



Universidad Simón Bolívar
Decanato de estudios de Postgrado
Coordinación de Biología

PROPUESTA DE TRABAJO DE GRADO

TITULO AL QUE ASPIRA: MAGISTER EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

TITULO TENTATIVO: EVALUACION DE *Canna sp.* y *Heliconia sp.* PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS MEDIANTE UN HUMEDAL ARTIFICIAL A ESCALA PILOTO.

RESUMEN: Es ampliamente aceptado que los humedales artificiales pueden ofrecer ventajas significativas frente a sistemas convencionales para el tratamiento de aguas servidas y efluentes industriales en países en desarrollo donde es difícil cubrir los costos de mantenimiento y no existen limitaciones importantes de espacio. En el presente proyecto se evaluará el funcionamiento de un humedal artificial de flujo subsuperficial a escala piloto empleando *Canna sp.* y *Heliconia sp.* para el tratamiento de aguas residuales domésticas bajo las condiciones climáticas prevalecientes en la USB. El proyecto está concebido en tres etapas. La primera etapa consiste en la evaluación del “estado del arte” de los sistemas de flujo subsuperficial que utilizan macrófitas emergentes. Esto permitirá identificar las condiciones de diseño de un humedal a escala piloto en terrenos de la USB. La segunda etapa consiste en la identificación de las condiciones óptimas de aclimatación de las especies vegetales a las características del agua residual doméstica. La tercera etapa consiste en la puesta en marcha de la planta piloto, la selección de las condiciones más apropiadas de trasplante al humedal y la evaluación preliminar de la eficiencia del sistema en la remoción de la carga orgánica de un efluente doméstico real. Las variables a ser medidas serán SST, DBO₅, DQO, N_{total}, P_{total}, CT y CF. Considerando la escasa experiencia en el país en el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, así como la necesidad de evaluación del potencial del uso de plantas ornamentales, se espera contribuir al conocimiento en el manejo y funcionamiento de estos sistemas de tratamiento bajo condiciones tropicales.

FECHA APROXIMADA DE CULMINACIÓN: Junio, 2011.

Posible Prof. Asesor
MSc. Fernando Morales
Dpto. Procesos y Sistemas

Estudiante
Ing. Romina Fuentes
Cód:08-86625

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2. ANTECEDENTES.....	8
3. JUSTIFICACION.....	13
4. OBJETIVOS.....	15
4.1 Objetivo General.....	15
4.2 Objetivos Específicos.....	15
5. METODOLOGIA.....	16
6. CRONOGRAMA TENTATIVO DE ACTIVIDADES.....	25
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	26

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Metodología general de trabajo para el tratamiento de aguas residuales domésticas en un sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial empleando <i>Canna sp.</i> y <i>Heliconia sp.</i>	16
Figura 2. Ubicación Planta Piloto de Humedales Artificiales-USB.....	18
Figura 3. Diseño Planta piloto de Humedales Artificiales-USB.....	19
Figura 4. Detalles de la planta piloto de Humedales Artificiales.....	20
Figura 5. Estructura típica de un Humedal Artificial de Flujo Subsoperficial.....	21

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Vegetación empleada en sistemas de Humedales Artificiales establecidos en Centroamérica y Suramérica.....	9
Tabla 2. Población beneficiada en Sistemas de Humedales Artificiales en Centroamérica.....	10
Tabla 3. Eficiencias de remoción (%) de SST, DQO, N _{total} y P _{total} obtenidas por Konnerup, D. <i>et al.</i> , 2009.....	12
Tabla 4. Eficiencias de remoción (%) obtenidas por Zurita, F. <i>et al.</i> , 2009.....	12
Tabla 5. Parámetros de diseño seleccionados para el humedal artificial de flujo subsuperficial.....	22
Tabla 6. Diseño experimental para la evaluación de <i>Canna sp.</i> y <i>Heliconia sp.</i> en el tratamiento de aguas residuales domésticas en un sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial a escala piloto.....	23

ABREVIATURAS

ARD:AP= Mezcla de Agua Residual Doméstica y Agua Potable

CT= Coliformes Totales

CF= Coliformes Fecales

DBO₅= Demanda Bioquímica de oxígeno

DQO= Demanda Química de oxígeno

EF= Estreptococos Fecales

HFS= Humedal de flujo superficial

HFSS= Humedal de flujo subsuperficial

HFSSH= Humedal de flujo subsuperficial horizontal

HFSSV= Humedal de flujo subsuperficial vertical

L:A= Relación largo, ancho

NMP= Número Más Probable

N_{total}= Nitrógeno total

N-NH₄⁺= Nitrógeno amoniacal

N-NO₃⁻= Nitrato

OD= Oxígeno disuelto

P_{total} = Fósforo total

SST= Sólidos suspendidos totales

TRH= Tiempo de retención hidráulica

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial debido a su incidencia directa sobre la salud humana, especialmente sobre las tasas de morbilidad y mortalidad infantil así como por su efecto sobre el medio ambiente al contaminar los depósitos naturales que serán empleados como fuentes de abastecimiento para plantas de potabilización y demás actividades humanas. La principal limitación en la construcción de sistemas de tratamiento en poblaciones pequeñas está dada por factores económicos debido a la elevada inversión requerida para la adecuación de redes de alcantarillado y sistemas de tratamiento. Por esta razón en muchas situaciones las aguas residuales son vertidas directamente al medio ambiente sin tratamiento alguno a pesar del conocimiento de los problemas ya mencionados (WSP-LAC, 2006; Trang, N. *et al.*, 2010).

En este aspecto, los humedales artificiales son sistemas de tratamiento caracterizados principalmente por su gran eficiencia en la depuración de aguas residuales, simplicidad de operación, bajo costo energético, baja producción de residuos, no requieren de la adición de reactivos químicos y de energía para airear el agua o recircularla, su mantenimiento es relativamente fácil y económico y tienen buena integración al medio ambiente (Lara, J., 1999; García, J. *et al.*, 2008; Ascuntar, D. *et al.*, 2009; Konnerup, D. *et al.*, 2009; Zurita, F. *et al.*, 2009; Trang, N. *et al.*, 2010). Todo esto representa ventajas significativas respecto a los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales y ha hecho que su implementación se haya extendido a nivel mundial. Sin embargo, en Venezuela han sido escasos los trabajos reportados respecto al tema, entre los que se incluyen principalmente las investigaciones realizadas en la Universidad del Zulia (LUZ) por Núñez, M. *et al.* en el 2006 y Vera, A. *et al.* en el 2007; en el contexto propio del distrito capital y su área metropolitana aun no se encuentran reportes de investigaciones realizadas siendo desaprovechadas las bondades de esta tecnología en la solución de problemas de nuestra localidad.

Adicionalmente, varios estudios han demostrado la importancia de la vegetación en el funcionamiento de estos sistemas de tratamiento empleando generalmente especies propias de climas templados, entre las que se encuentran principalmente *Phragmites sp.*

y *Typha sp.* (Brix, H., 1994; Aguirre, P. 2004; Bécares, E. 2004; Morató *et al.*, 2004; Ciria, M. *et al.*, 2005; Nuñez, M. *et al.*, 2006; Vera, A. *et al.*, 2007; Tapia, F. *et al.*, 2009). Sin embargo, pocos trabajos han evaluado el potencial de las especies ornamentales bajo condiciones tropicales, lo que podría agregar ciertas ventajas estéticas al sistema de tratamiento de humedales artificiales respecto a su integración al paisaje así como ventajas económicas dadas por el aprovechamiento comercial de las plantas (Brix, H. *et al.*, 2007; Trang, N. *et al.*, 2010; Konnerup, D. *et al.*, 2009; Zurita, F. *et al.*, 2009).

2. ANTECEDENTES

El concepto de Humedales Artificiales fue desarrollado en 1960 por Kathe Seidel. Su uso para el tratamiento de aguas residuales ha tomado gran auge desde 1990 (Sundaravadivel, M., 2001) y la construcción de humedales tanto de flujo horizontal como de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales domésticas ha ido incrementándose a nivel mundial (Vymazal, J., 2002, 2005; Senzia, M. *et al.*, 2003; Liu, W. *et al.*, 2005). En Estados Unidos existen alrededor de 8000 instalaciones, mientras que en Alemania son aproximadamente 50.000 (Vymazal, J., 2005). Tanto en Estados Unidos como en Europa, la mayoría de los sistemas operan con flujo subsuperficial (Vymazal, J., 2005). A nivel de Centroamérica y Suramérica estos sistemas han ido estableciéndose en Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Honduras, Jamaica, Nicaragua y Uruguay (Vymazal, J., 2008).

Los sistemas de humedales artificiales se han catalogado como sistemas efectivos para el tratamiento de aguas residuales, que pueden ser ampliamente usados en ciudades en desarrollo debido a la sencillez en su operación y mantenimiento y a sus bajos costos operacionales (Lara, J., 1999; García, J. *et al.*, 2008; Ascuntar, D. *et al.*, 2009; Konnerup, D. *et al.*, 2009; Zurita, F. *et al.*, 2009; Trang, N. *et al.*, 2010). En la mayoría de los casos, los humedales son construidos con materiales locales con el objeto de reducir significativamente sus costos de construcción (Zurita, F. *et al.*, 2009). Adicionalmente, estos sistemas de tratamiento son buenos no solo en la remoción de patógenos y nutrientes sino también en la remoción de metales tóxicos y contaminantes orgánicos (Miranda, 2000; Belmont, M. *et al.*, 2006; Ascuntar, D. *et al.*, 2009; Trang, N. *et al.*, 2010). Respecto a los parámetros de diseño para un HFSSH, Aguirre en el 2004, indica que la eliminación de la materia orgánica depende de la carga orgánica aplicada y de la profundidad del humedal, recomendando que la carga no supere los 4 y 6 g DBO₅/m² para profundidades de 50-60 y 30 cm, respectivamente. Adicionalmente encontró que los humedales de 30 cm de profundidad son más eficientes que aquellos de 50 cm. Por su parte, Morató *et al.* en sus evaluaciones reportadas en el 2004 respecto a la eliminación de microorganismos, sugieren que la grava granítica fina al ser un material granular de poco diámetro, proporciona una mayor área superficial que facilita la adsorción y por tanto una mayor remoción. Además sugieren que dicha

remoción es dependiente del TRH más que de la profundidad del humedal. Tapia, F. *et al.* en el 2009, indican que la eficiencia del sistema mejora significativamente con el aumento del tiempo de retención, siendo mejor las tasas encontradas para un TRH de 3 días con rangos de 64-78% para SST, 57-74% para DBO₅, 52-78% para DQO, 57-79% para N_{total}, 63-75% para N-NH⁴, 70-81% para N-NO³, 0-28% para P_{total} y 3,3-4,2 unidades logarítmicas para CT.

Un estudio realizado por Brix, H. en 1994(a) respecto al papel de las macrófitas en los humedales artificiales, considera que estas poseen diversas propiedades que actúan de forma benéfica en los procesos de tratamiento, convirtiéndolas en un componente indispensable de los mismos. Los efectos más importantes están dados por el efecto de filtración, provisión de área superficial para la adhesión de los microorganismos, asimilación de nutrientes y liberación de oxígeno desde sus raíces. Adicionalmente, las macrófitas poseen otras características valiosas tales como proveer al sistema de tratamiento una apariencia estética y un hábitat adecuado para la vida silvestre.

La mayoría de las investigaciones sobre el funcionamiento de los humedales artificiales han sido realizadas en países de clima frío y clima templado siendo los géneros más empleados *Typha sp.*, *Phragmites sp.*, *Juncus sp.* y *Scirpus sp.*, entre otros. En el caso específico de Centroamérica y Suramérica además de estos géneros, se han usado plantas tropicales propias de la zona (Vymazal, J. *et al.*, 2008), tal como se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Vegetación empleada en sistemas de Humedales Artificiales establecidos en Centroamérica y Suramérica

País	Vegetación
Brasil	<i>Oryza sativa</i> y <i>Zizaniopsis bonariensis</i>
Colombia* ¹	<i>Typha angustifolia</i> , <i>Musa velutina</i> , <i>Alocasia macrorrhiza</i> , <i>Scirpus holoschoenus</i> , <i>Typha latifolia</i>
Costa Rica	<i>Coix lacryma-jobi</i>
Ecuador	<i>Echinochloa polystachia</i> , <i>Panicum maximum</i>
El Salvador	<i>Pennisetum purpureum</i>

Honduras	<i>Zea mays</i>
Jamaica	<i>Gynerium sagittatum</i>
Nicaragua	<i>Cyperus articulatus</i> , <i>Pennisetum purpureum</i> , <i>Pharalis arundinacea</i> , <i>Phragmites australis</i> y <i>Typha dominguensis</i>
Uruguay	<i>Typha dominguensis</i>
Venezuela* ²	<i>Typha dominguensis</i> y <i>Paspalum virgatum</i>

*1Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento (GUIAS). 2010.

*² Nuñez, M. *et al.*, 2006; Vera, A. *et al.*, 2007.

Fuente: Modificado de Vymazal, J. *et al.*, 2008.

En El Salvador, Honduras y Nicaragua, el programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial, Región América Latina y El Caribe (WSP-LAC), la Cooperación Austriaca para el Desarrollo (CAD) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) han implementado HFSSH para el tratamiento de las aguas residuales en pequeñas localidades. En el caso específico de Nicaragua se obtuvieron eficiencias de remoción de SST, DBO₅, DQO, N_{total}, P_{total}, *E. coli* y Helmintos de 97,2%, 97,4%, 94,5%, 34,5%, 26,6%, 99,52% y 100 % respectivamente, permitiendo el reuso del agua para el riego de cultivos agrícolas (WSP-LAC, 2006). Resultados similares han sido obtenidos en 7 sistemas adicionales establecidos en estos países con poblaciones beneficiadas desde 450 hasta 8752 habitantes. En la tabla 2 se muestra la población beneficiada en cada caso.

Tabla 2. Población beneficiada en Sistemas de Humedales Artificiales en Centroamérica

Planta de tratamiento	Ubicación	Población beneficiada
Salinas Grandes	León, Nicaragua	300
Residencial Millenium	Managua, Nicaragua	450
San José Las Flores	Chalatenango, El Salvador	1365
Masatepe	Masaya, Nicaragua	2200
Reparto La Provincia	León, Nicaragua	2782
Teupasenti	Danlí, Honduras	2812
Chichigalpa	Chinandega, Nicaragua	8752

Fuente: WSP-LAC, 2006.

Respecto al uso de plantas ornamentales, aun son pocos los trabajos reportados a nivel mundial. La especie tropical y subtropical *Canna indica* Linn. ha sido empleada por Fu, C. *et al.*, 2005; Wu, J. *et al.*, 2006a; Wu, J. *et al.*, 2006b; Calheiros, C.S.C. *et al.*, 2007 y Zhang, Z. *et al.*, 2007 para mejorar la calidad de lagos y ríos contaminados con aguas residuales domésticas siendo destacado en todos los trabajos la alta eficiencia de esta planta en la remoción de nutrientes y el aporte de su valor estético en la aceptación del sistema de tratamiento.

En el 2005, se construyeron en Tailandia tres sistemas de Humedales Artificiales, luego de la destrucción ocasionada por el Tsunami. El diseño de estos sistemas se caracterizó por el uso de Cannas y Heliconias con el objeto de dar a las plantas de tratamiento una apariencia más estética debido a los requerimientos de la actividad turística de la zona (Brix, H., *et al.*, 2007).

En el 2009 Konnerup, D. *et al.* evaluaron el potencial de *Canna x generalis* L. Bailey y *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. Spathocircinata* (Aristeguieta) en un HFSSH bajo condiciones tropicales para el tratamiento de aguas residuales domésticas, sugiriendo que su uso puede ser aprovechado para proporcionar una apariencia estética al sistema de humedales y así mejorar la aceptación del público en climas tropicales. De acuerdo a este estudio, se recomienda el empleo de *Canna* en el sistema de humedales artificiales debido a su mayor tasa de crecimiento y por tanto su mayor eficiencia en remoción, aunque las Heliconias tienen el potencial económico de la comercialización de sus flores. En este trabajo se evaluaron cargas hidráulicas entre 55, 110, 220 y 440 mm/d, y se registraron tasas de remoción de SST bastante altas con eficiencias entre 87- 97%, sin observarse un efecto por el tipo de vegetación empleada; la remoción de DQO varió entre 41 y 80% dependiendo de las tasas de carga y tampoco se observó efecto por la especie vegetal. Las remociones de nitrógeno y fósforo fueron bajas comparadas con las tasas de carga, aunque la remoción de N_{total} fue mayor en los lechos plantados con *Canna* debido a su mayor tasa de crecimiento (3100 ± 470 g peso seco/m².año) comparada con *Heliconia* (550 ± 90 g peso seco/ m².año). En la tabla 3 se muestran las eficiencias de remoción obtenidas en esta investigación.

Tabla 3. Eficiencias de remoción (%) de SST, DQO, N_{total} y P_{total} obtenidas por Konnerup, D. *et al.*, 2009

CH ^a	55 mmd ⁻¹		110 mmd ⁻¹		220 mmd ⁻¹		440 mmd ⁻¹	
	<i>Canna</i>	<i>Heliconia</i>	<i>Canna</i>	<i>Heliconia</i>	<i>Canna</i>	<i>Heliconia</i>	<i>Canna</i>	<i>Heliconia</i>
SST	96±2	97±1	95±3	95±3	93±2	92±1	88±2	88±2
DQO	83±6	79±6	73±9	72±7	59±14	58±15	42±5	42±5
N_{total}	37±6	14±8	19±5	11±4	13±4	6±3	6±1	4±2
P_{total}	35±9	13±9	23±4	7±4	12±3	6±5	10±5	6±4

^aTasa de carga hidráulica

Fuente: Konnerup, D. *et al.*, 2009.

En ese mismo año Zurita, F. *et al.* (2009), evaluaron el uso de cuatro especies ornamentales de valor comercial, *Zantedeschia aethiopica*, *Strelitzia reginae*, *Anturium andreanum* y *Agapanthus africanus* en HFSSH y HFSSV, para el tratamiento de aguas residuales domésticas, reportando eficiencias de remoción de DBO₅, DQO, SST, N_{total} , N-orgánico, $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, P_{total} y CT comparables a las eficiencias obtenidas con plantas convencionales, sugiriendo que es posible producir flores comerciales en humedales artificiales sin reducir la eficiencia del sistema de tratamiento. En la tabla 4 se muestran los porcentajes de remoción obtenidos tanto para los HFSSH como para los HFSSV evaluados con una especie vegetal y con tres especies.

Tabla 4. Eficiencias de remoción (%) obtenidas por Zurita, F. *et al.*, 2009

	HFSSH ^a	HFSSH ^b	HFSSV ^a	HFSSV ^b
DBO₅	76±2,8	79,7±2,8	80,4±2,8	83,3±2,8
DQO	75,5±2,5	77,1±2,5	77,2±2,5	83,3±2,5
SST	79,2±6,6	84,7±6,2	53,2±6,2	69,8±6,2
N_{total}	53,7±6,1	51,7±6,1	48,1±6,1	50,5±6,1
N-orgánico	39±8,8	45,8±8,8	52,9±8,8	48,2±8,8
N-NH₄⁺	48,6±1,6	45,8±1,6	72,2±1,6	72,2±1,6
N-NO₃⁻	49,3±6,7	46±6,7	-10,5±6,7	-1,6±6,7
P_{total}	44,7±3,3	35,8±3,3	49,5±3,3	50,6±3,3
CT	93,1±1,6	92,3±1,6	97±1,6	96,8±1,6

^a Plantados solo con *Z. aethiopica*

^b Plantados con las tres especies (*S. reginae*, *A. andreanum* y *A. africanus*)

Fuente: Zurita, F. *et al.*, 2009.

3. JUSTIFICACION

La necesidad de tratamiento de las aguas residuales y los elevados costos de implementación y operación de sistemas de tratamiento convencional, han conducido a la búsqueda de tecnologías alternativas que alcancen la eficiencia necesaria para mitigar el impacto a la salud humana y al medio ambiente sin requerir de una elevada inversión y altos costos de operación y mantenimiento. Diversos estudios han demostrado la efectividad de los sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales y concluyen que estos sistemas correctamente diseñados y construidos, representan una excelente alternativa para tratar aguas residuales municipales (Brix, H. 1994b; He, Q., 2002; Nitisoravut, S., 2005; Paing, J. *et al.*, 2005; Brix, H *et al.*, 2005), siendo especialmente eficaces en la disminución de SST, DBO, DQO y algunos metales e incluso una reducción de un orden de magnitud en el contenido de coliformes fecales (Miranda, 2000; Belmont, M. *et al.*, 2006; Ascuntar, D. *et al.*, 2009; Trang, N. *et al.*, 2010).

Considerando la escasa experiencia en Venezuela en el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, el desarrollo del presente proyecto está orientado a evaluar el funcionamiento de esta tecnología bajo las condiciones ambientales propias de nuestra geografía, empleando especies vegetales locales con importante valor comercial, contribuyendo a la generación de conocimiento en el manejo y funcionamiento de estos sistemas de tratamiento y su adaptación a nuestro contexto para su aplicación en el manejo de las aguas residuales.

Respecto al diseño metodológico, el uso de un humedal de Flujo subsuperficial (HFSS) ofrece ciertas ventajas frente a uno de Flujo Superficial (HFS) debido a que el agua residual nunca está expuesta a la atmósfera sino que circula de forma subterránea a través de un medio granular y en contacto con los rizomas y raíces de las plantas (García *et al.*, 2002) lo que disminuye la difusión de olores, propagación de vectores y el riesgo público por contacto directo con el agua residual, además del incremento de la actividad biológica por una mayor área superficial disponible para el tratamiento y crecimiento de las biopelículas sobre el medio poroso y las raíces de las macrófitas, que

se traduce en menores requerimientos de área para llevar a cabo el tratamiento (García *et al.*, 2002; Zúñiga, J., 2004; García, 2005).

Con relación al tipo de vegetación, en el presente proyecto se plantea la evaluación de dos especies ornamentales propias de clima tropical, establecidas a nivel local, *Canna sp.* y *Heliconia sp.*, cuyo comportamiento en el sistema de humedales artificiales ha sido evaluado por Fu, C. *et al.*, 2005; Wu, J. *et al.*, 2006a; Wu, J. *et al.*, 2006b; Calheiros, C.S.C. *et al.*, 2007; Zhang, Z. *et al.*, 2007 y Konnerup, D. *et al.* en el 2009 con resultados satisfactorios. Ambas especies, además, se encuentran establecidas en los jardines del Campus de la Universidad Simón Bolívar. El uso de este tipo de plantas en humedales construidos ofrece ventajas estéticas y económicas por la belleza de su inflorescencia, mejorando su integración con el entorno y aceptación del público así como por el potencial de comercialización de la misma, particularmente en el caso de *Heliconia sp.* catalogada como flor exótica tropical.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar el tratamiento de aguas residuales domésticas en un sistema piloto de humedal artificial de flujo subsuperficial empleando *Canna sp.* y *Heliconia sp.*

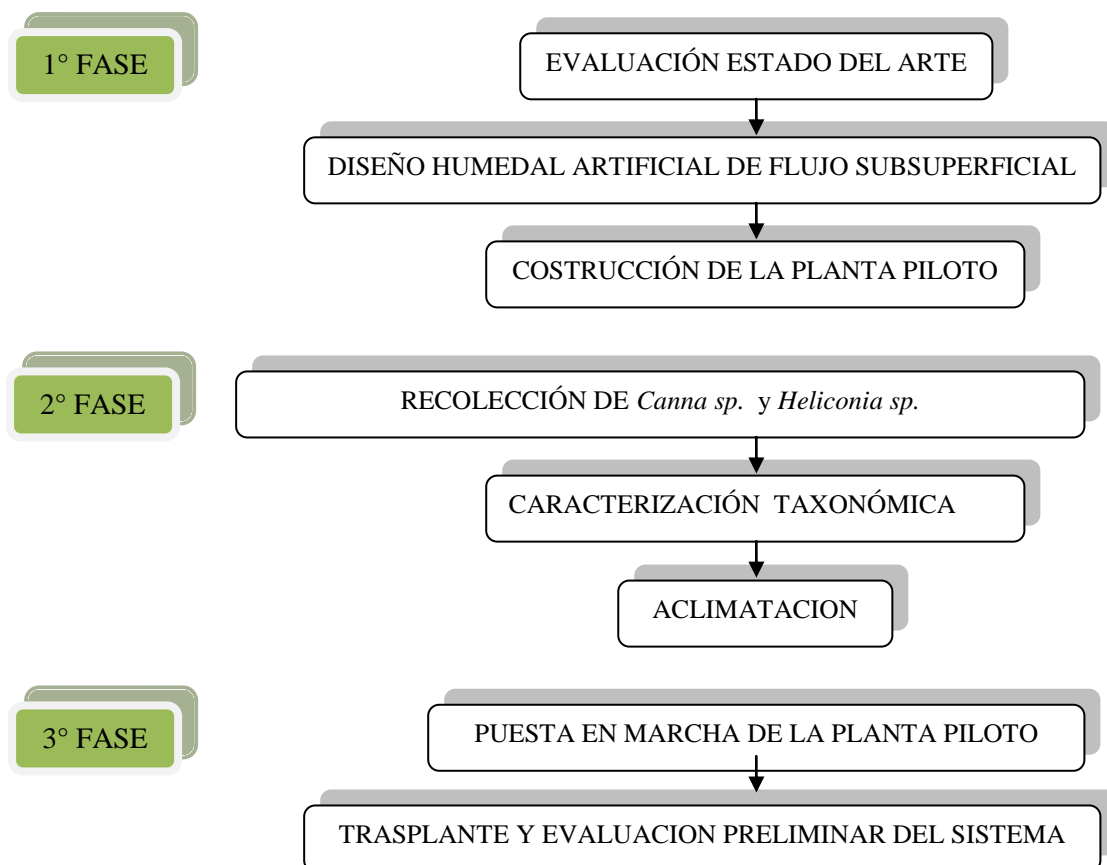
4.2 Específicos

- Seleccionar los parámetros de diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial a escala piloto para su construcción en el campus de la USB.
- Recolectar en campo, y a través de productores locales, plantas de *Canna sp.* y *Heliconia sp.*, asegurando su clasificación taxonómica.
- Reproducir en vivero plantas de *Canna sp.* y *Heliconia sp.*.
- Implementar un protocolo de aclimatación de las plantas reproducidas en vivero a las características de un efluente doméstico real.
- Poner en marcha la planta piloto, trasplantar *Canna sp.* y *Heliconia sp.* al Humedal Artificial y realizar la evaluación preliminar de la eficiencia del sistema en la remoción de SST, DBO₅, DQO, N_{total}, P_{total}, CT y CF.

5. METODOLOGIA

Para la realización de este proyecto se construirá un Humedal Artificial de flujo subsuperficial a escala piloto en la zona norte del campus de la Universidad Simón Bolívar, sede Sartenejas, junto a los terrenos concesionados al vivero “El Horticultor”. Esta construcción cuenta con la aprobación de la Dirección de Planta Física y el financiamiento de la empresa privada. El desarrollo del proyecto está concebido en tres fases tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Metodología general de trabajo para la evaluación de *Canna sp.* y *Heliconia sp.* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en un sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial a escala piloto.



1° Fase. Revisión del estado del arte y selección de parámetros de diseño del Humedal artificial de flujo subsuperficial

En la figura 2 se muestra el plano de ubicación de la planta piloto dentro del campus universitario de la USB. De acuerdo a la evaluación del estado del arte en el diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial se diseñó un sistema que incluye una (1) unidad de pretratamiento que consiste en un tanque de séptico, seguido de doce (12) humedales y una zona de vivero. El detalle del diseño se muestra en las figuras 3 y 4, y consta de las siguientes estructuras:

- **Tanquilla de recolección de aguas negras:** Permite desviar y controlar el flujo por medio de válvulas hacia la planta piloto de humedales artificiales.
- **Tanque séptico:** Unidad de pretratamiento para la remoción de sólidos suspendidos.
- **Tanque de almacenamiento:** Su función es almacenar el volumen de agua requerido para asegurar un flujo constante de entrada a los humedales todos los días.
- **Humedales:** De acuerdo a la literatura reportada respecto a parámetros de diseño de humedales, las unidades diseñadas para este estudio consisten en doce (12) celdas de concreto de 4,5 m² de área superficial, con 3 m de largo por 1,5 m de ancho y 0,60 m de profundidad, una relación L:A de 2:1, y una capa de 0,40 m de medio granular (Bernal, 2003; Caselles, 2006; EPA, 2000; García, 2005; Hidalgo *et al.*, 2005; Navarro, 2000; Sierra, 2006; WSP-LAC, 2006). Las características de diseño seleccionadas para el humedal se resumen en la tabla 5 y en la figura 5 se presenta una estructura típica de un humedal artificial de flujo subsuperficial. Cabe destacar que estas características de diseño pueden sufrir modificaciones antes de su implementación final.
- **Zona de Vivero:** En esta zona se realizará la reproducción de *Canna sp.* y *Heliconia sp.* así como la etapa de aclimatación de las plántulas. Esta zona está adaptada con tuberías para entrada de agua blanca y agua residual.
- **Tanquilla de recolección de aguas tratadas:** La finalidad de instalación de esta estructura es recolectar el agua proveniente de los humedales y el vivero.
- **Tanquilla de conexión aguas negras:** Cuya finalidad es retornar el agua tratada a la red de aguas negras de la Universidad Simón Bolívar.

Figura 2. Ubicación Planta Piloto de Humedales Artificiales-USB

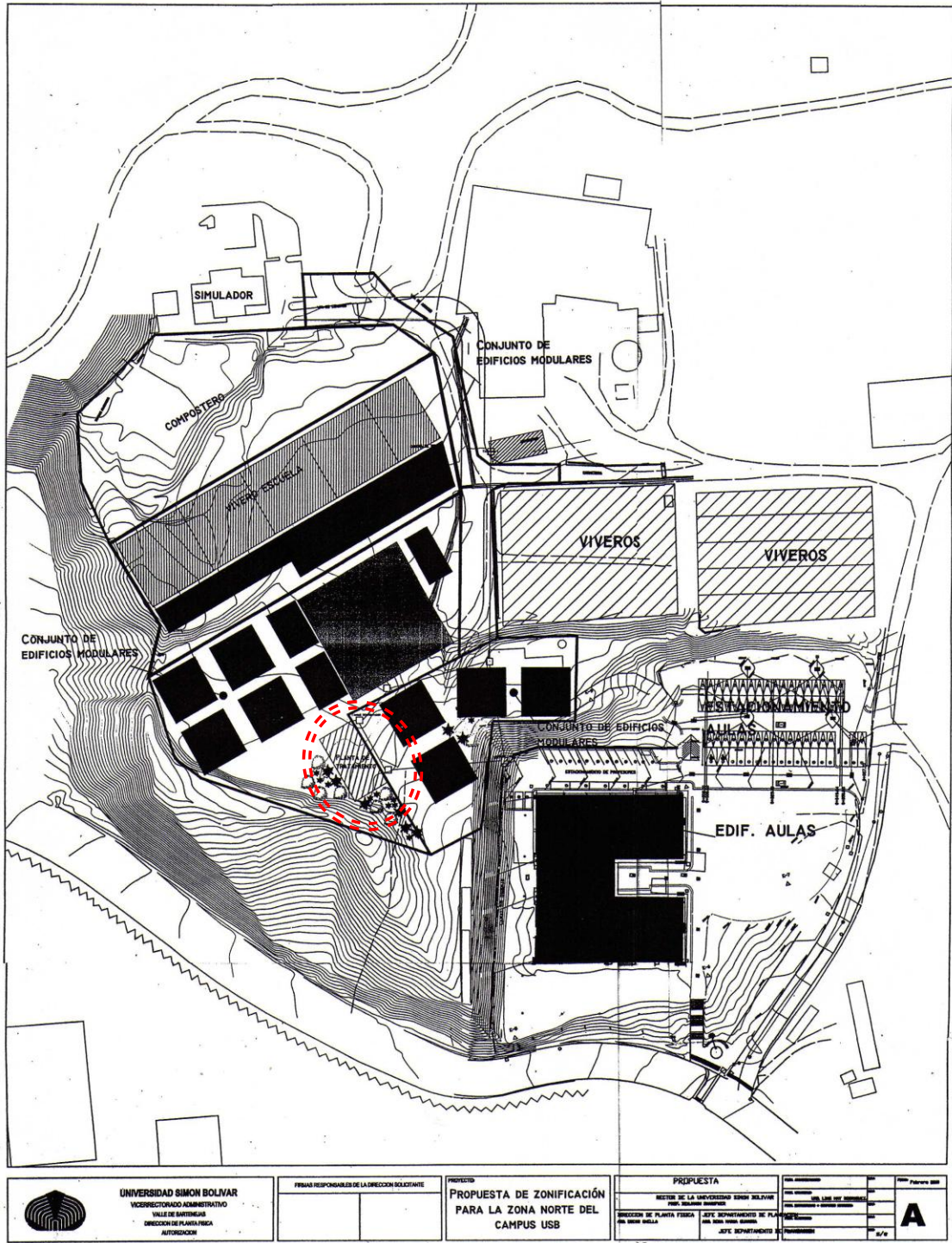




Figura 3. Diseño Planta piloto de Humedales Artificiales-USB

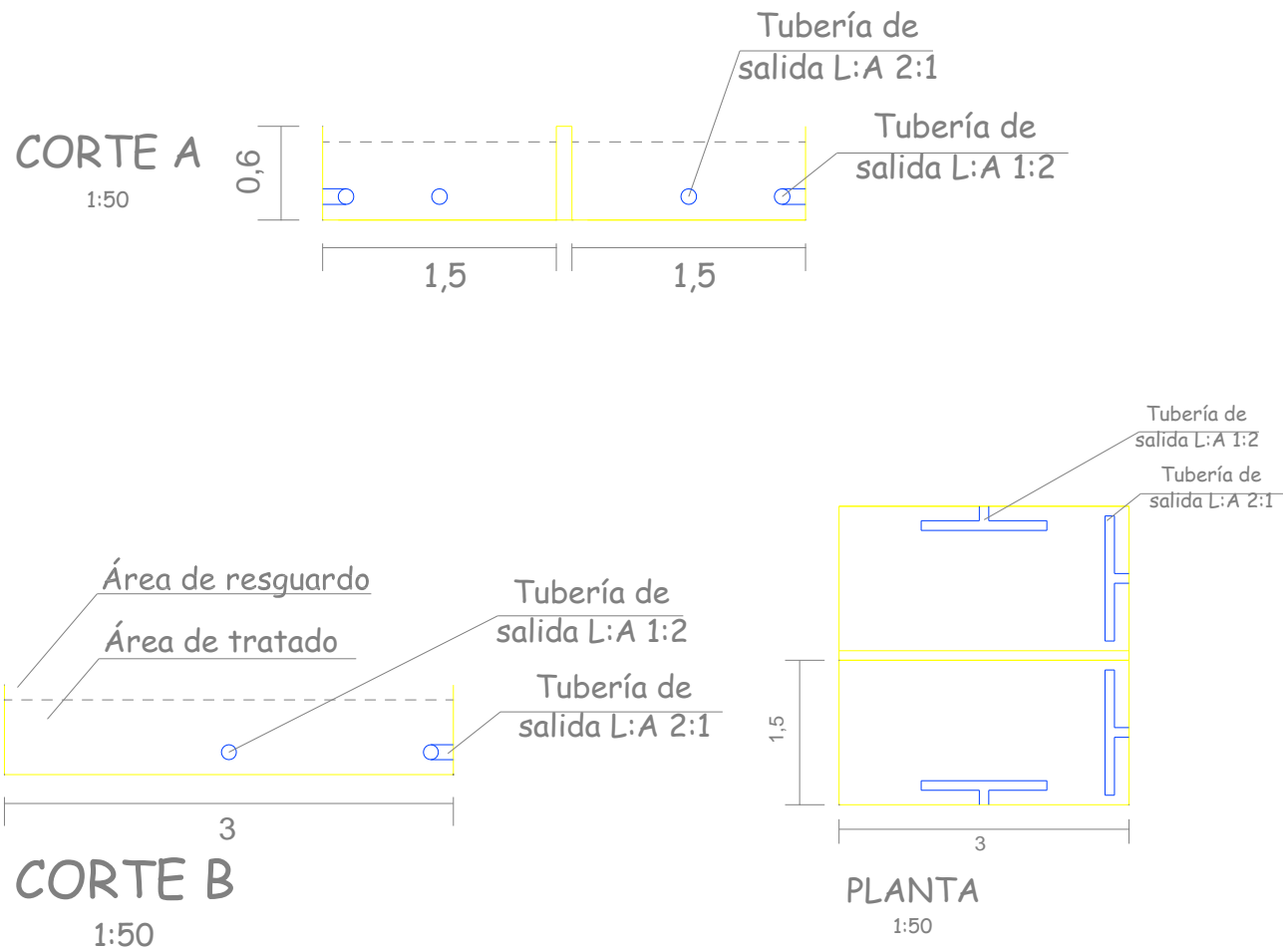


Figura 4. Detalles de la planta piloto de Humedales Artificiales

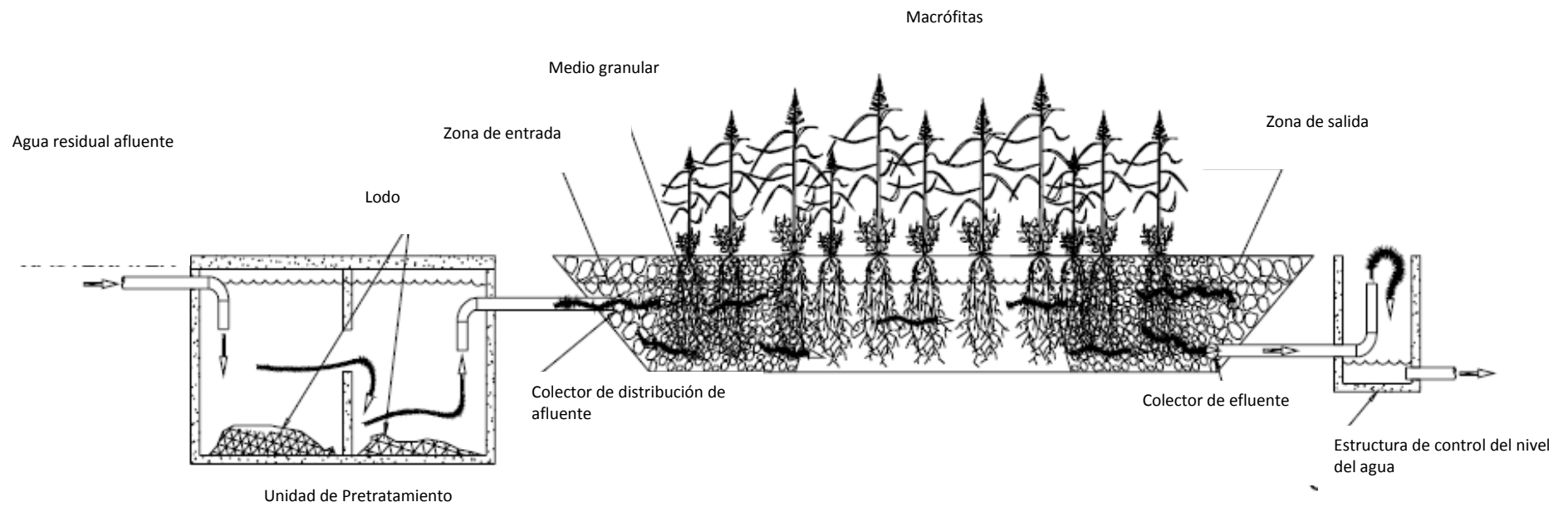


Figura 5. Estructura Típica de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial

Tabla 5. Parámetros de diseño seleccionados para el humedal artificial de flujo subsuperficial

PARAMETRO	CONDICION
Área superficial	4,5 m ²
Largo	3 m
Ancho	1,5 m
Profundidad	0,60 m
L:A	2:1
Profundidad lámina de agua	0,30 m
Material granular	Grava fina Material de relleno propio de la zona
Espesor relleno	0,40 m
TRH	3-5 días
Vegetación	<i>Canna sp.</i> y <i>Heliconia sp.</i>
Densidad de siembra	4 plantas/m ²

2° Fase. Aclimatación de *Canna sp.* y *Heliconia sp.* a las características del agua residual

Las plantas recolectadas en campo serán caracterizadas taxonómicamente con el fin de asegurar el trabajo con los géneros requeridos para el estudio. Una vez establecidas las plantas en vivero se procederá con su aclimatación a la composición del agua residual doméstica. Para ello se evaluará su sobrevivencia y crecimiento en mezclas de agua residual y agua potable (ARD:AP) hasta lograr el desarrollo en agua netamente residual. Se propone evaluar tres (3) tratamientos correspondientes a las proporciones 1:0, 1:1 y 1:4 y un (1) control sólo con agua potable, con tres réplicas (3) por tratamiento y diez (10) plantas por réplica. Quincenalmente serán evaluadas las variables crecimiento de la planta (altura del tallo, número de hojas, desarrollo radicular y coloración) y DQO (APHA, 1992) como indicativo del efecto sobre la carga orgánica del agua.

3° Fase. Puesta en marcha de la planta piloto, Trasplante de *Canna sp.* y *Heliconia sp.* al humedal artificial y Evaluación preliminar del sistema

El universo a evaluar estará constituido por las aguas residuales domésticas generadas por la actividad de 60 obreros que laboran de lunes a sábado en las instalaciones del vivero “El Horticultor”. De acuerdo al estado del arte sobre condiciones operacionales de los humedales de flujo subsuperficial se ha fijado para el presente estudio una profundidad fija de la lámina de agua de 0,30 m, densidad de siembra de 4 plantas/m² y TRH de 3-5 días. El diseño experimental contempla la evaluación de 2 especies vegetales correspondientes a *Canna sp.* y *Heliconia sp.*, un control sin vegetación y 2 tipos de medio granular correspondientes a grava fina y material de relleno propio de la zona para un total de 6 tratamientos cada uno por duplicado tal como se muestra en la tabla 6. Es común que este tipo de experimentos se realice en humedales sin réplicas debido a la escala piloto de los ensayos. Sin embargo se ha considerado conveniente tener al menos una réplica de cada experimento. La evaluación preliminar del sistema será realizada durante 6 meses, con una frecuencia de 2 veces por mes, mediante la toma de muestras a la entrada y salida de las unidades, las variables a considerar serán SST, DBO₅, DQO, N_{total}, P_{total}, las cuales serán medidas mediante métodos normalizados (APHA, 1992) y CT y CF de acuerdo al método del Número Más Probable (NMP). Adicionalmente, para el control operacional del funcionamiento de los humedales se realizará la medición de la DQO, en el afluente y efluente, al menos una vez cada 4 días.

Tabla 6. Diseño experimental para la evaluación de *Canna sp.* y *Heliconia sp.* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en un sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial a escala piloto.

Factor	Nivel	N° niveles	Tratamientos	Testigos	Experiencias
Vegetación	<i>Canna sp.</i>	3	6	2	12
	<i>Heliconia sp.</i>				
	Control				
Medio	Grava fina	2			

granular

Material de la
zona



6. CRONOGRAMA TENTATIVO DE ACTIVIDADES

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	
Revisión Bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Selección parámetros de diseño humedal artificial de flujo subsuperficial	X	X																
Recolección en campo y Caracterización taxonómica de plantas de <i>Canna sp.</i> y <i>Heliconia sp.</i>				X	X													
Reproducción de <i>Canna sp.</i> y <i>Heliconia sp.</i> bajo condiciones de vivero				X	X													
Construcción Planta piloto					X	X												
Aclimatación de plantas reproducidas en vivero a composición de agua residual doméstica						X	X	X	X									
Puesta en marcha de la planta piloto, Trasplante de <i>Canna sp.</i> y <i>Heliconia sp.</i> al humedal artificial y Evaluación preliminar del sistema										X	X	X	X	X	X			
Elaboración informe Final																X	X	X

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre, P. 2004. Mecanismos de eliminación de la materia orgánica y de los nutrientes en humedales construidos de flujo subsuperficial. En: Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos. *Una alternativa de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales*. Ediciones CPET. España. Pág. 17-29.
- APHA, AWWA, WPCF, 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas Potables y Residuales. 17th Edición. Editorial Diaz de Santos S.A. España.
- Ascuntar, D.; Toro, A.F.; Peña, M.R. y Madera, C.A. 2009. Changes of flow patterns in a horizontal subsurface flow constructed wetland treating domestic wastewater in tropical regions. *Ecological Engineering*, 35 (2):274–280.
- Bécares, E. 2004. Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y flujo superficial. En: Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos. *Una alternativa de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales*. Ediciones CPET. España. Pág. 51-62.
- Belmont, M.; Ikonou, M. y Metcalfe, C. 2006. Presence of nonylphenol ethoxylate surfactants in a watershed in central Mexico and removal from domestic sewage in a treatment wetland. *Environ. Toxicol. Chem.*, 25 (1):29–35.
- Brix, H. 1994a. Function of Macrophytes in Constructed Wetlands. *Wat. Sci. Technol.*, 29 (4):71-78.
- Brix H. 1994b. Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status, and future perspectives. *Water Sci Technol*, 30 (8):209–23.
- Brix H y Arias C. 2005. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: new Danish guidelines. *Ecol Eng*, 25 (5):491–500.
- Brix, H.; Koottatep, T. y Laugesen, C.H. 2007. Wastewater treatment in tsunami affected areas of Thailand by constructed wetlands. *Water Sci. Technol.*, 56 (3):69–74.
- Calheiros, C.S.C.; Rangel, A.O.S.S. y Castro, P.M.L. 2007. Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water Res.* 41 (8):179-1798.
- Ciria, M.; Solano, M. y Soriano, P. 2005. Role of macrophyte *Typha latifolia* in a constructed wetland for wastewater treatment and assessment of its potential as a biomass fuel. *Biosystems Engineering*, 92 (4):535-544.

Fu, C.; Tang, Y.; Zhang, Z.; Li, J.; Li, J.; Chen, S. y Guang, D. 2005. Study on the removal efficiencies of salt water by *Canna indica* Linn. in TEDA landscape river. J. Irrig. Drain., 24:70-73.

García, J., Morató, J. y Bayona, J. 2002. DEPURACION CON SISTEMAS NATURALES: HUMEDALES CONSTRUIDOS. Universidad de los Andes.

García, 2005. Diseño, Construcción y Evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial. Universidad de Los Andes, Colombia.

García J. y Corzo A. 2008. Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Universidad Politécnica de Catalunya, España.

Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento (GUIAS) 2010. Conferencia Internacional Humedales Construidos para el Tratamiento de Aguas Residuales: Transferencia de Conocimiento a Latinoamérica. Pereira, Colombia.

He, Q. y Mankin K. 2002. Performance variations of COD and nitrogen removal by vegetated submerged bed wetlands. Water Resour Assoc, 38 (6):1679–89.

Konnerup, D.; Koottatep, T. y Brix, H. 2009. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with *Canna* and *Heliconia*. Ecological Engineering, 35 (2):248-257.

Lara, J. 2009. Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Tesis de Maestría. Instituto Catalán de Tecnología, Universidad Politécnica de Catalunya, España.

Liu, W.; Dahab, M. y Surampalli, R. 2005. Nitrogen transformations modeling in subsurface-flow constructed wetlands. Water Environ. Res., 77 (3):246–258.

Miranda R., 2000. Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal de México. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Morató, J. y Delgado, S. 2004. Eliminación de microorganismos en humedales construidos. En: Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos. *Una alternativa de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales*. Ediciones CPET. España. Pág. 39-49.

Nitorisavut, S. y Klomjek, P. 2005 Inhibition kinetics of salt-affected wetland for municipal wastewater treatment. Water Res, 39 (18):4413–4419.

Núñez, M.; Dubuc, K.; Paz, J.; Saules, L.; Trujillo, A.; Cárdenas, C. y Morales, E. 2006. Remoción de materia orgánica y nutrientes utilizando dos especies de plantas emergentes. Venezuela. CIENCIA, 14 (4):506-515.

Paing, J. y Voisin, J. 2005. Vertical flow constructed wetlands for municipal wastewater and septage treatment in French rural area. Water Sci. Technol., 51 (9):145–155.

Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial, Región América Latina y el Caribe (WSP-LAC), Cooperación Austriaca para el desarrollo (CAD), Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación (COSUDE), 2006. Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Editorial AZER. Nicaragua.

Senzia, M.; Mashauri, D. y Mayo, A., 2003. Suitability of constructed wetlands and waste stabilisation ponds in wastewater treatment: nitrogen transformation and removal. Phys. Chem. Herat., 28 (20-27):1117–1124.

Sundaravadivel, M. y Vigneswaran, S. 2001. Constructed wetlands for wastewater treatment. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol., 31(4):351–409.

Tapia, F.; Giacoman, G.; Herrera, J.; Quintal, C.; García, J. y Puigagut, J. 2009. Treatment of swine wastewater with subsurface-flow constructed wetlands in Yucatán, Mexico: Influence of plant species and contact time. Water SA, 35 (3):335-342.

Trang, N.; Konnerup, D.; Schierup, H-H.; Chiem, N.; Tuan, L. y Brix, H. 2010. Kinetics of pollutant removal from domestic wastewater in a tropical horizontal subsurface flow constructed wetland system: Effects of hydraulic loading rate. Ecological Engineering, 36 (4):527–535.

Vera, A; Núñez, M.; Andrade, C. y Morales, E. 2007. Estudio de la relación entre el crecimiento de la macrófita *Typha dominguensis* y la remoción de nitrógeno, fósforo y materia orgánica en un humedal construido. Venezuela. Rev. Fav. Agron., (LUZ) 24 (1):300-304.

Vymazal, J., 2002. The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. Ecological Engineering, 18 (5):632–646.

Vymazal, J., 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetland systems for wastewater treatment. Ecological Engineering, 25 (5):478–490.

Vymazal, J. y Kröpfelová, L. 2008. ENVIRONMENTAL POLLUTION 14, Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-surface Flow. Springer. Czech Republic.

Wu, J. y Ding, L. 2006a. Study on treatment of polluted river water using pilot-scale surface flow constructed wetlands system. *Environ. Pollut. Contr.* 28:432–434

Wu, J.; Huang, S.; Ruan, X. y Ding, L. 2006b. Treatment of polluted river water using surface flow constructed wetlands in Xinyi river floodplain, Jiangsu Province. *J. Lake Sci.*, 18:238-242

Zhang, Z.; Rengel, Z. y Meney, K., 2007. Removal of nutrients from secondary-treated municipal wastewater in wetland microcosms using ornamental plant species. *Int. J. Environ. Waste Manage.*, 1 (4):363–375.

Zuñiga, J. 2004. Influencia del soporte y tipo de macrófita en la remoción de materia orgánica y nutrientes en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

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

