

HUMEDALES ARTIFICIALES; UNA PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE LA  
CONTAMINACIÓN HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA NUTRIA, DE LOS CERROS  
ORIENTALES DE BOGOTÁ D.C.

AURA RAQUEL ZAPATA PALACIO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

MANIZALES, COLOMBIA  
2014

HUMEDALES ARTIFICIALES; UNA PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE LA  
CONTAMINACIÓN HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA NUTRIA, DE LOS CERROS  
ORIENTALES DE BOGOTÁ D.C.

AURA RAQUEL ZAPATA PALACIO

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Magister en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente

Director (a):  
Jhon Fredy Betancur (Esp., PhD)

Línea de investigación:  
Biosistemas Integrados

UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE  
MANIZALES, COLOMBIA

2014

Nota de Aceptación

-----  
-----  
-----  
-----  
-----

\_\_\_\_\_  
Firma del presidente del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del jurado

\_\_\_\_\_  
Firma del jurado

Bogotá, Agosto de 2014

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la docencia como la Misión de mi vida .A mi esposo Wenceslao, por su constante apoyo y motivación. A mi hijo Wences, por su presencia en mi vida. A mi madre Hieser y mis hermanos Jesús, Javier, Florenia y Carlos y sus familias por estar siempre a mi lado.

## **CONTENIDO**

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	15
1.2 Pregunta de la investigación .....	15
1.3 Objetivos .....	16
2. MARCO DE REFERENCIA.....	19
2.1 Fundamentación teórica Antecedentes investigativos.....	20
2.1.1. Humedales artificiales:.....	20
2.1.2. Clasificación de los Humedales Artificiales.....	22
2.1.3. Tipos de humedales artificiales según el flujo de agua: .....	25
2.1.4. Componentes del Humedal Artificial: .....	29
2.2 Estado del Arte de Humedales Artificiales .....	36
METODOLOGÍA .....	38
RESULTADOS.....	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS.....	56
ANEXOS.....	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de plantas Macrófitas (Utilizadas para la Prueba Piloto). .....	32
Tabla 2. Parámetros de calidad del Agua.....	39
Tabla 3. Tabla Listado de actores sociales localidad cuarta de San Cristobal.....	43
Tabla 4. Parámetros Físicos Quebrada la Nutria.....	44
Tabla 5. Parámetros Químicos Quebrada la Nutria. ....	44
<i>Tabla 7. Eficiencia del Buchón de Agua (Dichondra) .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 8. Eficiencia de la Oreja de Ratón.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 9. Eficiencia de Lechuga de Agua .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10. Tabla comparativa de Eficiencia de Macrófitas .....</i>	<i>49</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los Humedales Artificiales	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura.2. Plantas Acuáticas (Adaptado de Tchobanoglous. G Aquatic plants	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura.3. Macrofitas	24
Figura.4. Humedal Artificial de Flujo Superficial Libre	25
Figura 5. Humedales de Flujo Subsuperficial (SFS)	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura. 6. Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura.7. Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura. 8. Macrófitas utilizadas más comúnmente en humedales artificiales	35
Figura. 9. Volumen de Agua para Prueba Piloto.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura.10. Eficiencia de Macrófitas	41

## LISTA DE ANEXOS

Anexo.1.Imagen. Zona Topográfica Baja de la Quebrada La Nutria.....	61
Anexo 2.Fotografía.Fotografías Quebrada la Nutria.....	62

## **RESUMEN**

Debido a la contaminación hídrica que presenta la Quebrada La Nutria de los Cerros Orientales de Bogotá, se propone realizar en el Parque Ecológico Distrital de Montaña Entre Nubes, la construcción de 6 pozos de contención a forma de humedales artificiales subsuperficial vertical, que por su topografía facilitará no solo su incorporación con el ecosistema natural sino también la entrada y salida natural del agua a los pozos, reduciendo costos de inversión y funcionamiento para descontaminar las aguas, utilizando principalmente el Buchón de Agua (*Eichhornia crassipes*), considerada como una de las macrófitas más invasoras para lograr un su control, regulación y utilización, como materia para compost que garantizará su desempeño.

### **Palabras claves**

Humedales artificiales, aguas residuales, quebrada, macrófitas, buchón de agua.

### **Abstract**

Due to water pollution presents in the Quebrada La Nutria the Eastern Hills of Bogota, to propose for the District Ecological Park Mountain Entre Nubes, build 6 wells containment like artificial wetland, vertical subsurface, that by its topography facilitate not just joining the natural ecosystem, also the input and output of water naturally from the wells, reducing investment and operating costs for decontamination of water, mainly using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), regarded as one of the most invasive macrophytes to achieve control, regulation and use as compost material for performance guarantee.

### **Keyword**

Constructed wetlands, sewage, ravine, phytoremediation, macrophytes, water hyacinth, mouse ear, *Eichhornia crassipes*, contaminated water, water pollution.



## INTRODUCCIÓN

Son innumerables las definiciones que encontramos sobre humedales naturales, pues varía dependiendo del ecosistema que integren.

Dentro de un ecosistema natural, los humedales cumplen entre otras, dos funciones fundamentales, la primera, la de depurar las aguas que a él llegan, luego de ser utilizadas en diferentes actividades antropogénicas y la segunda, contener aguas en épocas de lluvias y evitar inundaciones e ir las liberando paulatinamente en tiempos secos.

Bogotá D. C, analizado como un inmensurable ecosistema, esta estratificado desde los Cerros Orientales donde encontramos alturas que oscilan entre 2.575 y 3.650 msnm, descendiendo paulatinamente hasta la sabana del mismo nombre, con alturas entre 2640 y 2680 msnm.

Factores como el crecimiento poblacional y el urbanismo sin control distrital han generado impactos ambientales en el componente hídricos de muy alta significancia, que van desde la contaminación, invasión y desviación de las quebradas en los Cerros Orientales, hasta el desecamiento por relleno con escombros de los humedales naturales.

Ante este panorama devastador, aparecen los humedales artificiales o contruidos como una alternativa de mitigación de los impactos sobre el recurso hídrico, que luego de ser estudiados en diferentes escenarios, resultan atractivos por aspectos que como bajos costos de construcción y mantenimiento, adaptación al paisaje natural y Reducciones de los niveles de contaminación hídrica.

El presente trabajo HUMEDALES ARTIFICIALES; UNA PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA DE LA QUEBRADA LA NUTRIA, DE LOS CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ D.C., utilizando metodología de observación, experimentación con prototipos y de naturaleza participativa, donde la comunidad aledaña a la Quebrada se convierte en un actor social de relevancia en el cuidado, conservación y mantenimiento de los humedales artificiales.

Los humedales artificiales pueden ser clasificados en dos tipos, de flujo superficial y de flujo subsuperficial (horizontal y vertical) y dadas las condiciones topográficas del terreno donde serían contruidos, el humedal de flujo subsuperficial vertical, por su efectividad, ya que en presencia de la macrófita flotante, buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), la cual resulta eficiente para la remoción de contaminantes a nivel experimental y con el apoyo de la comunidad se espera que los humedales artificiales resulten efectivos para mitigar el impacto ambiental hídrico de la Quebrada La Nutria y se conviertan en una alternativa viable no solo para este contexto sino también para las demás quebradas de los Cerros Orientales.

## 1. CONTEXTUALIZACIÓN

### 1.1. Problemática

La quebrada La Nutria, nace en los cerros surorientales, en la localidad de San Cristóbal, arriba de la antigua carretera al Llano. Es afluente de la quebrada Chingaza y su recorrido lo realiza, en su mayor parte en predios del Parque Ecológico de Montaña Entrenubes (PEDMEN), bordeando el cerro Juan Rey en dirección oriente a noroccidente. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009, Pág. 22). A la altura del PEDMEN y los barrios Los Pinos, La Belleza, El Triunfo, entre otros, la quebrada es de régimen permanente, alimentada por la quebrada Verejones. Tiene contaminada sus aguas casi desde su nacimiento y a lo largo de todo el recorrido, de 1400 metros aproximadamente. (Ver Anexo 1,2,3)

La contaminación se inicia con el uso agropecuario que tiene su ronda, arriba de su cruce por la antigua vía al Llano, aguas abajo la contaminación va seguida por los vertimientos de las ladrilleras, los vertimientos de aguas negras de los barrios vecinos que no cuentan con red de alcantarillado, ya que algunos son ilegales, a lo cual se suman las disposición inadecuada de escombros, basura y deslizamientos.

“A pocos metros de la depresión que separa el cerro Juan Rey y la cuchilla de Guacamayas, la quebrada La Nutria desemboca en la quebrada Chiguaza, afluente importante del río Tunjuelo” (Corporación Suna Hisca, s/f, Pág. 1-144) quien metros más abajo se descarga sus aguas al río Bogotá, lo que encadena eslabón a eslabón la contaminación hídrica a nivel nacional

### 1.2 Pregunta de la investigación

¿Cuáles son los componentes específicos del humedal artificial para que este resulte eficiente, eficaz y efectivo en la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la Nutria?

### 1.3 Objetivos

#### **Objetivo General:**

Analizar los humedales artificiales como una alternativa de descontaminación hídrica para la quebrada La Nutria

#### **Objetivos específicos:**

- Realizar análisis físicos, químicos y biológicos de las aguas de la quebrada La Nutria estableciendo los parámetros contaminantes.
- Determinar cuál es la planta acuática más eficiente en el proceso de descontaminación según las características del agua y del terreno.
- Identificar los actores sociales del contexto que puedan involucrarse en la preservación, control y cuidado de los humedales artificiales, evitando que la macrófita se convierta en una especie invasora.

### 1.5 Justificación

“La contaminación del agua es un problema local, regional y mundial; el crecimiento demográfico, la industrialización y la concentración urbana, contribuyen a lo que hoy día es la mayor amenaza para el hombre contemporáneo.”( <https://docs.google.com>, s/f , Pág. 3)

A nivel local, el Distrito Capital,

“La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) realiza anualmente el informe sobre los resultados del seguimiento a las condiciones de la calidad del agua de la capital colombiana, de acuerdo con el Decreto 3100 de 2003 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, que establece que las “”Autoridades Ambientales Competentes deberán efectuar Programas de Monitoreo de las fuentes hídricas en por lo menos, los siguientes parámetros de calidad: DBO, SST, DQO, OD, Coliformes Fecales y pH. Los resultados del programa de monitoreo deberán ser reportados anualmente al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y ser publicados por las respectivas Autoridades Ambientales

Competentes en medios masivos de comunicación” (Observatorio Ambiental de Bogotá, s/f, 2013)

El informe para el periodo 2011 – 2012 señala que

“En los últimos años, la operación de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá ha generado el conocimiento suficiente sobre el recurso hídrico superficial para evidenciar que los principales ríos de la ciudad Torca, Salitre, Fucha, Tunjuelo; gozan de una buena calidad de agua en la entrada al perímetro urbano u, a medida que se avanza en la ciudad, su calidad se deteriora de manera considerable. Los resultados que se han obtenido en los últimos tres años de seguimiento al recurso hídrico muestran la necesidad de concertar los esfuerzos en la mejora y ampliación de la infraestructura de saneamiento, a fin de responder a las necesidades actuales y futuras, y así evidenciar cambios significativos en la calidad del agua de los ríos de la ciudad. El gran reto de la ciudad en pro de la recuperación de corrientes superficiales es la eliminación total de los vertimientos directos e indirectos sobre ríos y quebradas de la ciudad. Las cuencas medias y especialmente las bajas muestran un deterioro importante de la calidad, poniendo en evidencia la prioridad de orientar las obras a los puntos críticos de contaminación” (Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Pág. 17)

“La contaminación del agua es la incorporación al agua de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos o aguas residuales. Estas materias depositadas en forma desmedida sobrepasan la capacidad natural depuración del agua, deterioran la calidad de la misma y la hacen inútil para los usos pretendidos” (Universidad Mariano Gálvez, 2012, Contaminación del Agua).

La quebrada La Nutria, se constituye en el límite natural norte del área protegida con los barrios de la localidad cuarta San Cristóbal, en Bogotá D.C; a la altura del Parque Distrital de Montaña Entrenubes y los barrios Los Pinos, La Belleza, El Triunfo, entre otros. La quebrada es de régimen permanente, alimentada por la quebrada Verejones y por los vertimientos de aguas negras de los barrios vecinos que no cuentan con red de alcantarillado. (Corporación Suna Hisca, s/f, pág. 144).

A pocos metros de la depresión que separa el cerro Juan Rey y la cuchilla de Guacamayas, la quebrada La Nutria desemboca en la quebrada Chiguaza, afluente importante del río Tunjuelo. (Corporación Suna Hisca, s/f, pág. 1-144).

A lo largo de sus 1400 metros de recorrido, la quebrada La Nutria, recibe vertimientos de aguas residuales de actividades domésticas, residuos sólidos tales como escombros, muebles y enseres y demás basuras generadas por los habitantes rivereños. . (Corporación Suna Hisca, s/f, pág. 1-161-1-163).

Los humedales artificiales consisten normalmente es el cultivo de plantas superiores (macrófitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente; que para el caso será la quebrada La Nutria, pasaría a través del humedal durante y tendría un tiempo de retención. Allí el efluente es tratado a través de varios procesos físico-químicos y bacteriológicos naturales con las macrófitas, durante su estancia en los humedales (Fernández, pág. 79).

“El oxígeno necesario para estos procesos sería suministrado por las propias plantas, que forman por fotosíntesis o toman del aire e inyectan hasta la zona radicular. La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas es un requisito imprescindible para que la eliminación microbiana de algunos contaminantes se realice con eficacia, estimulando además la degradación de materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes.”(Acevedo, Croche, Fernández, López, 2007, Pág. 4).

Finalmente el agua gradualmente descontaminada volvería a su efluente natural y se incorpora con el medio.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

En la localidad cuarta de San Cristóbal, de Bogotá D.C, se encuentra la cuenca alta del río Teusacá, el cual nace en la laguna del Verejón en el Páramo de Cruz Verde y cuenta con varios tributarios denominados quebrada, por su recorrido abrupto por entre montañas, entre las más conocidas se tiene La Verejones, La Esperanza, Tembladores, Montañuela, El Tagual, Honda, El Barro, Farías, El Barrito y La Centella. Igualmente en la localidad existen gran cantidad de nacimientos y quebradas de gran importancia, de las cuales los habitantes toman el agua para uso doméstico y una serie de micro cuencas de cañadas y quebradas cuyos nacimientos están localizados en la parte alta de los Cerros Orientales. (Secretaria Distrital de Ambiente, 2009. Pág. 1-59).

La Quebrada La Nutria, Aunque no hace parte como tal del parque Entrenubes, se constituye en el límite natural norte del área protegida con los barrios de la localidad cuarta San Cristóbal. A la altura del parque y los barrios Los Pinos, La Belleza, El Triunfo, entre otros, la quebrada es de régimen permanente, alimentada por la quebrada Verejones y por los vertimientos de aguas negras de los barrios vecinos que no cuentan con red de alcantarillado.

La dirección del flujo de la escorrentía es de sur oriente a sur occidente, en su recorrido de 1400 metros desciende abruptamente de 3500 a 2650 msnm (secretaria Distrital de Ambiente). La precipitación tiene un régimen mono modal, con los valores más altos a mediados del año, a diferencia de la zona norte y de la cuenca del Teusacá (zona más oriental), donde el régimen es bimodal, con los valores más altos en abril y mayo y octubre y noviembre.

“Las temperaturas medias anuales varían desde los 8.4°C, sobre la cota 3.100 m.s.n.m., a los 13°C sobre la cota 2.750 m.s.n.m.” (Secretaria Distrital de Ambiente, 2009, Aspectos Físicos).

## **2.1 Fundamentación teórica Antecedentes investigativos**

### **2.1.1. Humedales artificiales:**

#### **Definición**

“Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente.” (Andrade, et al., 2010. pág. 7).

El tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales:

1. Recogida
2. Tratamiento
3. Evacuación al lugar de restitución

Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales:

Aguas domésticas y urbanas.

Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.

Aguas de drenaje de extracciones mineras.

Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.

Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan.

Cuando el agua llega a una estación depuradora, pasa por una serie de tratamientos que extraen los contaminantes del agua y reducen su peligro para la salud pública. El número y

tipo de tratamientos dependen de las características del agua contaminada y de su destino final.

Estos sistemas purifican el agua mediante remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos:

La actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos.

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento.

La fitodepuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean éstos naturales o artificiales. El término macrófitas, dado su uso en el lenguaje científico, abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos. Constituyen fitosistemas, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Básicamente, se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales. Al realizar la planta sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas. (Andrade, et al., 2010. pág. 8).

Los humedales artificiales son una alternativa para la reducción de la contaminación generada por aguas residuales. Es posible obtener buenos rendimientos en la depuración de aguas residuales domésticas, siempre y cuando el diseño y la operación del humedal se ajusten a las características del agua residual y del terreno donde se construirá. Además, también hay experiencias documentadas que demuestran la capacidad de la depuración en una amplia variedad de tipos de contaminación, que incluyen efluentes con altas cargas orgánicas, depuración de contaminantes orgánicos y otros. (Curt, 2010. pág. 61-77).

Al considerar las anteriores características del terreno y las condiciones climáticas que priman en Colombia y específicamente en los cerros orientales costado sur de Bogotá D.C, se puede afirmar que los humedales artificiales son una solución razonable, económica, ecológica y sostenible para el tratamiento de las aguas residuales del país. (Organización Productores Piscicultores, 2009, Pág. 28)

Es indudable que los humedales artificiales son ecosistemas que pueden ser utilizados para el tratamiento aguas residuales de manera segura, confiable, estética y económica. La remoción de contaminantes es eficiente y dada las condiciones topográficas del sector no se invertirían en energía adicional para su funcionamiento. El ejercicio de estos sistemas de tratamiento se basa en la actividad combinada de plantas, microorganismos y sustratos, que en conjunto propician una depuración eficiente.

### 2.1.2. Clasificación de los Humedales Artificiales



## Figura 1. Clasificación de los Humedales Artificiales

Los humedales artificiales pueden ser clasificados (figura 1) según

- Tipo de vegetación
- Tipo de forma de vida de la vegetación
- Tipo de circulación de flujo de agua

Según el tipo de vegetación o macrófitas que empleen en su funcionamiento pueden ser:

- Macrófitas fijas al sustrato (enraizadas)
- Macrófitas flotantes libres.

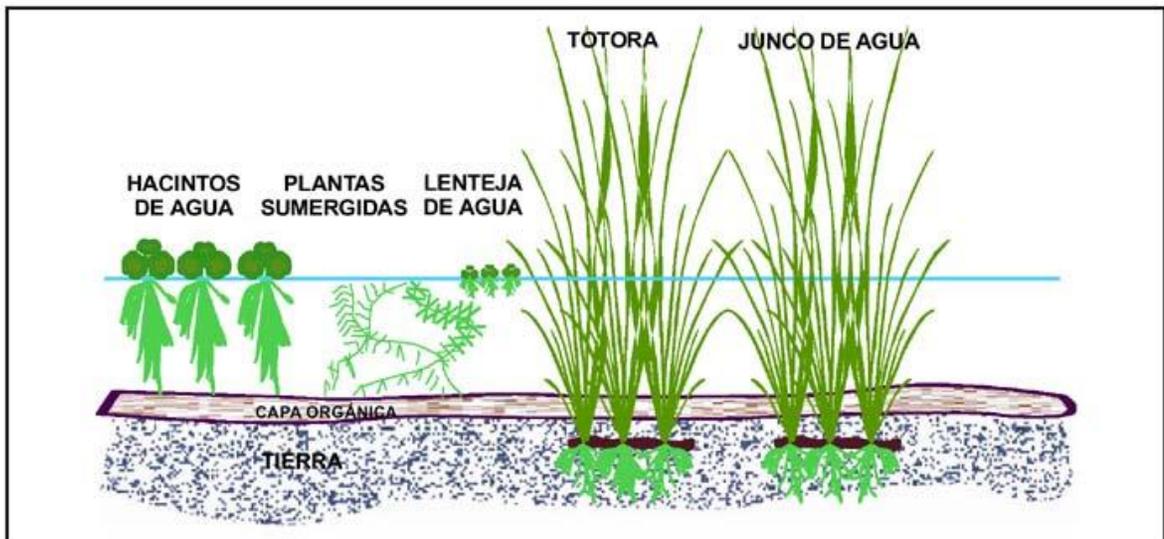


Figura 1. Plantas acuáticas (adaptado de Tchobanoglous, G. *Aquatic plant systems for wastewater treatment*).

## Figura 2. Plantas Acuáticas (Adaptado de Tchobanoglous, G. *Aquatic plants for wastertreatment*)

Fuente: (Gómez, 2009, Párr. 9)

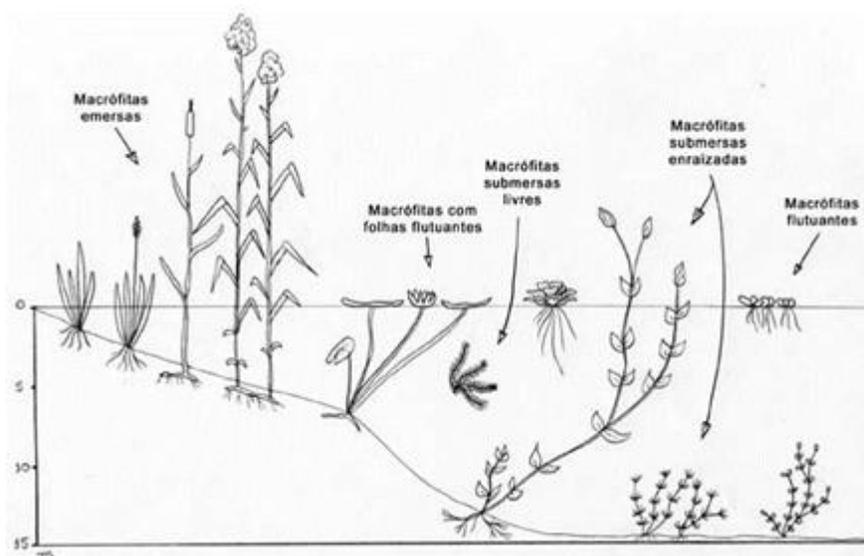
Considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

**Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes:** principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos.

**Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas:** comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.

**Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes:** en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos.

**Figura.1.Macrofitas**



**Figura.3.Macrofitas**

**Fuente:** Universidad de Federal de São Carlos, Facultad de Ciencias, s/a, Macrófitas.

### 2.1.3. Tipos de humedales artificiales según el flujo de agua:

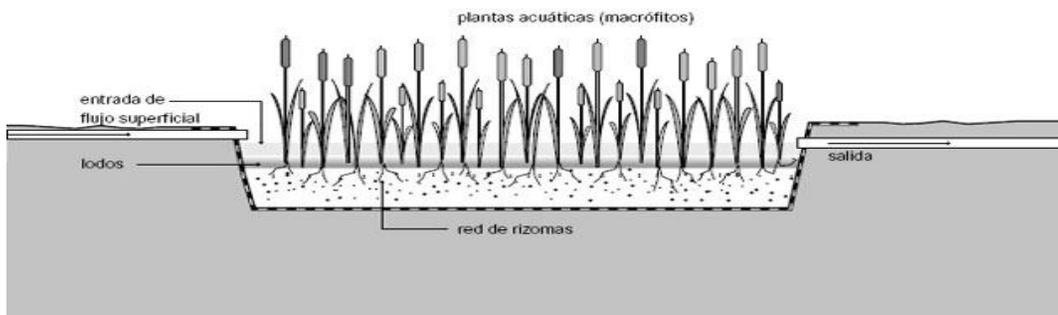
Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee:

Humedales de flujo superficial: si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas.

Humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficial del estrato del humedal.

#### Humedales artificiales de flujo superficial (FWS)

Los sistemas de flujo superficial son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera. Este tipo de humedales es una modificación al sistema de lagunas convencionales. A diferencia de éstas, tienen menor profundidad (no más de 0,6 m) y tienen plantas (Figura 4).

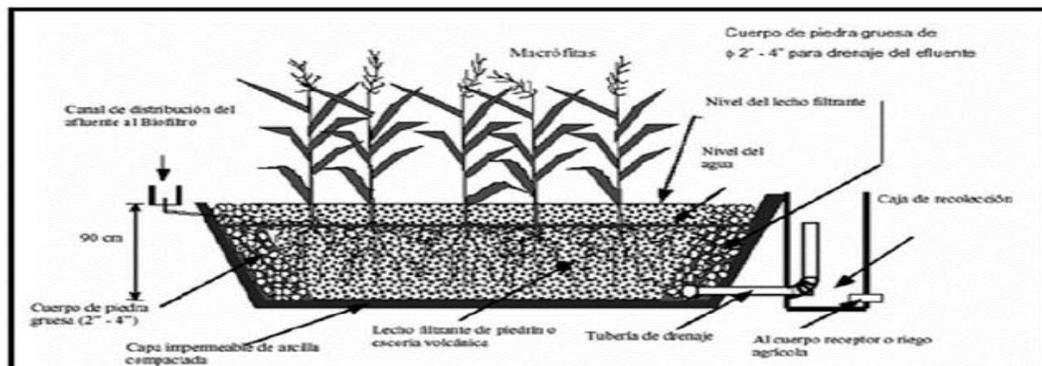


**Figura 4. Humedal Artificial de Flujo Superficial Libre**

Fuente: Alianza por el Agua. (s/f). Humedal Artificial de Flujo Superficial Libre

En términos de paisaje, este sistema es bastante recomendable por su capacidad de albergar distintas especies de peces, anfibios, aves, entre otras. “Pueden constituirse, en lugares turísticos y en sitios de estudio de diferentes disciplinas por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen”.(Andrade et al, 2010. pág. 9).

En el sistema de humedal artificial a flujo libre superficial, (FWS), el nivel de agua está sobre la superficie del terreno, la vegetación está sembrada y fija o suelta y libre emergiendo sobre la superficie del agua es principalmente superficial, lo que se aprovechará para incorporar un sistema de aireación aprovechando el nivel de inclinación del terreno dando un valor agregado a este modelo de humedal artificial.



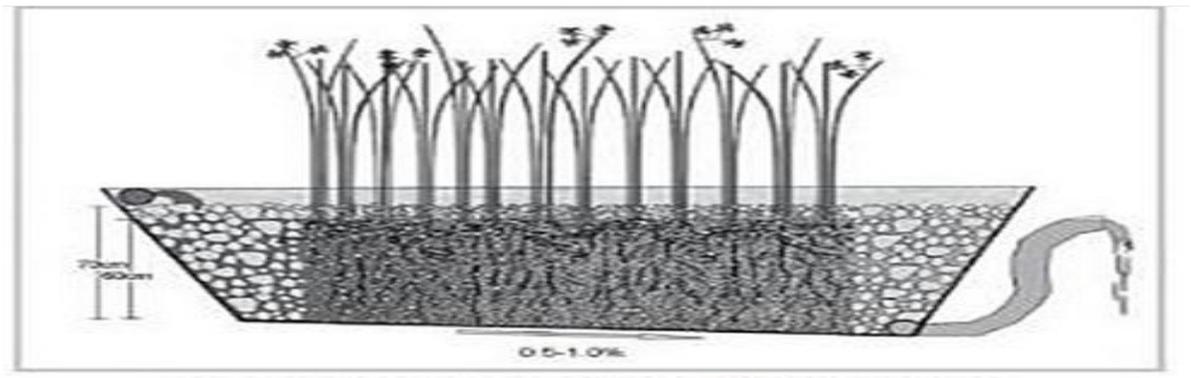
**Figura 5. Humedales de Flujo Subsuperficial (SFS)**

**Fuente: (Becerra et al, 2007, Pág. 35)**

“Los sistemas de flujo subsuperficial, se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas”. (Andrade, et al., 2010. pág. 9).

Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos:

En función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal humedales de flujo subsuperficial vertical.



**Figura 6. Humedal de Flujo Subssuperficial Horizontal**

**Fuente:**(Andrade, et al., 2010. pág. 10).

Es el sistema más utilizado en países europeos, consiste en una cama de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas en la mayoría de los casos con carrizos, en todo caso la cama va cubierta con una membrana impermeable.(Andrade, et al., 2010. pág. 10).

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en 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 o pistón. La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente entre 0,5% a 1%.”(Andrade, et al., 2010. pág. 10).

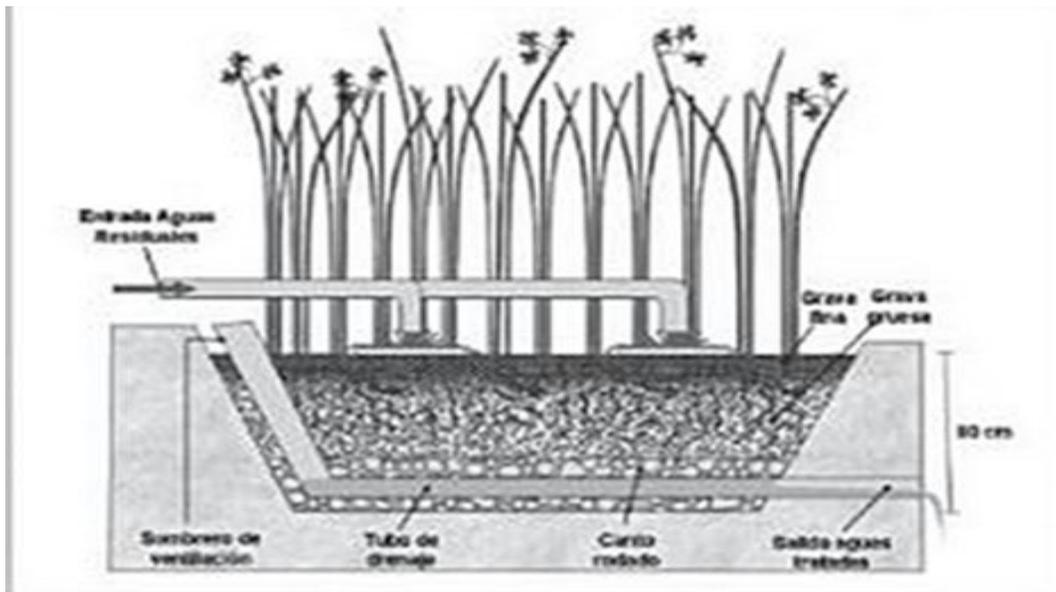
El agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. Se suelen desarrollar procesos de desnitrificación, entre otros.

El agua residual no ingresa directamente, al medio granular principal o cuerpo del humedal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado de grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 y 100 mm.

La zona de plantación está construida por grava fina de un solo diámetro entre 3mm y 32 mm.

Es fundamental que el agua residual que ingresa se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5-10cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento.



**Figura 7. Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical**

**Fuente: (Andrade, et al., 2010. pág. 10).**

Los sistemas verticales con flujo sub superficial son cargados intermitentemente. De esta manera, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por periodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno. Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz.

Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical: el agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. Se suelen incluir chimeneas de aireación para favorecer las condiciones aerobias. Se suelen desarrollar procesos de nitrificación, entre otros. (Andrade, et al., 2010. pág. 10).

#### **2.1.4. Componentes del Humedal Artificial:**

“Los humedales construidos o artificiales consisten en el diseño correcto de un depósito que contiene agua, sustrato, y plantas emergentes, (material vegetal) en su mayoría. Estos componentes pueden variar al momento de construcción un humedal. Otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente” (Toruño Odel. s/f, 4).

Listado de componentes:

Agua  
Sustrato  
Plantas emergentes, macrófitas o material vegetal  
Comunidades de microbios  
Invertebrados acuáticos

#### **Agua:**

“Es probable que se formen humedales en donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener el agua” (Universidad Nacional de la Plata, 2013, pág. 9-10).

Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y pérdida a través de la transpiración de las plantas). La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces, y rizomas y, segundo, bloqueando la exposición al viento y al sol (Andrade et al., 2010. pág.12).

### **Sustrato:**

Al ser las macrófitas, plantas faltantes crece en superficie sin necesidad de sustrato pero requieren muchos nutrientes que obtienen del agua donde van a desarrollarse. Para el caso el sustrato será importante en la medida que se utilizará para la construcción de los estanques propios del humedal. (Andrade et al., 2010. pág.12).

### **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.” (Andrade et al., 2010. pág.12).

El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales son importantes por varias razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal. Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- 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. El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas. 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.” (Andrade et al., 2010. pág.12).

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. “De forma indirecta, el medio granular contribuye a la eliminación de contaminantes porque sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (biopelículas)” (Andrade et al., 2010. pág.12).

### **Plantas macrófitas o Material vegetal:**

Se hablará de macrófitas como el elemento de tipo vegetal que hará la parte fundamental en la descontaminación de las aguas residuales de la quebrada La Nutria. Las macrófitas constituyen formas macroscópicas de vegetación acuática. Comprenden las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas.

Presentan adaptaciones a este tipo de vida tales como: cutícula fina, estomas no funcionales, estructuras poco lignificadas.

Teniendo en cuenta la morfología y fisiología, las macrófitas pueden clasificarse según la forma de fijación en:

**Tabla 1. Descripción de plantas Macrófitas (Utilizadas para la Prueba Piloto).**

Nombre común/ científico	Descripción General
<p><b>Buchón Cucharita</b>  <i>Limnobium laevigatum</i></p>	<p>Pertenece a la familia Hydrocharitaceas. Están provistas de un tejido esponjoso que funciona como un perfecto flotador. Su utilidad radica en que vitaliza las aguas de suerte que donde ella crece se desarrollan muy bien los pececillos nativos de los ríos y quebradas del altiplano tales como las aguapuchas y los capitanes.</p>
<p><b>Buchón de agua</b> <i>Eichhornia crassipes</i></p>	<p>Familia: Pontederiaceae. Llamado comúnmente flor de bora, camalote, jacinto de agua común o tarope, Es originaria de las aguas dulces de las regiones cálidas de América del Sur, en las cuencas Amazónica, y del Plata. Es usada como planta medicinal, fertilizante de suelos y decorativa; por fuera de su nicho original se la considera especie invasora. Habita en cuerpos de agua dulce localizados a latitudes no mayores de 40°N y 45°S. Temperaturas menores de 0°C afectan su crecimiento al igual que alta salinidad. Sin embargo, cuerpos de agua eutroficados que contienen niveles altos de nitrógeno, fosforo, potasio al igual que aguas contaminada con metales pesados como cobre y plomo no limitan su crecimiento ya que puede anclarse y enraizar en suelos saturados de agua por un corto periodo de tiempo.</p>
<p><b>Carretón de agua</b> <i>Marsilia quadrifolia</i></p>	<p>Originaria de Norteamérica, pertenece a las Marsiliaceas, una familia de helechos acuáticos de los humedales. Arraigadas en el fondo o en el suelo saturado de agua, con el tallo horizontal y dorsiventral, que desarrolla en la parte superior dos hileras de hojas de largos peciolo, y en la cara inferior raíces. En las hojas se encuentran estructuras portadoras de soros, en cuyo interior están las esporas,. Este helecho se usa mucho en estanques y acuarios. Son muy abundantes en los humedales de Bogotá.</p>
<p><b>Junco</b> <i>Scirpus californicus</i></p>	<p>Pertenece a la familia Cyperáceas. Son plantas perennes. Tienen un rizoma o tallo subterráneo muy robusto con el que se anclan firmemente al suelo blando del pantano y desarrollan allí una red de la que brotan los largos tallos aéreos cilíndricos y erguidos de verde intenso que se arquean. En el extremo de los tallos producen</p>

	una pequeña espiga de color café con granos que sirven de alimento a varias especies de pájaros, entre ellos el toche de laguna o monjita.
<b>Lenteja de agua</b> <i>Lemma minor</i>	Son pequeñas macrófitas flotantes que prosperan en aguas estancadas o de corriente lenta. Su crecimiento es muy rápido, y constituyen en su hábitat natural, un alimento apreciado por peces, aves palmípedas, roedores acuáticos
<b>Oreja de ratón</b> <i>Dichondra repens</i>	Dichondra es una interesantísima planta tapizante que merece la pena destacarse.  Hojas son de forma arriñonada y de color verde intenso. Tiene unos pocos centímetros de altura (5-10 cm.). Soporta muy bien la sombra. Se desarrolla bien en zonas húmedas, en general debajo de árboles o a pleno sol pero sólo si la humedad es suficiente. Temperaturas: resiste hasta -9°. Necesita fertilización en nitrógeno.

**Fuente:** Napoleón, (2014) Proyecto "Contribución desde la Escuela a la recuperación del Humedal de la Conejera

### **Macrófitas Fijas al Sustrato**

**Macrófitas emergentes:** “en suelos anegados permanentes o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos” (Andrade et al., 2010. pág.8)

**Macrófitas de hojas flotantes:** “principalmente angiospermas; sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos.” (Andrade et al., 2010. pág.8)

**Macrófitas sumergidas:** “comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carofitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos”. (Andrade et al., 2010. pág.8).

### **Macrófitas flotantes libres:**

Presentan formas muy diversas desde plantas de gran tamaño con roseta de hojas aéreas y/o flotantes y con raíces sumergidas bien desarrolladas a pequeñas plantas que flotan en la superficie, con muy pocas raíces o ninguna. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos pero muy raramente están sumergidos. Los inconvenientes relacionados con la presencia de macrófitas son:

- Pueden actuar como fuente de vectores propagadores de enfermedades y plagas.
- Favorecen la ausencia de oxígeno en el cuerpo de agua (en grandes coberturas de macrófitas flotantes).
- Producen sombra a plantas sumergidas y algas que liberan oxígeno por fotosíntesis.
- Grandes masa de macrófitas en descomposición acumulan materia orgánica en general en el sedimento, volviéndolo anóxico (es decir, sin oxígeno).
- Taponamiento de canales de riego y de navegación.
- Problemas en represas, en puentes y obras de ingeniería en general por acumulación de macrófitas flotantes que se embalsan, ejercen presión sobre estas obras pudiendo peligrar su infraestructura.
- Problemas en lugares de recreación debido a que al encontrarse en grandes cantidades, hay gran cantidad de materia en descomposición y produce mal olor.

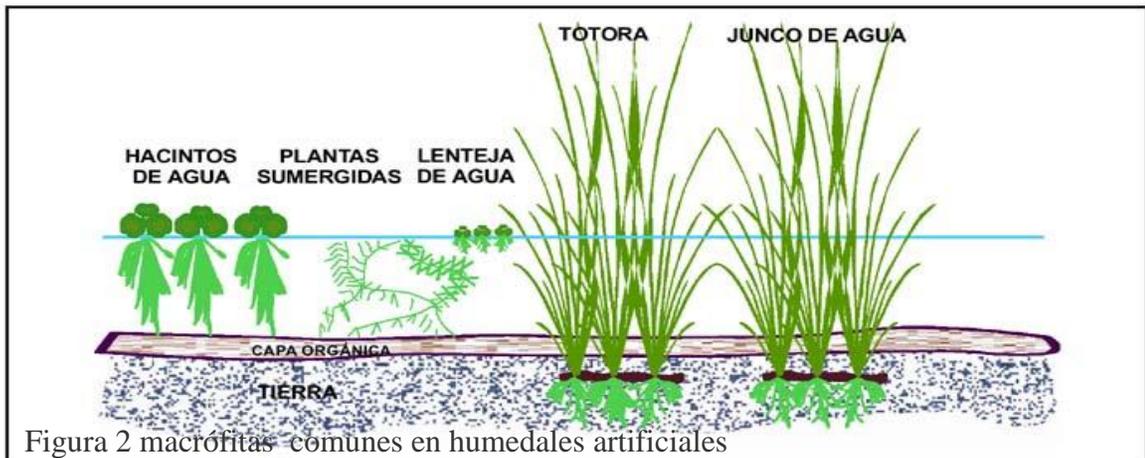


Figura 2 macrófitas comunes en humedales artificiales

### Figura 8. Macrófitas utilizadas más comúnmente en humedales artificiales

Fuente: (Gómez, 2009)

#### Comunidades de microbios:

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

La actividad microbiana:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- Altera las condiciones de potencial redox del substrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (es decir, requieren oxígeno libre) mientras otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y puede permanecer así durante años. “La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales” (Lara, 1999)

### **Invertebrados acuáticos:**

Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados.

Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando el detritus consumiendo materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significantes de materia durante sus fases larvales”. (Lara, Peña, 1999. Componentes del Humedal).

## **2.2 Estado del Arte de Humedales Artificiales**

Al buscar referencia sobre los humedales artificiales como estrategia para la remoción de compuestos de aguas contaminadas, se encuentra que desde hace aproximadamente dos décadas se vienen desarrollando investigaciones que muestran su eficiencia en todos los ámbitos. (Vetivercol Servicios y Consultorías, s/f, pág. 1-20).

Existe una gran variedad de artículos, revistas, folletos, textos y libros que describen las condiciones específicas en un paso a paso para que el diseño sea exitoso. (Peña y Lara .2012. Pág. 40-53)

Al seleccionar el material vegetal o macrófitas detallan extensamente las características de cada tipo de macrófitas. Especifican las características en la selección del suelo y las

condiciones hidrogeológicas, seguidamente encontrará algunos criterios bibliográficos, para el diseño de humedales artificiales. (Martero y Lara, 2012, Pág. 224-243).

Los humedales artificiales se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios, iniciando por el régimen del flujo del agua, esta clasificación inicial es (1) humedales artificiales de flujo superficial con macrófitas emergentes, (2) humedales artificiales su superficiales cuyo diseño puede ser en forma vertical u horizontal, esto se define de acuerdo a las necesidades propias del agua a tratar. (Andrade et al., 2010. pág.16-20).

Dentro de la clasificación se pudo establecer que según las características del agua que se va tratar el tipo más indicado para este trabajo es un humedal de flujo sub superficial horizontal con macrófitas flotantes, debido a su capacidad para tratar aguas contaminadas de origen mixto. Al referirse a mixtos se hace relación a aguas negras domiciliarias, agropecuarias y con materia orgánica. (González, 2010, Pág. 79-89)

Para alcanzar óptimos resultados en la eficiencia de los humedales artificiales en ocasiones es necesario utilizar pre tratamientos como trampas de grasas y filtros de solidos suspendidos por celdas de tamaños. ( Ministerio de Desarrollo Económico, 2000, Pág. 27-127)

De igual manera es importante incluir dentro del diseño macrófitas que se adapten a las características del terreno teniendo presente el PH, la materia para remover, el aforo de agua e incluso las condiciones climáticas como la temperatura. Las macrófitas son clasificadas en enraizadas y flotantes. Estas primeras a su vez se subdividen en emergentes, sumergidas y flotantes. Generalmente se usa una sola clase de macrófitas no queriendo decir esto que el incluir mancomunadamente macrófitas estas no puedan ser más eficientes. (Rivera Carolina, s/f, pág. 1-4).

En el diseño de humedales artificiales que tratan aguas residuales e industriales, las variables: concentración inicial del agua, caudal de entrada y concentración requerida a la salida, son función del diseño y se convierten en datos conocidos. Sin embargo, esta información inicial no es válida en el tratamiento de las aguas de lluvia, debido a las fluctuaciones en los parámetros de entrada (caudal y concentraciones); por lo tanto, algunos métodos de diseño se han presentado de manera empírica.(Lara, Peña, 1999, pág. 43).

## **METODOLOGÍA**

La investigación se llevó a cabo bajo el enfoque de estudio de campo o laboratorio de tipo exploratorio. Para lo cual se adelantaron los siguientes procedimientos:

Análisis Químico y biológico/ organoléptico del agua de la quebrada La Nutria.

Para hacer el análisis del agua de la quebrada La Nutria, se siguió el PROTOCOLO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES del IDEAM que puede ser descargada gratuitamente desde la página Institucional, ([http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_AVA/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/Tratamiento_de_aguas_residuales_AVA/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf)) con el objetivo de mantener los requerimientos, instrucciones y cuidados que se deben tener en cuenta para la toma de muestras de aguas residuales industriales (ARI) o domésticas (ARD) para análisis en el Laboratorio.

Los puntos de muestreo fueron seleccionados aleatoriamente en el sector alto, medio y bajo del área administrativa del Parque Ecológico Distrital de Montaña PEDMEN,( Observatorio Ambiental de Bogotá, s/f, Información Detallada del Indicador) ya que comprende descargas del sector nombrado como invasión de los Libertadores; paso de comunicación interbarrial y parte baja del barrio El Triunfo.

Posteriormente las muestras fueron sometidas a análisis físico, químico y biológico en el laboratorio del Colegio Colsubsidio Nueva Roma IED, siguiendo el instructivo anteriormente mencionado y con base en los siguientes parámetros.

**Tabla 2. Parámetros de calidad del Agua**

Parámetro	Valores estándar
Oxígeno (Disuelto)	>4.0 mg/l
Temperatura	Dependiente de las especies
pH	7.5 – 8.5
Salinidad	Agua dulce: < 0.5 ppt
Agua salobre: 0.5 – 30 ppt	< 10 ppm
Agua de mar: 30 – 40 ppt	0 – 0.5 ppm
Óptimo: 15 – 25 ppt	< 1 ppm
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	< 10 ppm
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NH <sub>4</sub> -N)	0 – 0.5 ppm
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	< 1 ppm
Dureza	40 – 400 ppm
Alcalinidad	50 – 300 ppm
H <sub>2</sub> S	0 ppm
BOD	< 50 mg/l

Fuente: <http://aquafeed.co/monitoreo-de-la-calidad-de-agua-del-estanque-para-mejorar-la-produccion-de-camarones-y-peces/>

De igual forma se consideró pertinente hacer el estudio de la composición del agua residual de la quebrada La Nutria, para esto se hizo un recorrido por la ronda de la quebrada La Nutria, haciendo registro fotográfico de los elementos que se vierten y arrojan a sus aguas.

### **1. Eficiencia de Macrófitas**

Este proceso se llevó a cabo en las instalaciones del Colegio Colsubsidio Nueva Roma IED, donde se realizó el siguiente procedimiento:

Determinar macrófita / volumen de agua: Para determinar la cantidad de macrófita que se sembraría en cada prototipo se utilizó el método simplex 4 x 0,5 (cuatro partes de agua por 0,5 parte de macrófitas).



**Figura 9. Volumen de Agua para Prueba Piloto.**

Durante 7 días continuos se llevó a cabo la observación y registro fotográfico de los avances y cambios organolépticos que surgen en los prototipos.

En total se instalaron 6 peceras con una macrófitas diferente cada recipiente. En total cada recipiente ( pecera) contenía 20 litros de agua por 2.5 kilos de macrófita.

Dos horas antes se había recogido agua de la quebrada La Nutria y se trasportó hasta el laboratorio de biología del Colegio Colsubsidio Nueva Roma, distantes 300 metros, el uno del otro.

Se vertió el agua en cada pecera, 5000 ml, y se dispone en ellas las macrófitas haciendo el registro organoléptico del agua y se toma muestras del agua inicial para hacer el análisis químico y biológico. (Observar imágenes)

Cabe anotar que los prototipos con las macrófitas siempre estuvieron a condiciones ambiente, tratando de conservar relación con lugar original.

**Figura 2.Eficiencia de Macrófitas**



**Figura 10.Eficiencia de Macrófitas**

El día 8 se desmontan los prototipos, se lavan las peceras y se vuelve a repetir el proceso con las mismas macrófitas del momento inicial pero haciendo una observación más puntual de las que mostraron mayor resistencia y eficiencia en la primera semana. Cabe anotar que se toman 8 días de tiempo entre cada experimento se hizo para tener una medida ( tiempo) estándar .

Luego de repetir el proceso, por dos veces, se pudo determinar que la planta acuática con mayor eficiencia dadas las características del contexto es el buchón de agua, *Eichhornia crassipes*, trabajando conjuntamente con la oreja de ratón.

El misceláneo de buchón de agua y oreja de ratón se encontró eficiente entre otras, por las siguientes características:

- Las bacterias están siempre presentes en la planta del buchón de agua puesto que el nitrógeno se elimina por fenómenos de nitrificación-des nitrificación y amonificación, realizados por bacterias. Por tal motivo éstas son de vital importancia en el proceso de purificación del agua.
- Tiene la capacidad de purificar el agua contaminada, para hacer este proceso utiliza métodos de fitorremediación entre estos procesos se encuentra la fito estimulación, la fito volatilización, la fito estabilización, y la rizo filtración. En el humedal artificial que se propone se utilizará la rizo filtración.

La Rizo filtración, es una técnica alternativa de fitorremediación, que usa raíces de plantas para descontaminar aguas o efluentes líquidos. Se puede usar para el tratamiento de aguas contaminadas de origen domiciliario, ya que es una de las opciones que presenta el mejor costo-beneficio respecto a otros métodos mecánicos o químicos empleados con los mismos fines.

#### 1. Actores sociales Localidad cuarta San Cristóbal:

El componente social es un factor importante en el alcance de los objetivos de todo proyecto, ya que su interacción, relación y apropiación permite la consolidación de las partes.

Incluir los miembros de la comunidad en la ejecución de un proyecto, empoderarlos y delegar responsabilidades directas puede garantizar su efectivo desarrollo, cuidado y mantenimiento e incluso pueden aparecer ideas nuevas e innovadoras que mejoren los resultados propuestos.

Las agendas ambientales locales, en este caso la agenda ambiental de la localidad de San Cristóbal, incluyen la línea base ambiental y en su componente social se puede encontrar el inventario de los actores sociales más relevantes de la localidad, seguidamente se consultó la base de datos de la Secretaria Distrital de Salud, específicamente la información de la localidad Cuarta; estos dos reportes se confrontaron con los conocimientos que tengo del sector y de sus actores para definir la tabla que se adjunta, donde se listan los actores sociales del sector.

Teniendo en cuenta que la elaboración del diagnóstico local requiere la participación comunitaria y la colaboración de diversos entes institucionales para la generación de la información, es importante elaborar un mapa de redes que permita identificarlos con el fin de optimizar el proceso sin descuidar ningún sector en su desarrollo. Así las cosas, los actores sociales identificados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Tabla Listado de actores sociales localidad cuarta de San Cristóbal

NOMBRE	ETAPA DE CICLO	SECTOR	ACTOR			INTERES			INFLUENCIA		
			COMUNITARIO	PUBLICO	PRIVADO	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTA	MEDIA	BAJA
TERRITORIOS ESE HOSPITAL SAN CRISTOBAL	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SALUD		X		X			X		
SECRETARIA LOCAL DE INTEGRACION SOCIAL	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SOCIAL		X		X			X		
DIRECCION LOCAL DE EDUCACION	INFANCIA- JUVENTUD-ADULTEZ	EDUCACION		X		X			X		
COMITE LOCAL DE EMERGENCIAS	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	ALCALDIA		X		X			X		
FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS FOPAE	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	GOBIERNO		X		X			X		
CENTRO REGULADOR DE EMERGENCIAS	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SALUD		X		X			X		
JUNTAS DE ACCIÓN COMUNAL	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	COMUNIDAD	X				X			X	
FAMI	INFANCIA Y ADULTEZ	COMUNIDAD	X				X			X	
HOBSIS	INFANCIA	SOCIAL	X				X			X	
COMEDORES COMUNITARIOS	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	COMUNIDAD	X			X			X		
ASOCIACIONES DE ADULTOS MAYORES	ADULTO MAYOR	COMUNIDAD	X			X			X		
MESAS INTERSECTORIALES	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	LOCAL	X			X			X		
INSTITUCIONES EDUCATIVAS LOCALES	INFANCIA- JUVENTUD-ADULTEZ	EDUCACION		X				X			X
VIGILANCIA SALUD PUBLICA ESE HOSPITAL SAN CRISTOBAL	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SALUD		X		X			X		
SECRETARIA DE SALUD	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SALUD		X		X			X		
JARDINES INFANTES	INFANCIA	SOCIAL		X			X			X	
ICBF	INFANCIA Y ADOLESCENCIA	SOCIAL		X			X			X	
ACJ	INFANCIA Y JUVENTUD	EDUCATIVO		X		X				X	
CONSTRUYENDO FUTURO	INFANCIA Y ADOLESCENCIA	EDUCATIVO		X			X			X	
ALCALDIA LOCAL DE SAN CRISTOBAL	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	GOBIERNO		X		X			X		
IDRD	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	RECREACION		X		X			X		
ESTACION DE POLICIA	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	GOBIERNO		X			X		X		
DEFENSA CIVIL	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	GOBIERNO		X			X		X		
BOMBEROS	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SOCIAL		X			X		X		
HOSPITAL SAN BLAS	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SALUD		X		X			X		
HOSPITAL LA VICTORIA	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SALUD		X		X			X		
COMISARIA DE FAMILIA	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SOCIAL		X		X			X		
CENTRO DE DESARROLLO ECONOMICO INTERLOCAL	JUVENTUD-ADULTEZ- PERSONA MAYOR	ECONOMICO		X			X		X		
JUNTA ADMINISTRADORA LOCAL	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	GOBIERNO	X			X			X		
PERSONERIA LOCAL	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	GOBIERNO		X			X		X		
CASA DE IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA LAS MUJERES	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SOCIAL		X		X				X	
IPES	JUVENTUD-ADULTEZ	ECONOMICO		X			X			X	
DIPRON	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	SOCIAL		X			X			X	
CAJA DE VIVIENDA POPULAR	JUVENTUD-ADULTEZ- PERSONA MAYOR	VIVIENDA		X				X		X	
UNIDAD DE MEDIACION Y CONCILIACION	TRANSVERSAL A TODAS LAS ETAPAS DE CICLO	GOBIERNO		X				X		X	

Fuente: Diagnóstico local En salud con participación social 2011, Ese hospital San Cristóbal

## RESULTADOS

### 1. Análisis Químico y biológico/ organoléptico del agua de la quebrada La Nutria.

Luego del análisis Biológico,/ organoléptico y Químico del agua de la quebrada La Nutria se obtuvieron los resultados (Tabla 4) al ser comparados con los valores admisibles según el Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Medio Ambiente.(Elaboración propia)

#### Parámetros físicos, químicos y biológicos del agua de la quebrada La Nutria.

El agua extraída de la quebrada La Nutría fue sometida a pruebas en el laboratorio del Colegio Colsubsidio Nueva Roma IED, donde se encontraron los siguientes valores para sus parámetros:

**Tabla 4. Parámetros Físicos Quebrada la Nutria**

Parámetro	Valor Encontrado	Valor Admisible
Turbidez	25.3 ntu	5 ntu
Conductividad	2749 $\mu$ S/cm	50 -1000 micromhos/cm

**Tabla 5. Parámetros Químicos Quebrada la Nutria.**

Parámetro	Valor Encontrado	Valor Admisible
Ph	13,6	6.5
Alcalinidad	139 mg/l	1 CaCO <sup>3</sup> 00
Sólidos suspendidos totales	430 mg/l	Ausentes
Cloruros	0,7 mg/l	250 Cl <sup>-</sup>
Grasas y aceites	15mg/l.	Ausentes
Nitrógeno total	6,3 mg/l	0.1 mg/l
Mercurio	0,5 mg/l	0.001 mg/l
Cromo	0,3mg/l	0.01 mg/l

## **Parámetros Biológicos**

Es posible afirmar que según el Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud Pública de Colombia, el agua de la quebrada La Nutría es totalmente im potable e incluso la convierte en peligrosa para el uso agropecuario ya que contiene trazas de metales que se fijan a los vegetales y estos al ser ingeridos por el ser humano ocasionan problemas de salud como daño al sistema nervioso, a las funciones del cerebro, al ADN y cromosomas; reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza, daño en el esperma, defectos de nacimientos y abortos, degradación de la habilidad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria. Daño en el cromosoma y es conocido que causa mongolismo. (Congreso de la Republica, 1998, Decreto 475 de 1998).

Llama la atención los niveles de materia orgánica identificados en el agua de la quebrada La Nutria, ya que la contaminación fecal de fuentes de abastecimientos de agua ha ocasionado epidemias y es una de las problemáticas más relevantes, principalmente en las ciudades, como Bogotá, donde la contaminación del agua es debida al vertimiento de aguas domésticas, residuales e industriales a los cuerpos hídricos y al desecho de basuras; Los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica de enfermedades son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias.(Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración de Agua, s/f, pág. 222).

### **2- Macrófitas más eficiente**

**Para determinar la eficiencia de la macrófitas de acuerdo con los niveles de contaminación de la quebrada La Nutría,** se utilizaron 6 tipos de macrófitas pero también se realizó un misceláneo entre oreja de ratón y buchón de agua que resulto ser mayormente eficiente.

Seguidamente se anexan los cambios en los parámetros:

*Planta 1. Buchón de Agua o Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)*

*Tabla 6.Eficiencia del Buchón de Agua (Dichondra)*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor obtenido</b>	<b>Valor inicial</b>
<b>Ph</b>	4.5	13.6
<b>Temperatura</b>	10°C	6°C
<b>Conductividad</b>	3330 µS/cm	310 y 5749 µS/cm
<b>Oxígeno disuelto</b>	1,9 mg/l	2,9 mg/l
<b>Turbidez ntu</b>	1.4 ntu	12.3 ntu
<b>Dureza</b>	79mg/l	94mg/l
<b>Alcalinidad</b>	102 mg/l	139 mg/l
<b>Cloruros</b>	0,2 mg/l	0,7 mg/l
<b>Solidos suspendidos totales</b>	302 mg/l	364 mg/l
<b>DQO</b>	80 mg/l	140 mg/l
<b>DQO<sub>2</sub></b>	0,4 mg/l	0,4 mg/l
<b>Grasas y aceites</b>	0.8mg/l.	15mg/l.
<b>Nitrógeno total</b>	4.5mg/l	6,3 mg/l
<b>Mercurio</b>	0,5 mg/l	0,5 mg/l
<b>Cromo</b>	0,3mg/l	0,3mg/l
<b>Materia orgánica (coliformes)</b>	5600	13000
<b>Solidos disueltos</b>	200 mg/l	364 mg/l

*Planta N° 2 Oreja de ratón (Dichondra)*

*Tabla 7.Eficiencia de la Oreja de Ratón*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor obtenido</b>	<b>Valor inicial</b>
<b>Ph</b>	5.5	13.6
<b>Temperatura</b>	10°C	6°C
<b>Conductividad</b>	2556 µS/cm	310 y 5749 µS/cm
<b>Oxígeno disuelto</b>	1,5 mg/l	2,9 mg/l
<b>Turbidez ntu</b>	1.35 ntu	12.3 ntu
<b>Dureza</b>	45mg/l	94mg/l
<b>Alcalinidad</b>	89 mg/l	139 mg/l
<b>Cloruros</b>	0,5 mg/l	0,7 mg/l
<b>Solidos suspendidos totales</b>	338mg/l	364 mg/l
<b>DQO</b>	80mg/l	140 mg/l
<b>DQO<sub>2</sub></b>	0,1 mg/l	0,4 mg/l
<b>Grasas y aceites</b>	0.8mg/l.	15mg/l.
<b>Nitrógeno total</b>	3.0mg/l	6,3 mg/l
<b>Mercurio</b>		0,5 mg/l
<b>Cromo</b>		0,3mg/l
<b>Materia orgánica (coliformes)</b>	5600	13000
<b>Solidos disueltos</b>	200 mg/l	364 mg/l

*Planta N° 3 Lechuga de agua (Pistia stratiotes)*

*Tabla 8.Eficiencia de Lechuga de Agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor inicial</b>	<b>Resultado</b>
<b>Ph</b>	13.6	45
<b>Temperatura</b>	6°C	12°C
<b>Conductividad</b>	2556 µS/cm	310 y 5749 µS/cm
<b>Oxígeno disuelto</b>	2,9 mg/l	2,5 mg/l
<b>Turbidez ntu</b>	12.3 ntu	
<b>Alcalinidad</b>	94mg/l	135 mg/l
<b>Cloruros</b>	139 mg/l	0,7 mg/l
<b>Solidos suspendidos totales</b>	0,7 mg/l	302 mg/l
<b>DQO</b>	364 mg/l	140 mg/l
<b>DQO<sub>2</sub></b>	140 mg/l	0,4 mg/l
<b>Grasas y aceites</b>	0,4 mg/l	0mg/l.
<b>Nitrógeno total</b>	15mg/l.	8,3 mg/l
<b>Mercurio</b>	6,3 mg/l	0,5 mg/l
<b>Cromo</b>	0,5 mg/l	0,3mg/l
<b>Materia orgánica (coliformes)</b>	0,3mg/l	13000
<b>Solidos disueltos</b>	13000	364 mg/l
	364 mg/l	

*Planta N° 4 Misceláneo Buchón de agua y oreja de ratón.*

*Tabla 9. Tabla comparativa de Eficiencia de Macrófitas*

Parámetro	Valor inicial	Eficacia del Buchón de agua	Eficiencia de oreja de ratón	Eficiencia de lechuga de agua	Eficiencia de misceláneo
<b>Ph</b>	13.6	4.5	5.5	13.6	4.5
<b>Temperatura</b>	6°C	10°C	10°C	6°C	10°C
<b>Conductividad</b>	310 y 5749 µS/cm	3330 µS/cm	2556 µS/cm	2556 µS/cm	3330 µS/cm
<b>Oxígeno disuelto</b>	2,9 mg/l	1,9 mg/l	1,5 mg/l	2,9 mg/l	1,9 mg/l
<b>Turbidez ntu</b>	12.3 ntu	1.4 ntu	1.35 ntu	12.3 ntu	1.4 ntu
<b>Dureza</b>	94mg/l	79mg/l	45mg/l	94mg/l	79mg/l
<b>Alcalinidad</b>	139 mg/l	102 mg/l	89 mg/l	139 mg/l	102 mg/l
<b>Cloruros</b>	0,7 mg/l	0,2 mg/l	0,5 mg/l	0,7 mg/l	0,2 mg/l
<b>Solidos suspendidos totales</b>	364 mg/l	302 mg/l	338mg/l	364 mg/l	302 mg/l
<b>DQO</b>	140 mg/l	80 mg/l	80mg/l	140 mg/l	80 mg/l
<b>DQO<sub>2</sub></b>	0,4 mg/l	0,4 mg/l	0,1 mg/l	0,4 mg/l	0,4 mg/l
<b>Grasas y aceites</b>	15mg/l.	0.8mg/l.	0.8mg/l.	15mg/l.	0.8mg/l.
<b>Nitrógeno total</b>	6,3 mg/l	4.5mg/l	3.0mg/l	6,3 mg/l	4.5mg/l
<b>Mercurio</b>	0,5 mg/l	0,5 mg/l		0,5 mg/l	0,5 mg/l
<b>Cromo</b>	0,3mg/l	0,3mg/l		0,3mg/l	0,3mg/l
<b>Materia orgánica (coliformes)</b>	13000	5600	5600	13000	300
<b>Solidos disueltos</b>	364 mg/l	200 mg/l	200 mg/l	364 mg/l	200 mg/l

Aunque el buchón de agua deja ver su poder, al comparar los resultados con el misceláneo entre buchón de agua y oreja de ratón es aún más eficiente pues redujo significativamente valores de materia orgánica, sólidos disueltos y PH, llevándolos incluso cerca de los niveles permisibles.

Cabe anotar que para obtener estos resultados se adelantaron experimentos en prototipos conservando las características físicas, químicas y biológicas de las muestras, en recipientes tipo peceras, en dos momentos diferentes y durante un lapso de 8 días.

Esta observación se debe a las características que tiene el buchón de agua:

Eliminación de sólidos en suspendidos: “Los sólidos se eliminan por sedimentación, decantación, filtración y degradación a través del conjunto que forma el sustrato del humedal con las raíces y rizomas del Jacinto o buchón de agua.”(Camacho y Ordoñez, 2008. Pág. 104).

“Eliminación de materia orgánica: La cual es realizada por los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de la planta y que reciben el oxígeno a través de un sistema de aireación muy especializado. Una parte de la aireación del agua también se realiza por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua. También se elimina una parte de la materia orgánica por sedimentación” (Medioambiente2012.2012. Párr. 8).

“Eliminación de nitrógeno: El nitrógeno se elimina por diversos procesos: absorción directa por la planta y, en menor medida, por fenómenos de nitrificación-desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias” (Madrid más D.2006.Párr 6).

“Eliminación de microorganismos patógenos: Por filtración y adsorción en partículas de arcilla, acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radiación UV contenida en los rayos solares”. (Madrid más D.2006.Párr 8).

Trazas de Metales: Tienen una alta afinidad por adsorción con materia orgánica y pueden ser acumulados en los humedales. También existen transformaciones microbianas y asimilación por la planta, mediante la raíz, la cual atrapa y fija entre sus tejidos

concentraciones hasta de 100 mil veces superiores a las del agua que las rodea. (Fernández, s/f, Pág. 2).

El misceláneo de buchón de agua y oreja de ratón se encontró eficiente entre otras, por las siguientes características:

“Las bacterias están siempre presentes en la planta del buchón de agua puesto que el nitrógeno se elimina por fenómenos de nitrificación-des nitrificación y amonificación, realizados por bacterias. Por tal motivo éstas son de vital importancia en el proceso de purificación del agua”. (Medioambiente2012.2012. Párr. 1).

“Tiene la capacidad de purificar el agua contaminada, para hacer este proceso utiliza métodos de: fitorremediación entre estos procesos se encuentra la fito estimulación, la fito volatilización, la fito estabilización, y la rizo filtración. En el humedal artificial que se propone se utilizará la rizo filtración.” (Medioambiente2012.2012. Párr. 3).

“La Rizo filtración, es una técnica alternativa de fitorremediación, que usa raíces de plantas para descontaminar aguas o efluentes líquidos.” (Medioambiente2012.2012. Párr. 4). Se puede usar para el tratamiento de aguas contaminadas de origen domiciliario, ya que es una de las opciones que presenta el mejor costo-beneficio respecto a otros métodos mecánicos o químicos empleados con los mismos fines.

## **2. Actores Sociales del Contexto**

El contexto que se analizaron los humedales artificiales se encuentra ubicado en la Localidad cuarta de San Cristóbal, UPZ Los Libertadores, Barrio El Triunfo; allí se pueden identificar como actores sociales principales

- a. Colegio Colsubsidio Nueva Roma IED: es una Institución educativa que pertenece a la Caja Colombiana de Subsidio Familiar Colsubsidio, Dirección. Calle 48 Sur No. 4A- 39 Este, Personería Jurídica de Colsubsidio. Resolución 3286 de diciembre 4 de 1957, Nit. 860007336-1. Representante Legal. Dr. LUIS CARLOS ARANGO VÉLEZ, Rectora. GLORIA C. GALVIS LEAL, Naturaleza. Concesión, Modalidad. Académica, Carácter. Mixto, Calendario. A, Jornada. Única, Horario. 6:00 a.m. a 12:30 p.m y 12:00 a.m a 6:30 p.m.
- b. Parque Ecológico Distrital Entre Nubes: El Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes está localizado al sur- oriente de Bogotá. Entre las localidades de San

Cristóbal, Rafael Uribe Uribe Y Usme.  
Está conformado por los cerros de Guacamayas, Juan Rey y Cuchilla del Gavilán.  
Tiene una extensión de 623 hectáreas y un perímetro de 30 kms. Carrera 3ª ESTE #  
50 - 00 SUR - Entrada Al Mirador Juan Rey: Carrera 11 C ESTE # 72Sur.

- c. Colegio Distrital Entre Nubes: ubicado en la Calle 43 B sur N° 1D- 03, atiende estudiantes de estratos 1 y 2 de los grados primero a undécimo con proyectos transversales que van desde ciencias naturales hasta proyecto de vida.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Las características de contaminación hídrica de La quebrada La Nutría, permite que los humedales artificiales sean una tecnología viable para la depuración de aguas residuales, especialmente si éstas son de origen urbano, como es el caso. Dada su dinámica pueden llegar convertirse en una alternativa para Bogotá, donde el 56% de sus quebradas, que hacen parte de su sistema hídrico, están contaminadas. Además los humedales artificiales se pueden adaptar a las condiciones inclinadas del terrero de las quebradas, lo que hace que los costos sean relativamente bajos por instalación, operación y mantenimiento, así como no se requiere equipos de bombeo ya que la fuerza hidráulica con la que baja el agua es suficiente para su ingresarla a los pozos.

En el caso puntual de la quebrada La Nutria, los estanques o pozos necesitarían ser impermeabilizados con un polivinilo o geo textil, para evitar la filtración del agua y permitir el proceso correcto de Fito depuración. Así mismo la entrada y la salida de agua del humedal se debe compactar al momento de su construcción, porque se correría el riesgo de que algunas zonas del humedal se colapsen. Tanto a la entrada como a la salida se deben disponer piedras de un diámetro mayor al que tendrá el medio granular que permita distinguirlo. El medio granular, cubierto con el bio textil se formará en torno a las plantas emergentes, que son los constituyentes principales del sistema para que se realicen en forma completa procesos de retención, sedimentación, asimilación y degradación de los contaminantes así como la anulación de los microorganismos patógenos.

Debido a la presencia de residuos sólidos en las aguas de la quebrada La Nutria, es necesario hacer un pre tratamiento de descontaminación, instalando filtros de retención de solidos que se removerán posteriormente y así permitir que el agua que ingrese a los humedales esté libre de ellos.

Las macrófitas que resultaron eficientes en este proyecto fueron el buchón de agua al trabajarlo conjuntamente con la oreja de ratón quienes redujeron en 98%, 12 % y 47 % los parámetros de materia orgánica, sólidos totales y grasas y aceites , llevando el pH de 13. 6 a 4.5 lo que permitió nivelar la conductividad y la Demanda Química de Oxígeno. Esta efectividad se dio debido a la acción de los microorganismos (principalmente

bacterias), y a mecanismos de degradación microbiana aerobia y degradación microbiana anaerobia y a fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y su eliminación en las raíces; permitiendo devolver parcialmente la calidad al agua de la quebrada La Nutría.

Para limitar características invasoras de las macrófitas es fundamental contar con los actores sociales de la comunidad, en el caso puntual se hace referencia a miembros de la Junta de Acción Comunal del Barrio el Triunfo, Barrio Canada Güira, Barrio Nueva Roma, Barrio Santa Rita Sur Oriental; profesionales del PEDMEN, Comunidad Educativa Colegio Colsubsidio Nueva Roma IED; IED Entre Nubes, entre otros. Estos actores estarán organizados en grupos de servicio social y asumirán labores de control, regulación y utilización, como materia para compost garantizará su desempeño.

### **Los beneficios que aportan las macrófitas son:**

- “Pueden utilizarse para alimentación humana, alimentación del ganado, alimentación de peces y otros animales acuáticos.
- Pueden ser utilizadas como fertilizantes.
- Pueden usarse para purificación del agua.
- Para uso medicinal y en cosmetología.
- Para producción de celulosa.
- Como fuente de producción de bio-gas.” (Arreghini, 2014)

## **RECOMENDACIONES**

### **Ventajas**

Los humedales artificiales son técnica y económicamente factibles para tratar aguas residuales por varias razones:

Son menos costosos que otras opciones de tratamiento.

Los gastos de operación y mantenimiento son bajos. (energía y suministros)

La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación.

Los humedales soportan bien las variaciones de caudal.

Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua.

Proporcionan un hábitat para muchos organismos.

Pueden construirse en armonía con el paisaje.

Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua, como el ser un hábitat para la vida silvestre y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos. Como lo es el PEDMEN.

### **Limitaciones**

Solo aplica para las quebradas que tienen el espacio en su terreno.

El rendimiento del sistema puede ser estacional en respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.

Las macrófitas pueden convertirse en un problema ya que la utilización de estas para la eliminación de nutrientes, la convierten en una biomasa con una elevada concentración de nutrientes. Es preciso evitar que esta biomasa pase al cauce de la quebrada. Para ello, basta con hacer una recolección periódica y emplearla como fertilizante o alimento a animales.

## REFERENCIAS

### Libros

- Andrade, M. Camacho, A. Delgadillo O. F. Pérez, L. (2010) Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia.
- Bernal, H(2009). Humedales Artificiales y su Potencial aplicación en el contexto regional. Barranquilla. Educosta. Universidad de la Costa.
- Corporación Suna Hisca (s7f).Caracterización Ecológica de los Suelos Tomo I. Parque Ecológico Distrital de la Montaña entre Nubes. Bogotá.

### Capítulo de Libro

- Curt M, .(s/f).Fitodepuración en Humedales Conceptos Generales. . En Manual de Fitodepuración Filtros de Macrofitas en Flotación. (s/f). (61-77)Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- Fernández , J.(s/f).Humedales Artificiales para depuración. En *Manual de Fitodepuración Filtros de Macrofitas en Flotación. (s/f).(79-89)Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.*
- Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (s/f).Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas. En *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. (s/f)(224-229).*

### Revistas

- Becerra, C, Quipuzco, Lawrence Daniel, et al. Asimilación y transferencias de conocimientos y tecnologías en la vinculación Universidad - Gobierno Local - Población: caso Lacabamba. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr, jul./dic. 2007, vol.10, no.20, p.31-44. ISSN 1561-0888.
- Fornés Azoiti J.M, López Geta J. A. (2009).*La Geología e Hidrogeología en la Investigación de Humedales* en Hidrografía y Aguas Subterráneas.(No 28).Pág. 9-30. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Peña C, Borrero J. (2012) Tratamiento de aguas de escorrentía mediante humedales artificiales En Ciencia e Ingeniería Neogranadina.22, (2),39-61.Bogotá. Universidad Militar Nueva Granada.

Geomorfología del PEDMEN.(s/f). Departamento Técnico Administrativo, tomo I.

## Material Online

- Acevedo, F. Croche, A. Espinosa, A. López, M. (2007). Filtro de Microfitas en Flotación (FMF). Recuperado de [http://aula.aguapedia.org/file.php/12/trabajos\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_20092010/Redadcion\\_del\\_trabajo\\_del\\_Filtro\\_de\\_Macrofitas\\_Flotantes.doc](http://aula.aguapedia.org/file.php/12/trabajos_tratamiento_de_aguas_20092010/Redadcion_del_trabajo_del_Filtro_de_Macrofitas_Flotantes.doc).
- Andrango M.(2007). *Tratamiento de Aguas Residuales mediante Humedales Artificial*. México Departamento de Ciencias Nucleares. Recuperado de [http://www.academia.edu/4983384/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_mediante\\_Humedales\\_Artificiales](http://www.academia.edu/4983384/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_mediante_Humedales_Artificiales). El 20 de junio de 2014.
- Alianza por el Agua.(s/f). "Humedales Artificiales de Flujo Superficial Libre". Managua. Recuperado de <http://www.alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t5.html>
- Arreghini S.(s/f). Plantas acuáticas (macrofitas). Recuperado de <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/PlantAcuat.htm> El 20 de junio de 2014.
- Baraona , W. (2009). "Diseño de una Planta para la Producción de Agua Apta para el Consumo Humano en la Planta de Producción de Familia Sancela S.A." Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. 1-94. Ecuador. Recuperado de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/244/1/96T00111.pdf> El 20 de junio de 2014.
- Buitrago, L. Céspedes, N. Delgado A. Galindo, L. Suárez, M, Vargas, E. Ussa, E.(2008). Escenarios Vivos de Aprendizaje para la Construcción Colectiva de Conocimientos. Bogotá. Recuperado de <http://jbb-repositorio.metabiblioteca.org/bitstream/001/257/14/Anexo%203-B.%20Predio%20rural%20productivo.pdf>. El 20 de junio de 2014.
- Camacho, J. Ordoñez, L. (2008). Evaluación de la Eficiencia de un Sistema de Recuperación de Aguas Residuales con Eichhornia Crassipes, para el Postramiento del Efluente del Reactor Anaerobio a Flujo Pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Bucaramanga. Recuperado de [http://repositorio.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/203/1/digital\\_15841.pdf](http://repositorio.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/203/1/digital_15841.pdf)
- Correa, J. Marín, J.(2010). Evaluación de la Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales en Humedales Artificiales Utilizando La Guadua angustifolia Kunth .Pereira. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1801/1/6283M337.pdf>

- Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (1971). Ramsar. Recuperado de [http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-texts-convention-on/main/ramsar/1-31-38%5E20671\\_4000\\_2\\_\\_](http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-texts-convention-on/main/ramsar/1-31-38%5E20671_4000_2__) El 20 de junio de 2014
- Docs.google.com. (s/f).Usos del Agua y Riesgos de Contaminacion. Pág. Recuperado de <https://docs.google.com/document/d/1mqfM9KkH1OvsyJQChB71e7MRVmoSrQz0eT3zaG9idh8/edit>. 1-11. El 20 de junio de 2014
- Fernandez , J. (s/f). La Fitodepuración Mediante Humedales Artificiales. 1-3.Madrid.
- García H, (2012). “Caracterización y Propuesta de Tratamiento de las Aguas Residuales de la Industria de Galvanizado de Lamina por Inmersión en Caliente”. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0375\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0375_MT.pdf) El 20 de junio de 2014.
- Gomez A. (2009). “Utilización de humedales artificiales para tratar las aguas residuales en la Región Lima Moderna”.Lima. Disponible en <http://paper6gomez.blogspot.com/>. El 20 de junio de 2014.
- Googlemas . Quebrada la nutria.Fotografía de la Quebrada la Nutria.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s/f). Mapa de Suelos Colombia. Recuperado de [http://geoportal.igac.gov.co/mapas\\_de\\_colombia/IGAC/Suelos.pdf](http://geoportal.igac.gov.co/mapas_de_colombia/IGAC/Suelos.pdf) El 20 de junio de 2014.
- Lara, J. (1999). “Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales”. Recuperado de <https://sites.google.com/site/humedalesartificiales/2-componentes-del-humedal> . Consulta realizada el 15 de mayo de 2014.
- Napoleón, (2014) Proyecto "Contribución desde la Escuela a la recuperación del Humedal de la Conejera. Recuperado de <http://maomolina.tripod.com/plantas.htm>. Consulta realizada el 20 de octubre de 2014
- Madrid más D. (2006). La fitodepuración mediante humedales artificiales.Madrid. Recuperado de <http://www.madrimasd.org/informacionidi/noticias/noticia.asp?id=25006> Consulta realizada el 4 de septiembre de 2014.
- Martelo, J. Lara, J.(2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento deaguas residuales; una revisión del estado del arte.En Ingeniería y Ciencia Volumen 8 N 15 Enero- Junio de 2012. Recuperado de

<http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/viewFile/946/850>  
Consulta realizada el 4 de septiembre de 2014.

Medioambiente2012.(2012).Buchón de Agua. Recuperado de <http://medioambiente2012.webnode.es/biologia/buchon-de-agua/> Consulta realizada el 4 de septiembre de 2014.

Ministerio de Ambiente (1998). Decreto 475 de 1998.Normas Técnicas de Calidad de Agua Potable. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>

Ministerio de Desarrollo Economico (2000).Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000.Tratamiento de Aguas Residuales. Recuperado de <http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7>. Tratamiento de aguas residuales. pdf Consulta realizada el 4 de septiembre de 2014.

Peña, C. Lara J.(2012) Tratamientos de Agua de Escorrentía Mediante Humedales Artificiales: Estado del Arte En Revista Ciencia y Tecnología Neogranadina. 39-61.Universidad Militar Nueva Granada.Vol 22 No 2 de 2012.Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/911/91126903003.pdf>. Consulta realizada el 3 de septiembre de 2014.

Pozo , C. (2012). “Fitoremediación de las Aguas del Canal de Riego Latacunga- Salcedo Mediante Humedales Vegetales a Nivel de Prototipo de Campo Salcedo Cotopaxi”. Ambato Ecuador. Recuperado de realizada el El 15 de julio de 2014.<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1939/MSc.%2024pdf?sequence=1>Consulta

Napoleón J. (s/f) “Contribución desde la Escuela a la recuperación del Humedal de la Conejera”. Recuperado de <http://maomolina.tripod.com/plantas.htm> El 15 de julio de 2014.

Observatorio Ambiental de Bogotá. (2013). El Observatorio con la Comunidad. Recuperado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad//debate-sobre-la-calidad-del-recurso-hidrico-de-bogota-2> . El 20 de Octubre de 2014.

Observatorio Ambiental de Bogotá. (2013).Información Detallada del Indicador .Recuperado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=771>. Consulta realizada el 20 de Octubre de 2014

- Organización Productores Piscicultores. Consortium Sustain Aqua Organización Productores Piscicultores (2009). “Manual de Acuicultura Sostenible”. Recuperado de [http://www.magrama.gob.es/app/jacumar/recursos\\_informacion/Documentos/Publicaciones/203\\_manual\\_acuicultura\\_sostenible.pdf](http://www.magrama.gob.es/app/jacumar/recursos_informacion/Documentos/Publicaciones/203_manual_acuicultura_sostenible.pdf) . Consulta realizada el 15 de mayo de 2014.
- Rivera C. (s/f). Humedales Artificiales: una solución para el manejo de aguas Residuales. Recuperado de <http://cerrosdebogota.org/bibliotecavirtual/agua/descargables/humedalesartificiales.pdf>
- Secretaria Distrital de Ambiente(s/f).Aspectos Físicos. Bogotá. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/cerros-orientales> El 15 de mayo de 2014.
- Secretaria Distrital de Ambiente (2009).*Agenda ambiental localidad cuarta de San Cristóbal*. Pág. 1-53. Bogotá. Recuperado de [http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/a65cd60a57804f3f1d35afb36cfcf958/4\\_AA\\_SanCristobal\\_1.pdf](http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/a65cd60a57804f3f1d35afb36cfcf958/4_AA_SanCristobal_1.pdf) El 21 de junio de 2014.
- Secretaria Distrital de Ambiente(s/f).Cerros Orientales. Bogotá. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/cerros-orientales>. El 15 de mayo de 2014.
- Sorrequieta, A. “Aguas Residuales: Reuso y Tratamiento. Lagunas de Estabilización; Una Opción para Latinoamerica”.1-30. Argentina. Recuperado de [http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/2784/mod\\_resource/content/0/2\\_Aguas\\_residuales\\_protegido\\_.pdf](http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/2784/mod_resource/content/0/2_Aguas_residuales_protegido_.pdf) . El 21 de junio de 2014.
- Totuño O. . (s/f). Tratamiento de Aguas Residuales mediante Humedales Artificiales. Recurado de [http://otoruno.files.wordpress.com/2012/05/hidro-edar\\_tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-humedales-artificiales.pdf](http://otoruno.files.wordpress.com/2012/05/hidro-edar_tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-humedales-artificiales.pdf)
- Universidad de la Plata.(2013).Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ar/archivos/web/Pfreplyata/file/Estudios%20e%20Investigaciones/DISENO%20HUMEDAL%20SAN%20CLEMENTE.pd>. Consulta realizada el 6 de septiembre de 2014.
- Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería (2012). Calidad del Recuso Hídrico de Bogotá (2011-2012). Pág. 1-272.Recuperado de [file:///D:/New%20folder%20-%20Copy%20\(4\)/calidad\\_recurso\\_hidrico\\_2011\\_2012.pdf](file:///D:/New%20folder%20-%20Copy%20(4)/calidad_recurso_hidrico_2011_2012.pdf) Consulta realizada el 20 de Octubre de 2014.

Universidade Federal de São Carlos (s/f). Faculdade de Ciências, .Macrofitas. O que são Macrófitas Aquáticas. Recuperado de [http://www.ufscar.br/~probio/info\\_macrof.html](http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html) . Consulta realizada el 20 de Octubre de 2014.

Universidad Mariano Gálvez, (2012).Medio Ambiente UMG. Guatemala. Recuperado de <http://medioambienteumgtuy.blogspot.com/2012/05/medio-ambiente.html> Consulta realizada el 15 de mayo de 2014.

Universitat Politècnica de Catalunya. BarcelonaTech.( s/f ). Copiar la naturaleza: los humedales artificiales. Barcelona. Recuperado de [http://www.upc.edu/saladeprensa/informacio/monografics/copiar-la-naturaleza-los-humedales-artificiales?set\\_language=es](http://www.upc.edu/saladeprensa/informacio/monografics/copiar-la-naturaleza-los-humedales-artificiales?set_language=es) . Consulta realizada el 5 de septiembre de 2014

Vertivercol Servicios y Consultorías (s/f). Tratamiento de Aguas Residuales mediante Filtros e Hidrosistemas Naturales con Pasto Vetiver. Tolima. Recuperado de [http://www.vetiver.org/COL\\_TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20MEDIANTE%20FILTROS.pdf](http://www.vetiver.org/COL_TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20MEDIANTE%20FILTROS.pdf). Consulta realizada el 5 de septiembre de 2014

**Anexo.1.Imagen. Zona Topográfica Baja de la Quebrada La Nutria**



**Fuente:Google Maps**

**Anexo 2.Fotografía.Fotografías Quebrada la Nutria**



Fuente: Fotografía propiedad de la autora



Fuente: Fotografía propiedad de la autora



Fuente: Fotografía propiedad de la autora



Fuente: Fotografía propiedad de la autora



**Fuente: Fotografía propiedad de la autora**