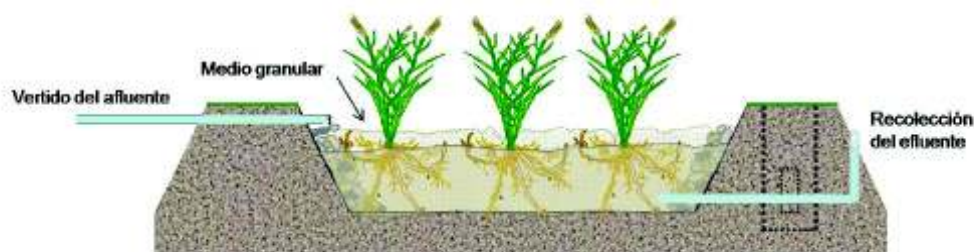
- **Humedales de flujo subsuperficial horizontal (HFSSH)**

Estos sistemas fueron desarrollados en los años cincuenta en Alemania por Kickuth (Izembart, 2003). La circulación del agua en un HFSSH se da de forma horizontal manteniendo el agua debajo del nivel de la grava, a una profundidad

entre 0,05 a 0,1 m bajo la superficie. Estos sistemas funcionan perfectamente inundados, la profundidad del agua es de 0,3 a 0,9 m (García, 2008 & Araya, 2012). Por lo tanto tiene muchas zonas anaerobias y las escasas zonas aerobias se crean por el aporte de oxígeno de las raíces de las planta. La nitrificación es limitada y la fijación de fosfatos depende del tipo y cantidad de soporte. Este tipo de humedal por lo tanto puede constituir un tratamiento secundario o terciario de aguas residuales domésticas (Izembart, 2003).

Un HFSSH está formado: por una entrada de agua que reparte el afluente sobre todo el ancho y la altura del lecho gracias a un sistema repartidor situado a un extremo del humedal (Comisión Europea, 2001), por una capa de impermeabilización del fondo y laterales, medio granular, vegetación emergente y una salida de agua en el extremo opuesto que está conectado a un sifón (García, 2008). De acuerdo a experiencias anteriores se sabe que las dimensiones para un HFSSH es de 5 m²/ hab-eq (Vymazal, 2002). Estos sistemas son buenos en la remoción de SS y bacterias, además contribuyen en la reducción de materia orgánica, y son recomendados para desnitrificar (Arias y Brix, 2016). La eficiencia de eliminación para DQO oscila entre 75 y 95 %, para amonio generalmente es del 30 % (García, 2008), para PT y NT es de 50 y 40 % respectivamente (Vymazal et al., 2002).

FIGURA 2.4 HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL



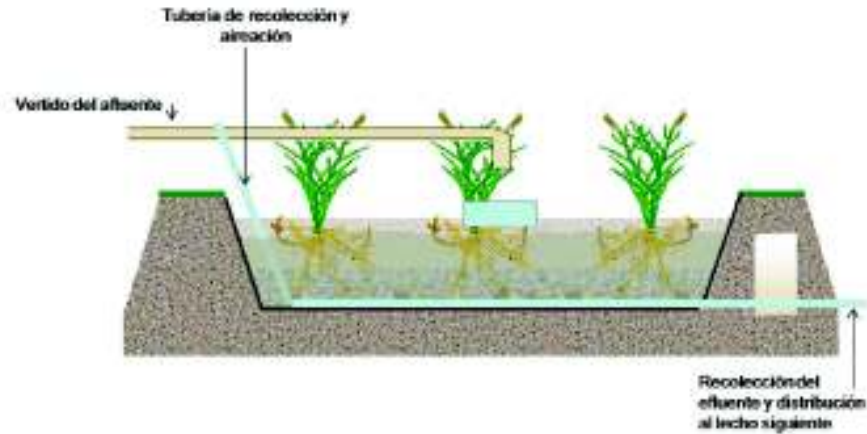
Fuente: García, 2008

- **Humedales de flujo subsuperficial vertical (HFSSV)**

Desarrollados en los años cincuenta por Seidel (Izembart, 2003). En estos sistemas el afluente bruto sin decantación previa se distribuye desde la parte superior del lecho de grava y se percola a través del medio de soporte y de las raíces de las plantas (Comisión Europea, 2001). La entrada del agua al HFSSV logra una mejor oxigenación y nitrificación que en los humedales de flujo horizontal (Araya, 2012). El oxígeno procede de la convección y difusión y la aportación de oxígeno por las raíces de las plantas. Además durante el trayecto el afluente experimenta un tratamiento físico de filtración, químico de adsorción y biológico debido a la biomasa fijada sobre el soporte (Comisión Europea, 2001). Se usan principalmente como tratamiento primario por su capacidad de recibir grandes cantidades de materia en suspensión y como tratamiento secundario y terciario debido a su gran capacidad de nitrificación (Izembart, 2003). Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales, es decir requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica. Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación (García, 2008).

Un HFSSV está formado por una entrada de agua, una capa impermeabilizante, material de soporte, vegetación y una salida de agua. La entrada de agua está formada por tubos sobre la superficie del lecho que reparte el afluente sobre la superficie en forma radial o a lo largo del humedal. El material de soporte a través del cual pasa el agua, está conformado por una capa activa de grava de entre 0,5 a 0,8 m de profundidad (García, 2008). La granulometría que presenta va de 2 a 8 mm en la parte superior, de 10 a 20 mm en la parte media y una capa drenante de grava de granulometría de 20 a 40 mm en la parte inferior. La salida para el agua está conformada por tubos sintéticos y rígidos perforados para recoger el efluente y en algunos casos tuberías verticales de aireación. Se recomienda una tubería por cada 4 m² (Comisión Europea, 2001). Como norma general los sistemas se pueden dimensionar tomando 2,5 m²/hab-eq (siendo recomendable considerar en el caso de pequeños municipios 1 hab-eq = 40 g/DBO día). Las eficiencias de remoción de DQO son de alrededor del 90% (Comisión Europea, 2001).

FIGURA 2.5 HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL



Fuente: García, 2008

- **Sistema de humedales híbridos**

Los sistemas verticales se combinan con horizontales para que ocurran de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno (García, 2008).

En humedales híbridos de flujo vertical subsuperficial y flujo horizontal subsuperficial, las eficiencias alcanzadas son de hasta 80 % en la eliminación de NH_4^+ , 75 % DQO, 45 % PT. La planta ha demostrado tener una intervención en la eliminación de nutrientes del 30 % (Araya, 2012).

Los sistemas híbridos se pueden dimensionar considerando una superficie unitaria necesaria de $2,5 \text{ m}^2/\text{hab-eq}$, de los cuales por ejemplo $2 \text{ m}^2/\text{hab-eq}$ son necesarios para el sistema vertical y $0,5 \text{ m}^2/\text{hab-eq}$ para el horizontal (García, 2008).

A continuación, la Tabla 2.5 muestra un resumen de las principales características de los HFSSV, HFSSH y sistemas híbridos.

TABLA 2.5 CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES

	HFSSV	HFSSH	Sistema híbrido
Área del lecho (m²/ hab-eq)	1,0 – 3,0	3,0 – 5,0	2,5
Profundidad del lecho (m)	0,5 - 0,8	0,3 - 0,9	0,6
Grava (mm)	2,0 – 40,0	10,0 -20,0	8,0 – 20,0
%eliminación DQO	90,0	75,0 – 95,0	80,0
%eliminación NH₄	60,0 – 80,0	30,0	75,0
% eliminación P	35,0	50,0	45,0

FUENTE: Vymazal (2005), Araya (2012) &García (2008)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

2.5.5 Costos de construcción de humedales

Generalmente los costos de construcción de humedales respecto a los sistemas convencionales con eficiencias similares en reducción de materia orgánica y nutrientes difieren muy poco, la mayor parte de los costos en la construcción de humedales corresponden al material de soporte, incluyendo el transporte.

La diferencia principal radica en los costos por operación y mantenimiento. Los humedales construidos son de más barato mantenimiento porque no requieren de energía eléctrica (Vymazal, 2002). La tabla 2.6 muestra los porcentajes del costo correspondientes a varios componentes en la construcción de humedales.

TABLA 2.6 COSTOS DE COMPONENTES DE HUMEDALES

Ítem	Costo (%)	Costo referencial para el Ecuador (USD)
Excavación	7 - 27	
Grava	27 - 53	
Forro	13 - 33	2 500*
Plantas	2 - 12	
Fontanería	6 - 12	

* El costo mostrado para el Ecuador incluye mano de obra. El sistema corresponde a un sistema híbrido unifamiliar (5 personas), con un área de 24,5 m² y 12 m²

FUENTE: Fernández et al (2017)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

2.6 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES

La depuración del agua residual se da por el contacto de la misma con el humedal a través de fenómenos físicos, químicos y biológicos (Vymazal, 2011). Las actividades biológicas se dan principalmente por la interacción de microorganismos adheridos a la superficie del sustrato sumergido en el humedal (EPA, 2000). Estas reacciones pueden ocurrir en condiciones aeróbicas, anaeróbicas y anóxicas y que pueden ser por ejemplo reacciones de óxido-reducción, ácido-base, floculación o precipitación. Todos estos procesos permiten reducir los sólidos en suspensión, nutrientes y microorganismos (Fernandez y Doménech, 2017).

En general, los HFSSV son más eficientes en la remoción de los contaminantes, excepto en SST, NO_3^- y NT, esto debido a una mayor oxigenación. El tipo de vegetación utilizado en el humedal, influye en la eliminación de algunos contaminantes como DBO, DQO, SST y PT (Vymazal, 2005).

2.6.1 Eliminación de materia orgánica

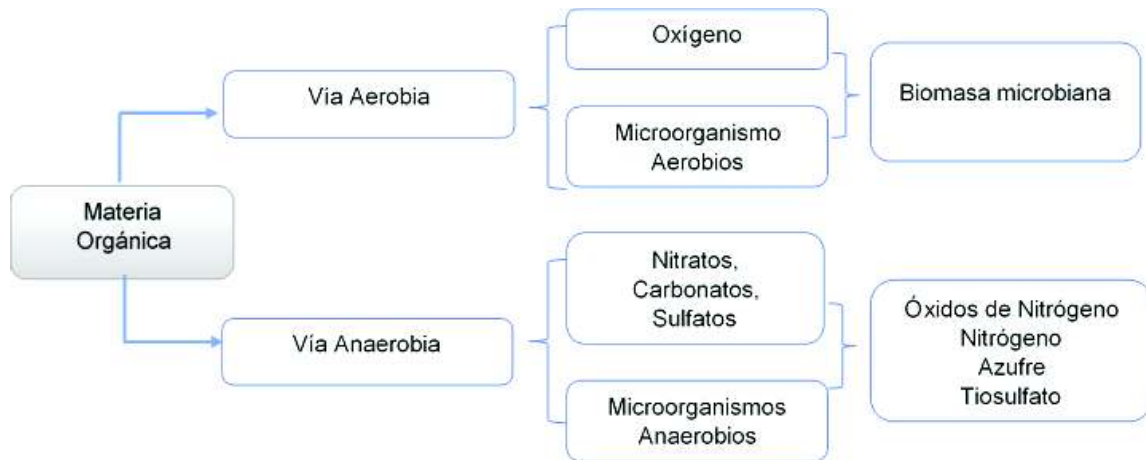
La eliminación de la materia orgánica se da por procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren dentro del humedal. La materia orgánica particulada es retenida por adsorción en el medio granular o por filtración y se convierte en partículas más pequeñas. Las partículas más pequeñas pueden ser hidrolizadas por enzimas extracelulares formando sustratos más sencillos como glucosa y aminoácidos (Martín, 2006). Las enzimas son excretadas por bacterias heterótrofas aeróbicas y fermentativas facultativas que a su vez aprovechan los productos de la hidrólisis. Las bacterias fermentativas facultativas crecen originando además ácidos grasos, alcoholes y gases. Estos compuestos son sustratos para las bacterias sulfatoreductoras y metanogénicas quienes compiten por ellos teniendo más éxito las sulfareductoras debido a que en presencia de agua y alta carga orgánica crecen mejor. Estos sustratos también son usados por bacterias heterótrofas aeróbicas si están disponibles en las zonas aeróbicas (García, 2008). Dependiendo del proceso que se lleve a cabo en el humedal el requerimiento de oxígeno y el tipo de microorganismo cambia (Araya, 2012).

Si la descomposición se da por vía aerobia, existen microorganismos que usan oxígeno disuelto como aceptor de electrones para desarrollarse. Estos organismos

transforman la materia orgánica en minerales, gases y biomasa microbiana, pudiendo transformar 1 mol de materia orgánica en 1,74 moles de biomasa microbiana (Martín, 2006). La degradación de la materia orgánica por vía aeróbica en los HFSSH requiere de 2 a 4 g/m²día de oxígeno y sucede en los primeros 0,05 m de profundidad y en las zonas cercanas a las raíces (Araya, 2012). El oxígeno liberado por las raíces no es suficiente para degradar completamente la materia orgánica, por lo que este sistema es poco efectivo en los HFSSH, siendo la sedimentación y la sulfatoreducción un fenómeno importante en la eliminación de materia orgánica (Vymazal, 2011). En HFSSV en cambio al encontrar concentraciones mayores de oxígeno en toda la profundidad del lecho, hace que la degradación aeróbica sea una vía importante para la eliminación de materia orgánica (García, 2008).

Las bacterias heterótrofas pueden degradar la materia orgánica por vía anóxica mediante desnitrificación, lo que provoca la ausencia de nitrato y eliminación de amonio en los HFSSH. Por el contrario, en los HFSSV la desnitrificación no se lleva a cabo por la presencia de oxígeno (García, 2008). Por otro lado los microorganismos anaeróbicos utilizan nitratos, carbonatos, sulfatos y otras sustancias como aceptores de electrones, y producen compuestos reducidos como óxidos de nitrógeno, nitrógeno gas, azufre, tiosulfato. Por lo tanto son menos eficientes en la reducción de materia orgánica, además liberan metano o hidrógeno en el proceso (Figura 2.6) (Vymazal, 2011).

FIGURA 2.6 VÍAS DE DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA



FUENTE: García (2008) y Martín (2006)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

2.6.2 Eliminación de nitrógeno

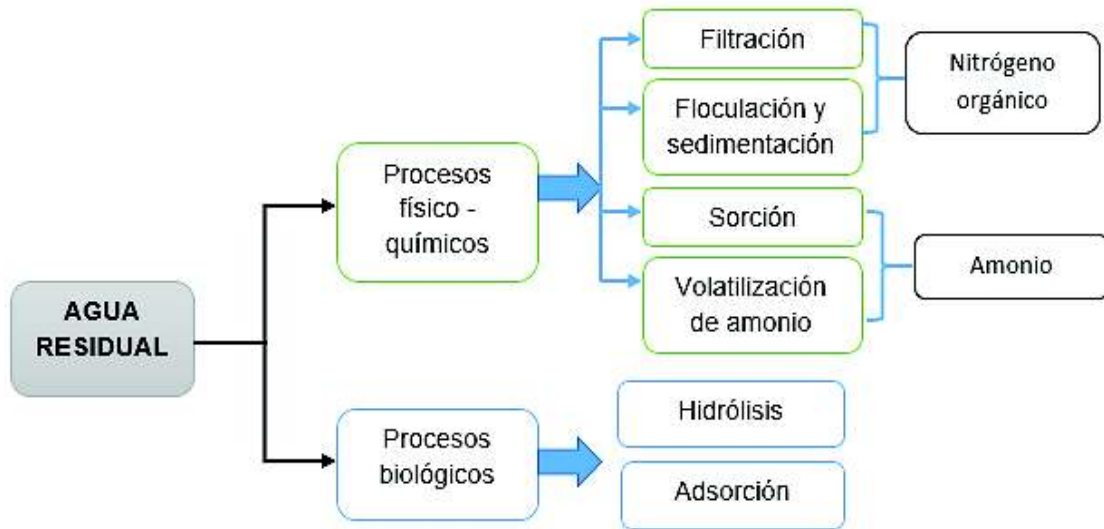
En las aguas residuales domésticas el nitrógeno se encuentra principalmente en forma de amonio y como nitrógeno orgánico, mientras que las concentraciones de nitritos y nitratos son mínimas Martín (2006). La eliminación de nitrógeno en humedales se da por procesos microbianos a través de la nitrificación y desnitrificación, y en menor proporción por procesos de adsorción, volatilización y asimilación de amonio realizado por las plantas y microorganismos (Figura 2.7) (García, 2008). Estos procesos son ligeramente afectados por la temperatura y el pH; si el pH es mayor a 8,5 se produce volatilización de amoníaco (Llagas, 2016).

El proceso de nitrificación – desnitrificación requiere de la presencia de carbono contenido en la materia orgánica. La nitrificación es llevada a cabo por bacterias autótrofas aeróbicas que convierten el amonio en nitrito y este en nitrato, se requiere de 4,6 mg de oxígeno por cada miligramo de amonio (García, 2008).

La reacción de desnitrificación se da por la acción de bacterias heterotróficas como las *Pseudomonas* sp. en un ambiente anóxico y en presencia de materia orgánica

y consiste en la transformación de nitrato a nitrógeno gas (Figura 2.8) (Llagas, 2016).

FIGURA 2.7 PROCESOS IMPLICADOS EN LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO

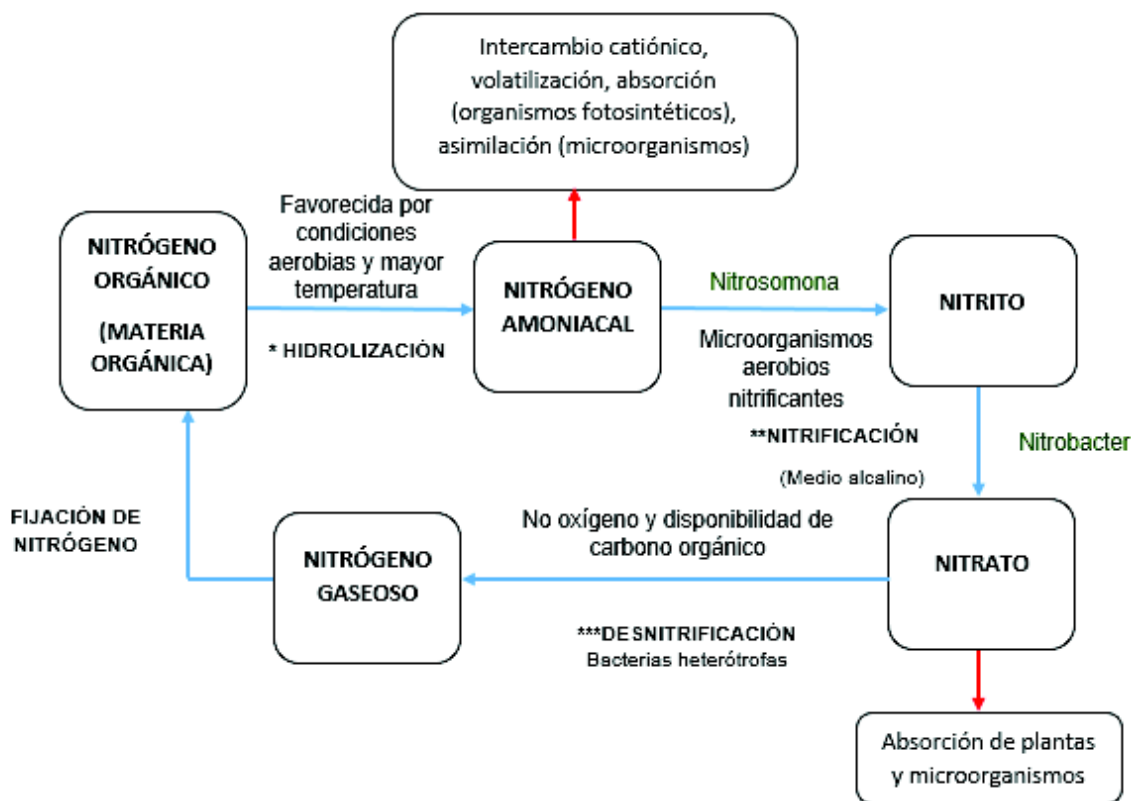


FUENTE: García (2008), Martín (2006)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

En los HFSSH la eliminación de nitratos es menos eficiente que en los HFSSV. Los HFSSV favorecen la nitrificación debido a la mayor concentración de oxígeno disuelto en el agua. Para mejorar la eliminación de nitrógeno se requiere de un sistema de humedales construidos en serie HFSSV-HFSSH. Esto debido a que en los HFSSH se requeriría tiempos de retención hidráulica más largos y una oxigenación suficiente. Esto a diferencia de los HFSSV en los que la nitrificación es eficaz, debido a que estos humedales se inundan y drenan intermitentemente, permitiendo que el aire de la atmósfera rellene los poros del sustrato (Zurita, 2009).

FIGURA 2.8 CICLO DEL NITRÓGENO EN EL HUMEDAL



* Hidrolización total de aguas residuales domésticas en 19 horas (11 - 14°C).

** Nitrificación: Se requiere de 4,3 g de O₂ para oxidar 1g de nitrógeno amónico

***Desnitrificación: Se requiere 1 g de carbono orgánico por cada gramo de nitrato

FUENTE: García (2008) y Martín (2006)

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

2.6.3 Eliminación de fósforo

Los mecanismos de eliminación del fósforo pueden ser de tipo biótico (dependiente de la temperatura) y abiótico (no dependiente de la temperatura) (Vymazal, 2002). Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos (García, 2008). Las plantas sólo contienen una pequeña cantidad de fósforo total que se produce en los humedales, por lo tanto su capacidad de absorción es limitada. Los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción y sedimentación de partículas en el fondo del humedal (Martín, 2006). La adsorción por el medio

granular se controla mediante la interacción del potencial redox, el valor del pH, y minerales de Fe, Ca y Al. La adsorción se da mediante reacciones de intercambio de ligandos, donde el fosfato desplaza el agua o el hidroxilo de la superficie de los óxidos hidratados de Fe y Al para formar complejos. Los minerales formados son muy estables en el suelo y se almacenan en el mismo a largo plazo (Llagas, 2016 y Vymazal, 2002). Condiciones básicas favorecen la formación de fosfatos de calcio insolubles y las condiciones ácidas favorecen la formación de precipitados de Fe y Al (Fernández et al, 2017). La capacidad de adsorción va disminuyendo con el tiempo y con ello la eficiencia de eliminación del fósforo (García, 2008).

La eliminación de fósforo es más eficiente en HFSSH y podría mejorarse reduciendo el tamaño de sustrato o utilizando medios especiales con alta capacidad de adsorción (Zurita, 2009 & Vymazal, 2002). La selección correcta de la planta es importante debido a que tiene influencia sobre la eliminación de fósforo (Zurita, 2009). El fósforo es tomado como nutriente por la planta y otra parte del mismo al no poder convertirse en gas se acumulará en los lodos (Izembart, 2003). Se ha estimado que la cantidad que pueden remover las plantas está entre 1,8 a 18 g P/m²-año (Martín et al, 2006).

2.7 Heliconia stricta

Las plantas ribereñas del género *Heliconia* constituyen un grupo de flores tropicales nativas de las zonas húmedas de altitud de entre 500 a 1000 msnm del continente americano y de las islas del Caribe. Estas plantas, tienen una alta resistencia a diferentes características climáticas (temperatura entre 14 a 32°C y humedad superior al 80 %) y al ataque de plagas y enfermedades, además tienen fácil propagación y largos períodos de floración (Jerez, 2007).

El género *Heliconia* podría considerarse como higrófito terrestre porque sus especies resisten suelos saturados de agua sin ser acuáticas (Fernandez et al, 2017). Este género presenta de 225 a 250 especies en el mundo. Estas plantas pertenecen a la familia de las Heliconiaceas del gran orden botánico Zingiberales (Sosa, 2013). Las especies de *Heliconia* corresponden a un grupo de plantas monocotiledóneas herbáceas tropicales perennes. A este grupo también

pertenece a las familias *Musácea*, *Sterilitziacea*, *Lowiaceae*, *Zingiberaceae*, *Costaceae*, *Cannaceae* y *Marantaceae* (Iracheta et al, 2013).

Las *Heliconias* son plantas ornamentales utilizadas como flores de corte o para el ornato de parques y jardines por su vistoso follaje e inflorescencias (Madriz et al., 2017). En los países en desarrollo, son una opción viable para su uso como especies de plantas no convencionales, que se adaptan a las condiciones del humedal y que presentan flores de valor comercial y que además mejoran el paisaje del sistema de tratamiento (Zurita, 2009).

La utilización de humedales plantados con *Heliconia*, además de eliminar contaminantes en aguas residuales domésticas, proporcionan beneficios adicionales en zonas rurales como integración con el paisaje, hábitat para la vida silvestre (Araya, 2012). Además beneficios económicos como la comercialización de sus flores con fines ornamentales (Zurita, 2009). En este caso particular, la *Heliconia stricta* será usada en la construcción de los humedales.

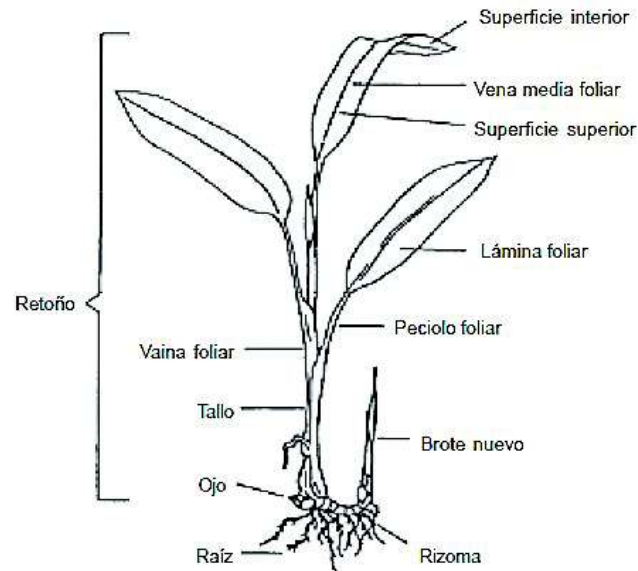
2.7.1 Características generales

Las características físicas generales de estas plantas son principalmente la presencia de hojas largas de nervadura pinnada, y según la forma y disposición de las hojas pueden ser musoide, zingiberoide o cannoide (Jerez, 2007). Posee además grandes inflorescencias de colores vistosos de 35 a 50 cm de longitud que puede ser erecta o péndula, está formada por brácteas que contienen flores hermafroditas blancas o verdes pálidas (Iracheta, 2013). Presentan un pseudotallo aéreo erecto y rizoma simpodialmente ramificado, es decir emite brotes o vástagos y raíces (Figura 2.9) (Jerez, 2007).

En cuanto a la propagación de heliconias existen vías tanto sexuales como asexuales, siendo la vía asexual la menos efectiva. La reproducción por medio de semillas obtenidas por autopolinización o polinización cruzada con la ayuda de polinizadores, generalmente colibríes o polinización artificial (Iracheta, 2013). Una vez que se da la emisión de la inflorescencia el fruto tarda entre dos o tres meses para poder extraer de 1 a 3 semillas con un tamaño de 6 a 10 mm que pueden ser inmediatamente plantadas. Las semillas tardarán en germinar varios meses o más de un año dependiendo de la especie (ICA, 2012). La reproducción también puede

darse por rizomas que corresponden a una estructura del tallo especializada a través de la cual el tallo crece horizontalmente y desarrolla nuevos vástagos o raíces (Iracheta et al., 2013).

FIGURA 2.9 CARACTERÍSTICAS DE HELICONIA



FUENTE: Sosa (2013)

2.7.2 Características del medio

El medio en el que se van a desarrollar los individuos de *Heliconia* debe tener un pH entre 4 a 6 y una inclinación de 0 a 30° (Sosa, 2013). La temperatura ambiente que toleran las especies está entre 14 °C y 32 °C. Se desarrollan mejor con humedad relativa del 80 % (ICA, 2012).

La distancia de siembra de los individuos de *Heliconia* depende de sus requerimientos de luz y hábitos de crecimiento de las hojas, vástagos y rizomas. La altura de la planta puede ir desde 1 m para la *Heliconia psittacorum* hasta los 5 m para la *Heliconia griggsiana* (Sosa, 2013).

En cuanto a las necesidades hídricas diarias de las *Heliconias* se tiene que van de 7 a 9 mm/día, bajo estos valores las plantas sufren estrés hídrico y disminuyen el número de hojas y flores. Si la exposición solar es alta el requerimiento hídrico se eleva a 20 mm/día aproximadamente. El exceso de agua reduce el número de inflorescencias y el exceso o deficiencia altera la calidad de la flor (ICA, 2012).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 ETAPA EXPERIMENTAL

3.1.1 Obtención del influente

El influente utilizado para alimentar los humedales fue de origen sintético y se preparó y utilizó inmediatamente para conservar sus características. El agua residual sintética fue preparada con base en la formulación de Almeida-Naranjo et al (2017). Para tales fines se calentó 250 mL de agua a 80 °C y se disolvió 34 mg/L de gelatina, 100 mg/L almidón, 171 mg/L de azúcar y 200 mg/L de leche en polvo, durante 10 min a 400 rpm. Posteriormente se disolvió el resto de reactivos en 250 mL de agua fría, es decir 44,5 mg/L de K_2HPO_4 , 150 mg/L de $NaHCO_3$, 74,2 mg/L de $(NH_4)_2SO_4$ y 3 mg/L de $MgSO_4$. Finalmente se mezcló las 2 soluciones y se aforó a 4L.

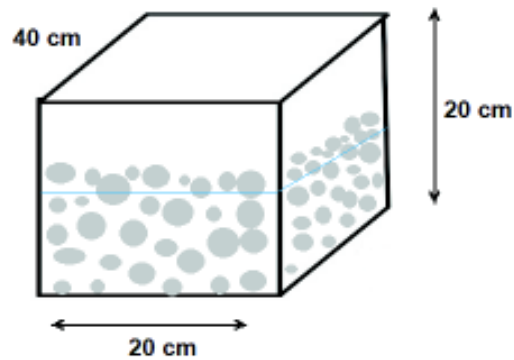
3.1.2 Caracterización del sistema híbrido de humedales

Para la depuración de aguas residuales domésticas se plantea la utilización de un sistema híbrido de humedales conformado por un HFSSV seguido de un HFSSH.

La experimentación se llevó a cabo bajo condiciones de laboratorio con temperatura promedio de 27 °C y 12 horas de luminosidad. Los humedales contaron con una superficie de 0,08 m² y un volumen de 16 L, sus dimensiones se muestran en la Figura 3.1.

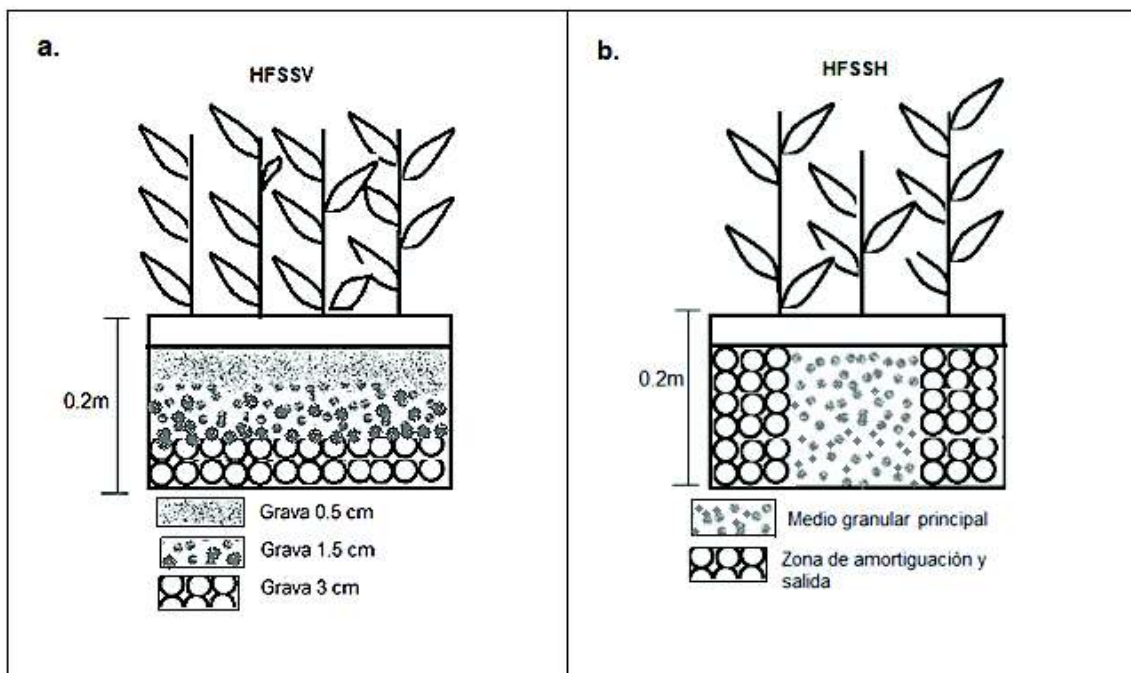
El material de soporte utilizado en los humedales correspondió a una capa de 15 cm de grava previamente lavada, con diámetros de 0,5 cm, 1,5 cm y 3,0 cm previamente lavada. La Figura 3.2 describe dependiendo del tipo de flujo la distribución de la grava.

FIGURA 3.1 DIMENSIONAMIENTO DE HUMEDAL



Elaboración: Gabriela Guachamin

Figura 3.2 DISTRIBUCIÓN DE GRAVA EN LOS HUMEDALES



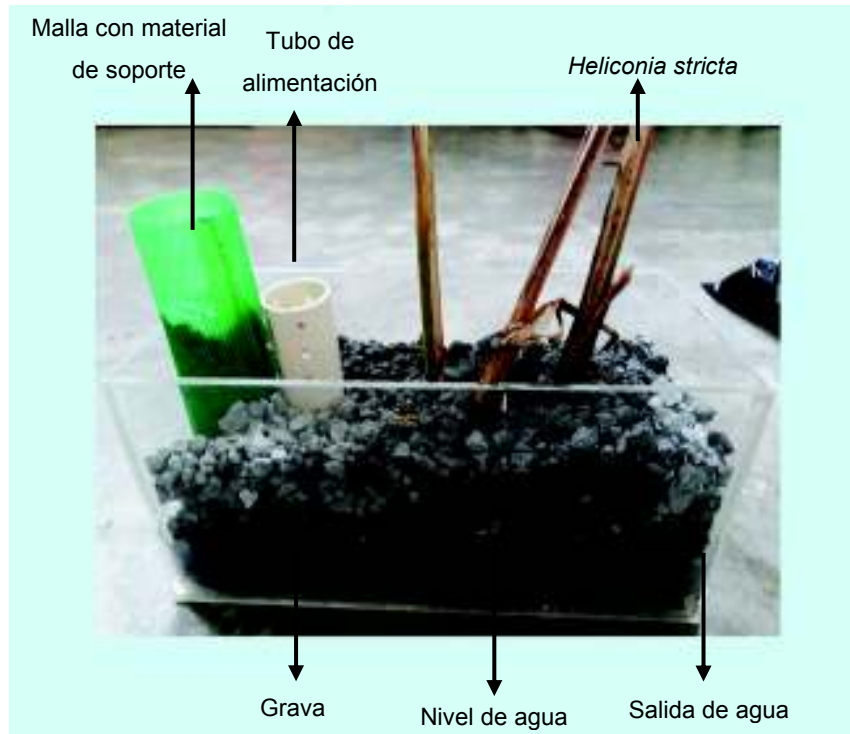
- a. Distribución de grava en HFSSV
- b. Distribución de grava en HFSSH

Elaboración: Gabriela Guachamin

Cada uno de los humedales contó con individuos de *Heliconia stricta*. En el HFSSV se colocaron cuatro individuos y en el HFSSH tres individuos, a los que se les limpió de los restos de tierra para evitar que el sistema se obstruya.

Adicional a lo mencionado en cada humedal se colocó una malla plástica con grava, un tubo plástico perforado para alimentar el HFSSH y una llave en la parte inferior para extraer el agua de cada uno de ellos. Los humedales fueron forrados con plástico cubriendo la grava para no permitir la entrada de luz y evitar la proliferación de algas como se muestra en la Figura 3.3. El HFSSV contó con un aireador.

FIGURA 3.3 DISTRIBUCIÓN DE PARTES DEL HUMEDAL



Fotografía de Gabriela Guachamin (Quito, 2017)

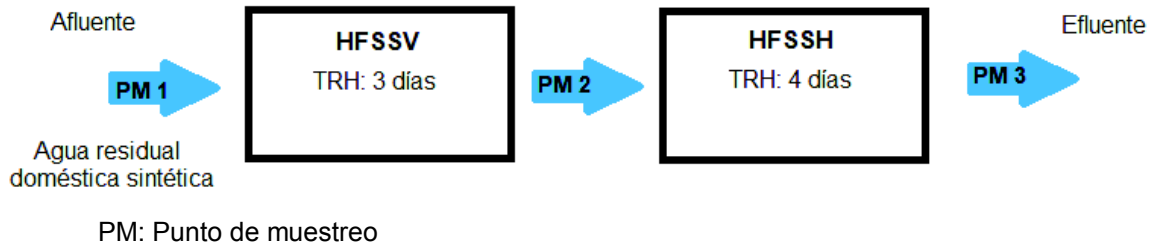
3.1.3 Operación de los humedales

El sistema híbrido contó con dos humedales (HFSSV – HFSSH). El agua se cargó hasta que su nivel quede por debajo de la superficie del medio y de forma cíclica, se llenó y drenó. La alimentación cíclica ha mostrado mejores resultados en comparación del flujo continuo de saturación (EPA, 2000).

El funcionamiento del sistema inició con la alimentación sobre el lecho de grava del HFSSV. El tiempo de retención para este humedal fue de 3 días con aireación de 4 horas diarias. El agua tratada de este humedal se extrajo y alimentó al HFSSH mediante llaves colocadas en la base. El tiempo de retención en este humedal fue de 4 días. El sistema contó con tres puntos de muestreo (PM). La Figura 3.4

muestra la ubicación a la entrada del sistema y a las salidas del HFSSV y del HFSSH.

FIGURA 3.4 PUNTOS DE MUESTREO DEL SISTEMA



Elaboración: Gabriela Guachamin

El volumen de agua alimentado fue 3 L, lo que corresponde a una altura de agua aproximada de 0,1 m, es decir 5 cm por debajo de la cama de grava.

3.1.4 Estrategia de operación de humedales

El monitoreo de los humedales construidos (HFSSV-HFSSH) se realizó durante 7 semanas entre los meses de julio a septiembre de 2017. Fueron tomadas muestras del afluente y de los efluentes por medio de las llaves colocadas en la base de cada humedal. Luego de la permanencia del agua residual doméstica en el HFSSV, se extrajo y se midió el volumen. De la cantidad extraída se tomó 270 mL de agua para realizar los análisis químicos correspondientes y el sobrante se colocó en el HFSSH. Las muestras obtenidas fueron colocadas en botellas plásticas y analizadas inmediatamente. Adicionalmente se tomaron medidas diarias de pH, temperatura del agua y temperatura ambiente. Para medir pH y temperatura del agua se utilizó un multiparamétrico Thermo Scientific Orion 5-Star Plus y para la temperatura ambiente se empleó un multiparamétrico PCE A-420.

El monitoreo de los individuos de *Heliconia stricta* se realizó por medio de la toma de medidas alométricas semanales. La biomasa fue retirada en conjunto con las mallas de grava al final del tiempo de experimentación.

3.2 MÉTODOS ANALÍTICOS

3.2.1 Parámetro físico-químicos

Para determinar el aporte de los humedales en el tratamiento del agua residual se evaluó por espectrofotometría UV-VIS la concentración (mg/L) de DQO, $(\text{NO}_2)^-$, $(\text{NO}_3)^-$, $(\text{NH}_4)^+$ y (PT), los códigos de los métodos utilizados se muestran en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO PARA AGUAS RESIDUALES

Parámetro	Código de análisis
Demanda química de oxígeno (DQO)	5220
Amonio (NH_4^+)	8038
Nitritos $(\text{NO}_2)^-$	8507
Nitratos $(\text{NO}_3)^-$	8039
Fósforo total (PT)	8190

FUENTE: APHA-AWWA-WEF (2005)

3.2.2 Biomasa

Para determinar la cantidad de biomasa en el material de soporte se obtuvo muestras del material contenido en las mallas de los humedales. Previamente se preparó una solución buffer de 7,47 g de K_2HPO_4 y 1,43 g de KH_2PO_4 diluido en un litro de agua destilada. Una muestra de 180 g del material de soporte fue tomada mezclándose con 150 mL de buffer fosfato en un vaso de precipitación. En un equipo de vibración con ultrasonido por 3 min se desprendió la biomasa (Caselles, et.al, 2007). Para el análisis de sólidos totales (ST), fijos (SF) y volátiles (SV) se colocó 50 ml de la muestra sonicada en 3 crisoles y se usó calorimetría para su determinación (código de análisis ST: 2540B, SV: 2540B).

3.2.3 Evolución de las plantas

En cuanto a los especímenes de *Heliconia stricta* se tomaron medidas alométricas como altura apical (cm), diámetro basal (mm). Además, se cuantificó el número de hojas, sus medidas (ancho y largo) y la abundancia relativa (plantas/m²) en el área

del humedal semanalmente. Al final de las 7 semanas, se retiró las plantas, se cortó cada una por partes y se pesó, luego de lo cual se llevó a la estufa por un día a 75° C.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se utilizó el programa OriginPro 2018 y el programa InfoStat-Statistical Software. Se realizaron pruebas estadísticas con los resultados de eliminación de contaminantes de cada humedal para evaluar su aporte en el tratamiento. Las pruebas requirieron de la agrupación de los datos de concentración final de cada parámetro por humedal. Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk (menos de 50 datos). Posteriormente para determinar si existen diferencias significativas producidas por el tratamiento en la entrada y salida de cada humedal se aplicó la prueba T-test pareado y prueba de Wilcoxon. La prueba de T-test pareado se usó en los casos en los que el conjunto de datos presentaron una distribución normal ($p > 0,05$) y la prueba de Wilcoxon para datos con una distribución no normal ($p \leq 0,05$).

Para determinar la relación entre el crecimiento vegetativo de la *Heliconia stricta* y la remoción de contaminantes se realizó una prueba de correlación simple de Sperman en el programa InfoStat. Para que exista la correlación, la significancia tiene que ser menor a 0,05 ($p < 0,05$) y el valor absoluto del coeficiente de Sperman superior a 0,7. Si el coeficiente de Sperman tiene signo positivo indica una relación directa, mientras que si es negativo una relación inversa.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES

4.1.1 Caracterización física química del afluente

La caracterización físico química del afluente se muestra en la Tabla 4.1, incluye los parámetros de temperatura, pH, DQO, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- y PT. Según los resultados obtenidos de materia orgánica y nutrientes se tiene que el agua residual sintética doméstica con la que se alimentó a los humedales según Martín (2006), tiene una concentración de contaminantes media.

TABLA 4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AFLUENTE

Parámetro	Agua residual doméstica (ARD)	
	Promedio	Rango
Temperatura (°C)	19,46	18,00 - 22,10
pH	7,47	7,25 - 7,79
DQO (mg /L)	596,00	517,00 - 695,50
NH_4^+ (mg /L)	22,50	18,90 - 26,00
NO_2^- (mg /L)	0,01	0,00 - 0,05
NO_3^- (mg /L)	3,25	0,00 - 6,76
PT (mg /L)	9,30	8,00 - 10,80

Elaboración: Gabriela Guachamin

4.1.2 Caracterización físico química de los efluentes

La caracterización físico química de los efluentes del HFSSV y del HFSSH se muestra en la Tabla 4.2. Se indican los valores promedio y los rangos de las concentraciones obtenidas durante las 7 semanas de muestreo. De acuerdo a la normativa para descargas a cuerpos de agua dulce y marina se tienen valores por

debajo de los límites máximos permisibles según el Anexo 1 del TULSMA (2015), estos valores también se muestran en la Tabla 4.2.

TABLA 4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE EFLUENTES

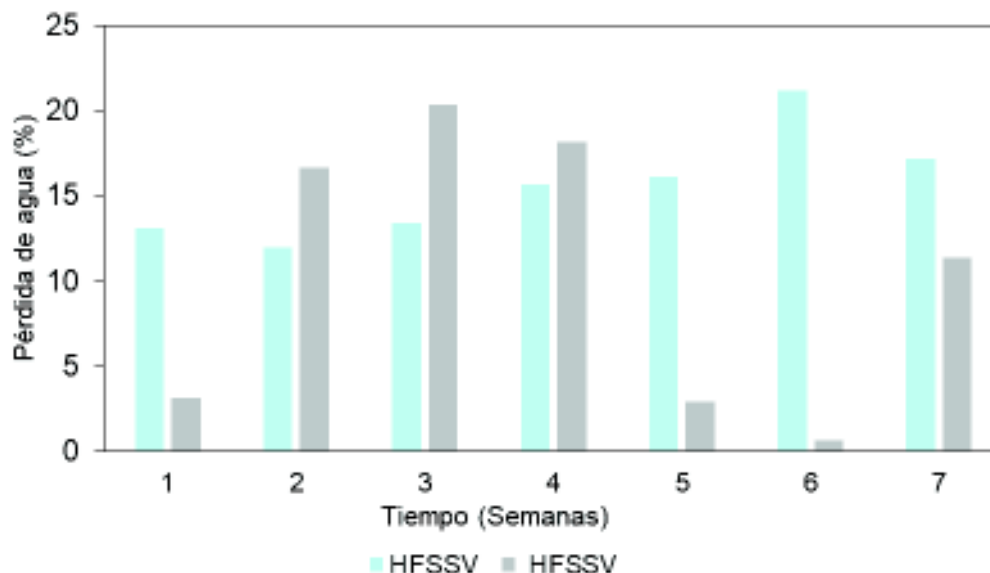
Parámetro	Efluente HFSSV		Efluente HFSSH		*LMP para descargar a cuerpos de agua dulce / agua marina
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	
Temperatura agua (°C)	23,58	19,47 - 28,83	23,53	18,45 - 27,55	<35
pH	7,11	6,85 - 7,68	7,14	6,85 - 7,69	5-9/6-9
DQO (mg /L)	101,57	73,00 - 153,50	101,43	55,00 - 143,50	250
NH4+ (mg /L)	22,50	1,60 - 3,70	0,80	0,50 - 1,35	-
NO2- (mg /L)	0,04	0,00 - 0,06	0,02	0,01 - 0,03	10
NO3- (mg /L)	3,25	1,65 - 4,42	5,23	1,50 - 7,55	10
PT (mg /L)	5,14	4,40 - 5,94	4,00	1,60 - 9,00	10

*LMP: Límite máximo permisible

Elaboración: Gabriela Guachamin

En cuanto a parámetros físicos se midieron pH, temperatura, volumen del agua y temperatura ambiente. Los valores de pH están dentro de los valores descritos según Martín (2006) para agua residual doméstica (6 a 9). La temperatura ambiente promedio bajo la que trabajo el sistema fue de 26,90 °C. Según los datos obtenidos se tienen que las características ambientales son adecuadas para el crecimiento de *Heliconia stricta*.

Según los datos obtenidos en las mediciones del volumen de agua de los humedales, los mayores porcentajes de pérdida de agua se dieron en el HFSSV con un promedio del 15% frente a un 10% en el HFSSH. Estos resultados, se relacionan con el crecimiento de los individuos de *Heliconia stricta*, a mayor consumo de agua mayor fue la producción de biomasa (Fernández y Dómenech, 2017). La Figura 4.1, detalla las pérdidas de agua descritas como porcentajes para cada semana y cada humedal.

FIGURA 4.1 PORCENTAJES DE PÉRDIDA DE AGUA EN HUMEDALES

Elaboración: Gabriela Guachamin

4.1.3 Eliminación de materia orgánica

La Figura 4.2 describe la evolución de la DQO a lo largo del tiempo en cada humedal. Los resultados demuestran que la tendencia del comportamiento de este parámetro fue decreciente en ambos humedales, respecto al afluente durante las 7 semanas de experimentación. Las pruebas de normalidad realizadas para los efluentes del HFSSV y HFSSH mostraron que existe una distribución normal en los datos obtenidos ($p > 0,05$) y que existen diferencias significativas en las concentraciones de salida del HFSSV ($p < 0,05$), lo que sugiere que el tratamiento en este humedal es efectivo. En el HFSSH no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) debido a que la concentración de salida del efluente del HFSSH aumenta respecto a su afluente.

La Tabla 4.3 resume las eficiencias de eliminación de DQO obtenidas en ambos humedales. Para el HFSSV se obtuvo una eficiencia de 82,6 %, valor cercano al promedio encontrado en este tipo de humedales (90%) según Vymazal (2005), las altas eficiencias en los HFSSV se deben generalmente a los procesos de filtración a través del lecho filtrante (García, 2008). Para el HFSSH la eficiencia fue de 2,8 %. Estos resultados para el HFSSH se pueden atribuir a la descomposición del

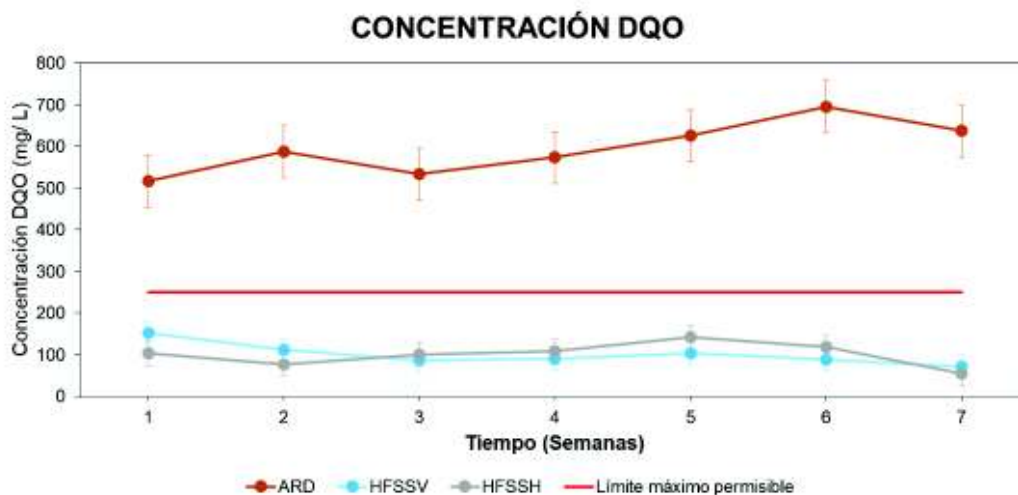
material vegetal de los individuos que murieron a lo largo del proceso de experimentación, la acumulación de restos vegetales aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal (Espinoza, 2014). Con base en estos resultados se tiene que el HFSSV es más eficiente en la eliminación de DQO. Las eficiencias obtenidas en cada humedal permitieron obtener un efluente que cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) (250mg DQO/L) según el Anexo 1 del TULSMA (2015) para descarga a un cuerpo de agua dulce o marina.

TABLA 4.3 EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES EN LOS HFSSV Y HFSSH

Contaminante	Rango HFSSV (mg/L)	HFSSV (%)	Rango HFSSH (mg/L)	HFSSH (%)
DQO	70,31 – 88,56	82,57	-37,32- 32,25	-2,81
NH₄⁺	84,03 – 92,77	88,82	22,86 – 85,51	61,79
NO₂⁻	-525,00 – 100,00	-121,50	-100,00 – 78,00	24,55
NO₃⁻	-2800,00 – 65,66	-588,91	-94,81 – 9,09	-51,61
PT	42,86 – 46,51	44,84	-60,71 – 66,33	23,39

Elaboración: Gabriela Guachamin

FIGURA 4.2 CONCENTRACIÓN DE DQO DE AFLUENTE Y EFLUENTES

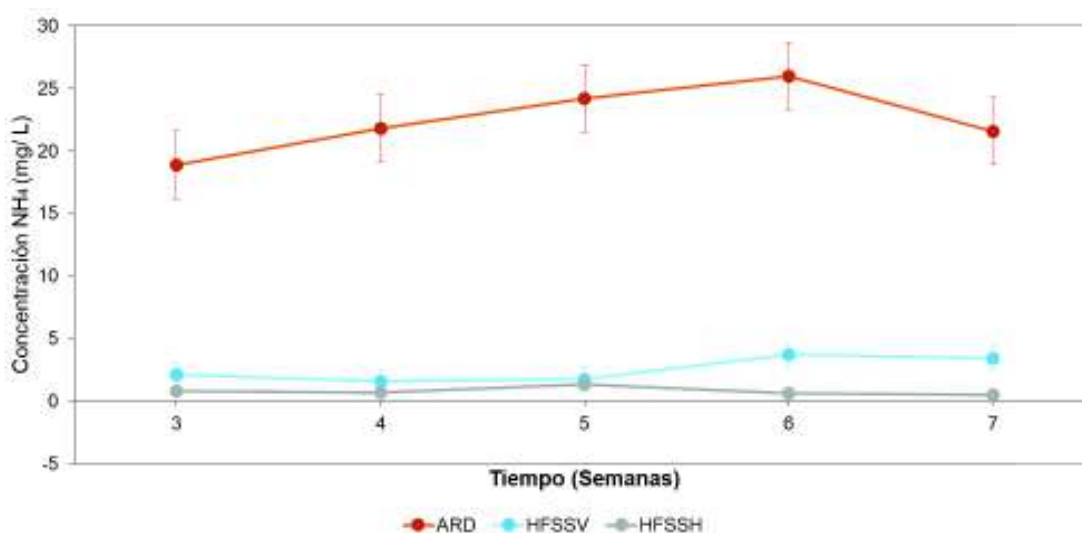


Elaboración: Gabriela Guachamin

4.1.4 Eliminación de nitrógeno

Los resultados para el NH_4^+ reportaron reducción de las concentraciones en los dos humedales. En la Figura 4.3 se observan las concentraciones obtenidas durante la experimentación de la semana 3 a la 7. Se descartaron la primera y segunda semana debido a errores por fallas con los métodos químicos empleados durante su determinación. El conjunto de datos de los efluentes del HFSSV y HFSSH presentan distribución normal ($p > 0,05$). La prueba de T – Test Pareado ($p < 0,05$) realizada para los dos humedales mostró que existen diferencias significativas entre el afluente y efluente de cada humedal, lo que demuestra que tanto el flujo vertical como el horizontal favorecen la remoción de este contaminante.

FIGURA 4.3 CONCENTRACIÓN DE NH_4^+ EN EL AFLUENTE Y LOS EFLUENTES



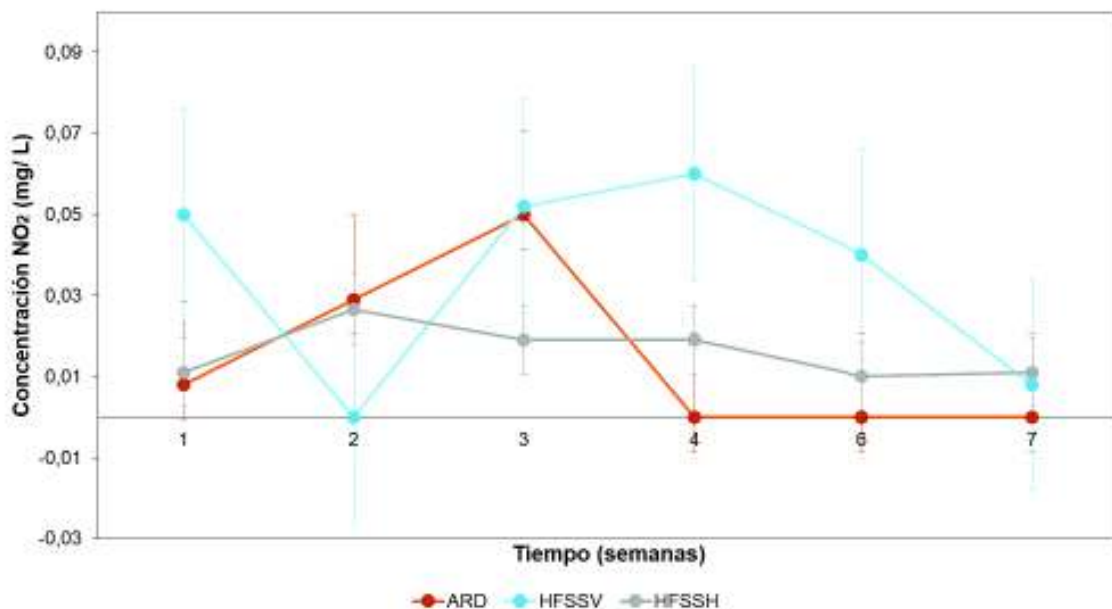
Elaboración: Gabriela Guachamin

La eficiencia de eliminación de NH_4^+ obtenida para el HFSSV fue del 80 %, resultado similar al encontrado por Zurita et al (2009) para humedales con especies tropicales y según Vymazal (2005) se reportan valores de eliminación entre 60 a 80 %. Estos resultados demuestran que la eficiencia de remoción de contaminantes puede atribuirse al uso de especies tropicales en humedales construidos. Para el HFSSH la eficiencia promedio fue de 61,79 %, valor de acuerdo al rango reportado

para estos humedales por García (2008). Las diferencias entre las eficiencias de remoción del HFSSV y HFSSH demuestran que la dirección del flujo tiene influencia en el tratamiento. De acuerdo a estos resultados el HFSSV es más eficiente en la eliminación de NH_4^+ . Este parámetro no se encuentra normado en el Anexo 1 del TULSMA (2015) para descarga a un cuerpo de agua dulce o marina.

El NO_2^- fue producido en los humedales, este comportamiento se puede observar en la Figura 4.4, con respecto a las pruebas estadísticas para los efluentes el NO_2^- presentó una distribución normal ($p > 0,05$) para todos los datos. La prueba de T-Test Pareado mostró que no existen diferencias significativas en las concentraciones de salida del HFSSV ni del HFSSH, por lo tanto el tratamiento no tiene influencia sobre este contaminante.

FIGURA 4.4 CONCENTRACIÓN DE NO_2^- EN AFLUENTE Y EFLUENTES



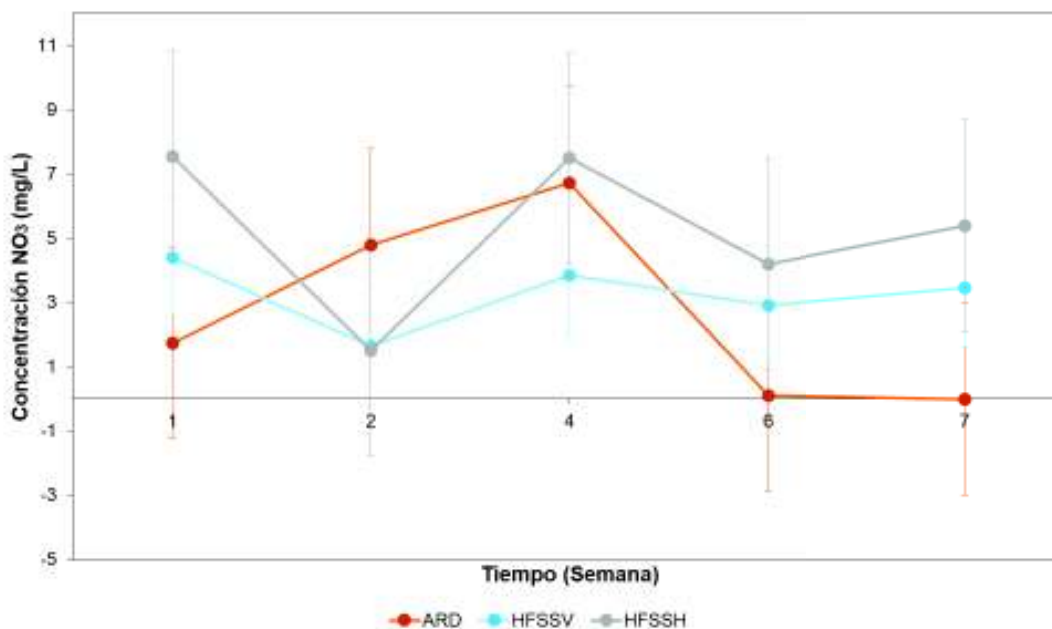
Elaboración: Gabriela Guachamin

La eficiencia para el HFSSV fue de -121,5% demostrando la generación de esta especie, este resultado coincide con los estudios llevados a cabo por Reyes (2012) para humedales de flujo vertical, la generación de NO_2^- es resultado del proceso de nitrificación que se lleva a cabo en estos humedales por la presencia de oxígeno

(García, 2008). Para el HFSSH se encontró una eficiencia de eliminación del 24,55%. De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que el HFSSH es más eficiente en la eliminación de NO_2^- . El efluente cumple con los LMP (10 mg/L) de acuerdo al Anexo 1 del TULSMA (2015) para descarga a un cuerpo de agua dulce o marina.

El NO_3^- mostró un aumento en la concentración de salida en ambos humedales como se observa en la Figura 4.5, respecto a las pruebas estadísticas los datos obtenidos de los efluentes para NO_3^- no presentan una distribución normal ($p < 0,05$) a la salida del HFSSV y una distribución normal ($p > 0,05$) a la salida del HFSSH. Para evaluar el aporte de cada humedal en la eliminación de NO_3^- se usó el Test de Wilcoxon, no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones del agua de salida de ninguno de los humedales.

FIGURA 4.5 CONCENTRACIÓN DE NO_3^- EN EL AFLUENTE Y EFLUENTES DE HUMEDALES



Elaboración: Gabriela Guachamin

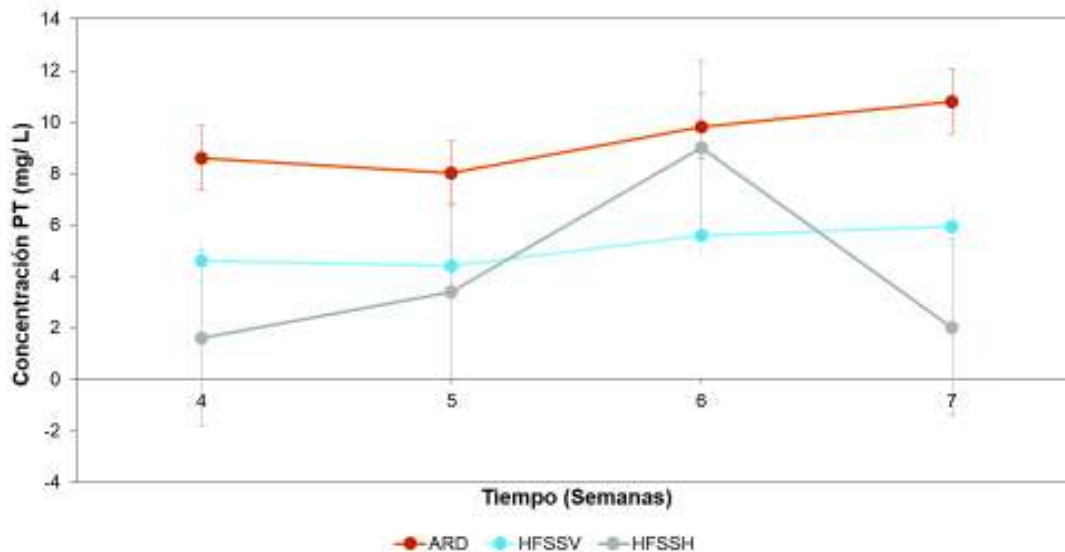
Para el NO_3^- los porcentajes de eficiencia variaron en un rango muy amplio a lo largo de la puesta en marcha del HFSSV, la eficiencia promedio fue de -588,91 %. Todas las eficiencias para el HFSSV fueron negativas durante las 7 semanas,

mostrando que existe generación de esta especie y por lo tanto una buena nitrificación. Para el HFSSH la eficiencia promedio fue de -51.61 %, la nitrificación en estos humedales se debe posiblemente al aire que entra al humedal por los procesos de vaciado y llenado. La generación de esta especie coincide en ambos casos con lo encontrado por Reyes (2012), este resultado es consecuencia de los procesos de oxidación del NH_4^+ del afluente (Kadlec, 2008). De acuerdo con los LMP (10 mg/L) del Anexo 1 del TULSMA (2015) para descarga a un cuerpo de agua dulce o marina, el efluente cumple con los estándares establecidos.

4.1.5 Eliminación de fósforo

El PT mostró reducción en los efluentes de ambos humedales lo que se puede observar en la Figura 4.6. Tanto los valores de concentración de salida del HFSSV como el HFSSH presenta una distribución normal ($p > 0,05$). Las pruebas de T-Test Pareado resultaron en diferencias significativas en las concentraciones del efluente del HFSSV y no en el HFSSH, lo que sugiere que la remoción de fósforo es más efectiva en el HFSSV.

FIGURA 4.6 CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL DEL AFLUENTE Y EFLUENTES DE HUMEDALES



Elaboración: Gabriela Guachamin

La eficiencia de eliminación de PT para el HFSSV fue de 44,84 % y para el HFSSH de 23,39 %. Estos datos difieren de lo encontrado por Vymazal (2005), quien en promedio muestra que la eliminación de fósforo suele ser mayor en HFSSH. La variación entre las eficiencias encontradas podría atribuirse a las diferencias en la granulometría del material de soporte, en los ensayos realizados por Vymazal el material de soporte tenía un diámetro máximo de 16 mm, mientras que en los ensayos llevados a cabo en los humedales se usó material con hasta 30 mm de diámetro. De acuerdo a lo mostrado, el HFSSV es más eficiente en la eliminación de este contaminante. El efluente del sistema cumple con los Límites Máximos Permisibles (10 mg/L) según el Anexo 1 del TULSMA (2015) para descarga a un cuerpo de agua dulce o marina.

4.2 COMPORTAMIENTO VEGETATIVO DE *Heliconia stricta* Y BIOMASA EN HUMEDALES CONSTRUIDOS

Se comparó el crecimiento apical, crecimiento basal, y crecimiento de las hojas con la eliminación de PO_4^{3-} y NH_4^+ , considerando que luego de ser transformado en NO_3^- puede ser absorbido por la planta.

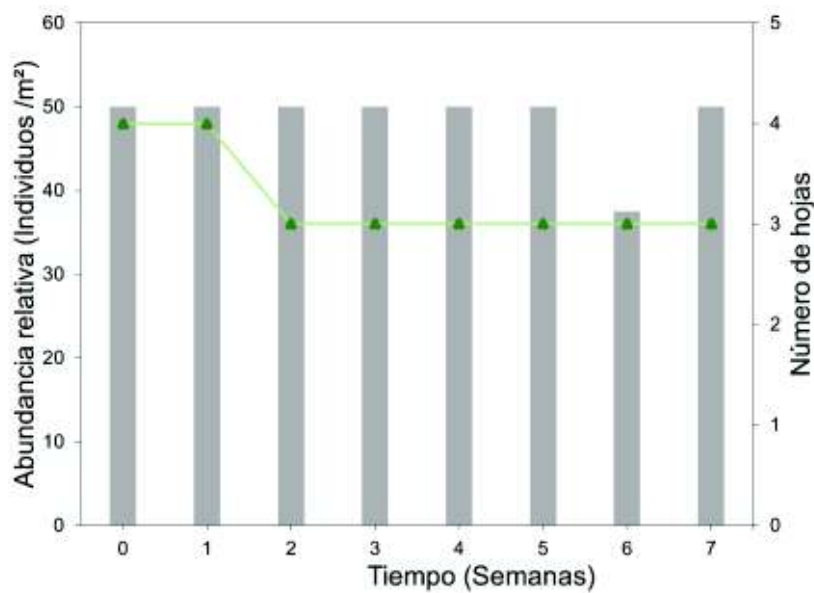
4.2.1 Abundancia relativa de *Heliconia stricta*

La abundancia relativa de la planta y el número de hojas en los individuos de *Heliconia stricta* del HFSSV se muestra en la Figura 4.7a. La abundancia relativa en el HFSSV disminuyó a la sexta semana luego de retirar un individuo, pero se recuperó debido al nacimiento de un nuevo individuo. Las hojas de los individuos del HFSSV disminuyeron en número durante el tiempo de experimentación.

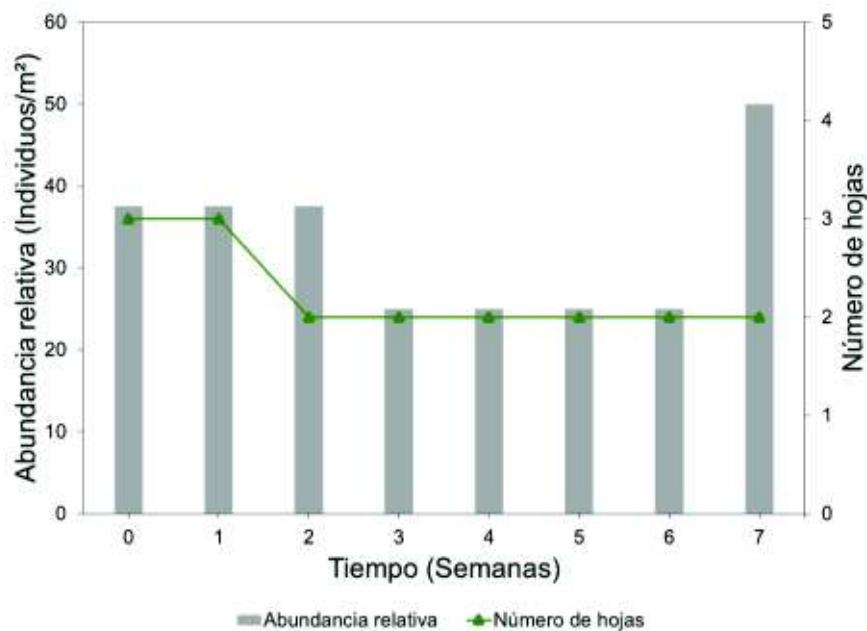
Para el HFSSH se muestran los resultados de abundancia relativa y número de hojas en la Figura 4.7b. Se puede observar que la abundancia relativa disminuyó a la tercera semana, pero posteriormente se recuperó, e incluso superó la abundancia inicial. En el HFSSV hubo una disminución en el número de las hojas.

FIGURA 4.7 ABUNDANCIA RELATIVA DE *HELICONIA STRICTA* EN EL HFSSV Y HFSSH

a.



b.



a. Abundancia relativa y número de individuos en HFSSV

b. Abundancia relativa y número de individuos en HFSSH

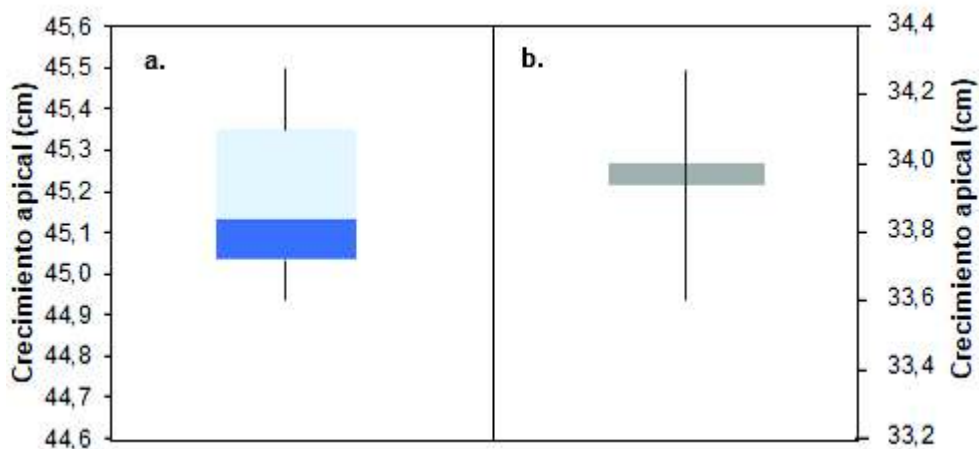
Elaboración: Gabriela Guachamin

Tanto la disminución del número de individuos y hojas se debe a procesos naturales, si los individuos fueron obtenidos al cortar los rizomas, estos mueren y al cabo de 7 días comienzan aparecer nuevos individuos. En cuanto a las hojas, el cambio de ambiente provocó estrés hídrico por la disminución de la humedad relativa, esto se manifiesta en el enrollamiento y deterioro de las hojas (Sosa, 2013).

4.2.2 Crecimiento apical de individuos de *Heliconia stricta*

El crecimiento apical se muestra en la Figura 4.8 para el HFSSV y HFSSH. Con base en las concentraciones de amonio mostradas anteriormente se determinó que los procesos de nitrificación son efectivos para los dos humedales. La buena nitrificación y el escaso crecimiento de los individuos de *Heliconia stricta* (0,57 cm para el HFSSV y 0,4 cm para el HFSSH) demuestran que la eliminación de NH_4^+ no está relacionada con el crecimiento de las plantas, pero si con el aumento de la biomasa microbiana en el material de soporte que creció por el aporte de nutrientes (presencia de sólidos volátiles en material de soporte).

FIGURA 4.8 CRECIMIENTO APICAL DE INDIVIDUOS DE *Heliconia stricta*



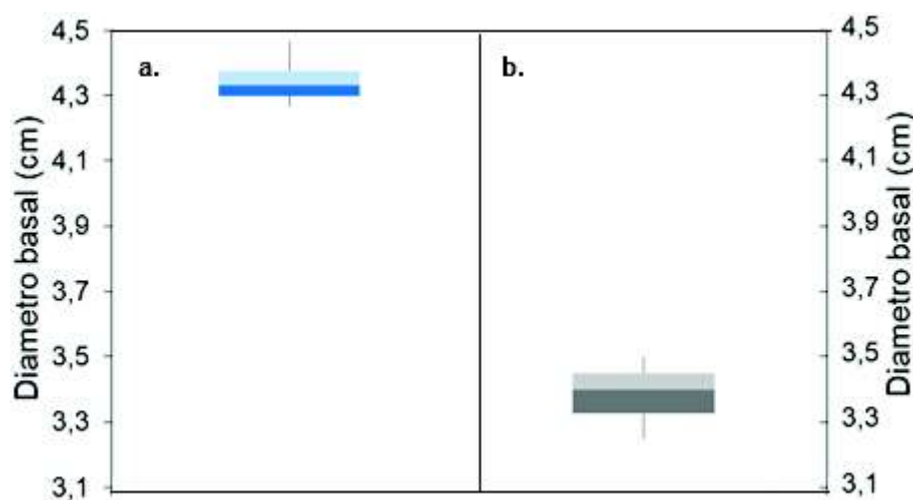
- a. Crecimiento apical en individuos de *Heliconia* en el HFSSV
- b. Crecimiento apical de individuos de *Heliconia* en el HFSSH

Elaboración: Gabriela Guachamin

4.2.3 Crecimiento basal de individuos de *Heliconia stricta*

La Figura 4.9 para el HFSSV y HFSSH, muestran el crecimiento basal de los individuos de *Heliconia stricta* en los humedales. Por el escaso crecimiento basal de los individuos (0,2 cm para el HFSSV y 0,25 cm para el HFSSH) y la buena nitrificación, se tiene que no existe relación entre estos dos parámetros. La nitrificación proporciona $(\text{NO}_3)^-$, nutriente asimilable por las plantas, que no fue aprovechado para la producción de biomasa por el escaso crecimiento mostrado. Esto además de evidencia por la relación entre el crecimiento y la eliminación de NH_4^+ en el HFSSH, donde a pesar de que el crecimiento fue mayor, la eliminación de NH_4^+ fue un 30% menor.

FIGURA 4.9 CRECIMIENTO BASAL DE INDIVIDUOS DE *Heliconia stricta*



- a. Diámetro basal en individuos de *Heliconia* en el HFSSV
 b. Diámetro basal de individuos de *Heliconia* en el HFSSH

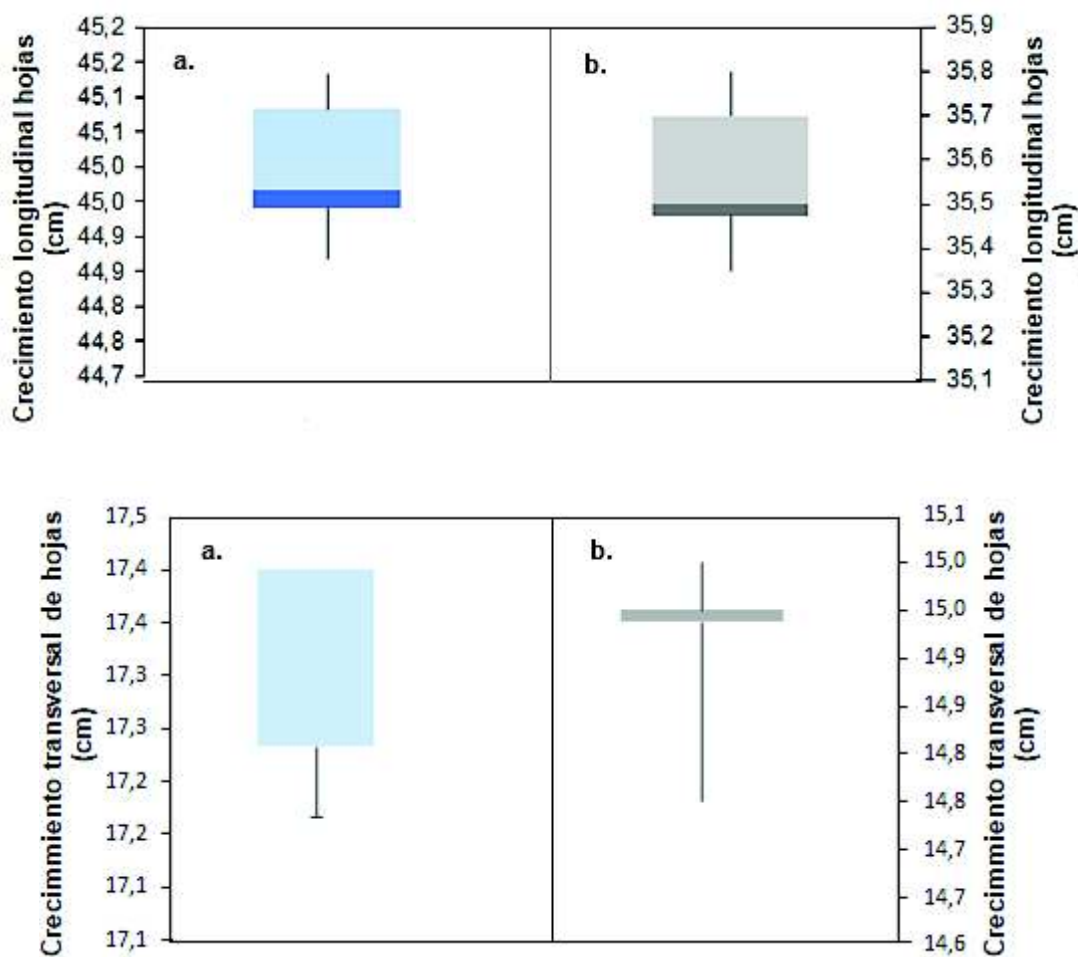
Elaboración: Gabriela Guachamin

4.2.4 Crecimiento de hojas en individuos de *Heliconia stricta*

En la Figura 4.10a se muestra el crecimiento longitudinal de las hojas de los individuos de *Heliconia* y en la Figura 4.10b el crecimiento transversal de las hojas. El crecimiento de las hojas al igual que el crecimiento basal y apical durante las 7 semanas de experimentación es mínimo y está alrededor del 2 %. El crecimiento longitudinal y transversal de las hojas es de 0,27 cm y 0,23 cm en promedio para el HFSSV y para el HFFSH es de 0,45 cm y 0,25 cm. El escaso crecimiento de las

hojas es consecuencia del estrés hídrico producido por la disminución de la humedad relativa del ambiente y la sobreexposición a la luz solar (Sosa, 2013).

FIGURA 4.10 CRECIMIENTO DE HOJAS DE *HELICONIA STRICTA* EN HFSSV Y HFSSH



- Crecimiento de hojas en individuos de *Heliconia* en el HFSSV
- Crecimiento de hojas en individuos de *Heliconia* en el HFSSH

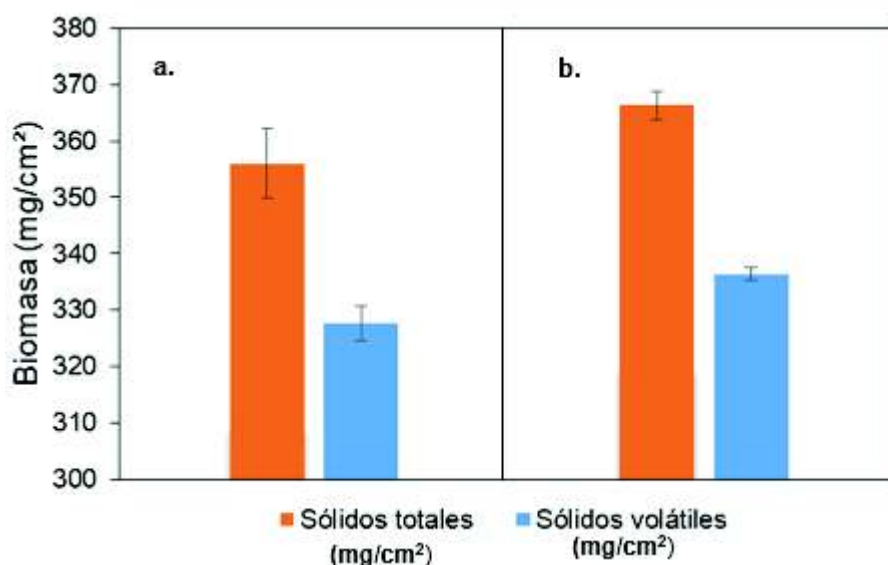
Elaboración: Gabriela Guachamin

4.2.6 Biomasa del material de soporte e individuos de heliconia

En la Figura 4.11 se observa la cantidad de ST y SV que son los que se atribuyen a la cantidad de biomasa presente en los humedales. Los resultados están mostrados en mg/cm^2 , para esto se estimó el área superficial del material de

soporte en base al volumen ocupado en el humedal y la granulometría del mismo. Se obtuvieron valores superiores en ST y SV en el HFSSH y corresponden a 366,3 y 336,3 mg/cm² respectivamente, mientras que para el HFSSV estos valores corresponden a 356 y 327,7 mg/cm². La eliminación eficiente de NH₄⁺ no se pudo atribuir al crecimiento de las plantas, pero sí se puede atribuir a la biomasa del material de soporte por el crecimiento mostrado en ambos humedales.

FIGURA 4.11 SÓLIDOS DEL MATERIAL DE SOPORTE EN HUMEDALES



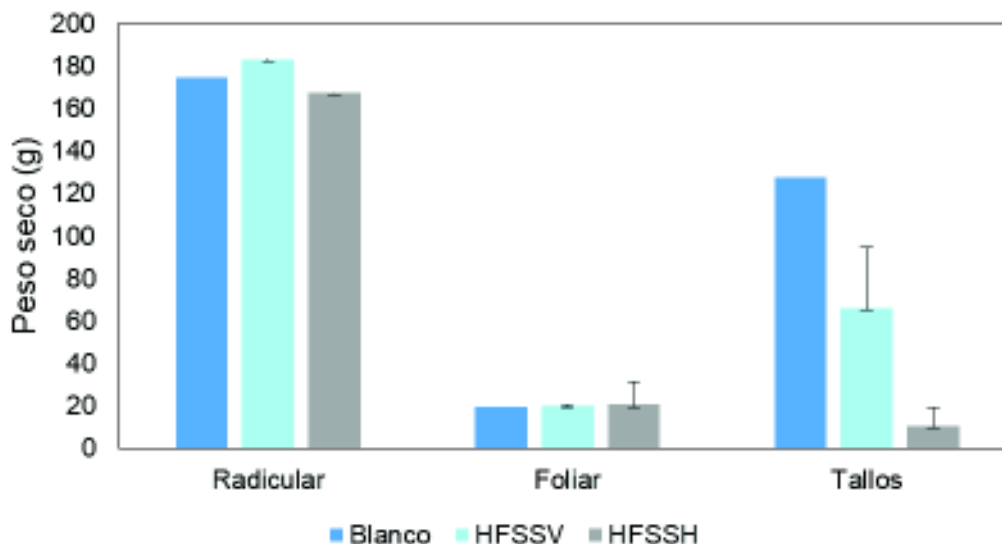
- a. Sólidos totales y volátiles en el HFSSV
 b. Sólidos totales y volátiles en el HFSSH

Elaboración: Gabriela Guachamin

En la Figura 4.12 se observa el peso seco de los individuos de *Heliconia stricta* del HFSSV, HFSSH y de un individuo que no fue puesto en contacto con agua residual y que se mantuvo en su sustrato original. Para la zona radicular se tiene que el peso seco correspondiente al HFSSV (183,26 g) es superior al peso del HFSSH (167,28 g) y del blanco (174,47). Para la zona foliar se registra el mayor peso en el HFSSH (20,59 g) a diferencia del HFSSV (20,18 g) y el blanco (19,7 g). Finalmente el peso del tallo es mayor en el blanco (127,41 g) que en el HFSSV (66,20 g) o en el HFSSH (10,81 g). Si se comparan los pesos totales se tiene mayor biomasa en el blanco (321,5 g) que en el HFSSV (269,6 g), o el HFSSH (198,7 g). Con estos

resultados se demostró que incluso con el aporte de nutrientes del agua residual no se obtuvo una mayor cantidad de biomasa vegetal. Estos resultados son producto de la pérdida de material vegetal producido por la sobreexposición de las plantas a la radiación solar que produce estrés hídrico en las hojas (Fernández, 2005).

FIGURA 4.12 PESO SECO DE INDIVIDUOS DE *Heliconia stricta*



Elaboración: Gabriela Guachamin

4.3 RELACIÓN ENTRE LA ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES Y EL COMPORTAMIENTO VEGETATIVO DE LA ESPECIE *Heliconia stricta*

Los resultados de la correlación de Spearman aplicada a los contaminantes y a las medidas alométricas de los individuos de *Heliconia stricta* se muestran en la Tabla 4.4. Para que la correlación lineal sea verdadera deberá cumplir con dos condiciones, el valor absoluto del coeficiente de Spearman será superior a 0,7 y la significancia debe ser menor a 0,05. De los resultados obtenidos se observa que las condiciones impuestas para la existencia de una relación lineal sólo se cumplen en el HFSSH para la relación DQO – Crecimiento basal y DQO – Abundancia relativa. Para el resto de variables que cumplen con la condición estadística del coeficiente de Spearman pero no con el estadístico, por lo tanto se descartan estos resultados debido a que no existe la certeza de que la relación sea verdadera.

TABLA 4.4 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE SPERMAN EN LOS HUMEDALES

		HFSSV					HFSSH				
		DQO	NH4	NO2	NO3	PT	DQO	NH4	NO2	NO3	PT
Crecimiento apical	S	-0,71	0,67	0,03	-0,16	0,74	0,00	0,00	0,27	-0,71	0,00
	Sig	0,07	0,22	0,96	0,80	0,26	1,00	1,00	0,61	0,18	1,00
Crecimiento basal	S	-0,62	0,56	-0,15	-0,10	0,95	0,82	0,21	-0,04	-0,30	0,63
	Sig	0,14	0,32	0,77	0,87	0,05	0,02	0,74	0,93	0,62	0,37
Número de hojas	S	0,61	0,00	0,13	0,71	0,00	0,00	0,00	-0,27	0,71	0,00
	Sig	0,14	1,00	0,80	0,18	1,00	1,00	1,00	0,61	0,18	1,00
Crecimiento longitudinal hojas	S	-0,67	0,79	-0,37	-0,53	0,74	0,02	-0,53	-0,38	-0,46	0,32
	Sig	0,10	0,11	0,47	0,36	0,26	0,97	0,36	0,46	0,43	0,68
Crecimiento ancho hojas	S	-0,29	0,60	-0,20	0,20	0,80	-0,40	-0,71	0,00	-0,45	-0,26
	Sig	0,53	0,28	0,70	0,75	0,20	0,37	0,18	1,00	0,45	0,74
Abundancia relativa	S	0,20	-0,71	0,13	0,35	-0,26	-0,78	-0,71	-0,02	0,00	-0,26
	Sig	0,66	0,18	0,80	0,56	0,74	0,04	0,18	0,98	1,00	0,74

S: Coeficiente de Sperman

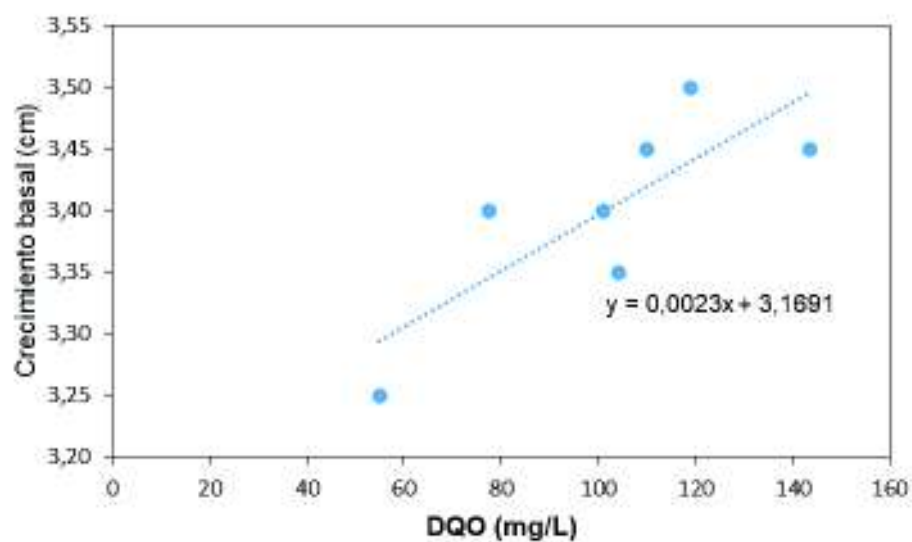
Sig: Nivel de significancia

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

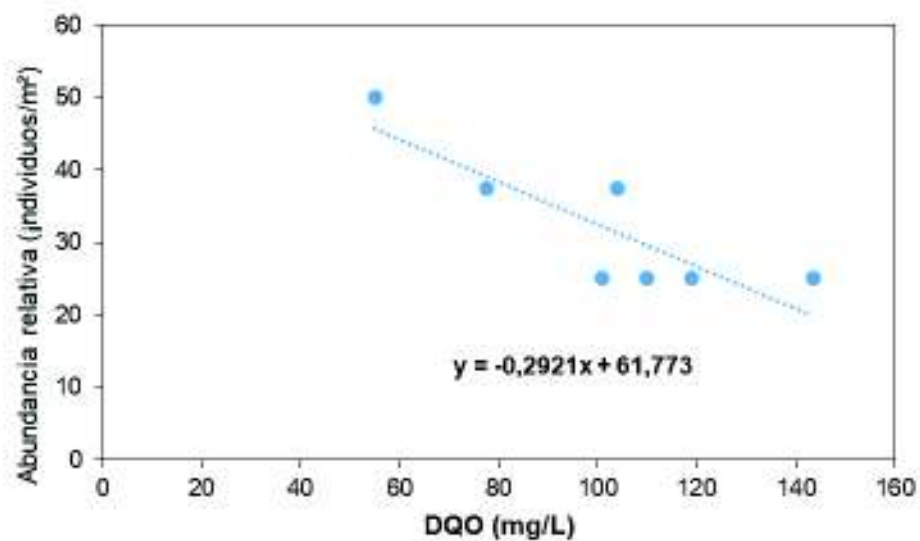
La relación crecimiento basal – DQO es una relación directamente proporcional, con un nivel de significancia de 0,82 y un coeficiente de Spearman de 0,02, que demuestra que existe relación lineal entre la concentración de DQO y el crecimiento basal (Figura 4.13a). La relación abundancia relativa – DQO es inversamente proporcional con un nivel de significancia de -0,78 y un coeficiente de Sperman de 0,04 que establece que la abundancia relativa de individuos de *Heliconia stricta* es función de la concentración de DQO presente en el agua tratada. A menor concentración de DQO mayor es la abundancia relativa, esto debido a los requerimientos nutricionales de las *Heliconias*, esta especie requiere de un sustrato rico en materia orgánica (Relación materia orgánica – suelo: 1:3) (Sosa,2013) (Figura 4.14b).

FIGURA 4.13 RELACIONES LINEALES ENCONTRADAS EN LOS HUMEDALES

a.



b.



- a. Relación crecimiento basal vs DQO en el HFSSH
- b. Relación abundancia relativa vs DQO en el HFSSH

ELABORACIÓN: Gabriela Guachamin

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con base en el análisis del afluente y los efluentes de los humedales y la comparación de los resultados obtenidos, se tiene que la eliminación de materia orgánica y nutrientes es más eficiente en el HFSSV. La eliminación de DQO presentó una eficiencia de 82,57 % y -2,81 %, NH_4^+ con 88,82 % y 61,79 %, PT 44,84 % y 23,39 % para el HFSSV y HFSSH respectivamente. Por lo tanto la contribución del HFSSV es significativa a nivel del sistema (HFSSV – HFSSH) a diferencia del HFSSH. La calidad del efluente obtenido en el sistema en cuanto a DQO, P y N está de acuerdo a la normativa ambiental vigente para descargas en cuerpos de agua dulce y marina.

- De acuerdo a la medición de la abundancia relativa de individuos de *Heliconia stricta* y parámetros alométricos, se obtuvo un mejor desarrollo de las plantas en el HFSSH. Los valores de crecimiento basal (0,20 cm HFSSV, 0,25 cm HFSSH), crecimiento de hojas (0,5 cm HFSSV, 0,70 cm HFSSH) y número de hojas por individuo (1 hoja/individuo HFSSV, 1,33 hojas/individuo HFSSH) fueron superiores en el HFSSH. En el HFSSV se obtuvo un mayor crecimiento apical (0,57 cm HFSSV, 0,40 cm HFSSH) y la abundancia relativa fue la misma en los dos humedales (50 individuos/m²).

- El análisis de correlación simple llevado a cabo para nutrientes y medidas alométricas con distribución no normal, mostró que no existe relación lineal entre el crecimiento de los individuos de heliconia y la eliminación de materia orgánica y nutrientes, esto a excepción de la relación DQO – crecimiento basal (Coef. Spermán= 0,82 y p= 0,02) y DQO – abundancia relativa en el HFSSH (Coef. Spermán= -0,78 y p= 0,04).

- La eliminación de materia orgánica, nutrientes y el crecimiento de los individuos de *Heliconia* están ligados al tipo de flujo con el que trabaje el humedal. En este estudio y con base en el peso seco de la biomasa de los individuos de *Heliconia stricta* se tiene que los procesos se vieron favorecidos por el flujo vertical. La planta aunque no contribuyó de forma efectiva en la eliminación de contaminantes, contribuyó como soporte de la comunidad microbiana que creció por el aporte de nutrientes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para mejorar la eficiencia de eliminación de N en el HFSSH se podría realizar ensayos variando los tiempos de retención usados en los humedales.

- Para elevar la eliminación de materia orgánica se puede probar materiales de soporte estratificados de menor tamaño. Además se recomienda aumentar el tiempo de espera entre vaciado y llenado para permitir que el lecho se oxigene.

- Usar otras especies de *Heliconia* o la combinación de varias especies para conocer el potencial fitoremediador de la especie en humedales construidos en la depuración de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida. C., Espinoza. P., Muñoz. M., Villamar. C.A. (2017). Hydraulic Retention Time influence on improving flocculation in the activated sludge processes through of polyelectrolytes. *Water, Air and Soil*.
- APHA, AWWA, WEF, 2005. Standard Methods for examination of water and wastewater, 21st ed. American Public Health Association, American Water work Association and Water Federation, DC
- Aquastat. (2015). Agua residual municipal, tratada y usada directamente. Recuperado de http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/americas/index.stm
- Aquastat. (2016). Resumen general – América del Sur, Centroamérica y el Caribe. Recuperado de http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/americas/indexesp6.stm
- Araya. F. (2012). Alternativas de tratamiento de aguas servidas para núcleos humanos de baja densidad poblacional mediante sistemas híbridos de humedales artificiales (Tesis de pregrado), 24-34.
- Arias, C. A., & Brix, H. (2016). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 13(1), 17-24.
- Banco Mundial. (2002). Extracción anual de agua dulce, total (en billones de metros cúbicos). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/ER.H2O.FWTL.K3>
- Cabrera, H., Garcés, M., Paredes, P. (2012). Proyecto de desarrollo de capacidades para el uso seguro de aguas servidas en agricultura, 9p.

- Carrillo, G., Andrade, J., Hernández, L., Cobos, V. (2015). La fitorremediación: una opción limpia para un problema sucio. *Revista Lasallista*. Volumen (2), pp 57-60
- Caselles, A., Puigagut, J., Segú, E., Vaello, N., Granés, F., García, D., y García, J. (2007). Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. (pp; 1388-1398).
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS). (2004). Una estrategia para la gestión de las aguas residuales domésticas: haciendo más sostenible la protección de la salud en América Latina y otras regiones en desarrollo. Lima, Perú, 145pp.
- Comisión Europea. (2001). Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medias colectividades (40 pp). Luxemburgo: Oficina de las publicaciones oficiales de las comunidades europeas.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez J., Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems* (pp: 597 – 612).
- EPA. (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo subsuperficial. Recuperado el 01 de octubre de 2016 de <https://www.google.com.ec/search?q=Folleto+informativo+de+tecnolog%C3%ADa+de+aguas+residuales+Humedales+de+flujo+subsuperficial&oq=Folleto+informativo+de+tecnolog%C3%ADa+de+aguas+residuales+Humedales+de+flujo+subsuperficial&aqs=chrome..69i57j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8> (EPA,2000)
- Espinoza, C. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30000 habitantes (Tesis inédita de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería - Julio Garavito. Bogotá D.C.

- Fernández, J. Beascochea, E. Muñoz, J. Curt, M.(2005). Macrófitas de interés en fitodepuración. Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. 127pp.
- Fernández, J. Doménech, F. (2017). La fitodepuración de Fabara, 10 años de funcionamiento de un filtro verde. (pp.44 – 51). Madrid: Retema.
- García, J. (2008). Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial (98 pp).Catalunya.
- Global Methane Initiative. (2013). El metano de las aguas residuales municipales: Reducir emisiones, avanzar en la recuperación y aprovechar oportunidades, 4p.
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (2012). El cultivo de heliconias. Medidas para la temporada invernal. (36pp).Bogotá: Produmedios.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2015). Proporción de municipios que realizan procesos de tratamiento. Recuperado de www.ecuadorencifras.gob.ec.
- Iracheta, L., Olivera, A. Ortiz, S. López, P. (2013). Propagación de heliconias - Centro de Investigación Regional Pacífico Sur Campo Experimental Rosario Izapa Tuxtla Chico, Chiapas. Folleto Técnico No. 30. ISBN: 978-607-37-0148-8
- Izembart, H. (2003). El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales (192pp). París: Gustavo Gili.
- Jerez, E. (2007). El cultivo de las heliconias. Cultivos Tropicales, vol. 28, num. 1, (pp: 29 – 35). La Habana, Cuba.
- Kadlec, R. H., Wallace, S. (2008). Treatment wetlands (1046 pp). New York, United States of America: CRC press.
- Konnerup, D., Koottatep, T., & Brix, H. (2009). Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia. *Ecological engineering*, 35(2), 248-257.

- Llagas, W. Guadalupe, E. (2016). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM (pp 85 – 96). Revista de Instituto de Investigación FIGMMG Vol. 15, N° 17.
- Madriz, R., Smits, G. Noguera, R. (2017). Principales hongos patógenos que afectan algunas especies ornamentales del género *Heliconia*. *Agronomía tropical* (41 pp).
- Mancilla Villalobos, R., Zúñiga, J., Salgado, E., Schiappacasse, M. C., & Chamy Maggi, R. (2013). Constructed wetlands for domestic wastewater treatment in a Mediterranean climate region in Chile. *Electronic Journal of Biotechnology*, 16(4), 5-5.
- Martín, I., Betancort, J., Salas, J., Peñate, B., Pidre, J., Sardón, N. (2006). Guía sobre tratamiento de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes (126pp). Canarias: Daute Diseño.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Anexo 1 del Acuerdo No. 061. (Reforma del Libro VI DEL Texto Unificado de Legislación Secundaria). Recuperado de faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf
- Nerio Quintana, L., Olivero Vebel, J. (2008). Fitorremediación: una alternativa para mitigar los procesos de contaminación ambiental. *Revista de la Universidad de Cartagena*, pp 75-80.
- Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura (UNESCO). (2017). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017. Perugia: Italia
- Peña-Salamanca, E. J., Madera-Parra, C. A., Sánchez, J. M., Medina-Vásquez, J. (2013). Bioprospecting of native plants for their use in bioremediation process: *Heliconia psittacorum* case (heliconiaceae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(145), 469-481.
- Reyes, R. G. M., Judith, M. B., Alfredo, J. B., & Joaquín, S. L. (2012). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una

estación depuradora de aguas residuales domésticas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 14(2), 223-235.

Sánchez, R. (2011). Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador, 169 pp.

SINIA. (2011). Tecnología de lodos activados. Recuperado de http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf, 4p.

Sosa Rodríguez, F. M. (2013). Cultivo del género *Heliconia*. *Cultivos Tropicales*, 34(1), 24-32.

Suárez, A., Agudelo, N., Rincón, J., & Millán, N. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Mutis*, 4(1), 8-14.

Vymazal, J. (2002). The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. *Ecological Engineering*, 18(5), 633-646.

Vymazal, J. (2011). Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia*, 674(1), 133-156.

Zamora, F., Rodríguez, N, Torres, D., Yendis, H., (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas del suelo de la planicie de coro, estado Falcón. *Biagro* 20(3). 193 – 199 p.

Zurita, F., De Anda, J., & Belmont, M. A. (2009). Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 35(5), 861-869.

ANEXOS

**ANEXO No 1: TABLAS DE ANÁLISIS DE CORRELACIÓN SIMPLE DEL
PROGRAMA INFO STAT - STATISTICAL**

ANEXO 1.1 CORRELACIÓN DE SPEARMAN HFSSV

Coefficientes de correlación

Correlación de Spearman:

	Número de hojas	C. Longitudinal de hojas	C. ancho de hojas	Abundancia relativa
DQO	0,14	0,10	0,53	0,66
NH4	1,00	0,11	0,23	0,18
NO2	0,80	0,47	0,70	0,80
NO3	0,18	0,36	0,69	0,56
FT	1,00	0,26	0,17	0,74
Crecimiento apical	0,23	2,1E-03	0,09	0,23
Crecimiento basal	0,34	0,01	0,04	0,34
Número de hojas	1,00	0,12	0,66	0,72
C. Longitudinal de hojas	-0,64	1,00	0,17	0,22
C. ancho de hojas	0,21	0,89	1,00	0,36
Abundancia relativa	0,17	-0,53	-0,41	1,00

Fuente: Programa InfoStat

ANEXO 1.2 CORRELACIÓN DE SPEARMAN HFSSH

Coefficientes de correlación

Correlación de Spearman:

	Número de hojas	C. Longitudinal de hojas	C. ancho de hojas	Abundancia relativa
DQO	1,00	0,97	0,37	0,04
NH4	1,00	0,36	0,18	0,18
NO2	0,61	0,46	1,00	0,98
NO3	0,18	0,43	0,45	1,00
FT	1,00	0,68	0,74	0,74
C. Apical	0,00	0,12	0,05	0,45
C. basal	0,35	0,79	0,77	0,01
Número de hojas	1,00	0,12	0,05	0,45
C. Longitudinal de hojas	-0,64	1,00	0,02	0,89
C. ancho de hojas	-0,76	0,84	1,00	0,63
Abundancia relativa	0,34	0,06	0,22	1,00

Fuente: Programa InfoStat

**ANEXO No 2: INFORMES DE RESULTADOS DEL CENTRO DE
INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL DE LA ESCUELA POLITÉCNICA
NACIONAL**



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 03 de agosto de 2017

No. IR17-680

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-192

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 2492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: agua residual doméstica

Fecha de recolección: 18/07/2017

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 680

Fecha de ingreso al Laboratorio: 18/07/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
^(*) Amoníaco	mg/L	18,4	19/07/2017	Nessler. Espectrofotométrico
^(*) Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	517	20/07/2017	PEC/CICAM/01 (APHA 5220 D)
^(*) Fosfatos (PO ₄)	mg/L	17,1	20/07/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
^(*) Fósforo total (P)	mg/L	19,2	21/07/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
^(*) Nitratos (NO ₃)	mg/L	1,74	19/07/2017	Colorimétrico
^(*) Nitritos (NO ₂)	mg/L	<0,03	19/07/2017	APHA 4500 - NO ₂ -B. Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

^(*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación

Incertidumbre (U) del método (matriz acuosa)		
Parametro	Rango de trabajo	U (%)
DQO (mg/L)	0-100	22,8
	100-2000	4,4
	1000-10000	13,9

Realizado por: Jairo Jimpikit
ANALISTA RESPONSABLE



Revisado por: Ing. Carola Fierro
DIRECTORA DE CALIDAD





INFORME DE RESULTADOS

Quito, 03 de agosto de 2017

No. IR17-688

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-196

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Teléfono: 2492233

Atención:

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Fecha de recolección: 21/07/2017

Responsable de toma de muestra: Cliente

Origen: Agua residual doméstica, filtro 2

Tipo de muestra: Agua residual

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-688

Fecha de ingreso al Laboratorio: 21/07/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
^(*) Amonio	mg/L	8,4	21/07/2017	Nessler, Espectrofotométrica
^(*) Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	154	21/07/2017	PEE/CICAM/01 (APHA 5220 D)
^(*) Fosfatos (PO ₄)	mg/L	<0,12	24/07/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
^(*) Fosforo total (P)	mg/L	6,3	24/07/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
^(*) Nitratos (NO ₃)	mg/L	4,43	24/07/2017	Colorimétrico
^(*) Nitritos (NO ₂)	mg/L	0,05	24/07/2017	APHA 4500 - NO ₂ -B. Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

^(*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación

Incertidumbre (U) del método (matriz acuosa)

Parametro	Rango de trabajo	U (%)
DQO (mg/L)	10-100	22,4
	100-1000	4,4
	1000-10000	12,9

Realizado por: 
ANALISTA RESPONSABLE



Revisado por: 
DIRECTORA DE CALIDAD



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 03 de agosto de 2017

Nº. IR17-691

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 2492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Agua residual doméstica, filtro 1

Fecha de recolección: 25/07/2017

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-691

Fecha de ingreso al Laboratorio: 26/07/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
^(*) Amonio	mg/L	1,17	27/07/2017	Nessler, Espectrofotométrico
^(*) Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	104	27/07/2017	PER/CICAM01 (APHA 5220 D)
^(*) Fosfatos (PO ₄)	mg/L	13,6	26/07/2017	APHA 4500 - P - C, Colorimétrico
^(*) Fósforo total (P)	mg/L	3,9	26/07/2017	APHA 4500 - P - C, Colorimétrico
^(*) Nitratos (NO ₃)	mg/L	7,5	27/07/2017	Colorimétrico
^(*) Nitritos (NO ₂)	mg/L	<0,03	27/08/2017	APHA 4500 - NO ₂ - B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

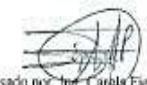
^(*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación

Incertidumbre (U) del método (matriz acuosa)		
Parametro	Rango de trabajo	U (%)
DQO (mg/L)	10-100	22,8
	100-1000	4,4
	1000-10000	25,9

Realizado por: 
ANALISTA RESPONSABLE



Revisado por: 
DIRECTORA DE CALIDAD





**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel. (+593-2) 2976300 / 3978780 Ext. 2151 • Línea directa (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2359 • Email: cicam@epn.edu.ec
Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 25 de agosto de 2017

No. IR17-708

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-207

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Teléfono: 2492233

Atención:

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Agua residual doméstica

Fecha de recolección: 08/08/2017

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 708

Fecha de ingreso al Laboratorio: 08/08/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
^(*) Amonio	mg/L	20	08/08/2017	Nessler, Espectrofotométrico
^(*) Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	593	09/08/2017	PEE/CICAM/01 (APHA 520 D)
^(*) Fosfatos (PO4)	mg/L	18,8	08/08/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
^(*) Fósforo total (P)	mg/L	26,4	08/08/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
^(*) Nitratos (NO3)	mg/L	4,8	08/08/2017	Colorimétrico
^(*) Nitritos (NO2)	mg/L	<0,03	08/08/2017	APHA 4500 - NO2 - B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

^(*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación

Incertidumbre (U) del método (matriz acuosa)		
Parametro	Rango de trabajo	U (%)
DQO (mg/L)	10-100	22,8
	100-1000	4,4
	1000-10000	15,9

Realizado por: Jairo Jimékit
 ANALISTA RESPONSABLE



Revisado por: Ing. Martí Ochoa
 DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaute" • Calle Ladrón de Guevara • 11-253
Tel: (+593-2) 2976368 / 2976799 Ext. 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2791 • e-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 25 de agosto de 2017

No. JR17-713

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-210

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 492251

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: agua residual doméstica

Fecha de recolección: 2017-08-10

Tipo de muestra: agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Liege refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 713

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-08-10

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	48	2017-08-10	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	113	2017-08-10	APHA 520 D
Fosfatos (PO ₄)	mg/L	22,4	2017-08-10	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	7,31	2017-08-10	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Nitratos (NO ₃)	mg/L	1,7	2017-08-10	Colorimétrico
Nitritos (NO ₂)	mg/L	<0,03	2017-08-10	APHA 4500 - NO ₂ -B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: 
ANALISTA/RESPONSABLE



Revisado por: 
DIRECTOR



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicamep@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 30 de agosto de 2017

No. IR17-719

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-213

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 2492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Agua residual doméstica

Fecha de recolección: 2017-08-15

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 719

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-08-10

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	6,0	2017-08-16	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	79	2017-08-16	APHA 5220 D
Fosfatos (PO ₄)	mg/L	1,0	2017-08-16	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	0,40	2017-08-16	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Nitratos (NO ₃)	mg/L	1,5	2017-08-16	Colorimétrico
Nitritos (NO ₂)	mg/L	<0,03	2017-08-16	APHA 4500 - NO ₂ - B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Ing. Cristian Freire
ANALISTA RESPONSABLE



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel. (+593-2) 2976300 / 3918780 Ext. 2151 • Línea directa (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • Email: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 30 de agosto de 2017

No. IR17-723

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-215

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Teléfono: 2492233

Atención:

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Agua residual doméstica

Fecha de recolección: 2017-08-15

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 723

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-08-10

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	186	16/08/2017	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	534	16/08/2017	APHA 5220 D
Fosfatos (PO ₄)	mg/L	29,0	16/08/2017	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	1,4	16/08/2017	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Nitratos (NO ₃)	mg/L	12,6	16/08/2017	Colorimétrico
Nitritos (NO ₂)	mg/L	0,05	16/08/2017	APHA 4500 - NO ₂ - B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Ing. Cristian Freire
ANALISTA RESPONSABLE



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Roldán Ordoñez Kiyama" • Calle Ladrón de Guano • E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976200 / 2974790 Ext.: 2151 • Fax: (+593-2) 2938864 • Apertado: (7-01-23) • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 18 de agosto de 2017

No. IR17-738

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-219

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 2492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Agua residual doméstica

Fecha de recolección: 18/08/2017

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envío: Físico

Liege refrigerada: No

Se utilizó preservación: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 739

Fecha de ingreso al Laboratorio: 10/08/2017

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	2,1	21/08/2017	Nessler. Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	87	18/08/2017	APHA 520 D
Fosfatos (PO4)	mg/L	7,4	28/08/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	3,6	28/08/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
Nitratos (NO3)	mg/L	3,2	21/08/2017	Colorimétrico
Nitritos (NO2)	mg/L	0,051	21/08/2017	APHA 4500 - NO2-B. Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: 
ANALISTA RESPONSABLE



Validado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rábín Ortíz" • Calle Ladrón de Gue... • E 11-253
 Tel: (+593-2) 2916189 / 2928780 Fax: 2151 • Lima direct: (+593-2) 292866 • Apuríaco 11-01-2151 • Email: cicam@epn.edu.ec
 Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de septiembre de 2017

No. IR17-735

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-223

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Teléfono: 2492233

Atención:

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguno

Origen: Agua residual doméstica

Fecha de recolección: 2017-08-22

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerado: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 735

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-08-10

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	21,8	23/08/2017	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	574	23/08/2017	APHA 520 D
Fosfato (PO ₄)	mg/L	26	23/08/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	8,6	23/08/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
Nitrato (NO ₃)	mg/L	6,7	23/08/2017	Colorimétrico
Nitrito (NO ₂)	mg/L	<0,03	23/08/2017	APHA 4500 - NO ₂ -B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Realizado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rabín Ordóñez Rincón" • Calle Ladrón de Gue • E 11-253
Tel.: (+593-2) 2976280 / 3438780 Ext.: 2151 • Linea directa (+593-2) 393886 • Apartado 17-01-0711 • Email: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de septiembre de 2017

Nº. IR17-736

DATOS DE CLIENTE

Ref. SY17-223

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 2492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Agua filtro 2

Fecha de recolección: 2017-08-22

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerado: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 736

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-08-10

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	0,8	23/08/2017	Nessler, Espectrofotométrica
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	101	22/08/2017	APHA 520 D
Fosfatos (PO ₄)	mg/L	2,8	23/08/2017	APHA 4500 - P - C, Colorimétrica
Fósforo total (P)	mg/L	1,8	23/08/2017	APHA 4500 - P - C, Colorimétrica
Nitrato (NO ₃)	mg/L	4,2	23/08/2017	Colorimétrica
Nitrito (NO ₂)	mg/L	<0,03	23/08/2017	APHA 4500 - NO ₂ - B, Colorimétrica

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO


 Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO




 Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Rizoarte" • Calle Ladrón de Guevaras • 11-253
Tel: (+593-2) 2976300 / 2987308 Fax: 2151 • Línea directa (+593-2) 2988864 • Horario: 17.00-21.00 • web: cicaepn
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de septiembre de 2017

Via JR17-741

DATOS DE CLIENTE

tel. ST17-225

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Ilpo 1

Fecha de recolección: 2017-08-25

Tipo de muestra: agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: plástico

Llegó refrigerada: no

Se utilizó preservante: no

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 741

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-08-25

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	1,6	25/08/2017	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	91	25/08/2017	APHA 5210 D
Fosforo (PO ₄)	mg/L	12	25/08/2017	APHA 4500 - P - C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	4,6	25/08/2017	APHA 4500 - P - C, Colorimétrico
Nitrato (NO ₃)	mg/L	3,9	25/08/2017	Colorimétrico
Nitrito (NO ₂)	mg/L	0,06	25/08/2017	APHA 4500 - NO ₂ -B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. María Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Ordoñez Ricaña" • Calle Ladrón de Guevas • 111-257
Tel: (+593-2) 2918508 / 2918789 Ext: 2131 • Línea directa: (+593-2) 2918864 • Apartado 17-91-2759 • mail: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de septiembre de 2017

Nº. IR17-745

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-227

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 0492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Agua residual

Fecha de recolección: 2017-08-29

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Liege refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 745

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-08-29

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amoníaco	mg/L	24,2	30/08/2017	Resolvi, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	626	30/08/2017	APHA 520 D
Fosfatos (PO ₄)	mg/L	15,6	30/08/2017	APHA 4500 - P - C, Colorimétrica
Fósforo total (P)	mg/L	8	30/08/2017	APHA 4500 - P - C, Colorimétrica
Nitritos (NO ₂)	mg/L	23,6	30/08/2017	Colorimétrico
Nitros (NO ₃)	mg/L	0,8	30/08/2017	APHA 4500 - NO ₃ - B, Colorimétrica

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETHI - A ENSAYO


Realizado por: Quim César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO




Firmado por: Ing. María Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Dávalos Ricuarte" • Calle Ladrón de Gaviero • 11-253
 Tel: (+593-2) 2976380 / 3530780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 9038964 • Apartado 11-01-2159 • e-mail: cicam@epn.edu.ec
 Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de septiembre de 2017

Nº. IR17-746

DATOS DE CLIENTE

tel. ST17-227

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMIN

Atención:

Teléfono: 492233

Dirección: El Cordado

Origen: libro 2

Identificación de la muestra: ninguna

Tipo de muestra: agua residual

Fecha de recolección: 2017-08-29

Tipo de empaque: plástico

Responsable de toma de muestra: Cliente

Llegó refrigerado: no

Se utilizó preservante: no

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-746

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-08-29

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	0,7	30/08/2017	Nessler, Espectrofotómetro
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	110	30/08/2017	APHA 5228 D
Fosfatos (PO ₄)	mg/L	1	30/08/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	1,6	30/08/2017	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
Nitratos (NO ₃)	mg/L	7,5	30/08/2017	Colorimétrica
Nitritos (NO ₂)	mg/L	<0,01	30/08/2017	APHA 4500 - NO ₂ -B. Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yamboy
 RESPONSABLE TÉCNICO



Realizado por: Ing. Martín Diedo
 DIRECTOR DE CALIDAD (R)



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 15 de septiembre de 2017

No. IR17-751

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-227

Solicitado por: JAIRIELA GUACHIAMIN

Teléfono: 2492233

Atención:

Dirección: Condado

Identificación de la muestra: agua

Fecha de recolección: 2017-09-01

Responsable de toma de muestra: cliente

Origen: Filtro 1

Tipo de muestra: Agua residual

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerado: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: 4-751

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-09-01

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amoníaco	mg/L	1,7	2017-09-01	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	105	2017-09-01	APHA 520 D
Fosfatos (PO4)	mg/L	9	2017-09-01	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	4,4	2017-09-01	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Nitratos (NO3)	mg/L	3,4	2017-09-01	Colorimétrico
Nitritos (NO2)	mg/L	<0,03	2017-09-01	APHA 4500 - NO2 B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yanbo
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Marín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rabín Ordoñez Ricuarte" • Calle Ladrón de Guevara • E 11-255
Tel: (+593-2) 2976109 / 2938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 2938884 • Apartado 17-01-2759 • email: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de septiembre de 2017

No. IR17-759

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-234

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 2492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Agua residual

Fecha de recolección: 2017-09-05

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerado: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 759

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-09-05

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	26,0	2017-09-06	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	696	2017-09-06	APHA 520 D
Fosfatos (PO4)	mg/L	29,4	2017-09-06	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	9,8	2017-09-06	APHA 4500 - P. C. Colorimétrico
Nitrato (NO3)	mg/L	<3	2017-09-06	Colorimétrico
Nitrito (NO2)	mg/L	<0,03	2017-09-06	APHA 4500 - NO2 - B. Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Robles Orcellano Ricuarte" • Calle Ladrón de Guevara • 11-053
 Tel: (+593-3) 2916188 / 3638780 Ext: 2151 • Línea Directa: (+593-3) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • mail: vicar@epn.edu.ec
 Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de septiembre de 2017

Nº: IR17-760

DATOS DE CLIENTE

Ref: ST17-234

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 3492253

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: filtro 2

Fecha de recolección: 2017-09-05

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerado: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 760

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-09-05

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	1,4	2017-09-06	Resión, Espectro Escanométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	143	2017-09-04	APHA 520 D
Fosfatos (PO4)	mg/L	4,2	2017-09-06	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	3,4	2017-09-06	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Nitrato (NO3)	mg/L	4,5	2017-09-06	Colorimétrico
Nitrito (NO2)	mg/L	0,73	2017-09-06	APHA 4500 - NO2 - B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yambay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Ortolina Ríos" • Calle Ladrón de Gueco • E 11-253
 Tel.: (+591-2) 2976007 / 2976798 Ext.: 2011 • Línea directa: (+591-2) 3928864 • Apartado: 17-40-2750 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
 Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de septiembre de 2017

No. JR17-767

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-238

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 2492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: Filtro 1

Fecha de recolección: 2017-09-08

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerado: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 767

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-09-08

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	3,7	2017-09-08	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	89	2017-09-08	APHA 520 D
Fósforo (PO4)	mg/L	14,4	2017-09-08	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	5,6	2017-09-08	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Nitrato (NO3)	mg/L	2,9	2017-09-08	Colorimétrico
Nitrito (NO2)	mg/L	0,04	2017-09-08	APHA 4500 - NO2 - B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yanbay
 RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
 DIRECTOR DE CALIDAD (E)



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Robín Ordoñez Ricarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
 Tel.: (+593-2) 2976200 | Fax: (+593-2) 2151 • Línea directa: (+593-2) 3918864 • Apartado 17-01-2159 • E-mail: cicam@epn.gob.ec
 Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 28 de septiembre de 2017

No. IR17-768

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-239

Solicitado por: GRISELDA GUACHAMÍN

Teléfono: 2492233

Atención:

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguno

Origen: Agua residual

Fecha de recolección: 2017-09-12

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M 68

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-09-12

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amoníaco	mg/L	21,6	2017-09-12	Nesin, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	638	2017-09-12	APHA 520 D
Fosfatos (PO4)	mg/L	20,8	2017-09-12	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	10,8	2017-09-12	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Nitratos (NO3)	mg/L	<8,2	2017-09-13	Colorimétrico
Nitritos (NO2)	mg/L	0,34	2017-09-13	APHA 4500 - NO2 B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quirce César Yañez
 RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ome
 DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orfano Rosarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel: (+593-2) 2976300 • Fax: (+593) 2131 • Línea directa: (+593-2) 293886 • Apartado 17-01-3718 • Email: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 28 de septiembre de 2017

Na.IR17-769

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-239

Solicitado por: GRIEIA GUACHAMÍN

Teléfono: 2492233

Atención:

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: 611-011

Origen: filtro 2

Fecha de recolección: 20-09-12

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Clonite

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-09

Fecha de ingreso al Laboratorio: 20-09-12

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	0,6	2017-09-12	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	119	2017-09-12	APHA 520 D
Fosfatos (PO ₄)	mg/L	12,2	2017-09-12	APHA 4500 - P - C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	9,0	2017-09-12	APHA 4500 - P - C, Colorimétrico
Nitritos (NO ₂)	mg/L	4,2	2017-09-13	Colorimétrico
Nitros (NO ₃)	mg/L	<0,03	2017-09-13	APHA 4500 - NO ₃ -B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yanbay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. María Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E.)



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricuarte" • Calle Ladrón de Guevara E. 11-233
 Tel: (+593-2) 2976380 / 2976381 / 2976382 / 2976383 / 2976384 • Línea directa: (+593-2) 2938864 • Aparado 17-61-2719 • E-mail: cicamcpn@epn.edu.ec
 Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 28 de septiembre de 2017

Nº: IR17-774

DATOS DE CLIENTE

Ref: ST17-242

Solicitado por: GRISELDA GUACHAMÍN

Teléfono: 2492233

Atención:

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: sin marca

Origen: filtro

Fecha de recolección: 20-09-15

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M-774

Fecha de ingreso al Laboratorio: 20-09-15

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	3,4	2017-09-15	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	73	2017-09-15	APHA 520 D
Fosfato (PO4)	mg/L	10	2017-09-15	APHA 4500 - P - C, Colorimétrica
Fósforo total (P)	mg/L	5,8	2017-09-15	APHA 4500 - P - C, Colorimétrica
Nitrato (NO3)	mg/L	3,4	2017-09-15	Colorimétrico
Nitrito (NO2)	mg/L	<0,03	2017-09-15	APHA 4500 - NO2 - B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quim. César Yanbay
 RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
 DIRECTOR DE CALIDAD (E)



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricuarte" • Calle Ladrón de Gerván E 11-253
Tel: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apertado: 17-01-2799 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 17 de octubre de 2017

No. JR17-788

DATOS DE CLIENTE

Ref. ST17-250

Solicitado por: GABRIELA GUACHAMÍN

Atención:

Teléfono: 2492233

Dirección: El Condado

Identificación de la muestra: ninguna

Origen: filtro 2

Fecha de recolección: 2017-09-19

Tipo de muestra: Agua residual

Responsable de toma de muestra: Cliente

Tipo de envase: Plástico

Llegó refrigerada: No

Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: M- 788

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2017-09-19

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
Amonio	mg/L	0,5	2017-09-19	Nessler, Espectrofotométrico
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	55	2017-09-19	APHA 5220 D
Fosfatos (PO4)	mg/L	5,2	2017-09-19	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Fósforo total (P)	mg/L	2,0	2017-09-01	APHA 4500 - P C, Colorimétrico
Nitratos (NO3)	mg/L	5,4	2017-09-19	Colorimétrico
Nitritos (NO2)	mg/L	<0,03	2017-09-19	APHA 4500 - NO2- B, Colorimétrico

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

Realizado por: Quím. César Yanbay
RESPONSABLE TÉCNICO



Revisado por: Ing. Martín Ortiz
DIRECTOR DE CALIDAD (E)

ANEXO No 3: ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

ANEXO 3.1 CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN EN ENCUENTROS EPN



LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Confiere el presente certificado a:

Gabriela Alejandra Guachamín Celi

Por su participación como expositor/a en la

"EXPOSICIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIANTES DE LA ESCUELA
POLITÉCNICA NACIONAL"

realizada en ENCUENTROS EPN, evento desarrollado en el marco de HÁBITAT III del 17 al 21 de
octubre, con una duración de 40 horas.

DM, Quito, 21 de octubre de 2016



Ing. Jaime Calderón Segovia
RECTOR
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



Florinella Muñoz Ph.D.
COORDINADORA GENERAL
ENCUENTROS EPN 2016

ANEXO 3.2 III PREMIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS UC3M

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid
Vicerrectorado de Relaciones
Internacionales y Cooperación

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ECUADOR**

Estimados Señores y Estimadas Señoras,

En nombre de la Universidad Carlos III de Madrid, me complace informarles que la Sra. Gabriela Alejandra Guachamin Celi, de nacionalidad ecuatoriana, con número de pasaporte 1725861890, ha sido la ganadora del III Premio Internacional de Tecnologías Apropriadadas de la UC3M.

El premio tiene como objetivo apoyar y difundir propuestas tecnológicas innovadoras (ideas, diseños y/o prototipos) que surjan de los centros de formación de países en desarrollo y busquen mejorar el acceso a servicios básicos de los habitantes de las zonas más empobrecidas del planeta. La propuesta de la Sra. Guachamin Celi, estudiante en la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, es una propuesta de saneamiento descentralizado en base a humedales construidos utilizando especies tropicales (Género: Heliconia), aplicable a zonas rurales y periurbanas de la provincia de Manabí – Ecuador afectadas por el terremoto (16-04-2016).

La UC3M invita, por tanto, a la Sra. Guachamin Celi a realizar una estancia en el Laboratorio de Tecnologías Apropriadadas (LTA) de esta universidad para desarrollar una propuesta de colaboración tecnológica por un periodo de entre 2 y 3 meses comprendidos entre septiembre y diciembre de 2017.

Y para que así conste, firma la presente en Getafe, a 3 de agosto de 2017.



Silvia Gallart Parramon
Directora del Servicio de Relaciones Internacionales y Cooperación

ANEXO 3.3 AFICHE DE DIVULGACIÓN DE LA CONFERENCIA: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE *HELICONIA STRICTA* EN LA ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NITRÓGENO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.



Conferencia:

**ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE
HELICONIA STRICTA EN LA
ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA
Y NITRÓGENO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS UTILIZANDO HUMEDALES
CONSTRUIDOS**

Fecha: 25 de enero de 2018

Hora: 11h00

**Lugar: Aula 213 | Segundo piso | Edificio de Aulas
y Relación con el Medio Externo EARME (CEC-EPN)**

Expositora: Gabriela Guachamín | Tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental y ganadora del "III Premio de Tecnologías Apropriadas de la Universidad Carlos III de Madrid", quien realizó una estancia de investigación en la misma universidad en Madrid, España.

ANEXO 3.4 FOTOGRAFÍA DEL LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS – UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



ANEXO 3.5 FOTOGRAFÍA CONFERENCIA “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE *HELICONIA STRICTA* EN LA ELIMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NITRÓGENO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS” EN LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

