MODELAMIENTO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO FONTANAR DE SUBA

ANDRÉS FELIPE FORERO RUIZ
CRISTIAN JAVIER URREGO ROJAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016

MODELAMIENTO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO FONTANAR DE SUBA

ANDRES FELIPE FORERO RUIZ
CRISTIAN JAVIER URREGO ROJAS

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil

Director
PEDRO ALEXANDER SOSA
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2016

creative commons

Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/

Usted es libre de:

Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:

Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____
Director de Investigación
Ing. Pedro Alexander Sosa

_____
Asesor Metodológico
Ing. Javier Valencia Sierra

_____
Jurado

Bogotá D.C., noviembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica de Colombia y la Facultad de Ingeniería Civil por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

A nuestros profesores, especialmente a nuestro tutor el Ingeniero Pedro Sosa por el tiempo, las observaciones y los conocimientos que compartieron con nosotros.

A nuestros padres, hermanos y amigos por brindarnos su apoyo incondicional, cariño y confianza.

CONTENIDO

		pág.
INTRODUCCIÓN		13
1.	GENERALIDADES	14
1.1	ANTECEDENTES	14
1.1.1	Filtro verde piloto San Miguel de Sema	14
1.1.2	Humedal artificial de mesa baja	14
1.1.3	Humedales artificiales en Europa	14
1.1.4	Humedales artificiales en Estados Unidos	15
2.	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GENERAL	17
2.2	OBJETIVO ESPECIFICOS	17
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	18
3.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	18
3.2	JUSTIFICACIÓN	18
4.	MARCO TEORICO	19
4.1	DEFINICION HUMEDAL	19
4.2	HUMEDAL ARTIFICIAL	20
4.3	HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	22
4.3.1	Partes de un humedal artificial de flujo subsuperficial	23
4.3.1.1	Agua residual	23
4.3.1.2	Vegetación	24
4.3.1.3	Microorganismos	26
4.3.1.4	Sustrato	27
5.	ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD	29
5.1	ESTUDIO DEL ENTORNO	29
5.2	ESTUDIO TÉCNICO	30
5.3	ESTUDIO DE MERCADO	32
5.4	ESTUDIO AMBIENTAL	33
6.	FUNCIONAMIENTO DEL UN HUMEDAL ARTIFICIAL	34
7.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL	38
8.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO HUMEDAL ARTIFICIAL	40
9.	RESULTADOS DE ESTUIDOS DE LABORATORIO DE UNA PETAR Y UN HUMEDAL ARTIFICIAL	41

pág.

10. CALCULOS 42

11. CONCLUSIONES 45

BIBLIOGRAFIA 46

ANEXOS 47

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1.	Plantas emergentes más utilizadas en humedales artificiales	27
Tabla 2.	Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal	38
Tabla 3.	Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical	39
Tabla 4.	Caracterización fisicoquímica del humedal artificial Mesa baja	41
Tabla 5.	Caracterización fisicoquímica de la PETARD escuela militar José María Córdova	41
Tabla 6.	Cuadro comparativo de parámetros caracterizados	41

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales 23

Cuadro 2. Contribución de las plantas en el tratamiento de aguas residuales a través humedales artificiales 24

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1.	Humedal construido en la ciudad de Arcata, California, Estados Unidos	16
Figura 2.	Humedal construido en la ciudad de Arcata, California, Estados Unidos	16
Figura 3.	Esquema general del funcionamiento y elementos de un Humedal Artificial	21
Figura 4.	Esquema típico de una planta emergente	25
Figura 5.	Vista satelital barrio Fontanar Suba	29
Figura 6.	Terreno a trabajar	29
Figura 7.	Señalización de pozos para levantamientos de coordenadas	30
Figura 8.	Levantamiento topográfico	30
Figura 9.	Levantamiento topográfico	31
Figura 10.	Levantamiento topográfico	31
Figura 11.	Levantamiento topográfico	32
Figura 12.	Diseño hidráulico	32
Figura 13.	Estado actual del lote	33
Figura 14.	Planta humedal	33
Figura 15.	Humedal artificial	35
Figura 16.	Transferencia de oxigeno	36
Figura 17.	Transformación del nitrógeno en humedales artificiales	37
Figura 18.	Cálculo de colector que entra al sistema desde la domiciliaria, utilizando la hoja de cálculo de Pavco	43
Figura 19.	Cálculo de colector que sale del sistema hasta la domiciliaria, utilizando la hoja de cálculo de Pavco	44

LISTA DE ANEXOS

		pág.
Anexo A.	Fichas técnicas de humedales, Fauna	47
Anexo B.	Fichas técnicas de humedales, vegetación	51

GLOSARIO

AGUAS RESIDUALES: Son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas domésticas y urbanas, los residuos líquidos industriales o mineros eliminados.

ASENTAMIENTOS IRREGULARES: Es un lugar donde se establece una persona o una comunidad que está afuera de normas establecidas por las autoridades encargadas del ordenamiento urbano.

COLIFORMES: La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y alimentos.

DESCONTAMINACION: Eliminación total o parcial de la contaminación del medio ambiente o de otra cosa.

ELECTROSIS: La electrolisis del agua es la descomposición de agua (H2O) en los gases de oxigeno (O2) e hidrogeno (H2) por medio de una corriente eléctrica a través del agua acidulada.

HUMEDAL ARTIFICIAL: Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que de forma controlada se reproducen mecanismo de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, que se dan en los humedales naturales mediantes procesos físicos, biológicos y químicos.

HUMEDAL NATURAL: Un humedal es una zona de tierras, generalmente planas, cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitentemente. Al cubrirse regularmente de agua, el suelo se satura, quedando desprovisto de oxígeno y dando lugar a un ecosistema hibrido entre los puramente acuáticos y los terrestres.

PETAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

TRH: Tiempo de residencia hidráulico.

INTRODUCCIÓN

La investigación en los humedales como alternativa para descontaminar el agua inicio en los años 50 con el científico Kathe Seidel en el centro de investigaciones en Max Planck Institute, estudiando e identificando las plantas acuáticas que tienen propiedades que descontaminan el agua.

Como resultado de los estudios obtenidos por Seidel fue que en el año 1974 se construyó el primer humedal artificial en Berlín Alemania; desde entonces se han implementado estos ecosistemas para el tratamiento de aguas residuales por casi todo el mundo debido a su alta efectividad y bajos costos de mantenimiento.

Un humedal es definido como un lugar saturado de agua que cuenta con la capacidad de albergar especies de plantas acuáticas. Las plantas como el junco, lenteja de agua y la irupe son plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos tales como lagos, estanques, charcos, estuarios, pantanos, orillas de los ríos o lagunas marinas. Su adaptación al medio acuático es variable y se pueden encontrar diferentes grupos de plantas, unas totalmente sumergidas, parcialmente sumergidas o con hojas flotantes.

En México se han implementado 130 humedales residuales los cuales tienen una capacidad para tratar agua de 0.48 m3/s, es decir casi medio metro cubico por hora a un bajo costo de mantenimiento y sin un costo operacional como si lo requieren las PETAR.

En Colombia ya se llevan varios estudios de las ventajas y desventajas de esos humedales artificiales, pero lo más cercano a Bogotá se están realizando en la jurisdicción de Cundinamarca donde son evidenciados en municipios como san Cayetano, san miguel de sema y Arbeláez.

En este trabajo se realizará el estudio técnico para el modelamiento integral de un humedal artificial en la localidad de Suba debido a que en esta localidad encontramos muchos asentamientos irregulares como lo es el barrio fontanar que se encuentra en la ronda natural del río Bogotá, donde se realizará el estudio de la viabilidad de ejecutar el proyecto en este barrio para la mejora de aguas residuales, impactos ambientales y mejoramientos de paisajismo, teniendo en cuenta la pre-factibilidad del proyecto con su diseño hidráulico de aducción y conducción del agua por el humedal artificial.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Filtro verde piloto San Miguel de Sema. La laguna de fúquene es un cuerpo de agua de vital importancia, tanto social como ecológica y económica, que está en riesgo de desaparecer, en gran medida, por el ingreso de aguas residuales provenientes de las diversas actividades agropecuarias desarrolladas en su cuenca, y por aguas residuales domesticas generadas en los municipios circundantes, que en su mayoría son vertidas en la laguna sin mantenimiento previo.

Por tal razón, la empresa Alemana Kärcher, buscando incentivar el uso de tecnologías económicas y ecológicas para el tratamiento de aguas residuales, decide encargar a la fundación de Global Nature de España, la construcción de un filtro verde piloto en el municipio de San Miguel de Sema, ubicado en la cuenca de la laguna de Fúquene. Dicha construcción se hace en el marco del programa Kärcher "Agua Limpia para el Mundo", auspiciado por la Fondo Global para la naturaleza (GNF), y en esta ocasión, contando con el apoyo de la empresa SIKA de suiza.

1.1.2 Humedal artificial de mesa baja. Mesa Baja es un área de entrenamiento se realizan campañas dos veces por año y por espacio de 22 días cada campaña. Allí se concentran aproximadamente 1000 personas durante todos los ejercicios tácticos, y realizan el uso de 03 baterías sanitarias de 10 unidades cada una. No se cuenta con sistema de alcantarillado y las descargas son conducidas al humedal artificial. Mesa Baja se encuentra a una altura de 400 m.s.n.m. y se ubica con las siguientes coordenadas geográficas; N 04º13'35.3" W 074º40'57.2" El humedal artificial de flujo subsuperficial fue construido en octubre de 2007 por la Dirección de Ingenieros del Ejército, siguiendo los diseños y el presupuesto del Capitán Ingeniero Ambiental Rafael Hernández Oyola.[1]

1.1.3 Humedales artificiales en Europa. En Europa, existen más de 200 sistemas de humedales naturales que se usan para el tratamiento de aguas residuales industriales y aguas residuales domésticas. En cuanto a humedales artificiales se han construido alrededor de 5.000 en el viejo continente.[2]

---

[1] TORRES, Ernesto y MARÍN SANABRIA, Alexander. Optimización del humedal artificial subsuperficial para tratamiento de aguas residuales. En: Revista Ingenio Libre. 2013, no. 11, p. 29-38.

[2] ESPINOSA ORTIZ, Camilo Eduardo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Tesis de grado, Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá D.C: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito. Facultad de Ingeniería, 2014. p. 18.

1.1.4 Humedales artificiales en Estados Unidos. En Estados Unidos, el desarrollo de humedades artificiales, se dio a partir de los avances dados en Europa y de experimentos llevados a cabo con humedales naturales. Al principio se tratan las aguas residuales utilizando estos sistemas, sin embargo, se dieron cuenta que modificando algunas de las características originales, se podían diseñar humedales artificiales con resultados óptimos. A partir de 1970 se realizaron estudios en varias universidades y agencias del gobierno (EPA, Ejército, NASA y Departamento de Agricultura) con humedales artificiales como un método de tratamiento alternativo a los sistemas convencionales existentes. Como resultado de todas las investigaciones realizadas, en Estados Unidos, tanto a nivel piloto como pruebas a gran escala, se han desarrollado diferentes conceptos para el diseño de humedades artificiales. Según estadísticas realizadas en 1991 en los Estados Unidos de América (USA), se encontraban operando más de 200 humedales artificiales tratando aguas residuales municipales, industriales y aguas de las industrias agroalimentarias. Uno de los humedales más reconocidos fue el construido en la ciudad de Arcata, California, para una población cercana a los 19.056 habitantes y caudal de 8.706 m^3/d, donde el sitio que se escogió pare el proyecto fue una zona industrial abandonada que incluía un relleno sanitario, dos aserraderos abandonados y su estanque. Ingenieros de la Guardia Nacional se encargaron de volarlo y retirarlo; después, una excavadora le dio forma al terreno, haciéndolo similar a un humedal. Voluntarios de la comunidad plantaron varios tipos de plantas de humedal para tener zonas alternantes de agua y vegetación. Plantaron con mayor densidad en las orillas del humedal para filtrar cualquier sólido aún en el agua. En 1986, el proyecto se completó y entró en operación. Actualmente el Santuario de Pantano y Vida Silvestre de Arcata cubre un área de 62 hectáreas de humedales de agua dulce y salada, marisma y pastizales. Las aguas residuales son bombeadas de casas y edificios a la entrada, donde se remueve el detrito sólido. Los sólidos son enviados a digestores para uso como abono en los bosques comunitarios. Las aguas residuales se envían a estanques de oxigenación antes de entrar una serie de humedales de tratamiento. Una serie de procesos naturales purifica el agua de manera progresiva, y dos tratamientos con cloro son utilizados para cumplir con los estándares legales antes de verter las aguas en la Bahía de Humboldt. En 1978 se iniciaron estudios sobre tratamiento de aguas ácidas de minas de carbón mediante el uso de humedales artificiales. Los esfuerzos de investigación en los EE.UU. aumentaron durante los años 1970 y 1980, con la participación Federal importante de Tennessee Valley Authority (TVA) y el Departamento de Agricultura de EE.UU., a finales de 1980 y principios de 1990. En 1980, en las plantas piloto de los proyectos de Santee y Arcata en California, se llevaron a cabo investigaciones en tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales y se reporta que en los Estados Unidos de América se estaban operando más de 140 humedales construidos, utilizados en el tratamiento de aguas ácidas de minas.[3]

[3] Ibíd., p. 20.

Figura 1. Humedal construido en la ciudad de Arcata, California, Estados Unidos.

Fuente. Autores.

Figura 2. Humedal construido en la ciudad de Arcata, California, Estados Unidos.

Fuente. Autores.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio técnico para el modelamiento integral de un humedal artificial en el barrio fontanar de suba como plan piloto para la implantación de este sistema en la ciudad.

2.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

- Realizar los estudios de pre factibilidad para el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales en el barrio fontanar.

- Identificar la ubicación estratégica del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales.

- Propones una alternativa al tratamiento de aguas residuales que se viene realizando en Bogotá con las Plantas de tratamiento de aguas residuales (PETAR), ya que estas son de alto costo de fabricación, operación y mantenimiento, de esta manera dar a conocer el humedal artificial y sus beneficios.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los recursos hídricos de la ciudad de Bogotá se encuentran en su mayoría contaminados por el mal uso que se les ha dado en el aspecto doméstico, industrial y agrícola.

La expansión de asentamientos irregulares ha sido una de las causas de la contaminación del agua porque son viviendas que se generan sin ninguna planeación urbana, en su mayoría son ilegales y algunas veces no cuentan con servicios públicos. La falta de planeación de los nuevos barrios y la gran velocidad en la que estos se expanden tienen como resultado un inadecuado manejo al agua ya que se ha comprobado en estos asentamientos vierten las aguas servidas directamente en las quebradas, ríos o lagunas, también depositando residuos sólidos en estos ecosistemas.

Una deficiente legislación sobre los recursos hídricos del distrito promueve a que las industrias continúen vertiendo los desechos de producción sobre los ríos, estudios obtenidos en la planta de tratamiento salitre revela que en ese punto el agua está contaminada con pesticidas, coliformes fecales, zinc, plomo, mercurio y enormes cantidades de residuos sólidos.

3.2 JUSTIFICACIÓN

El problema de la contaminación de los recursos hídricos de Bogotá debe ser solucionado porque genera un gran impacto ambiental en todo el país y en las aguas de altamar, debido a que todos los conectores en el barrio fontanar desaguan en el rio Bogotá y este desemboca en el rio magdalena y este a su vez desemboca en el mal atlántico. Además de la parte ambiental también es un problema de salud pública porque se conocen casos como el de villa clarín en el departamento del magdalena en que si población presenta problemas en la piel y enfermedades renales a causa del consumo y contacto del rio magdalena.

Es evidente el esfuerzo que el gobierno está haciendo para mitigar la contaminación del agua con la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PETAR) del salitre, pueblo viejo, san mateo y el interceptor Fucha Tunjuelo. A pesar de estas importantes obras el proceso de descontaminación se ha hecho lento por el costo de estas, por eso se convierte en ideal utilizar humedales artificiales para aportar en la descontaminación de las aguas residuales del barrio fontanar para que desagüen en el rio Bogotá y así generar un impacto de mejoramiento del rio Bogotá.

4. MARCO TEORICO

4.1 DEFINICION HUMEDAL

Existe un gran número de definiciones de humedal debido a la gran diversidad de hábitats acuáticos y a sus peculiaridades en diferentes partes del mundo; por otra parte, la pluralidad de criterios y opiniones sobre lo que debe ser considerado como humedal hace difícil la existencia de una única definición.

Algunas definiciones, como la del Convenio de Ramsar, tienen un carácter genérico y pretenden incluir un amplio espectro de ambientes acuáticos.

El convenio de Ramsar, aprobado en el año 1971 en la ciudad iraní de este nombre, establece en sus dos primeros artículos una definición de humedal de ámbito mundial: [4]

"Artículo 1.1. Se consideran humedales las extensiones de marismas, pantanos, turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salubres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros"[5]

"Artículo 2.1. Además podrán comprender zonas de bordes fluviales o de costas adyacentes al humedal, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal" [6]

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración que permitan mantener saturado el terreno. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm, con plantas emergentes tales como espadañas, carrizos y juncos.

La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.[7]

---

[4] GOBIERNO ESPAÑOL. La convención sobre los humedales plan estratégico español para la conservación y el uso racional de los humedales. España: Gobierno español, 2002. p. 53.
[5] Ibíd. p. 54.
[6] Ibíd. p. 54.
[7] ESPINOSA ORTIZ, Camilo Eduardo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Op. Cit., p. 65.

Por definición del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, los humedales son las áreas que existen entre tierras altas y los ambientes acuáticos. Se componen de los hábitats de transición donde la capa freática está sobre ó cerca de la superficie de la tierra e incluye zonas que tienen aguas poco profundas de la tierra, hasta una profundidad de 2 m.

La vegetación está dominada por hidrófitas, es decir plantas de agua, que pueden vivir en zonas frecuentemente saturadas. Los suelos asociados con estos hábitats, por lo menos temporalmente, si no continuamente, permanecen cubiertos por agua, lo que produce condiciones anaeróbicas dentro de la columna de suelo.[8]

4.2 HUMEDAL ARTIFICIAL

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, que se dan en los humedales naturales mediante procesos físicos, biológicos y químicos.[9]

El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por: el confinamiento del humedal, el cual se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, el empleo de sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas y la selección de las plantas que van a colonizar el humedal.[10]

La tecnología de humedales artificiales puede ser considerada como un ecosistema en el que los principales actores son:

- El sustrato: sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.

- La vegetación (macrofitas): contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y sobre la que su parte subterránea también se desarrolla la comunidad microbiana.

- El agua a tratar: circula a través del sustrato y de la vegetación.

---

[8] Ibíd., p. 34.
[9] Ibíd., p. 34.
[10] Ibíd., p. 35.

Figura 3. Esquema general del funcionamiento y elementos de un Humedal Artificial.

Fuente. RED MADRILEÑA DE TRATAMIENTOS AVANZADOS PARA AGUAS RESIDUALES CON CONTAMINANTES NO BIODEGRADABLES. Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia. [En línea] Madrid: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>.

Los mecanismos involucrados en la eliminación de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas, mediante el empleo de humedales artificiales son:[11]

- Eliminación de sólidos en suspensión mediante procesos de sedimentación, floculación y filtración.[12]

- Eliminación de materia orgánica mediante los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizan esta materia orgánica como sustrato. A lo largo del humedal existen zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.[13]

---

[11] RED MADRILEÑA DE TRATAMIENTOS AVANZADOS PARA AGUAS RESIDUALES CON CONTAMINANTES NO BIODEGRADABLES. Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia. [En línea] Madrid: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>.
[12] Ibíd.
[13] Ibíd.

- Eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, principalmente mediante mecanismos de nitrificación – desnitrificación y precipitación.[14]

- Eliminación de patógenos mediante adsorción, filtración o depredación.[15]

- Eliminación de metales pesados como cadmio, Zinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, etc.[16]

4.3 HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Humedales subsuperficiales de flujo horizontal. Son los sistemas más utilizados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel en 1967 y Kickuth en 1977. El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (Phragmites australis). Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo.[17]

El agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas, ingresando en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %.[18]

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño.[19]

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm. La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, entre 3 mm a 32 mm.[20]

Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5 a 10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento. Usualmente operan con un máximo de 2 a 6 g DBO/m² d. Son eficientes en la remoción de DBO y SST y poco

---

[14] Ibíd.
[15] Ibíd.
[16] Ibíd.
[17] ESPINOSA ORTIZ, Camilo Eduardo. Op. Cit., p. 65.
[18] Ibíd., p. 35.
[19] Ibíd., p. 45.
[20] Ibíd., p. 45.

eficientes en la remoción de nutrientes. Generalmente las eficiencias logradas son de: 91 % para SST, 89 % para la DBO, 33 % para nitrógeno total y 32 % fósforo total. [21]

4.3.1 Partes de un humedal artificial de flujo subsuperficial.

4.3.1.1 Agua residual. Las aguas residuales municipales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal.[22]

Cuadro 1. Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales.

Contaminantes	Importancia
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados no lanzados al ambiente acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo de las fuentes de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son aplicados al suelo en cantidades excesivas, pueden contaminar también el agua subterránea.
Compuestos tóxicos	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de sus conocimientos o sospecha de carcinogenicidad, mutuanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenóles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados mediante actividades humanas. Tienen una alta persistencia en el ambiente, lo que incrementa su posibilidad de acumulación y toxicidad.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos, como calcio, sodio y sulfato, deben ser removidos si se va usar nuevamente al agua residual, por ser potencialmente degradadores del suelo.

Fuente. Autores.

[21] Ibíd., p. 46.
[22] Ibíd., p. 57.

Según su uso precedente, estas aguas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con residuos de industrias, de actividades agrícolas, así como las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación.[23]

El agua es la fase móvil dentro del humedal, la encargada del transporte de los contaminantes y en la cual se van a producir la mayoría de las reacciones responsables de la depuración. Las condiciones hidrológicas son extremadamente importantes para el mantenimiento estructural y funcional del humedal.[24]

Éstas afectan a muchos factores abióticos, incluyendo el estado oxidativo del lecho, la disponibilidad de los nutrientes y la salinidad. Estos factores abióticos, a su vez, determinan qué seres vivos van a desarrollarse en el humedal. Finalmente, y para completar el ciclo, los componentes bióticos actúan alterando la hidrología y otras características fisicoquímicas del humedal.[25]

4.3.1.2 Vegetación. El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras.

Cuadro 2. Contribución de las plantas en el tratamiento de aguas residuales a través humedales artificiales.

Principales funciones
• Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo. • Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen. • Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo. • Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen. • Toman el carbono, nutrientes y los incorporan a los tejidos de planta. • Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos. • El escape de oxígeno, desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del substrato. • El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos. • Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

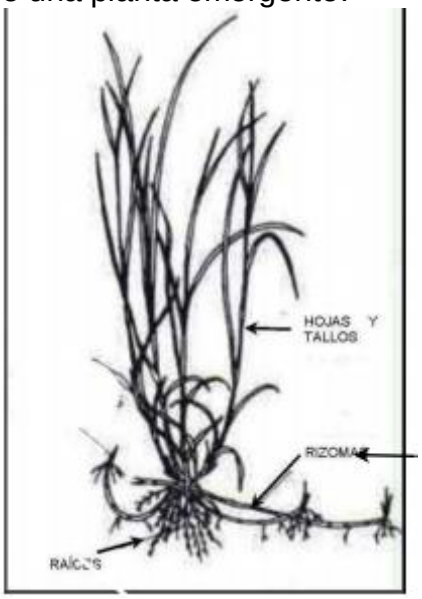
Fuente. Autores.

[23] Ibíd., p. 57.
[24] Ibíd., p. 57.
[25] Ibíd., p. 57.

Lo más importante en los humedales artificiales es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en lo que hemos llamado restos de vegetación, que sirve como substrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.[26]

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales son las espadañas, carrizos, juncos y juncos de laguna. Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies, son las dominantes en la mayoría de los humedales artificiales en los Estados Unidos. También existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos. Typha La Espadaña es una planta robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales, de fácil propagación, por lo que representa una planta ideal para un humedal artificial. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de nitrógeno y fósforo. Los rizomas de Espadaña plantados a intervalos de aproximadamente 0,6 m pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Tiene una relativamente baja penetración en grava aproximada a los 0,3 m, por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial.

Figura 4. Esquema típico de una planta emergente.



Fuente. Fuente. ESPINOSA ORTIZ, Camilo Eduardo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Tesis de grado, Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá D.C: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito. Facultad de Ingeniería, 2014. p. 51.

[26] Ibíd., p. 54.

- Scirpus. Son de la familia de las ciperáceas y crecen en grupos, generalmente en aguas interiores y costeras, pantanos salobres y humedales. Los juncos son capaces de crecer bien en agua desde 5 cm a 3 cm de profundidad. Las temperaturas deseables son entre 16 a 27° C. Se encuentran juncos creciendo en un pH de 4 a 9, donde la mayoría de las especies tienen un crecimiento moderado y pueden lograr un buen cubrimiento en alrededor de un año con separaciones cercanas a 0,3 m. Penetra en grava aproximadamente 0,6 m por lo que son muy usadas en humedales de flujo subsuperficial, existiendo en la actualidad muchas variedades de Scirpus.[27]

- Phragmites. Son plantas de crecimiento anual, con rizomas extensos, logrando un buen recubrimiento en un año, con separación de 0,6 m. En Europa se han usado carrizos y han sido las plantas acuáticas emergentes más extensas. Los sistemas que utilizan carrizos pueden ser más eficientes en la transferencia de oxígeno porque penetran verticalmente y a mayor profundidad que las espadañas, pero menos que los juncos en aproximadamente 0,4 m. Son muy usados para humedales artificiales debido a la ventaja de tener una bajo valor alimenticio y por tanto, no se ven atacadas por animales como sucede con otros tipos de plantas.[28]

4.3.1.3 Microorganismos. Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes, elementos traza y la desinfección.[29]

Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes.

La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal.

Así mismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera.[30]

---

[27] Ibíd., p. 64.
[28] Ibíd., p. 65.
[29] Ibíd., p. 72.
[30] Ibíd., p. 71.

Tabla 1. Plantas emergentes más utilizadas en humedales artificiales.

Especie	Nombre Latino	Nombre común más usual	Temperatura, °C		Máxima salinidad tolerable, ppt	Rango efectivo de pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
Ciperáceas	*Carexsp.*	NA	14 - 32	NA	NA	5 - 7,5
	Eleocharissp.	NA	NA	NA	NA	NA
	Scirpuslacustris L. (*)	Junco de laguna	18 - 27	NA	20	4 - 9
Gramíneas	*Glycerafluitans (L.) R. Br.*	Hierba del maná	NA	NA	NA	NA
	Phragmitesaustralis (Caw) Trin. Ex Steudel (*)	Carrizo	12 - 23	10 – 30	45	2 - 8
Iridáceas	*Iris pseudacorus L.*	Lirio amarillo, espadaña fina	NA	NA	NA	NA
Juncáceas	*Juncussp.*	Juncos	16 - 26	NA	20	5 - 7,5
Tifáceas	*Thyphasp (*)*	Eneas, aneas, espadañas	10 - 30	12 – 24	30	4 - 10

Fuente. ESPINOSA ORTIZ, Camilo Eduardo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Tesis de grado, Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá D.C: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito. Facultad de Ingeniería, 2014. p. 51.

4.3.1.4 Sustrato (medio granular). En los humedales el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos.[31]

[31] Ibíd., p. 70.

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar. Por el contrario, si el lecho granular está formado por gravas y arenas, disminuye la capacidad de adsorción y el poder filtrador del medio, pero aumenta la conductividad hidráulica.[32]

La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.[33]

[32] Ibíd., p. 69.
[33] Ibíd., p. 70.

5. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

5.1 ESTUDIO DEL ENTORNO

El barrio fontanar Suba es una urbanización que está en proceso de crecimiento poblacional, infraestructural y en la malla vial, por lo cual el área definida para realizar el proyecto del humedal artificial es un sector donde el terreno nos da toda la facilidad para le elaboración de este, el rio Bogotá está limitando con el proyecto así mismo viviendas las cuales se realizaran los tratamientos de sus aguas residuales para llevarlas al conector que terminan desaguando en el rio Bogotá (como se ve en la figura 5).

El barrio Fontanar será un plan piloto el cual se verá beneficiado por los impactos ambientales y paisajismo que conlleva a la construcción de un humedal artificial.

Figura 5. Vista satelital barrio Fontanar Suba.

Fuente. Autores con ayuda de Google Earth.

Figura 6. Terreno a trabajar.

Fuente. Autores.

5.2 ESTUDIO TÉCNICO

El estudio técnico se realizó con una visita previa al terreno donde se realizó un estudio topográfico, en este estudio se profundizo en áreas, nivelación de terreno, dimensionamiento del proyecto, y cotas de pozos aledaños al proyecto para nuestro diseño hidráulico, a continuación se verán fotos del trabajo realizado en terreno.

Figura 7. Señalización de pozos para levantamientos de coordenadas

Fuente. Autores.

Figura 8. Levantamiento topográfico

Fuente. Autores.

Figura 9. Levantamiento topográfico

Fuente. Autores.

Figura 10. Levantamiento topográfico

Fuente. Autores.

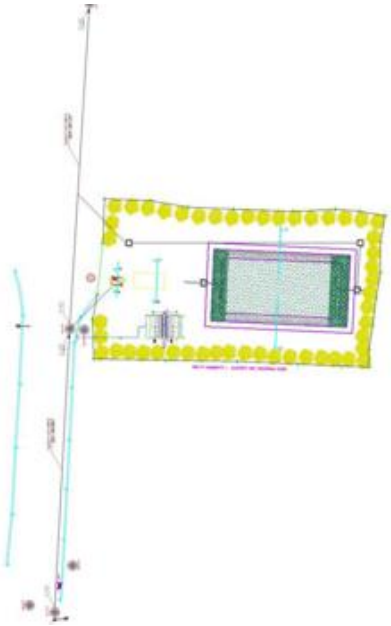
Figura 11. Levantamiento topográfico

Fuente. Autores.

5.3 ESTUDIO DE MERCADO

Se realiza un estudio donde evidenciamos un cobro de obras civiles que tienen que ser patrocinadas por una empresa y esto es lo que buscamos en nuestro plan piloto, inicialmente se tiene acercamientos con el jardín botánico para las plantas en los humedales y tenemos el diseño hidráulico el cual tiene un costo de $7000000.

Figura 12. Diseño hidráulico.



Fuente. Autores.

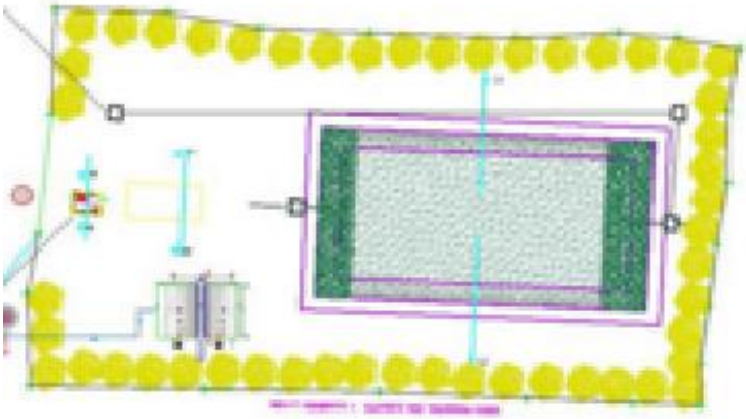
5.4 ESTUDIO AMBIENTAL

El impacto ambiental es el fuerte del proyecto puesto que al barrio Fontanar de Suba le dará un mejoramiento de paisajismo, dejara a un lado que ese territorio se convierta en un botadero como lo es hoy en la actualidad, mejorara las aguas que desaguan en el rio Bogotá el cual es el mayor aporte generado hacia el medio ambiente, estará aislado los malos olores ya que se realizara un cercamiento del humedal con plantas de eucalipto, se veré un poco más de fauna en el lugar.

Figura 13. Estado actual del lote

Fuente. Autores.

Figura 14. Planta humedal



Fuente. Autores.

6. FUNCIONAMIENTO DEL UN HUMEDAL ARTIFICIAL

- Captación del caudal. Se hace una derivación del colector principal para captar las aguas residuales con una tubería de 8”, la cual llega a una recamara que se encuentra a un nivel más bajo que el colector para que funcione por gravedad.

- Bombeo. Se dispone de 3 bombas sumergibles que funcionan alternadas para subir el agua residual hasta el nivel de la cámara de entrada. Las bombas se encienden y se apagan con un flotador de mercurio que esta calibrado con el nivel de la lámina de agua del humedal.

- Cámara de entrada. Es donde llega el agua de la estación de bombeo y pasa a llenar el humedal artificial.

- Humedal artificial. Entra el agua desde la cámara de entrada hasta tener una altura de 0.6 metros dentro del humedal, una vez llenado se retiene el agua por 3 días para que realice su proceso natural de depuración de contaminantes. El humedal cuenta con dos reboses de 4” para evacuar el agua que cae durante la lluvia.

- Cámara de salida. Cumplidos los 3 días de retención se procede a abrir la válvula de corte que está a la salida del humedal y por gravedad se dirige a la cámara de salida.

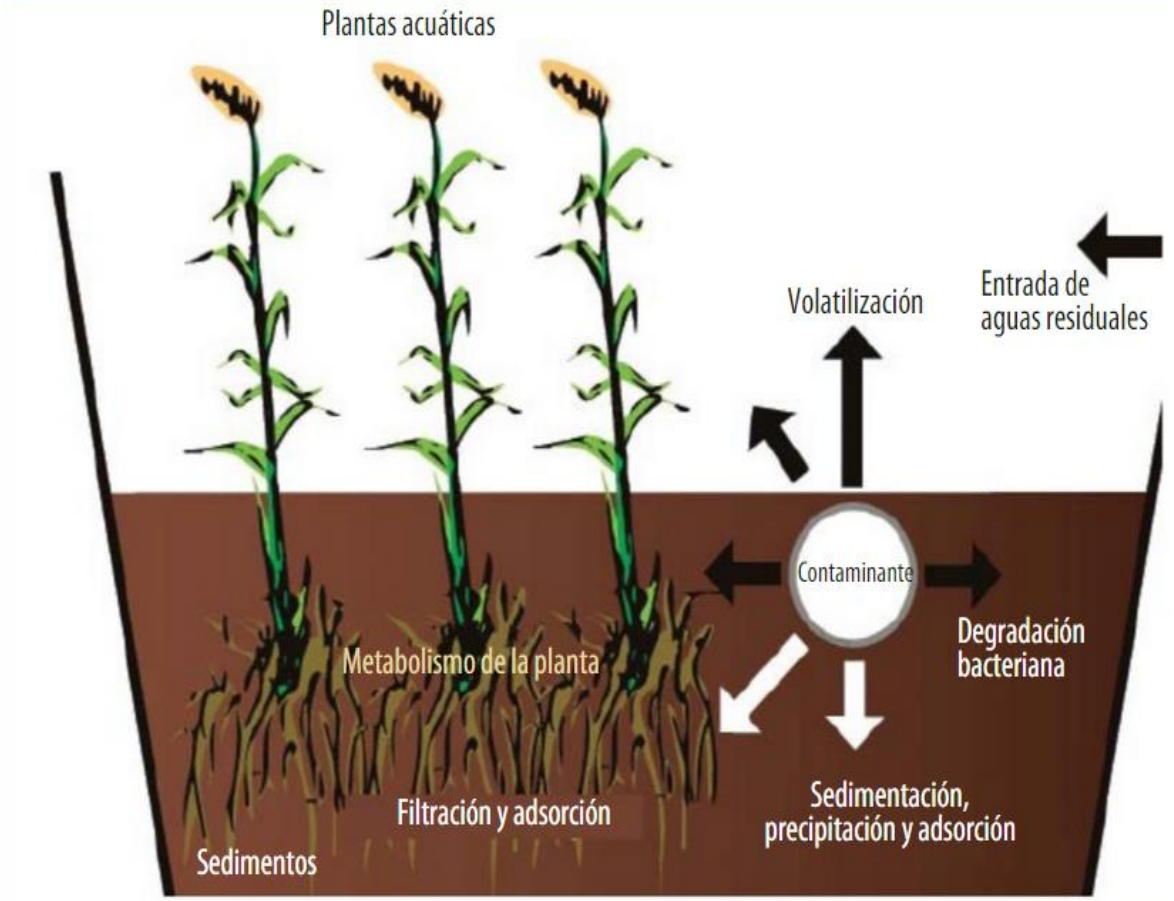
- Colector de descarga. La cámara de salida entrega el agua a un colector que conecta con las domiciliarias que descolan más adelante en el rio Bogotá.

Un Humedal artificial es un complejo entramado de aguas residuales, substrato y vegetación además de una selección de microorganismos (fundamentalmente bacterias).

La vegetación juega un papel fundamental ya que proporciona una superficie y un medioambiente apropiados tanto para el crecimiento de los microbios como para la filtración. La remoción de los contaminantes dentro de los humedales se logra por medio de varios complejos procesos físicos, químicos y biológicos, tal y como se muestra en la Figura 15.[34]

[34] ONU-HABITAT. Manual de Humedales Artificiales. Programa Agua para las ciudades asiáticas de ONU-HABITAT. [En línea] Katmandú: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.scribd.com/doc/67745515/Manual-Humedales-2#scribd>.

Figura 15. Humedal artificial.

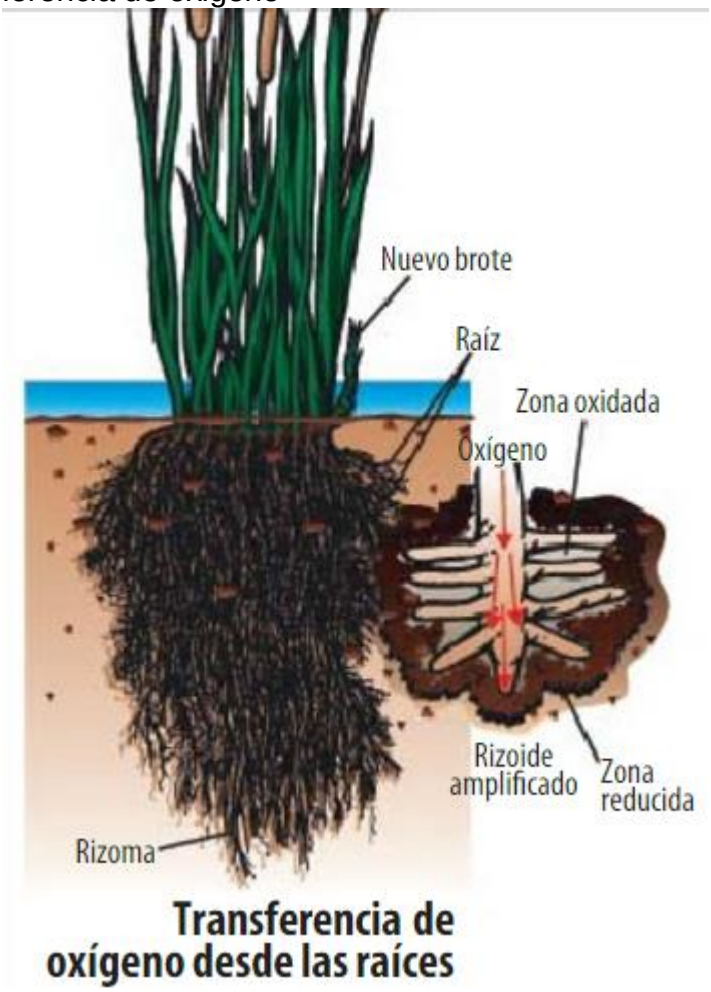


Fuente. ONU-HABITAT. Manual de Humedales Artificiales. Programa Agua para las ciudades asiáticas de ONU-HABITAT. [En línea] Katmandú: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.scribd.com/doc/67745515/Manual-Humedales-2#scribd>.

Tanto los sólidos en suspensión como los sedimentados que no son eliminados en el tratamiento primario son eliminados de forma efectiva en el humedal mediante filtración y sedimentación. Las partículas se sedimentan en micro celdas estáticas o son forzadas por restricciones de caudal. El crecimiento microbial tanto en suspensión como adherido es responsable de la remoción de compuestos orgánicos solubles, que son degradados biológicamente, tanto de forma aeróbica (en presencia de oxígeno disuelto) como anaeróbica (en ausencia de oxígeno disuelto). El oxígeno requerido para la degradación aeróbica es proporcionado directamente desde la atmósfera por difusión o por liberación desde las raíces de las plantas hacia la rizosfera. No obstante, la transferencia de oxígeno desde las raíces es insignificante (Figura 16).[35]

[35] Ibíd.

Figura 16. Transferencia de oxigeno

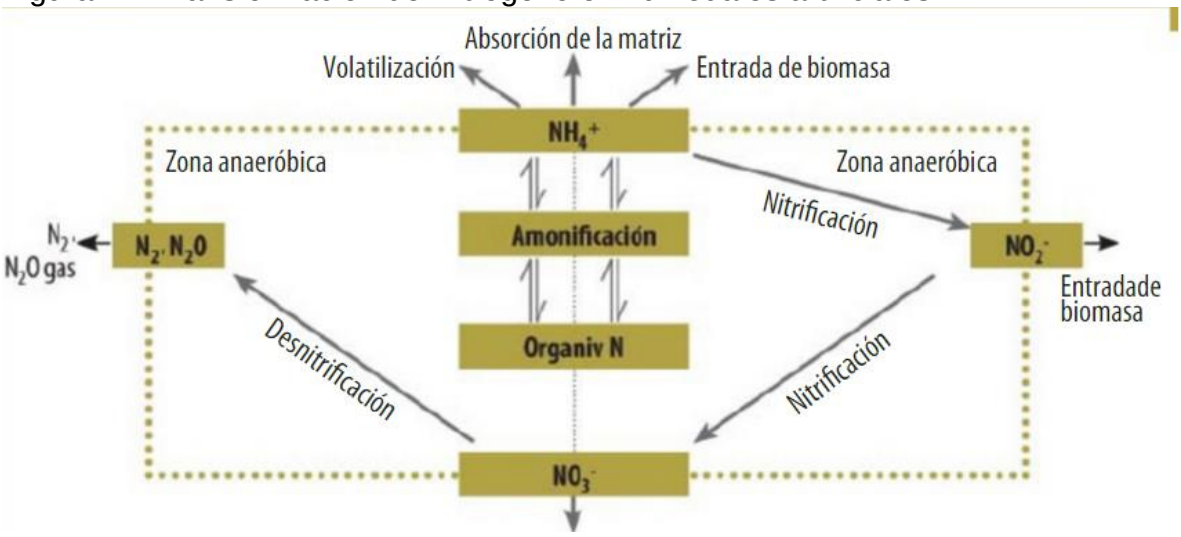


Fuente. ONU-HABITAT. Manual de Humedales Artificiales. Programa Agua para las ciudades asiáticas de ONU-HABITAT. [En línea] Katmandú: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.scribd.com/doc/67745515/Manual-Humedales-2#scribd>.

Los mecanismos para la remoción del fósforo en los humedales artificiales son la adsorción, la complexación y la precipitación, el almacenamiento, la absorción por la planta y la asimilación biótica (Watson et al., 1989). Los mecanismos de remoción del nitrógeno en los humedales artificiales son manuales e incluyen la volatilización, la amonificación, la nitrificación/desnitrificación, la absorción por la planta y la adsorción de la matriz (Figura 7). Uno de los mecanismos importantes en la mayoría de los humedales artificiales es la nitrificación/desnitrificación microbial. El amoniaco se oxida y se transforma en nitrato mediante la acción de bacterias nitrificantes en las zonas aeróbicas. El nitrato se convierte en gas dinitrógeno por medio de bacterias desnitrificantes en zonas anóxicas y anaeróbicas.El proceso de remoción de metales en los humedales artificiales incluye la sedimentación,la filtración, la adsorción, la complexación, la

precipitación, el intercambio catiónico, la absorción por la planta y las reacciones mediadas por microbios, especialmente la oxidación (Watson et al., 1989). La adsorción implica la unión de iones de metal a la planta o a la superficie matriz mientras que la presencia de bacterias genera la precipitación de óxidos de metal y sulfuros dentro de los humedales. Algunos tipos de humedales disponen de una alta capacidad para la adsorción directa de metales. Los patógenos son eliminados durante el paso de las aguas residuales a través del sistema, principalmente mediante sedimentación, filtración y adsorción por biomasa. Una vez que estos organismos son atrapados dentro del sistema, su número disminuye rápidamente, principalmente por procesos de degradación natural y depredación.[36]

Figura 17. Transformación del nitrógeno en humedales artificiales.



Fuente. ONU-HABITAT. Manual de Humedales Artificiales. Programa Agua para las ciudades asiáticas de ONU-HABITAT. [En línea] Katmandú: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.scribd.com/doc/67745515/Manual-Humedales-2#scribd>.

[36] ONU-HABITAT. Manual de Humedales Artificiales. Programa Agua para las ciudades asiáticas de ONU-HABITAT. [En línea] Katmandú: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.scribd.com/doc/67745515/Manual-Humedales-2#scribd>.

7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL

Para conocer las ventajas y las desventajas que tienen los diferentes tipos de humedales artificiales, se presentan a continuación dos cuadros comparativos. El primero compara humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial (tabla 2), y el segundo compara humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical y horizontal (tabla 3). En términos de costos, los humedales artificiales superficiales requieren menor inversión en relación a los de flujo subsuperficial ya que en los primeros no se incurren en los gastos mayores: la impermeabilización y la provisión y colocación del sustrato de grava.[37]

Tabla 2. Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal

	Flujo superficial	Flujo subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ej. Lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera).	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ej. Tanques IMHOFF, pozos sépticos).
Operación	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de carga orgánica.
Olor	Puede ser controlado	No existe
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante
Área	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño
Costo	Menor costo en relación al subsperficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar el precio hasta un 30%
Valor ecosistema	Mayor valor como ecosistemas para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna.
Usos generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente para casas aisladas y núcleos menores de 200 habitantes.
Operación	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua)	Puede usarse como tratamiento secundario.

[37] DELGADILLO, Oscar., CAMACHO, Alan., PÉREZ, Luis y ANDRADE, Mauricio. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales [en línea] Cochabamba: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf>.

Fuente. Autores.

Cabe destacar que los sistemas de flujo horizontal tienen mayor riesgo de colapsar en términos de circulación del agua (taponamiento del sustrato), por tanto, requieren que el agua a tratarse tenga menor material en suspensión. En cuanto a la operación, en términos generales, ambos tipos requieren baja intensidad, pero continua, aunque no debe confundirse requerimientos mínimos con ningún requerimiento.[38]

Tabla 3. Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical.

	HORIZONTAL	VERTICAL
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo
Estado oxidación	Más reducido	Más oxidado
Eficiencia	Más superficie	Menos superficie
Carga superficial	4-6 g DBO5/m2·d	20-40 g DBO5/m2·d
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Más compleja

Fuente. Autores.

[38] Ibíd.

8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO HUMEDAL ARTIFICIAL

Se requiere inspeccionar las estructuras de entrada y salida del humedal periódicamente para identificar posibles daños y repararse lo más pronto posible. Se debe evitar la presencia de roedores en el humedal porque estos pueden causar daños en los diques y la impermeabilización, por lo que se sugiere instalar trampas para roedores y en caso de que se generen madrigueras, se deben tapar con bentonita la entrada.

La proliferación de mosquitos se presenta cuando hay agua estancada, en este caso el problema no se puede controlar con insecticidas debido a que las plantas del humedal los absorberían y morirían. Se recomienda realizar varios goteos de agua que caigan sobre la lámina de agua y así garantizar un constante movimiento del agua. Es necesario evaluar el nivel de los sedimentos depositados en el fondo del humedal porque estos pueden disminuir la capacidad de almacenamiento de agua del humedal por lo que se recomienda retirar los sedimentos con pala, teniendo mucho cuidado de no dañar la impermeabilización del fondo o las plantas. Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal. Se refiere a verificar que el agua cubra la superficie del humedal para que los residuos no bloqueen los caminos del flujo y no se desarrollen áreas de estancamiento. Si esto llegara a pasar se tiene que limpiar la zona bloqueada para que el agua siga su camino.[39]

Mantener un crecimiento de la vegetación. Es necesario inspeccionar la vegetación de manera regular, así como retirar las especies invasoras y evitar el uso de herbicidas. Además, se debe controlar el nivel del agua.[40]

Control de la fauna nociva. Crear las condiciones adecuadas en el humedal que eviten el desarrollo de larvas, ya que los mosquitos son comunes en los humedales naturales y pueden presentarse en los artificiales. Es importante mencionar que cuando el agua está en movimiento se minimiza el riesgo de aparición de mosquitos.[41]

Control del humedal. Mantener observaciones periódicas en el humedal para identificar a tiempo posibles cambios (corrosión, obstrucción, erosión y crecimiento de vegetación indeseable) que puedan ser desfavorables o bien incrementar la generación de gastos.[42]

---

[39] HARO GONZÁLEZ, María Eugenia y APONTE HERNÁNDEZ, Nidya Olivia. Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular. Tesis de grado, Ingeniería Industrial. México D,F: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Mecánica e Industrial, 2010. p. 23.
[40] Ibíd., p. 25.
[41] Ibíd., p. 27.
[42] Ibíd., p. 25.

9. RESULTADOS DE ESTUIDOS DE LABORATORIO DE UNA PETAR Y UN HUMEDAL ARTIFICIAL

Según la tabla 6, se evidencia que los parámetros analizados para el humedal artificial son menores, permitiendo concluir que el nivel de eficiencia de este tipo de sistema.[43]

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica del humedal artificial Mesa baja.

PARAMETRO	RESULTADO	RANGOS DE CONCENTRACION PARA HUMEDALES ARTIFICIALES
pH	6.21	5-9
DBO		
DBO5	5mg/L	1 A 10 mg/L
SST	3mg/L	1 a 6 mg/L
Nitrógeno total	2mg/L	1 a 3 mg/L
Nitrógeno como NH3/NH4	0mg/L	Menos de 0.1mg/L
Nitrógeno como NO3	0mg/L	Menos de 0.1 mg/L
Fósforo Total	0mg/L	Menos de 0.2mg/L
Coliformes Fecales	70NPM/100 ml	50 a 500 NMP/100ml

Fuente. Autores.

Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de la PETARD escuela militar José María Córdova.

ANÁLISIS	RESULTADO	LÍMITE
pH	6.88	5-9
DQO	630mg/L	Máx. 2000 mg/L
DQO5	240mg/L	Máx. 1000mg/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	240mg/L	Máx. 800mg/L
Grasas y Aceites	24mg/L	Máx. 100mg/L
Sólidos Sedimentables	0mg/L	Máx. 10mg/L
Tensoactivos(SAAM)	0,2mg/L	Máx. 20mg/L

Fuente. Autores.

Tabla 6. Cuadro comparativo de parámetros caracterizados.

PARÁMETROS	PTARD	HUMEDAL
PH	6.88	6.21
DQO	630mg/L	205mg/L
DBO5	240mg/L	5mg/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	240 mg/L	3mg/L
Grasas y aceites	24 mg/L	0,3mg/L
Sólidos sedimentables	0 mg/L	0mg/L
Tensoactivos (SAAM)	0,2 mg/L	0mg/L

Fuente. Autores.

[43] TORRES, Ernesto y MARÍN SANABRIA, Alexander. Op, Cit. p. 33.

10. CALCULOS

- Datos de entrada:

- Vegetación= Scirpus.
- Flujo sub superficial horizontal.
- Población= >750 habitantes.
- SST= 3mg/Ltr
- Velocidad de entrada del agua= 0,86 m/s

- Área de lote: 1245.31 m2
- Área del humedal artificial: 282.43 m2
- Volumen de agua retenida en el humedal: 48m3
- 121 m3 de grava con una relación de vacíos del 0.4= 48m3 de agua retenida
- Bombas.

Q= 4,3 L/s = 258 L/min
H=3 m
n= 0.5
P= (258*3*)/(4569*0,5) P= 0.33 Potencia= 1 HP

- Tres bombas sumergibles con una potencia de 1 HP con alternador.
- Tiempo de llenado de humedal. Aproximadamente 3 horas
- Tiempo de retención del agua residual.

t= (L*B*y*n)/(Q)
Q=Caudal (m3/día)
L=Longitud (m)
B= Ancho (m)
y= Altura de lámina de agua (m)
n= Porosidad de grava.

t= (192*0,6*0,4)/(16,56)
t= 3 días

- Remoción de solidos suspendidos totales.

Ce= Co(0,1139+0,00213(CH))

Donde:
Ce: SST en el efluente (mg/ltr)
Co: SST en el afluente (mg/ltr)
CH= Carga hidráulica (cm/día)

Ce= 3(0,01139+0,00213(60))
Ce= 0,41 mg/día

Figura 18. Cálculo de colector que entra al sistema desde la domiciliaria, utilizando la hoja de cálculo de Pavco.

F

PAVCO acueducto **CALCULO ALCANTARILLADO SANITARIO** Mexichem SOLUCIONES INTEGRALES

PROYECTO: Fontanar del rio

NOTA: POR FAVOR UTILICE UNICAMENTE LAS CASILLAS QUE SE ENCUENTRAN EN COLOR ROJO.

DISEÑO: Cristian Urrego y Andres Forero

Volver al

Densidad de Población		NS-085
> 750 Hab/Ha	1	20.399*Area^(-0.1804)
400 a 750 Hab/Ha	2	13.555*Area^(-0.1569)
< 400 Hab/Ha	3	Recomienda obtener valor Gráfica

Tramo			Area Tributaria Ha					Diseño Hidráulico													
								Caudal													
Inicio	De	A	Vivienda			Area Acumul	Densidad de Población	q	Long	Pend	Diam Nom min	Diam. Interior	n	V >0.60m/s	Q	q/Q	v	Y	Y/D	F	Fuerza Tractiva
1			Area Propia	Otras	Area Acum	Total	Hab / Ha.	l/s	m	%	200mm	m		m/s	l/s		m/s	m	%		$\tau \geq ,15$ kg/m^2
1	1	2	0.15		0.15	0.15	1	4.3	9.10	0.45	200-S4	0.185	0.010	0.86	23.23	0.185	0.554	0.06	31.8	0.86	0.15

Fuente. Autores.

Figura 19. Cálculo de colector que sale del sistema hasta la domiciliaria, utilizando la hoja de cálculo de Pavco.

PAVCO acueducto AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

CALCULO ALCANTARILLADO SANITARIO

Mexichem SOLUCIONES INTEGRALES

PROYECTO: Fontanar del rio

NOTA: POR FAVOR UTILICE UNICAMENTE LAS CASILLAS QUE SE ENCUENTRAN EN COLOR ROJO.

DISEÑO: Cristian Urrego y Andres Forero

Volver al

Densidad de Población		NS-085
> 750 Hab/Ha	1	20.399*Area^(-0.1804)
400 a 750 Hab/Ha	2	13.555*Area^(-0.1569)
< 400 Hab/Ha	3	Recomienda obtener valor Gráfica

	Tramo		Area Tributaria					Diseño Hidráulico													
			Ha					Caudal													
Inicio	De	A	Vivienda			Area Acumul	Densidad de Población	q	Long	Pend	Diam Nom min	Diam. Interior	n	V >0.60m/s	Q	q/Q	v	Y	Y/D	F	Fuerza Tractiva
1			Area Propia	Otras	Area Acum	Total	Hab / Ha.	l/s	m	%	200mm	m		m/s	l/s		m/s	m	%		$\tau \geq 15$ kg/m^2
1	1	2	0,1500		0,15	0,15	1	4,31	6,90	0,40	250-S8	0,227	0,010	0,93	37,80	0,114	0,519	0,05	23,9	0,85	0,13
	2	3		0,15	0,15	0,15	1	4,31	37,90	0,50	250-S8	0,227	0,013	0,80	32,51	0,133	0,467	0,06	26,1	0,73	0,17
	3	4		0,15	0,15	0,15	1	4,31	11,60	3,00	250-S8	0,227	0,013	1,97	79,63	0,054	0,878	0,03	15,4	1,80	0,65

Fuente. Autores.

11. CONCLUSIONES

- Los humedales artificiales son utilizados en Colombia especialmente en municipios debido al bajo de caudal, en Bogotá se tendrían que elaborar en varios barrios para tratar más caudales y así poder recuperar un poco los ríos donde desembocan las aguas residuales.

- El impacto ambiental que se va a generar es muy bueno, ya que va a permitir el mejoramiento de ríos, en especial el Rio Bogotá que es donde desembocan todos los ríos de la ciudad, va a tener un impacto en la fauna y vegetación ya que mejorara olores percibidos en el barrio fontanar por el estado actual del Rio Bogotá, lo más importante también es el paisajismo que va a tener el barrio y esto impactaría a toda la ciudad ya que por construcción de viviendas, oficinas, vías y otros hemos dejado un lado el paisaje que nos brinda la vegetación.

- Es necesario trabajar con bombas de presión ya que estamos llegando por nivel abajo del colector, adicional a esto se realiza para poder tener un mejor control del flujo de agua que se va obtener, ya que con los flotadores en los tanques este nos permitirá de forma automática darle inicio a las bombas para no tener inundaciones por mayores láminas de agua.

- El agua tratada en el humedal artificial no saldrá en un 100% potable pero si es una optimización para el manejo de aguas residuales, tendrá un menor costo de lo que se genera en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PETAR) ya que no manejaremos nada de químicos si no será un tratamiento natural.

- El uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales es una alternativa muy reciente la cual no se cuentan con una amplia información para el obtener datos reales de rendimientos ya que en Colombia se están empezando a realizar estudios en distintos sitios, ya ahí construidos pero se están utilizando para municipios de bajo caudal.

BIBLIOGRAFIA

DELGADILLO, Oscar., CAMACHO, Alan., PÉREZ, Luis y ANDRADE, Mauricio. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales [en línea] Cochabamba: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf>.

ESPINOSA ORTIZ, Camilo Eduardo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Tesis de grado, Magíster en Ingeniería Civil. Bogotá D.C: Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito. Facultad de Ingeniería, 2014. 81 p.

GOBIERNO ESPAÑOL. La convención sobre los humedales plan estratégico español para la conservación y el uso racional de los humedales. España: Gobierno español, 2002. 100 p.

HARO GONZÁLEZ, María Eugenia y APONTE HERNÁNDEZ, Nidya Olivia. Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular. Tesis de grado, Ingeniería Industrial. México D,F: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Mecánica e Industrial, 2010. 49 p.

ONU-HABITAT. Manual de Humedales Artificiales. Programa Agua para las ciudades asiáticas de ONU-HABITAT. [En línea] Katmandú: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.scribd.com/doc/67745515/Manual-Humedales-2#scribd>.

RED MADRILEÑA DE TRATAMIENTOS AVANZADOS PARA AGUAS RESIDUALES CON CONTAMINANTES NO BIODEGRADABLES. Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia. [En línea] Madrid: La Empresa [citado: 23, ago., 2015]. Disponible en Internet: <URL: http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>.

TORRES, Ernesto y MARÍN SANABRIA, Alexander. Optimización del humedal artificial subsuperficial para tratamiento de aguas residuales. En: Revista Ingenio Libre. 2013, no. 11, p. 29-38.

ANEXOS

Anexo A. Fichas técnicas de humedales, Fauna.

Odonatos
Jardín Botánico
José Celestino Mutis
Centro de Investigación y Desarrollo Científico
Libélula,
caballitos del diablo
Los Odonatos (libélulas y caballitos del diablo) son insectos que están estrechamente ligados a los ecosistemas acuáticos, durante su ciclo de vida al ser juveniles viven en el agua, son grandes cazadores y se alimentan de larvas de otros insectos además de renacuajos. Pueden ser considerados como como bioindicadores de la calidad del agua y pueden estar presentes en aguas muy contaminadas, para llegar a la adultez emergen del agua y cumplen con su ciclo metamórfico, despliegan sus alas y vuelan entre la vegetación acuática del humedal buscando pareja. Son fuente de alimento para anfibios como ranas y sapos, pero también pueden ser consumidas por algunas aves. Son considerados habitantes de los humedales de la ciudad.

Fauna
Jardín Botánico
José Celestino Mutis
Centro de Investigación y Desarrollo Científico
Tingua Bogotana Rallus
semiplumbeus:
Es una curiosa ave endémica de los pantanos bogotanos. También habita en el lago de Tota y en muchas lagunas del altiplano Cundiboyacence así como en los páramos de Sumapaz y Chingaza. Durante el día permanece oculta entre los juncales y pastizales. Por la mañana, bien temprano se acerca al borde de los espejos de agua o canales del humedal y allí, puede ser observada entre las cañas, en donde se oculta rápidamente al advertir la presencia humana. Hace algunos años se reportó su presencia abundante en el humedal de la Florida cercano al aeropuerto El Dorado es de vital importancia la conservación del hábitat de esta ave ya que es endémica y se encuentra en amenaza de extinción.

Fauna
Jardín Botánico
José Celestino Mutis
Centro de Investigación y Desarrollo Científico
Cucarachero
Cistothorus apolinari
Se oculta entre los juncos, donde es difícil observarlo. Se alimenta de arañas y pequeños insectos que captura en el suelo y las cañas caídas del junco .Los de Bogotá anidan en marzo y a finales de agosto. Están presentes en casi todos los humedales de la sabana de Bogotá. Las colonias más accesibles que se han encontrado están en el parque de la Florida cercano al aeropuerto de El Dorado. Es un pajarillo endémico que habita entre los 2500 y 4000 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra en amenaza por el deterioro de su hábitat por lo que debe ser protegido. Se calcula que su población no sobrepasa los 2500 individuos de allí que se incluye como una especie en peligro de extinción no solo por la afectación de su hábitat sino también porque se ha comprobado que sus nidos están siendo parasitados por el Chamón (Molothrus bonariensis).

Fauna
Jardín Botánico
José Celestino Mutis
Centro de Investigación y Desarrollo Científico
Garza Bulbucus ibis
Estas garzas forman los grupos, se ven asociadas con el ganado u otros animales que apacientan en los potreros. También se les ve siguiendo a la maquinaria agrícola en el campo en busca de insectos asustados y pequeños, vertebrados como ranas y lagartijas. En los aires del llano, del altiplano de Boyacá y Cundinamarca y en los cielos bogotanos son familiares las bandadas de garzas del ganado, esta ave es habitante permanente de estos ecosistemas pero es una especie invasora.

Fauna
Jardín Botánico
José Celestino Mutis
Monjita Agelaius icterocephalus
Son notablemente gregarios, aún en período de cría. Con frecuencia se les ve formando pequeñas bandadas de seis a ocho pájaros. La época de amidación y crianza en la Sabana de Bogotá es en enero. Construyen nidos en forma de copa con hojas y hierbas acuáticas, los cuelgan de las cañas altas del juncal. Las "monjitas" son comunes en los humedales de agua dulce en las zonas inundadas y en los bancos de los ríos. Los hábitats de esta especie deben ser protegidos ya que las actividades de estas se restringen a estos ambientes.

Fauna
Jardín Botánico
José Celestino Mutis
Porphirio martinica:
La tingua adulta tiene un plumaje de colores azules y verdes, un pico agudo rojo con la punta amarilla y las patas largas. Por su parte, las jóvenes son de color café claro con alas verdes y menor tamaño.
En el país, las tinguas azules se pueden apreciar en las ciénagas de las zonas Atlántica y Pacífica, en las praderas y humedales de los Llanos Orientales y en los cuerpos de agua de la sabana de Bogotá.

Fuente. Autores.

Anexo B. Fichas técnicas de humedales, vegetación.

Vegetación humedal
Jardín Botánico
José Celestino Mutis
Sombrillita de agua
Hidrocotile Ranunculoides:
Planta acuática de hábito emergente de origen nativo y que requiere de muy buena disponibilidad de luz, su crecimiento es abundante es sitios eutrofizados en donde se encuentra una alta disponibilidad de materia orgánica. Proporciona hábitat para invertebrados acuáticos como copépodos nauplio. En los humedales de Bogotá se encuentra asociada a comunidades de Juncos (Juncus bogotensis y Scripus californicus), Botoncillo (Bidens laevis), Barbasco (Polygonum hydropiperoides) Cuando crece en aguas muy contaminadas puede presentar un crecimiento exagerado de tallos y hojas.

Vegetación humedal
Jardín Botánico
José Celestino Mutis
Enea Typha latifolia
Planta de hábito emergente con altos requerimientos de luz, su origen es nativa para el continente americano, es una macrófita muy resistente y menos exigentes en cuanto a niveles de contaminación. Sus comunidades se asocian a baja diversidad vegetal. Entre las especies asociadas a ella, esta las lentejas de agua, los botoncillos de agua y las sombrillitas de agua. Al localizarse en el borde, en el agua e islas donde viven, favorecen la reproducción de aves acuáticas como tinguas y patos y es utilizado por monjitas o cucaracheros para posarse. Generan un cinturón verde que funciona como barrera que impide el avance o la conquista del humedal por parte del pasto kikuyo. Especie muy común en los humedales de Jaboque, Santa Maria del Lago, Tibabuyes o Juan amarillo y la Florida .Sus hojas pueden medir más de 2 metros.

Fuente. Autores