

**EL HUMEDAL ARTIFICIAL COMO UN ESPACIO PARA LA  
SENSIBILIZACIÓN EN TORNO A LAS PRÁCTICAS DE USO DE LOS  
RECURSOS HÍDRICOS Y SUS POSIBILIDADES DE REUTILIZACIÓN**

Ángela Julieth González Gómez  
Laura Alejandra Perilla Gutiérrez

Nubia Ladino Ospina  
Miguel Ángel Harker Useshe  
Directores

Universidad Pedagógica Nacional  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Biología  
Bogotá  
2015

## **Dedicatoria**

Queremos Dedicar este trabajo a nuestras familias, en agradecimiento por su apoyo incondicional.

## **Agradecimientos**

Agradecemos especialmente al Instituto Pedagógico Nacional, por su disposición y colaboración en la elaboración y desarrollo de este trabajo.

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional durante nuestro proceso de formación y la construcción de esta experiencia.

Agradecemos a cada una de las personas que acompañaron nuestro proceso de formación como Licenciadas en Biología.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>1957-2012</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012		

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	El humedal artificial como un espacio para la sensibilización en torno a las prácticas de uso de los recursos hídricos y sus posibilidades de reutilización
<b>Autor(es)</b>	González Gómez, Ángela Julieht; Perilla Gutiérrez, Laura Alejandra
<b>Director</b>	Ladino Ospina, Nubia; Harker, Miguel Ángel
<b>Publicación</b>	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 164p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional UPN
<b>Palabras Clave</b>	HUMEDAL ARTIFICIAL, REUTILIZACIÓN, FITODEPURACIÓN, RECURSOS HÍDRICOS, SENSIBILIZACIÓN

<b>2. Descripción</b>
<p>En el presente trabajo de grado se realizó el diseño y construcción de un humedal artificial ubicado en la granja del Instituto Pedagógico Nacional, se elaboró un trabajo experimental con el humedal en el que se midieron parámetros físicos y químicos de la calidad del agua y a partir de los procesos observados que allí ocurren, relacionados con los cambios significativos en los parámetros medidos y el proceso de fitodepuración que es realizado por las plantas en cada una de las terrazas, se logró la aplicación preliminar de módulos educativos en dos niveles de educación dentro del colegio, en el grado cuarto y el grupo de énfasis, con el fin de sensibilizar a los estudiantes en lo que se refiere a la importancia del agua para los seres vivos y en torno a las prácticas de reutilización de este recurso en su contexto, de tal manera que los estudiantes reconocieran este espacio como una posible solución a las problemáticas que se viven frente al uso</p>

del agua.

### 3. Fuentes

Bagué, A., Calle, J., Rivera J. G., Lizón, A. y Bedoya, M. (2012). Orientaciones Pedagógicas para la Implementación del Enfoque por Competencias (ed.). Medellín: Fondo Editorial ITM.

Beltrán, J. y Rangel. O. (2013). Modelación hidrológica del humedal de Jaboque – Bogotá, D.C. (Colombia). Caldasia.

Cortes, A. (2014). Evaluación del desempeño de humedales construidos subsuperficial de flujo horizontal sembrados con especies nativas tropicales para la eliminación de cr (vi) y cd (ii) de lixiviado de relleno sanitario. (Posgrado en ingeniería sanitaria y ambiental). Universidad del Valle Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali, Colombia.

Hernández, G. (2008). Los constructivismos y sus implicaciones para la educación. Perfiles educativos vol.30 no.122 México.

•Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua Estudio Nacional 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf).

Martelo, J, y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. Ingeniería y Ciencia, ing. Cienc., Volumen 8,( número 15), 221-243.

Otálora, Y. (2010). Diseño de espacios educativos significativos para el desarrollo de competencias en la infancia. CS, 5, 71–96.

### 4. Contenidos

El presente trabajo de investigación tiene como objeto desarrollar un espacio educativo de Humedal artificial, basado en la fitodepuración de aguas como alternativa para la sensibilización en torno a las prácticas de uso del recurso hídrico y sus posibilidades de reutilización en el Instituto Pedagógico Nacional.

**Introducción.** El humedal artificial es un espacio construido por el hombre en donde se recrean los procesos químicos, físicos y biológicos de un ambiente natural, el cual tiene la capacidad de depurar agua y eliminar algunas cargas contaminantes que en ella se presenten, de este modo se propuso el diseño y construcción de un humedal artificial en la granja del Instituto Pedagógico Nacional, como un espacio para la sensibilización hacia las practicas de reutilización del recurso hídrico, de manera que se desarrollen alternativas sobre el uso racional y responsable del agua en

la granja del colegio.

**Planteamiento del problema.** Según las problemáticas en torno al agua que se presentan hoy en día en Colombia, por distintos factores como lo son el cambio climático, el aumento de la población, el desabastecimiento de agua a algunos lugares del país; se plantea entonces desde el Ministerio de Ambiente la necesidad de formar ciudadanos competentes y comprometidos con el uso y gestión de los recursos naturales, entre ellos el agua como una manera de asegurar sostenibilidad en las generaciones futuras.

**Justificación.** El agua es parte fundamental de los seres vivos y es esencial para el mantenimiento del equilibrio natural, por lo tanto es importante generar esfuerzos alrededor del uso adecuado de este recurso, una de las alternativas que permite la sostenibilidad de los recursos hídricos son los humedales artificiales, además de estas tecnologías es importante la reflexión sobre el uso responsable del agua.

**Antecedentes.** Se realizó la revisión de diversos documentos en donde se encontraron alternativas de humedales artificiales, así como el uso de plantas acuáticas para fitodepuración, de este modo se enriqueció el diseño y construcción del humedal artificial.

**Marco teórico.** Los fundamentos teóricos del trabajo de grado presentan dos partes una parte referida a los conceptos disciplinares que corresponden al diseño experimental, las características biológicas y el potencial de fitodepuración de las plantas utilizadas, los parámetros fisicoquímicos medidos y otra parte que se refiere a los conceptos pedagógicos utilizados para la evaluación del humedal artificial como un espacio para la sensibilización y reflexión sobre el uso del agua.

**Metodología.** Esta presenta dos partes una fase correspondiente a la investigación disciplinar, en la cual se realizó el diseño y construcción del humedal artificial, el diseño experimental con la toma de parámetros fisicoquímicos que midieron la calidad del agua. Otra fase referida a la investigación aplicada, en donde se realizó el diseño y aplicación de los módulos educativos uno para el grado cuarto y otro para el grupo de énfasis.

**Resultados y análisis de resultados.** En cuanto a los resultados del diseño experimental, se establecieron índices de calidad del agua Dinius y NFS, los cuales acogían a más de la mitad de parámetros físico-químicos medidos, luego de realizar los cálculos del ICA Dinius, arroja que el agua no requiere purificación, con respecto al ICA NFS el agua es regular.

### **5. Metodología**

La metodología presenta un enfoque mixto, la cual se divide en dos fases una fase de investigación disciplinar que es cuantitativa y la fase educativa es cualitativa, a la vez se dividen en varias fases. En la fase de investigación disciplinar se tuvieron en cuenta cuatro fases la primera de revisión bibliográfica, la segunda de diseño y construcción del modelo y la tercera de colecta, identificación y adaptación de las macrofitas y por último la fase de diseño experimental. Para la fase educativa se tuvo en cuenta la fase de diseño del módulo educativo y la de evaluación del mismo.

A partir de la revisión bibliográfica y bajo el diseño de planos se realiza el diseño y posterior construcción del humedal artificial para luego realizar el montaje en el Instituto Pedagógico Nacional, además se eligieron las plantas acuáticas a utilizar en el diseño experimental, las cuales fueron extraídas del humedal Jaboque y tras un proceso de adaptación, lograron reproducirse y luego sobrevivir en el humedal artificial cada una en la terraza correspondiente, en cuanto al diseño experimental se hizo un seguimiento al agua sacada del lago de la granja y por medio de parámetros físico-químicos se midieron los cambios en la calidad del agua, los cuales fueron analizados mediante los Índices de Calidad del Agua ICA Dinius e ICA NFS. En lo que respecta a la fase educativa se diseñaron dos módulos uno para el grado cuarto y otro para el grupo de énfasis, de modo que se pudiera evaluar de modo preliminar la funcionalidad de este espacio teniendo en cuenta los desempeños alcanzados por los estudiantes, también se realizó la revisión de este material por profesores encargados de los dos grupos, la información del trabajo aplicado se analizó de forma cualitativa y los desempeños fueron analizados según los criterios elegidos por las autoras.

## 6. Conclusiones

- El modelo de humedal artificial del Instituto Pedagógico se constituye como un espacio educativo para la sensibilización en torno a las prácticas de uso de los recursos hídricos y sus posibilidades de reutilización.
- El humedal artificial es un espacio educativo que representa la posibilidad de poner en práctica conceptos científicos para transformación del entorno.
- El humedal como espacio educativo llama la atención de los estudiantes, puesto que es un espacio no convencional que aporta al desarrollo y fortalecimiento del espacio de la granja escolar del Instituto Pedagógico Nacional.
- El modelo de humedal artificial logro mejor la calidad de agua de forma significativa permitiendo que esta sea reutilizada en las labores de riego que no implique alimentos y en labores de limpieza, lo cual puede llevar a la disminución del consumo de agua potable.
- El humedal artificial se constituye como un ejemplo del diseño y viabilidad de los biofiltros en contextos urbanos como alternativas de tratamiento de agua.
- El modelo de humedal artificial tiene la capacidad de mantenerse en condiciones climáticas habituales, pero en caso de fenómenos climáticos extremos de sequias o lluvias requieren mayor mantenimiento y cuidado.

<b>Elaborado por:</b>	Laura Alejandra Perilla Gutiérrez Ángela Julieht González Gómez
<b>Revisado por:</b>	Nubia Ladino Ospina <b>Directora del trabajo de grado</b>

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	02	01	2016
--	----	----	------

## **1. Introducción**

Un humedal artificial se trata de una zona construida por el hombre en la que se replican de manera controlada los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales, propiciando diferentes procesos de descontaminación, capaces de depurar el agua y eliminar grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo e incluso productos tóxicos (Zapata. A 2014); por lo cual estos sistemas pueden ser utilizados como alternativa para fitodepuración de agua.

La fitodepuración de escorrentía superficial ofrece una alternativa para la reducción del consumo de agua potable basada en la recolección, descontaminación y reutilización que permite optimizar el uso de estos recursos, por lo se considera apropiada para los contextos urbanos donde debido a la alta concentración de población se presenta una mayor demanda y una alta tasa de contaminación, basados en este modelo se construyó el humedal artificial como un sistema de fitodepuración de aguas pluviales en el Instituto Pedagógico Nacional, con el que se espera desarrollar una alternativa de reutilización de agua dentro de la granja de la institución que incentive la búsqueda de nuevas alternativas para el desarrollo de centros urbanos sostenibles.

Se propone la construcción de un humedal artificial como un espacio para la sensibilización en torno a la importancia del agua y la vulnerabilidad de este recurso, propiciando la reflexión y el debate acerca de las prácticas de uso de los recursos hídricos y sus posibilidades de reutilización, esperando que este modelo se constituya como una experiencia que permita observar de manera directa la posibilidad de desarrollar alternativas de utilización racional y responsable de los recursos hídricos y en este sentido la posibilidad de construir nuevas relaciones con el ambiente.

## Tabla de Contenidos

<b>1. Introducción</b> .....	4
2. Planteamiento del problema .....	16
2.1 Definición del problema.....	16
2.2 Formulación del problema.....	19
3. Objetivos .....	20
3.1 Objetivo general .....	20
3.2 Objetivos específicos.....	20
4. Justificación.....	20
5. Antecedentes .....	24
6. Marco teórico .....	31
6.1 Marco biológico .....	31
6.2 Marco teórico pedagógico .....	48
7. Metodología.....	52
7.1.1.1 Fase de revisión bibliográfica disciplinar.....	54
7.1.1.2 Fase de diseño y construcción del modelo humedal artificial.....	55
7.1.1.2.1 Caracterización del espacio .....	55
7.1.1.2.2 Diseño.....	55
7.1.1.2.3 Construcción.....	56
7.1.1.2.4 Montaje.....	56
7.1.1.3 Fases de adaptación de las macrófitas .....	57
7.1.1.3.1 Colecta.....	57
7.1.1.3.2 Determinación .....	58
7.1.1.3.3 Adaptación.....	58
7.1.1.3.4 Siembra.....	58
7.1.1.4 Fase de diseño experimental.....	59
7.1.1.4.1 Diseño experimental.....	59
7.1.1.4.2 Parámetros e ICAS .....	59
7.1.1.4.2.1 Parámetros físico-químicos .....	59
7.1.2 Fase de investigación educativa .....	70
7.1.2.1 Fase de diseño del módulo educativo.....	70
<b>7.1.2.2 Fase de evaluación del módulo educativo</b> .....	73

7.1.2.2.1 Fase de Aplicación .....	77
7.1.2.2.2 Fase de revisión por expertos .....	81
8. Resultados .....	81
8.1 Resultados investigación aplicada.....	81
8.1.1 Revisión bibliográfica disciplinar. ....	81
8.1.2 Fase de diseño y construcción .....	90
8.1.2.1 Caracterizaciones del espacio.....	91
8.1.2.2 Diseño.....	93
8.1.2.3 Construcción.....	95
8.1.2.4 Montajes .....	96
8.1.3 Fase de adaptación de las macrófitas .....	100
8.1.3.1 Colecta.....	100
8.1.3.2 Identificación.....	102
8.1.3.3 Adaptación.....	103
8.1.3.4 Siembra.....	105
8.1.4 Fase de diseño experimental.....	106
8.1.4.1 Diseño del experimento .....	106
8.1.4.1.1 Parámetros e ICAS .....	106
8.1.4.1.2 Parámetros fisico-quimicos .....	108
8.1.4.1.2.1 pH .....	108
8.1.4.1.2.2 Alcalinidad .....	109
8.1.4.1.2.3 Dureza .....	110
8.1.4.1.2.4 Temperatura.....	110
8.1.4.1.2.5 Oxígeno disuelto.....	112
8.1.4.1.2.6 Turbidez.....	113
8.1.4.1.2.7 Color .....	113
8.1.4.1.2.8 Nitratos y Nitritos.....	113
8.1.4.1.2.9 Fosforo.....	114
8.1.5 Resultados investigación educativa.....	121
8.1.5.1.1 Diseño de módulos educativos .....	121
8.1.5.1.2 Contextualización .....	122
8.1.5.2.1 Evaluación del módulo educativo .....	122
8.1.5.2.2 Aplicación grado cuarto .....	123
8.1.5.2.3 Aplicación grupo énfasis .....	125

8.1.5.2.3 Revisión por expertos .....	136
9. Conclusiones .....	139
10. Recomendaciones .....	140
Lista de referencias .....	141
Anexos .....	151

## Lista de tablas

Tabla 1 Procesos de remoción de contaminantes en humedales artificiales de flujo subsuperficial. Adaptada de Technology Review of Constructed Wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. ....	32
Tabla 2 Adaptada de PHYTOREMEDIATION. Recuperada de: Annual Review of Plant Biology Vol. 56: 15-39 (June 2005).....	35
Tabla 3 Impurezas en las aguas naturales. Tomada de Depuración de aguas residuales (1998), escuela de ingenieros de Madrid. ....	41
Tabla 4 Usos del agua Decreto 3930 de 2010 .....	43
Tabla 5 Funciones de los subíndices y ponderaciones de los parámetros del ICA de Dinius (1987) tomado de Ramírez. C Hernán. C & García. L (2004) .....	65
Tabla 6 parámetro para uso del agua ICA de Dinius (1987) tomado de Ramírez. C Hernán. C & García. L (2004). ....	66
Tabla 7 Pesos relativos índice NSF, tomado de Torres et al., 2009. Revista Ingenierías Universidad de Medellín .....	67
Tabla 8 Clasificación de la calidad de agua Tomada de <a href="http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pd">http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pd</a> .....	68
Tabla 9 ICA Dinius Peso relativo adaptado a los parámetros medidos .....	69
Tabla 10 ICA NSF Peso relativo adaptado a los parámetros medidos.....	69
Tabla 11 Ejemplo de calculo ICA Dinius .....	69
Tabla 12 Ejemplo de calculo ICA NFS.....	70
Tabla 13 Logros y desempeños evaluados en el módulo grado Cuarto .....	75
Tabla 14 Logros y desempeños evaluados en el módulo grupo énfasis.....	76
Tabla 15 Criterios de evaluacion actividades aplicadas grado cuarto.....	78
Tabla 16 Criterios de evaluación actividades modulo grupo de énfasis .....	80
Tabla 17 Marco de los proyectos sobre revisión bibliográfica.....	87
Tabla 18 Revisión bibliográfica para selección de macrófitas acuáticas. ....	90
Tabla 19 Resultados de los parametros fisico-quimicos medidos.....	108
Tabla 20 Resultados del calculo del ICA dinius .....	117
Tabla 21 Resultados del calculo ICA NSF.....	119
Tabla 22 Resultados de los desempeños grado Cuarto .....	123
Tabla 23 Resultados preguntas de discusion grupo de énfasis.....	133
Tabla 24 Resultados de los desempeños grupo énfasis .....	135
Tabla 25 Resultados de validación grado cuarto.....	137
Tabla 26 resultados de validación grupo énfasis.....	138

## Lista de imágenes

Imagen 1 Tabla.....	45
Imagen 2 Tabla.....	46
Imagen 3 Parametros fisico-quimicos (Pérez Et. Al. 2015).....	48
Imagen 4 Organigrama fases de desarrollo del trabajo de grado .....	54
Imagen 5 Mapa zona de Colecta de Macrófitas en el Humedal Jaboque. Tomada de Google Earth .....	57
Imagen 6 Curvas de estimación pH y nitratos.....	67
Imagen 7 Plano IPN. Perilla, L. 2014.....	72
Imagen 8 Plano en 3D del humedal artificial .....	90
Imagen 9 Maqueta previa a la construccion del humedal artificial.....	91
Imagen 10 Plano Clasificación del Suelo. Tomado de: <a href="http://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/Recorriendo%20USAQUEN.pdf">http://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/Recorriendo%20USAQUEN.pdf</a>	92
Imagen 11 Plano de la granja IPN.....	93
Imagen 12 Plano Humedal Artificial.....	95
Imagen 13 Construcción de las terrazas del Modelo de Humedal Artificial.....	96
Imagen 14 Modelo de Humedal Artificial en la granja de IPN.....	96
Imagen 15 Terraza 1 <i>Juncus effusus</i> .....	97
Imagen 16 Terraza 2 <i>Eichhornia crassipes</i> .....	98
Imagen 17 Terraza 2 <i>Lemna gibba</i> .....	98
Imagen 18 Terraza 4 <i>Azolla filiculoides</i> .....	99
Imagen 19 Colecta en campo de las plantas. Humedal Jaboque Bogotá .....	102
Imagen 20 Planta en estado natural de <i>Juncus effusus</i> .....	102
Imagen 21 Planta de <i>Lemna gibba</i> y características.....	103
Imagen 22 Ejemplares de <i>Eichhornia crassipes</i> .....	103
Imagen 23 Planta de <i>Azolla filiculoides</i> .....	103
Imagen 24 Ubicacion del sustrato en el humedal artificial .....	105
Imagen 25 Siembra de planta enraizada y planta flotante.....	106
Imagen 26 Propuesta de tratamiento de agua lluvia.....	154
Imagen 27 Propuesta de tratamiento de agua lluvia en la terraza de una casa.....	155
Imagen 28 Propuesta de tratamiento de agua lluvia unicamente con el uso de sustratos como grava .....	155
Imagen 29 Propuesta de sistema vertical que ahorra espacio y solo con el uso de sustratos.	156
Imagen 30 Resalta la importancia del agua para la vida .....	156
Imagen 31 Imagen que muestra la descripcion del dibujo .....	157
Imagen 32 e expresó gráficamente la importancia del agua para los seres vivos .....	157
Imagen 33 Expresa la importancia del agua.....	158
Imagen 34 Anota que sin el agua no hay vida.....	158
Imagen 35 El estudiante en su dibujo demuestra las problemáticas que evidencia sobre el agua .....	159

Imagen 36 El estudiante resalta los aspectos positivos y negativos sobre el cuidado del agua	159
Imagen 37 En su dibujo expresa aspectos del video que hacen relevancia a la importancia del agua. ....	160
Imagen 38 Dibujo que muestra algunos de los tanques con plantas .....	160
Imagen 39 Imagen de la estructura y plantas encontradas en el Humedal Artificial .....	161
Imagen 40 Imagen que evidencia el tipo de plantas encontradas en cada una de las terrazas del Humedal Artificial.....	161
Imagen 41 Refleja solo la estructura pero no las plantas acuáticas.....	162
Imagen 42 Expresa en su dibujo la estructura del Humedal Artificial y las plantas allí presentes. ....	162
Imagen 43 Solo dibuja 3 de los tanques. ....	163
Imagen 44 Dibuja 3 tanques con las plantas observadas en cada uno.....	163

## 2. Planteamiento del problema

### 2.1 Definición del problema

Colombia es un país reconocido mundialmente por sus recursos hídricos, pues de acuerdo con el SIAC (Sistema de Información Ambiental de Colombia) presenta un rendimiento hídrico, en promedio seis veces mayor que el mundial y tres veces mayor que el latinoamericano, la precipitación anual promedio del país es de aproximadamente  $3.700 \text{ Km}^3$  de los cuales el 61% en escorrentía superficial, que equivale a un caudal de aproximadamente  $71.800 \text{ m}^3/\text{s}$ ; distribuido en las aproximadamente 720 mil cuencas hidrográficas y 10 ríos con caudales permanentes, estas características lo ubican como el sexto país con mayor oferta hídrica. (IDEAM, 2010).

De acuerdo a estos datos se podría pensar que en Colombia no existen riesgos futuros de desabastecimiento y que la vulnerabilidad de los recursos hídricos del país es baja; lo cual no es totalmente real si se tiene en cuenta que más del 50% del recurso no es apto para consumo, que la disponibilidad disminuye con el aumento de la población, que la distribución del recurso no es paralela a la distribución de la población y que el cambio climático afecta fuertemente el ciclo hídrico especialmente las fuentes de agua superficial (Beleño, 2011).

La situación empieza a ser preocupante cuando se observa la demanda de agua anual promedio del país que es de aproximadamente  $35.877 \text{ mm}^3$  (IDEAM, 2010); que para el caso específico de la ciudad de Bogotá de acuerdo con la secretaria distrital de medio ambiente es de aproximadamente 100 litros diarios per cápita, con una población de 7,57 millones de habitantes, la ciudad requiere aproximadamente de 757.000.000 litros por día (Alcaldía Mayor de Bogotá Secretaría Distrital de Planeación, 2012), este caso ejemplifica el problema de distribución de los recursos, puesto que las mayores demandas se encuentran en los centros urbanos del centro del país, mientras que las mayores reservas se encuentran en las zonas menos pobladas del país como la Amazonia y la Orinoquia (IDEAM, 2010).

Por otra parte el incremento en la intensidad y frecuencia de los fenómenos extremos de variabilidad climática en el país en el que se enfrenta agudas temporadas de sequía seguidas de fuertes temporadas húmedas, afecta de manera considerable el caudal de las corrientes de agua del país, por ejemplo para el caso de Sumpaz se calcula que la reducción puede llegar a ser del 40 % (Ávila et al., 2013), estos hechos hacen que la administración del recurso hídrico sea un tema fundamental para la conservación del mismo y una prioridad para el país, pues se espera sea capaz de administrar y gestionar el recurso de manera eficiente para garantizar el bienestar de las futuras generaciones.

Es evidente que la mayor vulnerabilidad en lo que se refiere al abastecimiento de agua está relacionada con los grandes centros urbanos en los que se concentra la mayor cantidad de la población y por tanto donde se presenta mayor demanda, lo que hace indispensable pensar en alternativas que ayuden a optimizar el consumo de agua per cápita en ciudades como Bogotá, de manera que logre garantizarse su uso sostenible.

De acuerdo con cifra de la FAO en promedio se requieren entre 2000 a 5000 L de agua al día para producir el alimento necesario para una sola persona, aunque si bien la mayor parte del agua utilizada para la agricultura proviene de la lluvia, un 10% proviene del riego, el cual representa un consumo de cerca del 70% del agua dulce disponible para el consumo humano, de continuar a este ritmo será imposible garantizar la disponibilidad de agua necesaria para satisfacer la creciente demanda de producción de alimentos de la población mundial, motivo por el cual en el programa mundial de evaluación de los recursos hídricos de la UNESCO en su informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo del 2015 titulado *“Agua para un mundo sostenible”*, resalta como uno de los retos centrales para las próximas décadas aumentar el uso eficiente del agua en el sector aumentando la productividad del agua por medio de la reutilización de las aguas residuales tratadas, que de acuerdo con el informe es la mejor alternativa para enfrentar las presiones de demanda sobre los recursos hídricos. (ONU para la Alimentación y la Agricultura, 2008) (UNESCO, 2015).

Como puede verse la situación de gestión y administración de los recursos hídricos es de vital importancia para la conservación de los mismos y por tanto la formación de ciudadanos comprometidos con el uso responsable y sostenible del agua es vital para el bienestar del ambiente y las de generaciones futuras; por esto el Gobierno Nacional desde su Ministerio de Medio Ambiente plantea la necesidad de formar ciudadanos competentes en la planeación, gestión y organización de su entorno y la conservación de sus recursos (Política Nacional de Educación Ambiental, 2002).

Por tanto el Estado colombiano reconoce dentro de sus políticas nacionales la necesidad de sensibilizar y concienciar a la población sobre los graves problemas ambientales del planeta y del país en particular, por lo que hace un llamado a la continua reflexión sobre la educación ambiental que posibilite la continuidad de los programas y la formulación de nuevas propuestas basadas en el contexto para el fortalecimiento de la reflexión-acción que lleve a la participación y transformación (Torres et al., 2013).

Sin embargo, pese a la amplia variedad de propuestas y metodologías de educación desarrolladas en torno al recurso hídrico, estas no se ven reflejadas en cambios en las prácticas de uso del agua en la cotidianidad y en esa medida no producen cambios significativos en lo que se refiere a gestión y administración de la misma en los contextos inmediatos de cada comunidad, puesto que estas abordan el problema desde una perspectiva general que pierde de vista las particularidades del contexto y dimensiones problema, por tanto se considera necesario actuar en el contexto más inmediato de las personas, es decir, en el uso que se le da al agua en sus actividades diarias, de manera que la reflexión y el aprendizaje en realidad sean significativos para la realidad de la persona y se logre ver reflejada la reflexión en acciones concretas dentro de su cotidianidad.

Un ejemplo de este nuevo enfoque se desarrolla dentro del Instituto Pedagógico Nacional donde desde hace algunos años se lleva a cabo una alternativa pionera de educación en ciencias naturales que consiste en un laboratorio natural al aire libre donde la comunidad puede desarrollar proyectos de agricultura urbana .De esta manera la granja escolar se constituye como un espacio alternativo dedicado a la educación ambiental al aire libre

donde se desarrollan actividades de formación integral que buscan promover actitudes de respeto con el medio ambiente basados en proyectos de agricultura urbana que les permitan sentirse parte del entorno y de esta forma incluirse como parte del problema y su solución por medio de la potencialización de sus propias habilidades y aptitudes (IPN, la granja escolar, 2015); de manera que este espacio se ha constituido como una parte central de la cotidianidad de la comunidad educativa de la institución donde se realizan cultivos de hortalizas, plantas ornamentales y hierbas aromáticas, además de ser un espacio para la convivencia con animales como patos y gallinas y conejos. Dado que en este espacio se realizan múltiples actividades de agricultura, donde se requieren grandes cantidades de agua para el riego, el diseño de un sistema de tratamiento de agua que permita reducir la demanda del recurso hídrico en la institución, se puede constituir como un proyecto significativo para la comunidad educativa dada la importancia del espacio de la granja en el Instituto Pedagógico Nacional.

Esperando desarrollar nuevas experiencias pedagógicas que contribuyan al enriquecimiento de este espacio donde se desarrollan proyectos que buscan encontrar alternativas amigables para el ambiente adaptadas a los contextos urbanos, se propone desarrollar un espacio educativo centrado en la construcción de un humedal artificial, como una alternativa de biofiltrador a menor escala con el que se espera pueda tratarse agua estancada artificialmente en el espacio de la granja del IPN, de manera que esta pueda ser reutilizada en actividades de riego y limpieza que contribuya a reducir la demanda de agua potable de la institución, convirtiéndose en una propuesta que pueda ser viable tanto para contextos rurales como para contextos urbanos, el cual se espera se constituya como un espacio educativo que permita promover competencias científicas preliminares en relación a las prácticas de uso de los recursos hídricos en la cotidianidad de los estudiantes.

## **2.2 Formulación del problema**

¿Cómo desarrollar un espacio educativo, basado en la fitodepuración de aguas pluviales como alternativa para la sensibilización en torno a las prácticas de uso del recurso hídrico y sus posibilidades de reutilización en el Instituto Pedagógico Nacional?

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar un espacio educativo, basado en la fitodepuración de aguas pluviales como alternativa para la sensibilización en torno a las prácticas de uso del recurso hídrico y sus posibilidades de reutilización en el Instituto Pedagógico Nacional.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Establecer los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en un humedal natural, para ser implementados en el humedal artificial.
- Diseñar e implementar un modelo, para el tratamiento de aguas dentro de los contextos urbanos
- Diseñar actividades educativas en torno al espacio del humedal artificial para la promoción preliminar de competencias científicas en relación a las prácticas de uso de los recursos hídricos.
- Evaluar la promoción preliminar de las competencias científicas a partir del desarrollo del espacio educativo.
- Resaltar los alcances del espacio en el desarrollo preliminar de competencias relacionadas con las prácticas del uso del recurso hídrico.
- Resaltar la importancia de desarrollar propuestas alternativas que apunten al tratamiento y reutilización agua en los contextos urbanos como estrategia para mejorar la administración de este recurso.

### **4. Justificación**

El agua forma parte de todos los seres vivos en un alto porcentaje siendo esencial para el desarrollo de sus funciones vitales, dado que el 95% de las reacciones químicas en los seres vivos ocurren en medio acuoso, de manera que es fundamental para el transporte de

sustancias y la regulación de los procesos que posibilitan la vida, además es vital para el mantenimiento de los ecosistemas y el clima por su importancia en los procesos de termorregulación (Carbajal, A. Y González, M. 2012). Por tanto su protección es de trascendental importancia para la subsistencia de la vida, por lo cual los esfuerzos relacionados con la protección y la conservación de los recursos hídricos son esenciales para el mantenimiento del equilibrio natural y en esa medida es necesario diseñar espacios destinados a la reflexión sobre las prácticas de uso de este recurso (ONU, Sobre el desarrollo y los recursos hídricos, 2003).

Se estima que el ser humano extrae un 8% del total anual de agua dulce renovable, un 26% de la evapotranspiración anual y un 54% de las aguas de escorrentía accesibles (UNESCO, 2006), el problema con estos recursos es que se ven afectados por la contaminación que producen algunas actividades humanas; las naciones unidas estiman que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 Km<sup>3</sup>, calculando además que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 Km<sup>3</sup>, de acuerdo con estas cifras es de vital importancia diseñar y desarrollar tecnologías alternativas que permitan disminuir la carga de contaminantes en las fuentes hídricas, para garantizar la sostenibilidad y accesibilidad al recurso hídrico, la construcción de biofiltros se constituye como una posibilidad importante de tratamiento y recuperación de aguas (ONU, Agua Para un Mundo Sostenible, 2015).

Como se ha mencionado anteriormente los principales problemas de administración y gestión de los recursos hídricos están relacionados con los contextos urbanos, donde se encuentra asentada la mayor parte de la población y de las actividades productivas, por tanto donde más se generan aguas contaminadas que al regresar al ambiente exceden su capacidad de purificación y terminan por contaminar otras fuentes de agua, es por estas razones que el desarrollo de proyectos educativos en torno a la descontaminación y reutilización del agua en los contextos urbanos representan un gran posibilidad de impacto frente a las prácticas de uso del recurso y su sostenibilidad.

Para el caso de la ciudad de Bogotá esta cuenta únicamente con una planta de tratamiento de aguas residuales, la planta PTAR Salitre con capacidad de tratar las aguas residuales de tipo doméstico, provenientes del norte de la ciudad, generadas por aproximadamente más de dos millones de bogotanos, de manera que se asegura que las aguas de la Planta vertidas al Río Bogotá tras el proceso de tratamiento químico asistido presentan una remoción de 40% de materia orgánica y un 60 % de sólidos suspendidos, contribuyendo de esta manera al saneamiento de las principales fuentes hídricas de la ciudad, a pesar del hecho de que la planta en la actualidad a doblado su capacidad de tratamiento esta no logra abarcar la totalidad de las aguas residuales que se producen en la ciudad, para lo cual se estima se necesitarían al menos dos plantas más (EAAB, s.f.); es por esto que la posibilidad de diseñar e implementar pequeñas plantas de tratamiento domésticas representa la posibilidad de realizar un pre tratamiento del agua, buscando disminuir la carga de contaminantes que pueda llegar a los cuerpos de agua.

En Colombia a pesar de que por el momento no hay problemas de abastecimiento, si hay problemas de planeación y manejo de los recursos hídricos debido la falta de planes de manejo de las cuencas hidrográficas y control de los vertimientos, además de los problemas de deforestación, erosión y el uso inadecuado del suelo que han llevado a restringir las posibilidades reales de utilización de los recursos que eventualmente pueden llevar a un escenario de escasez hídrica (IDEAM, 2010). Por lo cual la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico que establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores para la administración y gestión de los recursos hídricos resaltan la urgente necesidad de promover el desarrollo sostenible basado en la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua, por lo que propone mejorar la calidad minimizando la contaminación del recurso hídrico y optimizando su utilización.

En actualidad se utilizan a nivel industrial y a gran escala biofiltros para el tratamiento y reutilización del agua, por ser técnicas basadas en la replicación de los procesos de descontaminación que ocurren de forma natural y por tanto sostenibles y amigables para el medio ambiente con muy buenos resultados y bajos costos. Los humedales artificiales, son un tipo de biofiltro que tratan de imitar de manera controlada los procesos físico-químico y

biológico de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales, donde las interacciones entre plantas, bacterias y algunos componentes abióticos, realizan un proceso de depuración de materia orgánica a partir de la oxidación del amonio, la reducción de nitratos y la remoción de fosfatos, por medio de oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación. (Andrade, Et. Al. 2010)

Es claro que para alcanzar un manejo responsable y sostenible del agua se requieren no solo nuevas tecnologías de tratamiento, sino además cambios en la forma de pensar y actuar con respecto a los recursos hídricos, por tanto se considera de vital importancia la formación de ciudadanos conscientes de su papel en el ecosistema y su responsabilidad con el medio ambiente; en el país desde mediados de la década de los noventa, se reconoce la importancia de la educación en el fomento de actitudes y comportamientos responsables frente al manejo sostenible del ambiente, incorporando de esta forma a la política nacional ambiental el componente educativo que ha sido desarrollado conjuntamente por el Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial y el Ministerio de Educación, esfuerzo que se viene desarrollando por medio de la implementación de proyectos educación como procesos dinámicos y participativos, orientados a la formación de personas críticas y reflexivas, con capacidades para comprender las problemáticas ambientales de sus contextos (locales, regionales y nacionales). Que participen de manera activa en la construcción de apuestas integrales (técnicas, políticas, pedagógicas y otras), que apunten a la transformación de su realidad, de manera que esta propuesta es una oportunidad para crear un espacio educativo, en pro de la construcción de sociedades ambientalmente sustentables y socialmente justas (Política Nacional de Educación Ambiental, 2002).

Para esto se propone la construcción de un modelo de humedal artificial entendido como una pequeña planta de tratamiento de aguas pluviales y domésticas, no solo como un espacio de tratamiento de agua sino además como un espacio educativo destinado al reconocimiento de alternativas de administración y gestión de los recursos, que busca incentivar la participación activa en la búsqueda de soluciones a las problemáticas más inmediatas del contexto. Se realizó la construcción de un modelo de humedal artificial en el espacio de la granja del Instituto Pedagógico Nacional, el cual es un proyecto del área de ciencias y educación

ambiental de la institución, concebido como un laboratorio natural, interdisciplinario e interinstitucional para desarrollar actividades de formación integral, teniendo en cuenta su sostenibilidad, impacto educativo, social y ambiental, que busca de involucrar de una forma directa a los estudiantes con su contexto, poniendo en evidencia la teoría y la práctica en pro de la solución de problemas ambientales presentes en el entorno de los estudiantes (IPN, la granja escolar, 2015). El cual se considera el más apropiado para el desarrollo de este tipo de propuestas por tratarse de un espacio pensado no solamente como un laboratorio de ciencias y educación ambiental, sino además como un laboratorio pedagógico de la universidad, donde los estudiantes y maestros tienen la posibilidad de interactuar y convivir en nuevos espacios.

Este trabajo se constituye como una iniciativa de investigación educativa, con que se espera reflexionar acerca de nuevos espacios de educación que posibiliten sensibilización entorno a las relaciones con el ambiente que incentive el uso responsable de los recursos naturales y particularmente los recursos hídricos, de manera que se espera contribuya al proceso de formación docente de las autoras en la medida que permita problematizar el papel de los profesionales de la educación y especialmente el de los profesores de ciencias en la formación de ciudadanos responsables con su entorno y comprometidos con la participación en la búsqueda de soluciones a los problemas de su entorno.

## **5. Antecedentes**

En primer lugar se tiene que Osorio (2003) en medio del Seminario Internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales se presenta el trabajo denominado **Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas empleados por la CVC en el sector rural del departamento del valle del cauca Colombia**, señala como objeto principal, el seguimiento de los sistemas conformados por tanque séptico, filtro anaerobio y decantador - humedal artificial de flujo subsuperficial, buscando alternativas, económicas, fáciles de operar y mantener. En el Valle del Cauca se han adelantado diferentes trabajos que permiten evitar que continúe la contaminación del río Cauca, por medio de varios sistemas de tratamiento de aguas que han sido empleados para evaluar su capacidad de remoción de

contaminantes. Cada uno de los sistemas cumple una función, el tanque séptico consiste en un tanque de ladrillo, concreto o plástico y es de forma rectangular y está diseñado para un tiempo de retención de 12 a 24 horas, es posible construirlo con 1, 2 o 3 compartimientos, este tanque permite realizar procesos de retención de espumas y flotantes, sedimentación de sólidos y almacenamiento y digestión anaerobia de lodos. El filtro anaerobio es un tanque en concreto o ladrillo lleno de material inerte que pueden ser piedras, en donde el flujo del agua va de manera ascendente, de tal modo que se forma una película de organismos que degrada anaeróticamente la materia orgánica. El Humedal Artificial es un sistema para tratar aguas residuales que en este caso utiliza la planta acuática emergente *Phragmites communis* y utilizo sustrato con piedra de río de varias formas, costales de fique sobre la grava y antes del humedal se dispuso de un decantador y un secador para tratar los lodos que se extraen cada mes. Se han construido dos humedales de flujo subsuperficial para viviendas unifamiliares, en los cuales se tratan las aguas residuales, sin embargo se concluye que el menos efectivo es el Humedal Artificial, esto debido al desconocimiento de muchos de los procesos que allí ocurren, sin embargo el autor recomienda que es importante conocer esta nueva tecnología verde, dado que las condiciones son favorables para ser implementado el Humedal artificial puesto que hay disponibilidad de espacio, diversidad de plantas acuáticas a usar, temperatura, luz, entre otros requerimientos.

También, en el marco del Seminario Internacional nombrado anteriormente, Bernal Et. Al. (2003), propone el trabajo titulado **Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la corporación universitaria de la costa**. El Centro de Investigación de Tecnologías ambientales de la Corporación universitaria de la Costa teniendo en cuenta investigaciones realizadas sobre Humedales artificiales, inicio la construcción de uno y de este modo se verificaron las ventajas de este sistema en el Caribe colombiano. Este Humedal, es de flujo subsuperficial, es decir, que el agua fluye a través de él, por debajo del nivel del suelo. Se realizó la construcción de un humedal sobre el nivel del suelo en concreto con una capa interna impermeable, opera con agua residual municipal almacenada en un tanque de 1000 litros, utilizando la macrófita *Typha sp.*, que crece naturalmente en las riberas del río Magdalena y teniendo como medio de soporte grava fina. Inicio su funcionamiento en Febrero de 2003 y se tomaron datos de parámetros fisicoquímicos en julio del mismo año en

donde los resultados mostraron que el sistema es apropiado para el tratamiento de aguas residuales en la región Caribe, gracias al espacio disponible. Las plantas acuáticas por ser nativas se adaptaron bien al sistema. Además la remoción de contaminantes con Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales es alta y es una tecnología sostenible.

Se encuentra que Rodríguez & Ospina (2005), realizan el trabajo denominado **Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá**. El propósito de esta investigación fue evaluar la capacidad de reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos en un humedal artificial de flujo vertical a escala laboratorio alimentado con agua del río Bogotá, para establecer la posibilidad de emplear este tipo de tecnología en control de la contaminación del agua. Dado que la contaminación del ambiente es una de las principales razones a estudiar, puesto que hay una escasez de los recursos naturales y el recurso agua que es uno de los más importantes. Hoy en día existen muchas tecnologías que permiten controlar la contaminación hídrica, entre estas se encuentran los sistemas de tratamiento de aguas residuales, por medio de tecnologías sostenibles, dentro de las que están los humedales artificiales. Los autores realizaron la construcción de un humedal de flujo vertical a pequeña escala, en donde se trató aguas del Río Bogotá cercanas a la Universidad Nueva Granada sede Cajicá, en este humedal se utilizaron dos tanques de alimentación y diferentes capas de grava, también unos tubos de acero que permitían la ventilación, la especie utilizada fue *Cyperus papyrus*. Se realizaron pruebas físico químicas diarias de la entrada y salida del agua en donde se evaluó la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos. En cuanto a los resultados se evidencian cambios físicos y químicos importantes y la disminución aceptable de compuestos inorgánicos, puesto que fue el tipo de contaminación que se encontró al inicio en las aguas del río Bogotá.

A través del trabajo, titulado **Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de los Gallardos (Almería)**, encontramos que en los humedales hay plantas, animales y microorganismos que junto a procesos fisicoquímicos, tienen la capacidad de depurar el agua, eliminando materia orgánica en buena proporción, sólidos disueltos, nitrógeno, fósforo y en algunos casos químicos tóxicos. De este modo, se ha tratado de aprovechar estos procesos que ocurren en este medio natural para el tratamiento de aguas

residuales, diseñando sistemas capaces de imitar sus características, y son construidos con el propósito de controlar la contaminación del agua.

El humedal artificial de Los Gallardos, es de tipo experimental y se evaluaron los tipos de flujo del agua, el tipo de sustrato, la capacidad de carga, los tiempos de retención y las especies de Plantas *Phragmites australis* y *Typha dominguensis*, en donde se evaluaron parámetros fisicoquímicos, que arrojaron resultados importantes con respecto a las reducciones de la carga orgánica y sólidos en suspensión, también hubo gran disminución de nitrógeno total. Se concluye que los humedales artificiales de flujo subsuperficial son un tratamiento terciario apto para uso agrícola, puesto que elimina sólidos y materia orgánica, además presenta alto contenido de nitrógeno y fosforo, los cuales son fertilizantes agrícolas, sin embargo, se debe hacer una desinfección para riego de algunos cultivos. Además se indica que se puede mejorar el rendimiento del humedal, con el uso de sustratos calizos y ricos en hierro. (Lahora, 2008). Este trabajo permite dar cuenta de la importancia de los humedales artificiales en el control de la contaminación del agua y el diseño de plantas de tratamiento de agua a modo experimental.

En el trabajo **Los humedales construidos como sistemas para el tratamiento de agua residual industrial y urbana. Caracterización de las comunidades de bacterias presentes en estos ecosistemas** realizado en la Universidad de León, España, con el objetivo principal de aportar información relevante sobre el funcionamiento de humedales artificiales como sistemas para el tratamiento de agua residual, se realizan unas plantas piloto ubicadas en la Universidad de León, a manera de unidades experimentales. Se elabora muestreo de la vegetación (macrófitas nativas) y de las bacterias y temperatura (Arroyo, 2010). Es preciso diseñar el humedal artificial con macrófitas nativas, capaces de resistir las condiciones del ambiente e importantes en la depuración del agua y el sustento de bacterias que permiten la depuración del agua.

Además, se hace la consulta de un trabajo de investigación, designado **Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl**. En donde se plantea la evaluación del

sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la tecnología instalada en la locación petrolera Caño Gandul en el departamento de Casanare. Se han realizado distintas alternativas para el tratamiento de aguas residuales por medio de procesos observados en la naturaleza que permitan diseñar proyectos alternativos a bajo costo, uno de estos son los humedales artificiales que replican las características y la capacidad de reciclaje de los ecosistemas de humedal. Este tipo de sistemas presentan tres principios básicos: La actividad bioquímica de los microorganismos, el aporte de oxígeno de las plantas y el apoyo físico del sustrato inerte que funciona como soporte de los seres vivos y como material filtrante. Se realizó una evaluación del sistema de humedales en Caño Gandúl, colectando las muestras de agua en varios componentes del sistema de tratamiento, se llevaron a análisis en el laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, en donde se realizaron análisis químicos y microbiológicos que permitieron caracterizar el agua residual. El humedal Caño Gandul, está dedicado a la producción, recibo, tratamiento primario de crudo, tratamiento de agua. Las aguas residuales domésticas son generadas por el casino, 3 viviendas, 3 contenedor y 5 baños, estas aguas ingresan al sistema, la estación de aguas residuales que ingresan al sistema tienen un pretratamiento de unidades de cribado y trampa de grasas, un reactor de sedimentación con varios compartimientos y un humedal artificial y un reactor de desinfección. Los resultados de este monitoreo permitieron, estimar la eficiencia de separación del sistema. (Otálora, 2011), los cuales son favorables en la remoción de contaminantes debido al uso de un instrumento plástico patentado por la Universidad Nacional de Colombia y al uso de la planta *Bidens laevis*, la cual se adaptó bien al sistema y realizó el adecuado proceso de depuración.

En el año 2012, se hace una revisión del **Estado del arte acerca de las macrófitas flotantes para el tratamiento de aguas residuales**, en el cual los autores exponen que en el año 2000, se publicaron 2255 artículos científicos relacionados con sistemas de tratamiento de aguas residuales, de los cuales el 4 %, hacían referencia a humedales construidos y alrededor del 33 % de estas investigaciones, abordan aplicaciones con plantas acuáticas. Sin embargo, las macrofitas, no han sido muy estudiadas como sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales. Se destaca la habilidad de las plantas acuáticas para la asimilación de nutrientes y la creación de condiciones favorables para la descomposición de materia orgánica. Estas

características hacen propicias a las macrofitas para su uso en sistemas de tratamiento de aguas. (Martelo, J. & Lara J., 2012)

En lo concerniente al tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Bogotá, se realizó en el año 1992, una evaluación a las estrategias planteadas para la descontaminación del río Bogotá, en las desembocaduras de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo. En los años siguientes, se organizaron todas las licencias pertinentes para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Salitre, de la cual finalizó su construcción en el año 2000. A partir de ese momento la planta trata cerca de 10.000.000 de m<sup>3</sup> de agua mensuales; remueve 50 toneladas de sólidos y 40 de materia orgánica por día, equivalente a 60 y 40% del total y se produce 4.000 toneladas mensuales de biosólidos así como 3,000 m<sup>3</sup> de metano por día. Los biosólidos han sido empleados como parte de la mezcla para el levante de la cobertura vegetal del suelo del relleno sanitario de Doña Juana y se hacen investigaciones para la restauración de canteras y su potencial uso como abono en la agricultura. El gas producido se emplea como combustible de las calderas para el calentamiento del lodo que ayuda a la biodigestión. En la actualidad se realizan investigaciones para el uso del efluente en riego de cultivos de la Sabana. (Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, s.f)

En el año 2012 Moreno, D. & Niño, L., Licenciados de la Universidad Pedagógica Nacional, realizaron el trabajo de grado titulado **Las plantas acuáticas como herramienta para la enseñanza de conceptos botánicos en educación no formal**, trabajo que se desarrolló en el Humedal Santa María del Lago, en donde los licenciados realizaron el reconocimiento de las macrofitas presentes en el humedal y la importancia de estas, a través de unos acuarios exhibidos en las instalaciones del humedal, de manera que se pudieran abordar temáticas a partir de la enseñanza de la biología, teniendo como principio, el poco reconocimiento de las plantas en los contextos educativos. Se identificaron las macrófitas presentes en el humedal y sus características principales, comparándolas con registros previos de estudios similares, teniendo en cuenta la distribución de las plantas en praderas: emergente, flotante y errante, así como el funcionamiento fisiológico de estas plantas. Además se tuvo en cuenta la importancia de los humedales según los beneficios que se reciben de los mismos, tales como reservorio de especies endémicas, control de inundaciones, retención de sedimentos, prevención de la

erosión y estabilización micro climática, también disminución del efecto invernadero. Con respecto a la orientación pedagógica de este trabajo, se trató con educación no formal, partiendo de la idea de que esta contribuye a los procesos de formación convencional. (Moreno, D. Y Niño, L., 2012). Lo anterior enriquece el presente trabajo, puesto que nos permite evidenciar la presencia de las macrófitas presentes en la ciudad de Bogotá y la importancia de estas en el humedal natural, aspectos a tener en cuenta en la construcción del humedal artificial.

Con respecto al tema de fitodepuración se hizo la revisión del trabajo de grado titulado **Estrategia didáctica relacionada con la biosorción de colorantes orgánicos presentes en humedales artificiales por la planta botoncillo de agua (*Bidens laevis*) para favorecer actitudes hacia las ciencias** en el cual se evidencian los problemas que se presentan al no dar un manejo adecuado a las sustancias químicas y su efecto sobre el ambiente. Por ese motivo es necesario que se logren identificar los aspectos de la planta y el potencial fitorremediador de las mismas, el cual surge como un tipo de tratamiento y recuperación de modo que los suelos y el agua presenten una mejora. Teniendo en cuenta el efecto indicador del color sobre la contaminación de las aguas residuales se propone implementar material didáctico relacionado con la biosorción de colorantes orgánicos presentes en Humedales artificiales sobre la planta de Botoncillo de agua para que se fortalezcan actitudes favorables hacia las ciencias, en este caso se realizó una relación entre la biología y la química. El trabajo fue desarrollado bajo en enfoque Ciencia Tecnología Sociedad y Ambiente desde las situaciones cotidianas entono a los daños ocasionados al ambiente por el vertimiento de colorantes artificiales. En este trabajo se aplicó un módulo de colorantes artificiales a estudiantes de grado once de colegio Juana Escobar por medio de un pretest y postest, en donde a partir del pretest se proponen las actividades educativas. Como resultado la autora encuentra que los estudiantes presentan actitudes hacia el trabajo practico en el laboratorio, en donde se pudo observar el proceso que realiza la planta de botoncillo de agua con la biosorción de colorantes artificiales. Llama la atención sobre este trabajo el diseño experimental realizado por la autora, en donde tomo varios ejemplares de la planta de Botoncillo y realizo pequeños ambientes artificiales en ollas de barro bajo condiciones controladas y con la aplicación y experimentación de dos colorantes tartrazina y rojo de Carmoisina y la realización del proceso

de biosorción, en donde es evidente la absorción de estos por parte de las plantas, además de las implicaciones biológicas que causan estos colorantes a las plantas, también es evidente el proceso de fitodepuración por parte de esta planta. El presente trabajo permite entender como ocurre el proceso de fitorremediación en una planta acuática como lo es el Botoncillo de agua y de qué manera es posible evidenciar el proceso de bioabsorción de colorantes en esta planta. (Bohorquez, D. 2014)

## 6. Marco teórico

### 6.1 Marco biológico

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua, con el objetivo de mejorar su calidad y optimizar su utilización (Lizarazo. J & Orjuela. M, 2013). A continuación se presenta un resumen de los principales procesos de eliminación de contaminantes que se llevan a cabo en los procesos de tratamiento:

Contaminante	Proceso
Sólidos suspendidos totales (SST)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentación y filtración</li> <li>• Descomposición durante los largos tiempos de retención por bacterias especializadas en el lecho de arena</li> </ul>
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrificación / Desnitrificación por el biofilm</li> <li>• Absorción de las plantas (influencia limitada)</li> </ul>
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retención en el lecho de arena (adsorción)</li> <li>• Precipitación con aluminio, hierro y calcio</li> <li>• Absorción de las plantas (influencia</li> </ul>

	limitada
Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación y adsorción</li> <li>• Absorción de las plantas (influencia limitada)</li> </ul>
Contaminantes orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorción por partículas de arena y grava</li> <li>• Descomposición debido a lo largo del tiempo de retención y a las bacterias especializadas del suelo.</li> </ul>

Tabla 1 Procesos de remoción de contaminantes en humedales artificiales de flujo subsuperficial. Adaptada de Technology Review of Constructed Wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment.

Este trabajo propone la construcción de un humedal artificial, entendido como un sistema de tratamiento, que se definen como “sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El cual 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.” (Zapata. A 2014), este sistema imita el ecosistema humedal, con el objeto de replicar los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren de forma natural en la depuración pasiva del agua (Blanco. I, 2014), en la que los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización.

Los humedales son ecosistemas vitales por tratarse de zonas de transición entre ambientes acuáticos y terrestres donde coexisten diversas y únicas formas de vida relacionadas con la particularidad de este ambiente, los humedales prestan importantes servicios ambientales como el almacenamiento y purificación de agua, mitigación de los cambios climáticos naturales, recarga y descarga de acuíferos, retención de sedimentos y nutrientes, considerados como ejes transformadores de múltiples materiales biológicos y químicos, denominado los “riñones” de la tierra por su capacidad de filtración y absorción de ciertos contaminantes

dentro de los ciclos químicos e hidrológicos, así como también por ser receptores de aguas naturales o artificiales (Secretaría Distrital de Ambiente, 2005).

La gran importancia de este ecosistema llevo a que en 1971 en la ciudad de Ramsar, se definiera el ecosistema humedales como "extensiones de marismas, pantanos y tuberías, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los 6 metros". Este convenio se firmó con el objetivo de proteger los humedales en todo el mundo en vista de la alarmante desaparición de miles de hectáreas y el consecuente daño a sus especies características.

De acuerdo con el convenio los humedales prestan invaluable servicios ecosistémicos, pues brindan a la humanidad suministro de agua dulce, alimentos, materiales de construcción, biodiversidad, control de crecidas, recarga de aguas subterráneas, purificación de agua y mitigación del cambio climático. También se reconoce y una serie de beneficios culturales, como conocimientos (científicos y tradicionales), recreación y turismo y formación de valores culturales, incluido la identidad y los valores espirituales; por lo cual el manejo de los humedales se constituye como una necesidad urgente y un reto mundial en el cual participan 160 países miembros entre esos esta Colombia.

El interés por mejora de la calidad del agua en humedales naturales que llevo al desarrollo de humedales artificiales para tratar de reproducir en ecosistemas construidos los beneficios de calidad del agua y hábitat. Las primeras investigaciones sobre la posibilidad de usar estos sistemas como plantas de tratamiento para aguas residuales en humedales artificiales fue realizada por el Dr. Seidel en 1952 en el Instituto Max Planck de Plön, Alemania, el éxito de tales sistemas llevo a que en la década de los 90 fueran apareciendo nuevos prototipos de humedales artificiales enfocados en distintos tipos de tratamientos. En la actualidad el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales y pluviales es cada vez más aceptado en diferentes partes del mundo (Cortes, A. 2014).

Los humedales artificiales han sido usados desde hace más de un siglo para la recepción de aguas residuales usadas principalmente como medio de eliminación, lo cual llevo a que

muchos de estos ecosistemas se degradaran por la saturación de los contaminantes y los desequilibrios físico-químicos poniendo en peligro su supervivencia. El interés por el estudio de estos ecosistemas permitió establecer la capacidad del mismo de sustraer algunos contenidos de las aguas (Cortes, A. 2014).

El funcionamiento de estos sistemas artificiales se fundamenta en tres procesos naturales 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 y como material filtrante. (Delgadillo et al., 2010). Para el caso de este trabajo el humedal artificial se basa únicamente en los procesos relacionados con la fitodepuración que se entiende como la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean éstos naturales o artificiales (Hoffmann et al., 2011).

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 (Zapata. A 2014), aprovechando la capacidad de las plantas verdes de metabolizar sustancias contaminantes con la ayuda de la energía solar (Fernández et al., 2009). A continuación se resaltan los diversos procesos que ocurren en la fitorremediación.

Tipo	Proceso involucrado	Contaminación tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar los contaminantes en las partes cosechables (principalmente la parte aérea).	Diversas aguas contaminadas con cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio y zinc.
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar los contaminantes a partir de efluentes líquidos	Aguas contaminadas con cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc, isótopos radioactivos y

	contaminados y degradar compuestos orgánicos.	compuestos fenólicos.
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes se usan para reducir su movilidad y evitar el pasaje a capas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros, aguas residuales. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc, aguas residuales agropecuarias.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican los contaminantes o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Aguas residuales agropecuarias, aguas con mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Aguas residuales agropecuarias, Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Tabla 2 Adaptada de PHYTOREMEDIATION. Recuperada de: Annual Review of Plant Biology Vol. 56: 15-39 (June 2005).

Dentro del sistema de humedal artificial las plantas cumplen varias funciones, la primera como barrera física donde actúan en la retención de los sólidos gruesos arrastrados por el

agua residual y reduce en flujo de la misma, también cumple funciones de amortiguación de las temperaturas extremas y otros fenómenos atmosféricos; respecto a las funciones activas que las plantas ejercen en el sistema se encuentran el intercambio gaseoso desde las hojas hacia la zona radicular en contacto con el agua residual y la extracción de contaminantes del agua por la absorción de iones contaminantes, tanto metales pesados como aniones eutrofizantes (nitratos y fosfatos principalmente) (Fernández et al., 2009).

Las plantas acuáticas han sido estudiadas por diversos autores, sin embargo es difícil realizar una definición precisa, puesto que se puede llegar a excluir a plantas que son acuáticas, debido a la existencia de formas intermedias que son consecuencia de una de las características principales de las plantas que es su plasticidad fenotípica, lo que podría llevar a definir las o clasificarlas como plantas terrestres. Se pueden encontrar varias denominaciones de estas plantas en la bibliografía, como plantas acuáticas vasculares, Plantas acuáticas, Hidrófitas, macrófitas acuáticas, limnófitas entre otras, dentro de estas hay dos tipos: Hidrófitas y Helófitas. (Velásquez, 1994)

Las plantas Hidrófitas, son las que tienen la mayor parte de su cuerpo vegetativo sumergido, flotante o emergente en la superficie del agua, las helófitas son plantas palustres o de pantanos, arraigadas al substrato, con la parte inferior sumergida y la parte superior emergente. Algunas especies tienen una fase intermedia, que está relacionada con las características de la planta y los cambios en el cuerpo de agua. Las hidrófitas, tienen un cuerpo vegetativo más simplificado que las helófitas, debido a que el agua es un medio denso no hay problemas de sostén mecánico ni hídrico de estas plantas, por lo tanto reducen sus tejidos mecánicos conductores y aislantes, de este modo son dominantes dentro de este grupo las formas herbáceas. Por su parte, las helófitas agrupan formas vegetativas terrestres, arbustos y hierbas, según el nivel de tolerancia a inundaciones y las condiciones anaerobias. El criterio básico que permite definir a una planta acuática es su capacidad para permanecer y tolerar un largo periodo sumergida o al menos su sistema radical en el agua, así presenten formas taloides, herbáceas o leñosas, adheridas, arraigadas, flotantes o sumergidas, creciendo en el agua, en suelos saturados o cubiertos de agua. (Velásquez, 1994).

*Juncus effusus* es una planta enraizada, la cual tiene inflorescencia ramificada, que proviene de la bráctea y en su base se puede ver como una extensión del tallo principal que puede llegar a medir hasta 1.5 m de altura, el fruto es una cápsula, con al menos tres semillas en ella, la hoja presenta sus puntos de unión cerca de la base de la planta, el perianto es de color verde o marrón, sépalo con seis piezas similares y una textura frondosa. Es una planta que está particularmente bien adaptada para colonizar espacios descubiertos, esta especie prefiere un ambiente ácido y húmedo con nutrientes ligeramente enriquecidos, puede aceptar condiciones fluctuantes del nivel del agua, además es una especie con alta capacidad de reproducción y con una producción considerable de semillas. En sitios ácidos, esta especie de planta de la familia Juncácea puede llegar a ser invasora. Es de hábito acuático, puede encontrarse en pantanos, prados y campos, orillas de ríos o lagos o en los bordes de los humedales. Esta planta tiene como función ecológica principal estabilizar el pH del agua en donde se encuentre, también este junco es capaz de formar la parte dominante de la vegetación en grandes áreas (Fundación humedales, s.f)

Una de las especies que permite la fitorremediación es *Eichhornia crassipes* también conocida como buchón de agua, es una de las plantas acuáticas más estudiadas, puesto que se caracteriza por el alto nivel de fitodepuración y la capacidad rápida de proliferación, en zonas tropicales es considerada como una especie invasora en el mundo, según el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi y son el grupo más abundante de plantas acuáticas con 32 especies, de las cuales 7 son nativas de la Amazonia, entre ellas *Eichhornia crassipes* (Escobar, J., 2012). Es la segunda especie con más reportes de invasión en el mundo, en 84 países (Vargas et al., 2012) y es una de las especies más abundantes en los humedales del sur de Bogotá, cubriendo los espejos de agua y en ocasiones logrando su desaparición (Escobar, J., 2012). Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, entre ellos el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato. Mediante el sistema de raíces, es posible que se encuentren asociados microorganismos que favorecen la acción depuradora de las plantas acuáticas. Estas plantas son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados como Cadmio, mercurio, arsénico. El mecanismo de depuración de esta planta se cree que es a través de formaciones de complejos entre el metal

pesado y los aminoácidos que hay dentro de la célula, mediante la absorción de estos metales por las raíces. Otro posible mecanismo, apunta a que los microorganismos asociados a las raíces producen sólidos que floculan y después sedimentan por gravedad. El buchón de agua, puede remover algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, además disminuir los niveles de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno, DQO (Demanda Química de Oxígeno) y sólidos suspendidos. Por otro lado, su biomasa se puede convertir en una fuente de contaminación, puesto que se han observado reducciones en la concentración de bacterias de los efluentes, ya que estas se acumulan en las raíces, por lo cual es necesario hacer un manejo adecuado del cultivo de esta planta (Hidalgo, et al., 2005).

*Lemna gibba* es una especie que también ha sido ampliamente utilizada en estudios para la fitodepuración, una de las características principales de esta planta es su adaptabilidad rápida a las condiciones propias del agua en donde están presentes, resultan ser apropiadas para el tratamiento de aguas, puesto que presentan gran rendimiento de biomasa, es decir, se reproduce rápidamente y remueve los contaminantes del agua. Esta planta, perteneciente a la familia Lemnacea posee la capacidad de absorber dentro de su estructura nitrógeno y fósforo, disminuyendo estos dos elementos químicos que permiten la eutrofización de las aguas (Canales, A. 2010). Diversos estudios demuestran la capacidad de acumulación de contaminantes por parte de las plantas acuáticas, dentro de las que se encuentra que *Lemna gibba*, tiene la capacidad de absorber plomo, arsénico, cobre, cadmio, níquel, cromo, Aluminio, hierro, zinc, manganeso. (Delgadillo, A. Et. Al. 2011). Uno de los elementos más contaminantes de las aguas es el plomo, el cual causa daños a los seres vivos, además este tipo de metales pesados se reservan en las plantas a concentraciones mayores que las del medio que las contiene, en la raíz es donde más se acumulan estos porque es el órgano que está en contacto con el agua (Miranda, M. & Quiroz y A. 2013).

*Azolla filiculoides* es un helecho acuático flotante, que llega a medir hasta 10 cm, estas plantas pueden tener forma poligonal o triangular. Los lóbulos inferiores de las hojas suelen ser más grandes que la superior, estos permiten que la planta tenga la capacidad de flotar, son de color verde oscuro a rojizo cuando están muy expuestas a la radiación solar, una de las características de esta planta es su relación simbiótica con el alga verde azul *Anabaena*, la

cual es una fijadora del nitrógeno. Esta planta que pertenece a la familia Azollaceae, presenta numerosas raíces. Tiene como hábito las aguas limpias y lenticas de las zonas templadas y subtropicales de América. La colonización de esta especie en los medios acuáticos, provoca procesos anóxicos, disminución de luz y empobrecimiento de diversidad vegetal, eutrofizando los medios en los que se desarrolla. (García P., 2009)

Por medio de este sistema se espera almacenar y tratar aguas pluviales, es decir, provenientes de la precipitación la cual se define como las partículas acuosas de forma sólida o líquida que caen de las nubes y llegan al suelo, que al convertirse en escorrentía superficial puede ser recogida y aprovechada para actividades de limpieza y riego de jardines urbanos, dado que en los últimos años el aumento de la población en los asentamientos urbanos ha crecido cerca del 40% , se estima que en la actualidad casi 3,000 millones de personas, o sea, casi la mitad de la humanidad, residen en centros urbanos y ya hay 23 ciudades, 18 de ellas pertenecientes al mundo en desarrollo, con más de 10 millones de habitantes; el impacto producido por estas grandes concentraciones urbanas en el ciclo hídrico es muy significativo por lo que se hace necesario encontrar nuevas alternativas de uso de los recursos hídricos para los contextos urbanos (FAO, 2000).

Para fines de uso del recurso hídrico es importante aclarar que solo una parte de esa escorrentía o caudal puede ser usada para el desarrollo de actividades antrópicas , puesto que debe tenerse en cuenta que una parte de la oferta hídrica total está destinada al mantenimiento y conservación de los ecosistemas fluviales, por lo que se define la oferta hídrica disponible, como el volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial del volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistema y de los sistemas fluviales, (IDEAM, 2010).

La escorrentía superficial es una expresión material de la oferta hídrica total, que se relaciona con la evaporación y la precipitación total para calcular el rendimiento hídrico promedio del país que equivale al volumen de agua continental de los sistemas de drenaje superficial, en un período determinado de tiempo, el último Estudio Nacional de Agua estima un rendimiento hídrico promedio de  $56 \text{ l/s/km}^2$ . Este rendimiento hídrico está por encima del promedio mundial ( $10 \text{ l/s-km}^2$ ) y del rendimiento latinoamericano ( $21 \text{ l/s-km}^2$ ) (IDEAM, 2010). El

estudio estima que en promedio el país presenta una escorrentía superficial de 1.764 mm, que equivale a un volumen anual de 2.012 Km<sup>3</sup> de modo que el volumen total anual de precipitación es de 3.267 Km<sup>3</sup>, que equivale a 2.864 mm/año, calculando así que cerca del 62% de la precipitación se convierte en escorrentía, lo que equivale a un caudal medio de 63.789 m<sup>3</sup> /s. (IDEAM, 2014).

A pesar de que el país es reconocido por su abundante oferta hídrica, el problema está en que en términos hidrológicos el territorio no es homogéneo, por lo que la calidad y vulnerabilidad de los recursos hídricos no es igual en todas las zonas del país y esto repercute en la vulnerabilidad de sistema natural como de la estructura socioeconómica, en el caso de la ciudad de Bogotá la precipitación anual promedio es aproximadamente 700 mm anuales, que no se presentan de manera uniforme pues durante el año se presentan temporadas secas (30 mm<sup>3</sup>) y húmedas (100 mm<sup>3</sup>), este régimen hídrico que se entiende como las variaciones del estado y de las características de una masa de agua que se repiten de forma regular en el tiempo y en el espacio y que muestran patrones estacionales o de otros tipos” (UNESCO, 2012), hace necesario desarrollar estrategias para el aprovechamiento de las aguas pluviales que puedan ayudar a mejorar la oferta durante las temporadas secas y reducir la demanda de agua potable.(Observatorio Ambiental de Bogotá, 2014).

Diversos sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales han sido utilizados tradicionalmente por diferentes culturas a través de la historia de la civilización, puesto que el agua lluvia ha sido desde siempre una de las principales formas de obtención de este recurso básico, desarrollando entonces sistemas de recolección de aguas pluviales que representaban la posibilidad de contar permanentemente con este recurso, sin depender del régimen pluvial. Estas prácticas de aprovechamiento de aguas lluvias en los últimos años ha tomado fuerza por tratarse de prácticas que contribuyen a la sostenibilidad urbana puesto que representan una opción de acceso a agua de óptima calidad que puede contribuir a la reducción de la demanda de agua potable dentro de los centros urbanos. (FAO, 2000).

Estas aguas por lo general contienen impurezas que pueden provenir de la atmosfera y el suelo las cuales se describen a continuación, que no son propiamente consideradas como

contaminación dado que no provienen vertidos relacionados con actividades o metabolismo humano (FAO, 2000).

Origen	Partículas		
	Suspendidas	Coloidales	Disueltas
Atmosfera	Polvos		Bióxido de carbono, anhídrido sulfuroso, oxígeno, nitrógeno, iones hidronio, sulfato
Suelo mineral y piedra	Arena Arcillas Partículas de tierra mineral		Dióxido de carbono, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cloruro, fluoruro, sulfato de carbono, nitrato.
Organismos vivos y sus productos de descomposición	Algas Diatomeas Bacterias Peces y otros organismos	Virus y materia colorante orgánica	Bióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno, sulfato de hidrógeno, metano, sodio, amonio, cloruro y nitrato

Tabla 3 Impurezas en las aguas naturales. Tomada de Depuración de aguas residuales (1998), escuela de ingenieros de Madrid.

En el país el Decreto 3930 de 2010 reglamenta el uso de aguas para consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, Pecuaria, recreativo, industrial, estético, pesca, maricultura y acuicultura, navegación y transporte acuático; a continuación se define que se entiende por cada uno de estos usos:

Uso para consumo humano y doméstico	Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su utilización en actividades tales como:		
	1. Bebida directa y preparación de alimentos para consumo	2. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o	3. Preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su

	inmediato.	colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.	comercialización o distribución, que no requieran elaboración.
Uso para la preservación de flora y fauna	Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.		
Uso para pesca, maricultura y acuicultura.	Se entiende por uso para pesca, maricultura y acuicultura su utilización en actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, sin causar alteraciones en los ecosistemas en los que se desarrollan estas actividades.		
Uso agrícola.	Se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.		
Uso pecuario	Se entiende por uso pecuario del agua, su utilización para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias.		
Uso recreativo.	Se entiende por uso del agua para fines recreativos, su utilización, cuando se produce: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contacto primario, como en la natación, buceo y baños medicinales.</li> <li>2. Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.</li> </ol>		
Uso industrial.	Se entiende por uso industrial del agua, su utilización en actividades tales como: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Procesos manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexas y complementarios.</li> <li>2. Generación de energía.</li> <li>3. Minería.</li> <li>4. Hidrocarburos.</li> </ol>		

	5. Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares. 6. Elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.
Navegación y transporte acuático.	Se entiende por uso del agua para transporte su utilización para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales por contacto directo.
Uso estético.	Se entenderá por uso estético el uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje.

Tabla 4 Usos del agua Decreto 3930 de 2010

En relación y cumplimiento de este decreto la Resolución 1207 de 2014 establece las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas, atendiendo a la obligación del Estado y de los particulares de proteger las riquezas naturales de la Nación y planificar el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su conservación, restauración y uso sostenible, reconociendo en este sentido que el uso eficiente del agua es fundamental para la conservación del recurso hídrico, y es básico para el desarrollo sostenible; por lo cual se establece la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (2010), constituye como estrategia para el uso eficiente y sostenible del agua la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y uso del agua, que contemplan la reutilización del agua residual como una estrategia primordial para el ahorro y uso eficiente del agua, puesto que constituye una solución ambientalmente amigable, capaz de reducir los impactos negativos asociados con la extracción y descarga a cuerpos de agua naturales.

La Resolución 1207 de 2014 a cerca de los usos del agua tratada, dispone entonces los posibles usos y los criterios de calidad de las aguas tratadas:

### **Uso Agrícola.**

Para el riego de:

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.

- Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.
- Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.
- Jardines en áreas no domiciliarias.

Variable	Unidad de Medida	Valor Limite Máximo Permissible
<b>FISICOS</b>		
pH	Unidades de pH	6,0 – 9,0
Conductividad	µS/cm	1.500,0
<b>MICROBIOLOGICOS</b>		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,0*E(+5)
Enterococos Fecales	NMP/100 mL	1,0*E(2)
Helminfos Parasitos Humanos	Huevos y Larvas/L	1,0
Protozoos Parasitos Humanos	Quistes/L	1,0
<i>Salmonella sp</i>	NMP/100 mL	1,0
<b>QUÍMICOS</b>		
Fenoles Totales	mg/L	1,5
Hidrocarburos Totales	mg/L	1,0
<b>Iones</b>		
Cianuro Libre	mg CN <sup>-</sup> /L	0,2
Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> /L	300,0
Fluoruros	mg F <sup>-</sup> /L	1,0
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	500,0
<b>Metales</b>		
Aluminio	mg Al/L	5,0
Berilio	mg Be/L	0,1
Cadmio	mg Cd/L	0,01
Cinc	mg Zn/L	3,0
Cobalto	mg Co/L	0,05
Cobre	mg Cu/L	1,0
Cromo	mg Cr/L	0,1
Hierro	mg Fe/L	5,0
Mercurio	mg Hg/L	0,002
Litio	mg Li/L	2,5
Manganeso	mg Mn/L	0,2
Molibdeno	mg Mo/L	0,07
Niquel	mg Ni/L	0,2
Plomo	mg Pb/L	5,0
Sodio	mg Na/L	200,0
Vanadio	mg V/L	0,1
<b>Metaloides</b>		
Arsénico	mg As/L	0,1
Boro	mg B/L	0,4
<b>No metales</b>		
Selenio	mg Se/L	0,02
<b>Otros parámetros</b>		
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl <sub>2</sub> /L	Menor a 1,0
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L	5,0

Imagen 1 Resolución 1207 de 2014. Uso agrícola de agua tratada, criterios de calidad. Tomado de: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Resolucion-1207-de-2014.pdf>

**Uso Industrial.** En actividades de:

- Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas.
- Descarga de aparatos sanitarios.
- Limpieza mecánica de vías.
- Riego de vías para el control de material particulado.
- Sistemas de redes contra incendio.

Variable	Unidad de Medida	Valor Limite Máximo Permissible			
		Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas	Descarga de Aparatos Sanitarios	Limpieza mecánica de vías y Riego de vías para el control de material particulado	Sistemas de redes contra incendio
<b>FISICOQUÍMICOS</b>					
pH	Unidades de pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1,0*E(+3)	1,0*E(+4)	1,0*E(+3)	1,0*E(+1)
Helminthos Parasitos Humanos	Huevos y Larvas/L	0,1	1,0	1,0	0,1
Protozoos Parasitos Humanos	Quistes/L	0,0	1,0	1,0	1,0
<i>Salmonella sp.</i>	NMP/100 ml	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>QUÍMICOS</b>					
Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX)	mg/L	0,001		0,001	
Esteres Ftalatos	mg/L	0,005		0,005	
Fenoles	mg/L	0,002		0,002	
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	0,01		0,01	
<b>Biocidas</b>					
2,4 D ácido	mg/L	0,0001		0,0001	
Diurón	mg/L	0,0001		0,0001	
Glifosato	mg/L	0,0001		0,0001	
Mancozeb	mg/L	0,0001		0,0001	
Propineb	mg/L	0,0001		0,0001	
<b>Iones</b>					
Cianuro Libre	mg CN/L	0,05			
Cloruros	mg Cl/L	300,0		300,0	300,0
Fluoruros	mg F/L	1,0			
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	500,0		500,0	500,0
<b>Metales</b>					
Aluminio	mg Al/L	5,0		5,0	

Imagen 2 Resolución 1207 de 2014. Tabla usos de agua tratada, criterios de calidad. Tomado de: <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Resolucion-1207-de-2014.pdf>

Se define que para este trabajo de acuerdo con la ley, las aguas tratadas por medio del sistema de humedal artificial, solo deberán ser usadas para labores de riego de la vegetación que no involucren la producción de alimentos o alguno de los usos domésticos previamente mencionados, en el caso de los usos industriales se tendrán en cuenta los usos relacionados con actividades de limpieza que no involucren utensilios usados para la producción de alimento, ni sustancias o utensilios que entren en contacto con humanos.

La elección de los parámetros fisicoquímicos para la evaluación de efectividad del sistema y la calidad de agua, se hizo con base a los parámetros de calidad de agua y la disponibilidad de métodos para medirlos, por tal motivo se tendrá en cuenta el pH, oxígeno disuelto, temperatura, turbiedad, color, alcalinidad, nitritos, nitratos y fosfatos; a continuación se describen las interpretaciones que hacen de cada parámetro en relación a la calidad del agua.

**pH:** concentración de iones hidronio  $[H_3O]^+$  presentes en determinadas disoluciones. las cuales se relacionan con la acidez y basicidad de una solución.

**Alcalinidad:** la capacidad del agua para neutralizar ácidos, esta representa la suma de bases que hay en la muestra.

**Turbidez o turbiedad:** la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión, que influye en la absorción y reflexión de la luz.

**Nitratos y Nitritos :**  $NO^{2-}$ ,  $NO^{3-}$ , son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno actuando como fuentes de nitrógeno para algunos organismos.

**Oxígeno Disuelto:** cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua, representa la cantidad de oxígeno disponible para los organismos dentro del cuerpo de agua.

**Temperatura :** es una magnitud que expresa la cantidad de calor, por lo cual es importante para evidenciar cambios en la energía de un sistema.

**Color:** Impresión que producen los rayos de luz reflejados y absorbidos por un cuerpo, indica de sustancias que afectan la absorción de los rayos de luz.

**Fosfatos:** Los fosfatos son un grupo muy complejo de minerales tienen como característica común la presencia del anión  $(PO_4)^{3-}$ .

Imagen 3 Parámetros físico-químicos (Pérez Et. Al. 2015)

## 6.2 Marco teórico pedagógico

En la actualidad los procesos de educación están enmarcados en los rápidos procesos de globalización que implican profundos cambios a nivel social, económico y cultural, debidos a la prolífera producción y divulgación de información a una velocidad sin precedentes en la historia de la humanidad, estas condiciones exigen a los individuos el desarrollo de habilidades que les permitan aprender y reconstruir constantemente sus conocimientos a medida que cambian los marcos de referencia posibilitando así sus capacidades de adaptación a diferentes contextos ( Bagué et al., 2012); Exigiendo la búsqueda nuevos y diferentes

espacios de aprendizaje que promuevan diversas experiencias como oportunidades de desarrollo integral.

En el país la ley 115 de 1994 , establece una visión de la educación activa , concebida como un proceso de formación integral y permanente que transcurre a partir de la interacción entre el sujeto y los contextos culturales y sociales, en este sentido hay un cambio en la idea de la educación como un proceso instructivo donde los docentes asumían el papel central y el estudiante un papel pasivo; por el contrario en el modelo de la educación activa la educación favorece el aprendizaje a través de un proceso de construcción del conocimiento en el que maestro y estudiante trabajan como un equipo, esta concepción de la educación se centra en la formación de personas competentes, capaces de transformar la sociedad a través de modelos que se centran en la habilidad para conocer el contexto y solucionar problemas mediante un abordaje conceptual relacionado con la práctica (Bagué et al., 2012).

De manera que la escuela debe tratar desarrollar las conexiones necesarias para la formación de relaciones significativas entre los conceptos científicos y el mundo de la vida que según Husserl se refiere a las realidades que viven los individuos que interaccionan con diferentes perspectivas para la construcción de realidades colectivas; en este sentido la formación en ciencias cumple también un importante papel en desarrollo de la capacidad crítica, reflexiva y analítica que permite al ciudadano contribuir la formación de una sociedad basada en los principios de democracia y la justicia (Gallego et al., 2010).

De manera que puede decirse que la educación en ciencias es una importante vía para generar conciencia y fomentar comportamientos responsables frente al manejo sostenible del ambiente. Por lo que esta propuesta pretende que el humedal artificial se constituya como un espacio de educación, que se entiende como un ambiente de aprendizaje el cual se constituye como un escenario de construcción de conocimientos en torno al cual se desarrollan un conjunto de actividades dirigidas a garantizar la consecución de un objetivo de aprendizaje (Otálora, Y. 2010), de modo que este debe entenderse como un espacio estructurado en el que se articulan diversos elementos y relaciones necesarios para alcanzar un conocimiento, en

este sentido el humedal artificial se constituye como un espacio educativo diseñado para el desarrollo de conocimientos en torno a los recursos hídricos.

Este espacio se desarrolló como un módulo educativo que se entiende según CAFAM (2001), en su programa de educación continuada, una unidad independiente de contenido en donde se desarrolla un solo tópico con información que permite el aprendizaje, el contenido se organiza según el currículo y los niveles de dificultad de los estudiantes, además evita ser amplio para alcanzar la pronta promoción y generar procesos de pensamiento y análisis.

Como se cita en Sesento, 2008, p.12, cuando se trata de modelo en el texto del presente trabajo se refiere a una representación parcial de la realidad, lo que significa que no es posible explicar la totalidad ni incluir todas las variables que esta representación puede tener, por lo tanto permite la explicación de un fenómeno o proceso. Así la explicación de un modelo parte de supuestos hipotéticos por lo cual es necesario que se aborden observaciones y experimentos que den cuenta de todos los elementos, mecanismos y procesos que hacen parte de él. Además un modelo es un ejemplo o forma que el autor propone y sigue su ejecución, puede tratarse de una construcción o una creación que sirve para medir, explicar e interpretar los aspectos y significados de las actividades agrupadas en diversas disciplinas, por lo tanto el termino modelo tiene diferentes usos en las ciencias y puede hacer referencia a cualquier cosa, es decir, un modelo puede ser una maqueta o puede ser un conjunto de ideas. En este sentido el humedal artificial es una representación a menor escala de los procesos de depuración de agua que ocurren en la naturaleza que permite ejemplificar conceptos relacionados con el tratamiento y reutilización del agua, así como la importancia y vulnerabilidad del recurso, para facilitar la construcción de conocimientos en torno al tema.

Dado que el constructivismo no busca controlar y predecir o transformar la realidad si no que busca reconstruir una conducta, este es el modelo indicado para este ejercicio, puesto que con la construcción del humedal artificial se espera generar un espacio para la sensibilización en relación a las prácticas de uso de los recursos hídricos que permita la reflexión acerca de las posibilidades de reutilización y biofiltración como una estrategia para mejorar la problemática sobre la administración de este recurso, involucrándose en la

transformación de sus conductas en cuanto al uso dentro de la institución, de manera que se concibe el humedal como un espacio ambiental en el cual se pueda reflexionar sobre sus experiencias con el uso del recurso hídrico en respuesta a la necesidad de reutilización de las aguas del lago artificial.

Dentro del modelo constructivista se concibe la realidad como una construcción social producto del entendimiento y la interacción con el contexto, considerando entonces la ciencia como una construcción social producto de un proceso dinámico en el que el conocimiento se reconstruye permanentemente como producto de la interacción con el contexto. Hernández y Díaz (1999) escriben: “La concepción constructivista del aprendizaje escolar se sustenta en la idea de que la finalidad de la educación que se imparte en las instituciones educativas es promover los procesos de crecimiento personal del alumno en el marco de la cultura del grupo al que pertenece.”, de manera que el aprendizaje en la escuela no se ve como un sencillo proceso de recepción y acumulación de información, sino como un proceso activo situado en contextos reales.

Entendiendo entonces la conducta como el resultado de los constructos producto de asociaciones entre la experiencia y el medio, en el cual el sujeto cumple un papel activo en el proceso de conocimiento, puesto que este depende de las experiencias previas y la capacidad de asociarlas a nuevas experiencias, de modo que este evoluciona a partir de los marcos conceptuales precedentes en relación con el contexto. A partir del cual cada sujeto construye su propio conocimiento, el cual pone a consideración por medio de la interacción con otros, al tener la oportunidad de ponerlo a prueba y reconstruirlo en una constatación con el contexto (Hernández. G, 2008), por lo cual se considera que en la interacción con el espacio del humedal puede llegar a ser significativa la promoción de prácticas de reutilización del agua.

Es importante aclarar que esta experiencia busca la sensibilización en relación a los usos de los recursos hídricos y en este sentido pretende aportar al conocimiento del tema por medio de la interacción en el espacio, de modo que cuando se habla de sensibilización esta se entiende como el proceso mediante el cual la comunidad educativa conoce el tema y se

apropia de el a partir de la experiencia y la interacción, que le permite comprender y conocer sus características y problemáticas y que sin embargo no implica necesariamente cambios en sus formas de actuar, puesto que este proceso requiere la aplicación de estrategias de cambio de comportamientos en relación con la utilización de recursos hídricos que requieren un trabajo continuo en múltiples escenarios que se escapa de las posibilidades de este espacio ( Bertrán y Pérez .2004).

## **7. Metodología**

En cuanto al enfoque de esta investigación se puede decir que este trabajo pretende basarse en un enfoque mixto o integrado de los enfoques cuantitativo y cualitativo, en el que se combinaran el enfoque cuantitativo que “utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población” (Hernández et al., 2003), y el cualitativo que “utiliza primero para descubrir y refinar preguntas de investigación. A veces, pero no necesariamente, se prueban hipótesis. Con frecuencia se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones” (Hernández et al. , 2003).

Este trabajo se considera una investigación mixta, puesto que consta de una parte de investigación aplicada (cuantitativa) y otra de investigación educativa (cualitativa), por lo cual se espera que los métodos cualitativos funcionen en la recolección y análisis de la información descriptiva de los aspectos educativos los cuales son evaluados a partir de las competencias explicativas y opiniones de los estudiantes para estimar la capacidad del modelo para convertirse en un espacio educativo, mientras que de los métodos de corte cuantitativos fueron usados para la medición y estimación de los parámetros físico-químicos relacionados con la calidad de agua.

Esta integración no se trata de un collage de métodos de investigación sin concepciones ni objetivos claros, sino que se trata de una complementariedad por deficiencia en la que a partir

del reconocimiento de las limitaciones epistemológicas de cada enfoque, se busca métodos complementarios en otros enfoques que permitan superar dichas limitaciones (Tovar y García, 2012), en este caso la combinación de enfoques permite tener en cuenta diferentes dimensiones del modelo de humedal artificial permitiendo evaluar por un lado su eficiencia en la fitodepuración de aguas pluviales y por otro su capacidad como espacio educativo.

En el caso de la investigación aplicada los conceptos se ponen en práctica para desarrollar una aplicación de los mismos y en este sentido se basa en la experiencia, experimentación, diseños y seguimientos de variables, los cuales requieren un enfoque de tipo positivista basado en la medición, la lógica y la verificación que permitan establecer la viabilidad del espacio, y la relación de este con nuevas experiencias y la posibilidad que estas lleven al desarrollo de nuevos conocimientos, por esto el seguimiento del modelo de humedal artificial se considera una investigación de tipo experimental.

Para la cual se eligió el paradigma empírico-analítico, dado que este se basa en la experiencia y la observación como método para establecer regularidades que permitan identificar, especificar, generalizar y explicar la realidad, la cual se considera objetiva en la medida que puede ser cuantificada y confirmada, por medio de la vía hipotético-deductiva (Hernández et al.,2003); de modo que este es apropiado para el diseño de esta investigación que se basó en la experimentación entorno a la capacidad de fitodepuración del modelo de humedal artificial basado en la medición de parámetros físico-químicos.

El enfoque característico de la investigación educativa se basó en el modelo constructivista en el cual concibe la realidad como una construcción social producto del entendimiento y la interacción con el contexto, considerando entonces la ciencia como una construcción social producto de un proceso dinámico en el que el conocimiento se reconstruye permanentemente como producto de la interacción con el contexto, en este caso se realizó una investigación de tipo pre-experimental la cual se considera como una aproximación experimental o estudio piloto donde no se tiene control directo de las variables, puesto que al trabajar un pos test con cada grupo no se puede realizar comparaciones, limitando los resultados a la descripción y análisis del test y en esta medida no permite establecer causalidades directas

entre el espacio y cambios de comportamiento , sino solamente causalidades entre el espacio y los resultados directos del test (Campbell y Stanly, 1966).

### 7.1 Fases de investigación

Para el desarrollo de este trabajo se propusieron fases de investigación, en cada una de las cuales la investigación estará centrada en diferentes enfoques prácticos:

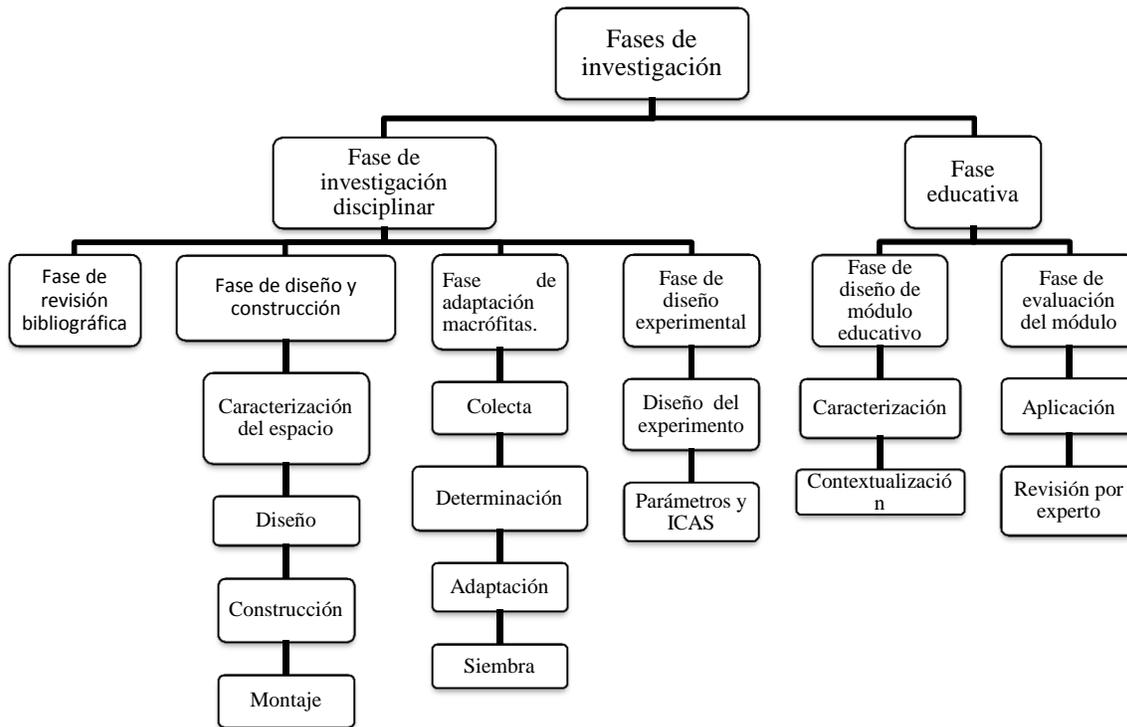


Imagen 4 Organigrama fases de desarrollo del trabajo de grado

#### 7.1.1.1 Fase de revisión bibliográfica disciplinar

En esta fase se realizó la revisión documental de diferentes experiencias de construcción y uso de humedales artificiales, las cuales se eligieron de acuerdo a las similitudes con el presente trabajo en relación con las aguas tratadas, la ubicación, y las especificaciones del diseño, el uso de macrófitas y los objetivos planteados; el proceso de búsqueda se realizó a través de bases de datos y buscadores académicos, encontrándose principalmente artículos

científicos y literatura especializada relacionada con lagunas de estabilización y tratamiento biológico de agua.

### **7.1.1.2 Fase de diseño y construcción del modelo humedal artificial**

Para el diseño y construcción del modelo de humedal artificial se realizó inicialmente un estudio del terreno con el objetivo de establecer el lugar ideal para su ubicación y las condiciones del diseño.

#### **7.1.1.2.1 Caracterización del espacio**

Inicialmente se buscó caracterizar el espacio donde se construiría el modelo, para esto se realizaron varias visitas al Instituto Pedagógico Nacional en las que con el apoyo del área de ciencias se estableció como espacio apropiado para instalación de este modelo el área de la granja, donde se contaba con la disponibilidad de espacio y las condiciones de disponibilidad del recurso hídrico y donde se esperaba que este modelo se constituyera como un apoyo para el manejo del agua dentro de la granja y para el fortalecimiento de este laboratorio ambiental. Se realizó entonces durante esta fase la revisión de los planos de la granja con el objetivo de establecer la ubicación apropiada y el espacio disponible, para así establecer las dimensiones del modelo, también se realizó una revisión de los estudios de suelo de la zona con el objetivo de establecer las condiciones de soporte y de peso del modelo.

#### **7.1.1.2.2 Diseño**

Posterior a la caracterización del espacio y la revisión bibliográfica se establecieron las dimensiones del modelo resolviendo que como máximo este debería tener un largo de cuatro metros y un alto máximo de dos metros para poder ser ubicado entre el área del lago y las parcelas de modo que se facilitara el traslado de agua desde el lago hacia el modelo y desde el modelo hacia la vegetación ornamental de la granja, por otro lado esta ubicación además ofrecía un soporte adicional proporcionado por las rejas, siendo entonces ideal por las condiciones de soporte y seguridad.

Se inició entonces la búsqueda de un diseño que permita aprovechar al máximo el área sin afectar la efectividad del modelo y sin comprometer las condiciones básicas de volumen, profundidad y radiación necesarias para la supervivencia de las plantas, en base a la revisión se elige un diseño basado en terrazas las cuales permiten optimizar el espacio al ser ubicadas horizontalmente a diferentes alturas, permitiendo crear diversos espacios donde se recrean las condiciones a partir del uso de cuatro macrófitas, que permitiera potenciar la capacidad fitodepuradora del modelo, se construyó entonces durante esta fase una maqueta como boceto inicial.

#### **7.1.1.2.3 Construcción**

La construcción del humedal artificial se inició con la realización de un presupuesto, y la comparación de materiales en términos de costos y calidad, eligiéndose entonces la madera como material base para la construcción de las terrazas junto con la fibra de vidrio para su impermeabilización y ángulos de hierro para el soporte.

El proceso de construcción se realizó durante los meses de junio y julio del 2015 por parte de las autoras, fuera de la institución; iniciando con la construcción de las terrazas y la impermeabilización, seguida de la construcción de los soportes y pruebas de impermeabilidad, estabilidad y peso, en las que se evidenciaron pequeñas filtraciones del líquido, por lo que se decidió utilizar plástico para cubrir las terrazas y evitar escapes.

#### **7.1.1.2.4 Montaje**

Las terrazas y soportes fueron trasladados a la institución donde se realizó el montaje la última semana de julio 2015, posteriormente durante las primeras semanas de agosto se realizaron pruebas de soporte, impermeabilidad y estabilidad de la estructura en el terreno, para continuar con el proceso se construyeron los filtros iniciando con la arena y posteriormente la grava para crear un filtro con disminución de grosor, por último se puso el carbón y la siembra de las macrófitas.

### 7.1.1.3 Fases de adaptación de las macrófitas

Mediante revisiones bibliográficas, se identificaron las macrófitas apropiadas para el modelo por ser previamente destacadas por su capacidad fitodepuradora y ser típicas de los humedales de la ciudad de Bogotá, lo cual aumenta las posibilidades de adaptación y evita la introducción de especies exóticas, que además son ideales para el modelo pues permiten mostrar a la comunidad educativa algunos componentes de este ecosistema y resaltar la importancia del mismo.

#### 7.1.1.3.1 Colecta

En esta etapa se pudo definir la zona de colecta de las macrófitas, teniendo en cuenta la bibliografía consultada, se eligió el Humedal Jaboque por su diversidad y su estado de conservación, además porque en este se encuentran las familias de plantas a utilizar en el diseño experimental, se encuentra ubicado en la localidad de Engativá, en el occidente de la ciudad de Bogotá D.C., pertenece a la cuenca del río Juan Amarillo, entre el Aeropuerto El Dorado y la Autopista Medellín. Limita por el occidente con el río Bogotá, por el sur con los barrios Engativá, Las Mercedes, Puerto Amor, Bolivia, Villa del Mar y la carretera que une a Engativá con el parque La Florida. Al Oriente limita con los barrios Álamos Norte, Álamos Sur y Bosques de Mariana entre otros. En el Norte con los barrios Villas de Granada, Los Ángeles, abarcando aproximadamente 57 hectáreas. (Rangel, J. & Beltrán, J., 2013).

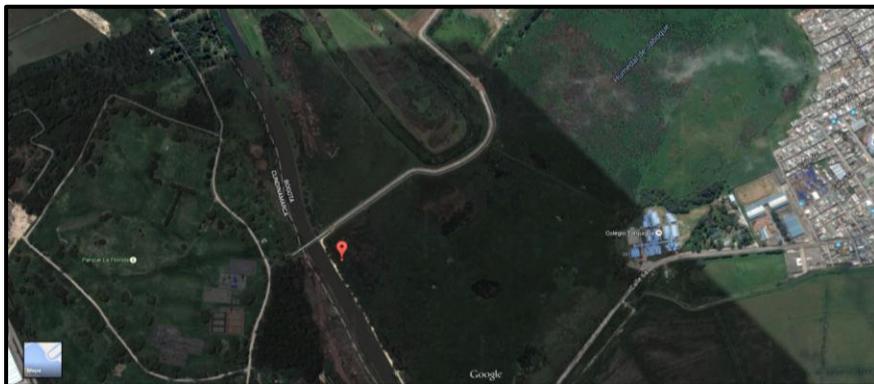


Imagen 5 Mapa zona de Colecta de Macrófitas en el Humedal Jaboque. Tomada de Google Earth

Las colectas se realizaron específicamente en el sector que limita con el parque La Florida y el Río Bogotá.

#### **7.1.1.3.2 Determinación**

La identificación y determinación de las especies se realizó en campo con la ayuda del Profesor Miguel Ángel Harker y mediante claves de macrófitas de la Sabana de Bogotá y el catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá.

#### **7.1.1.3.3 Adaptación**

Las plantas pertenecientes a las familias Juncaceae, Azollaceae, Pontederiaceae, Lemnaceae, se extrajeron vivas del humedal en bolsas herméticas y recipientes transparentes y posteriormente se colocaron en agua destilada para dejar las raíces libres de los posibles contaminantes que presenta el humedal Jaboque. Una vez realizado este proceso se colocaron en el módulo del humedal artificial en el Instituto Pedagógico Nacional, para su adaptación en este espacio. Se mantuvieron en estas condiciones por dos meses donde se logró una reproducción vegetativa de las macrófitas flotantes.

#### **7.1.1.3.4 Siembra**

Para la siembra de las plantas primero se realizaron pruebas con algunos organismos durante dos semanas, con el objetivo de evaluar si las condiciones son las ideales para la supervivencia de los organismos, posteriormente se sembraron las plantas que en el caso de las flotantes se ponen en la superficie del agua, cuidando que la profundidad sea la adecuada, en el caso de las macrófitas enraizadas deben adicionalmente acomodarse las raíces entre el filtro que actúa como sustrato.

#### **7.1.1.4 Fase de diseño experimental**

Para evaluar la funcionalidad y efectividad del modelo se plantea un diseño experimental, en el cual las diferentes terrazas con sus especificaciones se constituyen como variables independientes en relación con los parámetros físico-químicos y la calidad del agua dependientes de los procesos de fitodepuración en cada terraza.

##### **7.1.1.4.1 Diseño experimental**

Para evaluar la funcionalidad y efectividad del modelo se plantea un diseño experimental el cual se basa en el seguimiento de parámetros físico-químicos (nitratos, nitritos, fosfato, pH, turbidez, alcalinidad, temperatura, dureza y color), para el cual se tomó una muestra inicial de agua del lago la cual fue progresivamente pasando por cada terraza con el objetivo de observar los cambios progresivos de la calidad del agua dentro del proceso.

##### **7.1.1.4.2 Parámetros e ICAS**

Se realiza la medición de parámetros fisicoquímicos del agua antes y después de iniciar el tratamiento en cada uno de los estanques, ya que esto permite evidenciar la capacidad fitodepuradora del modelo, evidenciando como varían estos parámetros durante el tratamiento para esto se plantea el uso de índices de calidad de agua (ICA) usados para calcular está a partir de la ponderación de parámetros físico-químicos.

##### **7.1.1.4.2.1 Parámetros físico-químicos**

###### **7.1.1.4.2.1.1 pH**

La medición del pH es una de las actividades más importantes y de mayor frecuencia en las pruebas químicas del agua. El rango de pH en aguas naturales oscila entre 4 y 9 y en su mayoría las aguas son ligeramente básicas, debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos. (Roldan, G., 2003) Actualmente la técnica más exacta es la potenciométrica, fundamentada en la medida de la diferencia de potencial experimentada

en dos celdas electroquímicas llamadas electrodos. El pHmetro posee un mecanismo electrónico que compensa de manera automática la medida con respecto a la temperatura. Este método también es aplicable a todo tipo de aguas naturales, efluentes industriales y domésticos. En el presente trabajo, la medición del pH, se realizó ex situ, según recomendaciones del IDEAM (2002), colectando 100 ml de muestra de agua, 50 ml en recipiente de Plástico y 50 ml en recipiente de Vidrio enjuagado con HNO<sub>3</sub> 1+1, el cual se refrigero y posteriormente se hizo el análisis inmediato de la muestra por medio del pHmetro en el laboratorio de biología de la Universidad Pedagógica Nacional.

#### **7.1.1.4.2.1.2 Turbiedad**

La turbidez en el agua define el grado de opacidad producido en el agua por materia particulada en suspensión orgánica e inorgánica como arcilla, arena, limos, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros organismos microscópicos, estos materiales que provocan la turbidez son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua, puesto que limita el paso de la luz a través de ella, las acciones antrópicas aumentan la turbidez del agua, por lo tanto se convierte en una medida visual de contaminación. La turbidez puede ser medida in situ o en laboratorio, se determina por medio del nefelométrico y el visual. (Roldán, G., 2003). Atendiendo a las recomendaciones anteriores la toma de turbiedad se realizo in situ, utilizando un turbidímetro.

#### **7.1.1.4.2.1.3 Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente principal de oxígeno es el aire, la fotosíntesis es una fuente importante de oxígeno en sistemas acuáticos, se difunde en el agua por las algas y en menor proporción por las plantas acuáticas. La concentración de oxígeno está afectada por la presión atmosférica a mayor altura sobre el nivel del mar menor presión y por ende hay pérdida de oxígeno, los valores de oxígeno deben ser multiplicados por un factor de corrección. Los equipos modernos de medición traen este factor incluido; dicho factor va de 1.0 a nivel del mar hasta 1,45 a 3000 metros de altura. Debido a que los valores normales de oxígeno dependen de la altura y de la temperatura, conviene expresar los resultados en

términos de porcentaje (%) siendo el 100% la concentración ideal. Los valores por encima o por debajo, indican que algo está perturbando el ecosistema. (Roldán, G., 2003). El oxígeno disuelto fue tomado con un oxigenómetro, en el Humedal Artificial.

#### **7.1.1.4.2.1.4 Nitritos y Nitratos**

La fuente principal de nitrógeno es el aire, representa el 79% aproximadamente. Hay gran cantidad de nitrógeno en la litosfera, que no hacen parte de los ciclos biogeoquímicos, el nitrógeno atmosférico representa el 6,3 % del nitrógeno total calculado, del cual una pequeña parte está presente en los seres vivos. El nitrógeno en el agua es el componente fundamental de las proteínas, las cuales hacen parte de la base estructural de los seres vivos, están compuestas por aminoácidos (estructuras químicas formadas por un grupo amino, que da propiedades básicas a los aminoácidos y un grupo carboxilo da propiedades acidas) (Roldan, G. 2003)

El nitrógeno puede existir en siete estados de valencia y se puede presentar en ambientes acuáticos de varias formas:

- Nitrato  $\text{NO}_3^-$
- Nitrito  $\text{NO}_2^-$
- Amoníaco  $\text{NH}_3$
- Amonio  $\text{NH}_4^+$
- Óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$
- Nitrógeno molecular  $\text{N}_2$
- Nitrógeno orgánico disuelto Péptidos, purinas, aminas, aminoácidos

De estas formas de nitrógeno, el nitrato y el ion amonio son las más importantes para los ecosistemas acuáticos en cuanto constituyen la fuente principal para los organismos residentes en este medio (Roldan, G. 2003) por lo tanto es relevante para el trabajo de grado realizar pruebas químicas con el nitrato. El nitrito por otra parte, se encuentra en bajas concentraciones, en especial en aguas oxigenadas, sin embargo, en medios con bajas concentraciones de oxígeno su concentración aumenta de manera notoria y en concentraciones altas los nitritos son muy tóxicos (Roldan, G. 2003) por tal razón, es

importante tener en cuenta este compuesto en la Fitodepuración, puesto que nos significa en primera instancia la acción que interviene en la concentración de oxígeno y por otro lado que el proceso por parte de las plantas acuáticas sea realizado. En las tormentas eléctricas grandes cantidades de nitrógeno son oxidadas a  $N_2O_5$ , al unirse con agua forman  $HNO_3$ , al disociarse con el agua produce nitratos, los cuales constituyen la forma química en que las algas y las plantas pueden incorporar nitrógeno en su citoplasma y utilizarlo en la síntesis de proteínas. La presencia o ausencia de nitratos en el agua del humedal artificial nos indicaría la absorción de estos por parte de las plantas acuáticas y permitiría evidenciar el proceso de Fitodepuración.

#### **7.1.1.4.2.1.5 Fosfatos**

El fósforo es el elemento biogénico que desempeña el papel más importante en el metabolismo biológico, es el menos abundante comparándolo con los demás nutrientes y es el factor más limitante en la productividad primaria. El fósforo es importante puesto que hace parte de las moléculas esenciales de la vida como el ATP portador de energía y el ADN y ARN portadores de la herencia y codificadores en la síntesis de proteínas. (Roldan. 2003)

El fósforo se encuentra químicamente de dos formas ortofosfatos y polifosfaos, los ortofosfatos más comunes son los siguientes:

- Fosfato trisódico ( $Na_3PO_4$ )
- Fosfato disódico ( $Na_2HPO_4$ )
- Fosfato monosódico ( $NaHPO_4$ )
- Fosfato de amonio ( $(NH_4)_2HPO_4$ )

Los ortofosfatos son la forma más importante, dado que es la más soluble y asimilable por los organismos, además es la manera como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo, son muy reactivos y forman bajo condiciones oxidantes compuestos insolubles que se precipitan. De este modo se hace relevante tomar este parámetro químico, de tal forma que la presencia o ausencia de fosfatos permita demostrar la absorción de este nutriente por parte de las macrófitas, ya que estas plantas cumplen un papel muy importante en la toma y

retorno de estos nutrientes al agua. En principio se ha encontrado que el sistema vascular de las plantas acuáticas es muy reducido y que las hojas de estas plantas son las responsables de la mayor parte de absorción de los nutrientes, al morir las macrófitas liberan hasta un 50 % del fósforo en pocas horas, lo que revela la importancia de estas plantas en el mantenimiento del ciclo del fósforo en el agua. En este caso los fosfatos se midieron a través de los kits, tanto cuantitativos como cualitativos de Aquamerck.

#### **7.1.1.4.2.2 Índices de calidad de agua**

La calidad del agua se define en relación a la presencia o ausencia de contaminantes; un índice de calidad de agua es una expresión estadística que resulta de la evaluación combinada de determinados parámetros que sirven como indicadores de la calidad del recurso Fernández. N & Solano. F (2005), estos cálculos se realizan con el objetivo de facilitar la interpretación de los datos y la comparación de los parámetros.

El tipo de índices que se utilizaron en este trabajo son de tipo comparativo entre mediciones y estándares previamente establecidos como óptimos; estos indicadores dependen de la selección del parámetro dado que están calculados en base a la importancia que se le da al parámetro como indicador de calidad:

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i}$$

Ecuación 1. Índice ICA.

Se eligieron el ICA Dinius y el ICA NSF, teniendo como criterio que se contaba con más de la mitad de los parámetros evaluados por cada uno haciendo posible la adaptación de los mismos.

#### **7.1.1.4.2.2.1 Índice Dinius**

En este caso la calidad de agua se estimó a partir del cálculo del índice ICA- Dinius y del índice ICA-NFA; ICA Dinius fue propuesto en 1987, un índice de tipo multiplicativo con 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que se usan para establecer valores óptimos de acuerdo con los posibles usos del recurso hídrico. Los parámetros que tiene en cuenta este índice son:

1. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub> en mg/l)
2. Oxígeno Disuelto, expresado como % de saturación (OD en % Sat)
3. Potencial de hidrógeno (pH en unidades)
4. Nitratos (NO<sub>3</sub> -2 en mg/l)
5. Temperatura (T), (°C)
6. Coliformes Fecales (Coli. F en NMP/100 ml)
7. Coliformes Totales (Coli. F en NMP/100 ml)
8. Alcalinidad (mg/l)
9. Dureza (mg/l)
10. Cloruros (Cl- mg/l)
11. Conductividad (µs/cm)
12. Color (UPC)

Este índice se calcula en base a un promedio aritmético ponderado que se calcula multiplicando los subíndices de cada parámetro de calidad, elevados a un exponente que representa el porcentaje asignado a cada parámetro, calculado en base a curvas de estandarización de cada indicador, de manera que cada parámetro es descrito por una función. A continuación se describe las funciones y porcentajes de cada indicador: Fernandez. N & Solano. F (2005).

Parámetro	Función del subíndice ( I )	Peso Relativo (W)
Coliformes Fecales	$I_{ColiF} = 106 (CF)^{-0.1286}$	11.6
OD % Sat	$I_{OD} = 0.82(OD) + 10.56$	10.9
DBO <sub>5</sub>	$I_{DBO5} = 108 (DBO_5)^{-0.3494}$	9.7
Coliformes Totales	$I_{ColiT} = 136 (CT)^{-0.1311}$	9.0
Nitratos	$I_{NO3} = 125 (NO_3)^{-0.2718}$	9.0
Conductividad	$I_{Cond} = 506 (Cond)^{-0.3315}$	7.9
Temperatura	$I_T = 10^{2.004 - 0.0382 \Delta T}$	7.7
pH	Si pH < 6.9 → $I_{pH} = 10^{0.6803+0.1856 (pH)}$ Si 6.9 < pH < 7.1 → $I_{pH} = 100$	7.7

	$\text{Si } \text{pH} > 7.1 \rightarrow I_{\text{pH}} = 10^{3.65 - 0.2216 (\text{pH})}$	
Cloruros	$I_{\text{Cl}^-} = 391(\text{Cl}^-)^{-0.3480}$	7.4
Dureza	$I_{\text{Dur}} = 552(\text{Dur})^{-0.4488}$	6.5
Alcalinidad	$I_{\text{Alc}} = 110(\text{Alc})^{-0.1342}$	6.3
Color	$I_{\text{Color}} = 127(\text{Color})^{-0.2394}$	6.3

Tabla 5 Funciones de los subíndices y ponderaciones de los parámetros del ICA de Dinius (1987) tomado de Ramírez. C Hernán. C & García. L (2004)

El índice Dinius asocia valores numéricos a 6 rangos de clasificación de la calidad del agua, teniendo en cuenta las características que debe presentar el recurso hídrico de acuerdo con el uso a que se destine, los cuales son: (E) Excelente, (A) Aceptable, (LC) Levemente Contaminada, (C) Contaminada, (FC) Fuertemente Contaminada y (EC) Extremadamente Contaminada.

Usos	Consumo humano		Agricultura		Pesca y viva acuática		Industria		Recreación	
	Rango	Descripción	Rango	Descripción	Rango	Descripción	Rango	Descripción	Rango	Descripción
E	90-100	No requiere tratamiento para el consumo.	90-100	No requiere tratamiento para riego.	70-100	Pesca y vida acuática abundante	90-100	No requiere purificación	70-100	Cual tipo de deporte acuático
A	80-90	Tratamiento menor requeriré	70-90	No requiere tratamiento para la mayoría de cultivos	60-70	Límite para peces sensibles	70-90	No requieren tratamiento	50-70	No apta para deportes de inmersión
LC	70-80	Dudoso consumo sin tratamiento	50-70	Purificación menor de acuerdo con el cultivo	50-60	Dudosa pesca, sin riesgos para la salud	50-70	Purificación menor	40-50	Dudoso contacto
C	50-70	Tratamiento de potabilización necesario	30-50	Tratamiento requerido para la mayoría de cultivos	40-50	limitada a especies muy resistentes	30-50	Tratamiento para la mayoría de usos	30-40	Apta para transporte, evitar contacto
FC	40-50	Dudoso para consumo	20-30	Uso solo en cultivos muy resistentes	30-40	Inaceptables para pesca	20-30	Uso restringido a actividades	20-30	Evitar contacto

								burdas		
E C	0- 40	Inaceptabl e para consumo	0- 20	Inaceptable para riego	0- 30	Inaceptable para vida acuática	0- 20	Inaceptabl e para cualquier industria	0- 20	Inaceptabl e para la recreación

Tabla 6 parámetro para uso del agua ICA de Dinius (1987) tomado de Ramírez. C Hernán. C & García. L (2004).

#### 7.1.1.4.2.2.2 Índice NSF

El ICA-NSF fue propuesto en 1970 por la National Sanitation Foundation, se determina a partir de 9 parámetros que son ponderados de acuerdo a su repercusión en la capacidad del agua para sostener la vida acuática en las lagunas de inundación:

- Oxígeno Disuelto (OD en % Sat)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)
- Nitrógeno (mg/l)
- Fósforo (mg/l)
- Sólidos disueltos totales (mg/l)
- Turbiedad (NTU)
- Coliformes Fecales (#/100ml)
- PH (unidades de pH)
- Temperatura (C°)

Este índice también se calcula en base a un promedio aritmético ponderado que se calcula multiplicando los subíndices de cada parámetro de calidad, por el peso relativo de cada parámetro.

El cálculo de los subíndices se realizó en base a las curvas de función a partir de las cuales se obtiene el valor por el que se multiplican los subíndices de cada parámetro que pueden consultarse índices de Calidad de Agua (ICAs) de la universidad de pamplona; para el caso del índice NSF se tuvieron en cuenta seis parámetros que se midieron de acuerdo con la disponibilidad de instrumentos, a continuación se presenta la adaptación de los pesos relativos de acuerdo a los índices evaluados.

Parámetro	Peso Relativo
Oxígeno Disuelto	0.17
pH	0.11
Turbiedad	0.08
Fosfatos	0.10
nitratos	0.10
temperatura	1.10
Demanda bioquímica de oxígeno	0.11
Coliformes	0.16
Solidos disueltos	0.07

Tabla 7 Pesos relativos índice NSF, tomado de Torres et al., 2009. Revista Ingenierías Universidad de Medellín

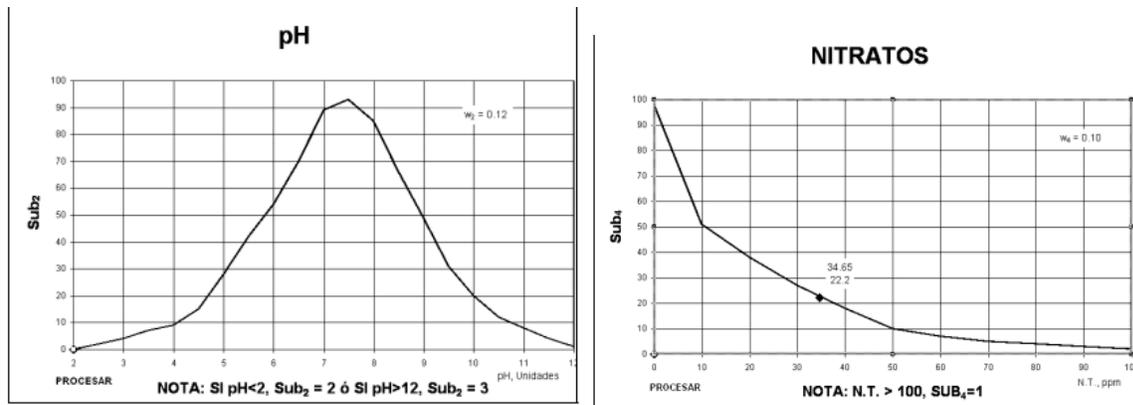


Imagen 6 Curvas de estimación pH y nitratos

De acuerdo con este índice el agua se clasifica en cinco categorías, las aguas con “ICA” mayor que 90 se consideran capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. De modo que esta también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella. Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” se consideran con menos diversidad de organismos acuáticos y con frecuencia un crecimiento de la población de algas. Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” se consideran con una baja diversidad de vida acuática por problemas de contaminación (González et al., 2013).

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y

normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación (González et al., 2013).

A continuación se presenta la tabla de clasificación de calidad de agua para este índice donde se presentan cinco categorías referentes a la calidad del agua en relación con su potencial para albergar formas de vida y en este sentido del agua luego de pasar por el proceso de purificación del modelo de humedal artificial:

Excelente	91 a 100
Buena	71 a 90
Regular	51 a 70
Mala	26 a 50
Pésima	0 a 25

Tabla 8 Clasificación de la calidad de agua Tomada de <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>

Para la evaluación de la calidad del agua se calcularon los índices ICA-Dinius y ICA-NSF, a continuación se presenta la adaptación de los pesos relativos medidos para cada índice, basando las proporciones de los pesos relativos de los índices medidos sobre la media total del cálculo, para obtener un nuevo porcentaje total basado solo en los índices medidos conservando los pesos relativos de los mismos.

Para el ICA-Dinius se tuvieron en cuenta siete parámetros que se presentan a continuación:

Parámetro	Peso Relativo (W)
OD % Sat	5,995
Nitratos	4,95
Temperatura	4,235
pH	4,235
Dureza	6.5
Alcalinidad	3,465

Color	6.3
-------	-----

Tabla 9 ICA Dinius Peso relativo adaptado a los parámetros medidos

Para el caso del índice NSF se tuvieron en cuenta seis parámetros que se midieron de acuerdo con la disponibilidad de instrumentos, a continuación se presenta la adaptación de los pesos relativos de acuerdo a los índices evaluados.

Parámetro	adaptación
Oxígeno Disuelto	11,39
pH	8,04
Turbiedad	5,36
Fosfatos	6,7
nitratos	6,7
temperatura	6,7

Tabla 10 ICA NSF Peso relativo adaptado a los parámetros medidos

A continuación se presenta a manera de ejemplo los cálculos del índice ICA Dinius para la primera medición, los subíndices fueron cálculos en base a las funciones previamente presentadas y los pesos relativos fueron adaptados en base a la cantidad de parámetros contemplados.

	Agua Lago		
	Agua inicial	Función del subíndice ( I )	subíndice relativo *peso
pH	11.4	13,30	56,31
Oxígeno Disuelto	93,10%	11,32	67,88
alcalinidad	200	0,26	0,91
nitratos	14, 6	0,13	0,64
temperatura	15	26,98	114,25
dureza	40	0,01	0,04
color	400	0,07	0,26
índice			34,328

Tabla 11 Ejemplo de cálculos ICA Dinius

A continuación se presenta a manera de ejemplo los cálculos del índice ICA NSF para la primera medición, en este caso los subíndices fueron tomados de las curvas de calibración para cada parámetro tomadas del libro la calidad del agua valoración y monitoreo de la universidad de Pamplona y los pesos relativos fueron adaptados en base a la cantidad de parámetros contemplados.

Índice ICA NSF	agua lago	subíndice	subíndice *peso relativo
Oxígeno Disuelto	93,10%	90	15,300
pH	11,4	3	0,360
Turbiedad	185	5	0,400
Fosfatos	1,28	28	2,800
Nitratos	14,6	40	4,000
Temperatura	15	9	0,900
índice			<b>35,463</b>

Tabla 12 Ejemplo de cálculo ICA NFS

### 7.1.2 Fase de investigación educativa

La construcción del modelo de humedal artificial se realizó con la idea de proponer una alternativa de tratamiento y gestión de los recursos hídricos a partir de la cual se espera desarrollar un espacio en el cual se pueda trabajar en la sensibilización entorno al tratamiento y reutilización de estos recursos, para esto se proponen un conjunto de actividades con las cuales se busca introducir a los estudiantes.

#### 7.1.2.1 Fase de diseño del módulo educativo

Para esta fase se partió de la revisión de las competencias para el área de ciencias propuestas por el Ministerio de Educación Nacional las cuales sirvieron como guía para el diseño de los contenidos en relación con los niveles de pensamiento de los estudiantes, con base en esta revisión se diseñaron dos módulos educativos en relación al agua para diferentes grupos, cuyos temas centrales fueron la importancia del agua, sus características, los problemas de contaminación, las posibilidades de tratamiento y el humedal artificial.

### **7.1.2.1.1 Caracterización de la población**

El 9 de marzo de 1927 abriría sus puertas el Instituto Pedagógico Nacional una institución educativa pensada para la formación de institutrices, concebida bajo el marco de la educación activa influenciada por modelos europeos, empezaría con 73 señoritas y bajo la dirección de la alemana Francisca Radke traída a Colombia por la segunda misión pedagógica alemana.(Prieto, 1997). Durante este tiempo el instituto se ha caracterizado por su capacidad de reflexión y de cambio, que le ha permitido adaptarse para responder a los nuevos desafíos que plantea una sociedad dinámica, apoyado en los procesos reflexivos e investigativos de las experiencias pedagógicas.

En la actualidad es una institución oficial, mixta y respaldada por la Universidad Pedagógica Nacional, que se encuentra ubicada en la localidad de Usaquén, al norte de Bogotá, en la Calle 127 con Carrera 12 A. Sus terrenos cuentan con 72.000 Metros cuadrados, donde se encuentra el edificio principal de bachillerato, el patio central, el gimnasio, la cafetería, los edificios de primaria, el área de educación especial, amplias zonas verdes, y diferentes aulas especializadas como los salones de artes, danzas y la granja. (IPN; PEI, 2001).

Con 87 años de trayectoria, se ha constituido como un ejemplo de innovación y tradición en el campo educativo, siendo el principal centro de práctica e investigación de la Universidad Pedagógica Nacional, lo que ha permitido a la institución mantenerse a la vanguardia de la investigación educativa.(IPN; PEI, 2001). En el 2013 , el instituto es reconocido a nivel local, nacional e internacional como líder en calidad educativa, en innovación e investigación pedagógica y en práctica docente, basando su modelo educativo en la idea de los desarrollos múltiples, que es planteada con la objetivo de atender a la diversidad de alumnos de la institución. Para lo cual se construye el currículo sobre la base de dar oportunidades de desarrollo para la población en general; estas oportunidades son impulsadoras de múltiples desarrollos atendiendo la integralidad del ser en todas sus dimensiones (IPN, manual de convivencia, 2014).

El colegio se plantea como objetivo principal “Ofrecer al estudiante un ambiente educativo propicio para el fomento de los múltiples desarrollos basados en los parámetros de la

Constitución Nacional, los avances de la ciencia y los requerimientos de la Ley 115 y del Plan Decenal Educativo”, para lo cual se plantea como objetivos generales “Generar interacciones pedagógicas en beneficio de toda la comunidad educativa”, así como “Llevar a cabo un trabajo amplio de proyección a la comunidad haciendo del I.P.N. un polo de desarrollo de ésta, en pro de “Fomentar la adquisición de una conciencia y de unas competencias ciudadanas que faciliten la convivencia armónica y el desarrollo local”(IPN; PEI , 2001).



Imagen 7 Plano IPN. Perilla, L. 2014

El área de ciencias naturales se caracteriza por el desarrollo de proyectos transversales e interdisciplinarios de investigación escolar e innovación en el aula, con las que se espera posibilitar la vivencia de situaciones significativas en relación con las ciencias y la educación ambiental que le permitan al estudiante adquirir conocimientos científicos escolares, desarrollar habilidades, destrezas y valores, apuntando entonces a la formación de ciudadanos íntegros con interés por la ciencia y habilidades de liderazgo, con capacidades para reflexionar y proponer soluciones a problemas cotidianos y ambientales que atañen su contexto. Por lo que se plantea como misión propiciar en el estudiante aprendizajes significativos en ciencias desde lo disciplinar, procedimental y actitudinal que faciliten los múltiples desarrollos (IPN, Plan de área ciencias naturales.2013).

Con este objetivo el área ha venido desarrollando la granja como un espacio de reflexión para la concienciación de la comunidad educativa sobre de la importancia del cuidado y conservación del ambiente, constituyéndose como un laboratorio natural, interdisciplinario e interinstitucional, para fortalecer los procesos de aprendizaje por medio de metodologías

teórico prácticas, que además se ha convertido como el espacio que brinda oportunidades para el desarrollo de estrategias pedagógicas en torno a las relaciones con la naturaleza en el contexto urbano, en donde la flexibilidad de este espacio permite que la comunidad educativa pueda desarrollar diversos proyectos acorde a sus intereses en relación a los problemas ambientales de su entorno.

Por otra parte dada la relación entre el colegio y la universidad y su trayectoria en investigación e innovación educativa, el instituto se constituye como el espacio propicio para el desarrollo de esta propuesta educativa, por tratarse de un lugar abierto a nuevas ideas, propuestas y metodologías entorno a los procesos de enseñanza y por ser además un espacio donde se resalta la importancia de formar ciudadanos conscientes y competentes en la resolución de los problemas propios del contexto, dando de esta manera un punto adecuado para la educación ambiental como eje central articulador de la formación en ciencias, propósitos que coinciden con el objetivo de desarrollar competencias en torno a la administración y conservación de los recursos hídricos a partir de la desarrollo de competencias disciplinares, procedimentales y actitudinales con respecto al agua y su importancia.

En este trabajo se diseñaron dos propuestas educativas en torno al espacio del humedal artificial una para el grado cuarto y otra para el grupo de once con énfasis en ciencias, con el objetivo de evaluar la pertinencia de este espacio en la sensibilización de los estudiantes en los distintos niveles. Cada propuesta busco presentar un conjunto de actividades destinadas a resaltar la importancia de los recursos hídricos, a partir de los conceptos científicos que están involucrados en el diseño del modelo como alternativa de tratamiento y reutilización de agua.

#### **7.1.2.2 Fase de evaluación del módulo educativo**

La evaluación del alcance de los módulos se realizó a partir de la evaluación preliminar de los logros y desempeños alcanzados por los estudiantes, en los que se pudo observar los conocimientos, habilidades y aptitudes que les permitieron relacionarse de manera activa con

su contexto, para lo cual se propusieron una serie de actividades que permitieron ver la integración de estos tres aspectos en torno a la problemática particular de los recursos hídricos a partir de la evaluación de estándares básicos, los cuales fueron diseñados de acuerdo con los estándares y lineamientos de ciencias naturales propuestos por el Ministerio de Educación Nacional.

A continuación se presentan las tablas de logros y desempeños a evaluar con respecto al Humedal Artificial con los estudiantes del grado cuarto y los estudiantes del grupo de énfasis.

<b>Pregunta orientadora</b>	<b>Ejes temáticos</b>	<b>Logros</b>	<b>Desempeños</b>
¿Por qué el agua es importante?	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Agua propiedades químicas</li> <li>*Importancia del agua para el cuerpo</li> <li>*Importancia del agua para el ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Identifica el agua como una sustancia especial por sus características.</li> <li>*Comprende la importancia del agua para la vida.</li> <li>*Comprende la importancia del agua para el ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Relaciona las propiedades del agua para dar explicación a las experiencias propuestas.</li> <li>*Expresa por medio del lenguaje grafico las consecuencias de la falta de agua.</li> <li>*Expresa sus experiencias de consumo y uso de los recursos hídricos</li> </ul>
¿Cuánta cantidad de agua tenemos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Agua en cifras</li> <li>*Contaminación de los recursos hídricos</li> <li>*Prácticas de uso de los recursos hídricos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Reconoce la situación de los recursos hídricos en el planeta.</li> <li>*Identifica los problemas de administración y gestión de los recursos hídricos en su contexto.</li> <li>*Comprende su papel en el problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Analiza por medio de gráficas y comprara las cifras.</li> <li>*Identifica parámetros cualitativos de calidad de agua</li> <li>*Es consciente de la cantidad de agua que consume.</li> </ul>

¿Cómo cuidar el agua?	*Importancia del cuidado del agua *Ahorro de agua *Reutilización de agua	*Identifica los problemas de administración y gestión de los recursos hídricos en su contexto. *Comprende su papel en el problema. *Propone alternativas para el ahorro y reutilización de los recursos hídricos.	*Cataloga prácticas de uso de los recursos como adecuadas e inadecuadas. *Identifica los problemas de los recursos hídricos de su contexto. *Propone alternativas para el ahorro y reutilización del agua.
¿Se puede hacer uso de Humedales artificiales para el tratamiento de aguas?	*Tratamiento del agua Biofiltro *Humedal artificial.	*Identifica los procesos físicos y químicos que posibilitan el tratamiento de agua *Reconoce el humedal artificial como un biofiltro *Sigue las indicaciones para la construcción de un filtro artesanal para el tratamiento de agua.	*Observa y trata de explicar los procesos de absorción, sedimentación, filtración. *Construye un filtro natural para el tratamiento de agua *Dibuja el humedal artificial y trata de explicar los procesos que ocurren en cada parte del sistema

Tabla 13 Logros y desempeños evaluados en el grado Cuarto

Pregunta orientadora	Eje temático	Logros	Desempeños
¿Qué es el agua? ¿Qué hace especial al agua?	*Agua, propiedades químicas y físicas *Importancia del agua	*Comprende las características químicas y físicas que hacen del agua un compuesto fundamental para la vida.	*Reconoce las problemáticas entorno al uso de los recursos hídricos en el contexto

<p>¿Cuál es la situación actual de los recursos hídricos?</p>	<p>*El agua en cifras *Manejo de los recursos hídricos</p>	<p>*Reconoce la situación actual de la oferta y demanda hídrica. *Identifica los problemas de administración y gestión del recurso hídrico en su contexto</p>	<p>*Comprende la importancia que la acción humana ha tenido sobre los recursos hídricos.</p>
<p>¿Cómo afectan las actividades humanas las fuentes hídricas?</p>	<p>*Principales contaminantes *Medición de parámetros físico-químicos.</p>	<p>*Relaciona los efectos de las actividades humanas con las alteraciones de los recursos hídricos. *Identifica los principales contaminantes que afectan las fuentes hídricas.</p>	<p>*Trata de explicar la importancia de tener una alternativa de reutilización del agua.</p>
<p>¿Cómo mejorar la administración y gestión de los recursos hídricos?</p>	<p>*Biofiltros para el tratamiento del agua. *Funcionamiento del humedal artificial</p>	<p>*Propone alternativas para el tratamiento y reutilización del agua. *Identifica esfuerzos en torno a la conservación de los recursos hídricos. *Propone planes de gestión y administración para los recursos hídricos.</p>	<p>* Propone alternativas para la fitodepuración y reutilización del agua.</p>

Tabla 14 Logros y desempeños evaluados en el módulo grupo énfasis

En los anexos se presentan los módulos con las actividades realizadas en torno al espacio de humedal artificial, y las matrices de validación de las mismas por parte de los profesores encargados del área de ciencias en estos grupos, los cuales cuentan con la experiencia para validar los conceptos y actividades planteadas. Para esto se utilizó el matiz de validación

propuesta por Línea de Investigación Didáctica y sus Ciencias de la Universidad Pedagógica Nacional.

#### **7.1.2.2.1 Fase de Aplicación**

Las actividades pertenecientes al módulo educativo del grado cuarto se aplicaron en los meses de Noviembre y Diciembre del año 2015, en donde se realizaron dos actividades de la primera parte y 2 actividades de la última parte del módulo educativo, teniendo en cuenta que la disponibilidad de tiempo fue corta se consideró importante que los estudiantes inicialmente tuvieran claridad con referencia a las características y propiedades del agua y su importancia para la vida, actividades que estuvieron relacionadas con la primera parte y con respecto a la última parte fue importante la interacción con el Humedal Artificial de su colegio, observando su funcionamiento y los procesos que allí ocurren. En la siguiente tabla se presenta los criterios de evaluación utilizados en las aplicaciones realizadas para este grado.

<b>Logros</b>	<b>Desempeños</b>	<b>Evaluación de desempeños</b>
Identifica el agua como una sustancia especial por sus características.	Relaciona las propiedades del agua para dar explicación a las experiencias propuestas.	Alto: 5 Medio :9 Básico :15 Bajo :4
El resultado es alto si trata de dar resultado a las 4 o tres experiencias. Medio si trata de dar explicación a dos de las experiencias. Básico si da explicación a una experiencia y bajo si no da explicación a ninguna de las experiencias.		
Comprende la importancia del agua para la vida	Expresa por medio del lenguaje grafico las consecuencias de la falta de agua.	Alto: 13 Medio: 12 Básico: 6 Bajo :2
El resultado es alto si el estudiante realiza el dibujo y lo describe. Medio si solo realiza el dibujo que hace referencia al agua. Básico si hace solo un dibujo de la abuela Grillo. Bajo el estudiante no dibujo		
Reconoce el humedal artificial como un biofiltro	Dibuja el humedal artificial y trata de explicar los procesos que ocurren en cada parte del sistema	Alto 18 Medio12 Básico 3 Bajo: 0
El resultado es alto si el dibujo de Humedal artificial presenta la estructura de diseño y las plantas que allí hay. Medio si el estudiante solo dibuja las plantas o solo dibuja la estructura. Básico si solo dibuja agua y no plantas. Bajo si no realizó ningún dibujo.		
Identifica los procesos físicos y químicos que posibilitan el tratamiento de agua	Observa y trata de explicar los procesos de absorción, sedimentación, filtración.	Alto:15 Medio:7 Básico:7 Bajo :4
El resultado es alto si el estudiante relaciona los tres procesos que ocurren en el Humedal. Es medio si solo relaciona 2. Básico si relaciona uno. Bajo si no relaciona ninguno.		
<b>Logros</b>	<b>Desempeños</b>	<b>Evaluación de desempeños</b>
Identifica el agua como una sustancia especial por sus características.	Relaciona las propiedades del agua para dar explicación a las experiencias propuestas.	Alto: 5 Medio :9 Básico :15 Bajo :4

El resultado es alto si trata de dar resultado a las 4 o tres experiencias. Medio si trata de dar explicación a dos de las experiencias. Básico si da explicación a una experiencia y bajo si no da explicación a ninguna de las experiencias.		
Comprende la importancia del agua para la vida	Expresa por medio del lenguaje gráfico las consecuencias de la falta de agua.	Alto: 13 Medio: 12 Básico: 6 Bajo :2
El resultado es alto si el estudiante realiza el dibujo y lo describe. Medio si solo realiza el dibujo que hace referencia al agua. Básico si hace solo un dibujo de la abuela Grillo. Bajo el estudiante no dibujo		
Reconoce el humedal artificial como un biofiltro	Dibuja el humedal artificial y trata de explicar los procesos que ocurren en cada parte del sistema	Alto 18 Medio12 Básico 3 Bajo: 0
El resultado es alto si el dibujo de Humedal artificial presenta la estructura de diseño y las plantas que allí hay. Medio si el estudiante solo dibuja las plantas o solo dibuja la estructura. Básico si solo dibuja agua y no plantas. Bajo si no realizó ningún dibujo.		
Identifica los procesos físicos y químicos que posibilitan el tratamiento de agua	Observa y trata de explicar los procesos de absorción, sedimentación, filtración.	Alto:15 Medio:7 Básico:7 Bajo :4
El resultado es alto si el estudiante relaciona los tres procesos que ocurren en el Humedal. Es medio si solo relaciona 2. Básico si relaciona uno. Bajo si no relaciona ninguno.		

Tabla 15 Criterios de evaluación actividades aplicadas grado cuarto.

Se aplicó todo el modulo educativo correspondiente al grupo de énfasis, este fue de tipo informativo por medio de una presentación de los temas que trata el modulo y se realizó con los estudiantes las preguntas de discusión pertenecientes al mismo, como actividad final los estudiantes realizaron una propuesta alternativa de Humedal Artificial la cual fue plasmada en un dibujo. En la tabla se presentan los criterios de evaluación de desempeños utilizados con el grupo de énfasis

<b>Logros</b>	<b>Desempeño</b>	<b>Evaluación de desempeño</b>
Identifica los problemas de administración y gestión del recurso hídrico en su contexto	Reconoce las problemáticas entorno al uso de los recursos hídricos en el contexto	Alto: 11 Bajo: 3
El resultado es alto si los estudiantes reconocen que hay un problema en Colombia y está relacionado con el abastecimiento de agua a algunas zonas del país, Es bajo si el estudiante no responde cual es el problema concreto.		
Relaciona los efectos de las actividades humanas con las alteraciones de los recursos hídricos.	Comprende la importancia que la acción humana ha tenido sobre los recursos hídricos	Alto: 12 Bajo: 2
El resultado es alto si el estudiante reconoce de qué manera sus propias acciones afectan la sostenibilidad del recurso hídrico en el país, es Bajo si no responde a la pregunta.		
Identifica esfuerzos en torno a la conservación de los recursos hídricos.	Trata de explicar la importancia de tener una alternativa de reutilización del agua	Alto: 13 Bajo: 1
El resultado es alto si el estudiante identifica los problemas que puede mitigar el uso del Humedal Artificial por medio de su funcionamiento y es bajo si no hay respuesta.		
Propone alternativas para la fitodepuración y reutilización del agua.	Propone alternativas para la fitodepuración y reutilización del agua.	Alto: 11 Bajo: 3
El resultado es alto si el estudiante propone un sistema de fitodepuración de aguas innovador, efectivo y que reduzca el espacio a utilizar. Es bajo si el estudiante no propone ninguna alternativa.		

Tabla 16 Criterios de evaluación actividades modulo grupo de énfasis

#### **7.1.2.2.2 Fase de revisión por expertos**

Los módulos fueron revisados por dos profesores expertos del Instituto Pedagógico Nacional, los cuales hacen parte del área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, quienes dieron el aval para aplicar estos módulos con los estudiantes y las respectivas sugerencias que permitieron mejorar aspectos de lectura, organización y actividades de los mismos. Estas evaluaciones son de tipo cualitativo y por medio de letras los profesores evaluaron cada ítem según los criterios elegidos en el formato utilizado. En donde E quiere decir que estuvo *totalmente de acuerdo* con el aspecto mencionado, B quiere decir *de acuerdo*, M significa *mejorar*, X es *eliminar* y C quiere decir *cambiar*. (Ver tablas 25 y 26)

## **8. Resultados y análisis de resultados**

### **8.1 Resultados investigación aplicada**

A continuación se muestran los resultados biológicos obtenidos durante el desarrollo del trabajo de grado, a cerca del diseño, construcción, adecuación del espacio, adaptación de las macrófitas acuáticas, toma de parámetros fisicoquímicos en cada una de las terrazas que comprende el Humedal Artificial construido en el Instituto Pedagógico Nacional y evaluación de índices de calidad de agua.

#### **8.1.1 Revisión bibliográfica disciplinar.**

La revisión bibliográfica comprendió libros, trabajos de grado, artículos de revistas, informes y sitios web, que presentan experiencias de tratamientos de aguas residuales por medio de sistemas de humedales artificiales, los cuales abordan como temas centrales el tratamiento de Aguas residuales y la Fitodepuración por parte de las especies de macrófitas acuáticas elegidas, los cuales sirvieron de insumos para la elaboración de los referentes teóricos, y el diseño del modelo. A continuación se presenta a manera de síntesis las generalidades de dichos proyectos

Proyecto	Autores	Objetivo	Humedal
humedales artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la nutria, de los cerros orientales de Bogotá D.C.	Universidad de Manizales Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas Aura Raquel Zapata Palacio.	Analizar los humedales artificiales como una alternativa de descontaminación hídrica para la quebrada La Nutria	La investigación se llevó a cabo bajo el enfoque de estudio de campo o laboratorio de tipo exploratorio, se tomaron muestreos aleatorios de diferentes zonas de la quebrada Posteriormente las muestras fueron sometidas a análisis físico, químico y biológico, en total se instalaron 6 peceras cada una con una macrófita diferente para cada recipiente. Se determinó que la planta acuática con mayor eficiencia dadas las características del contexto es el buchón de agua, <i>Eichhornia crassipes</i> . (Zapata. A.2014 )
Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la corporación universitaria de la costa. Universidad del Valle.	Corporación Universitaria de la Costa. Bernal .F, Mosquera. D, Maury. H, González. D, Guerra. R, Pomare. A y Silva. M.	Diseñar un humedal artificial como sistema piloto de tratamiento de aguas municipales, evaluando su pertinencia y eficiencia para las condiciones ambientales de la región Caribe.	Se construyó un humedal de tipo subsuperficial para el tratamiento de agua residual municipal, que parte de un tanque de recolección, así unlecho de una profundidad de 0.57m y un área de 8m <sup>2</sup> , el cual cuenta con un lecho de grava de diferentes tamaños y con <i>Typha s.p</i> como agente bioremediador; se observa resultados favorables como disminución del pH , aumento de la conductividad, disminución de la DQO y remoción de sólidos suspendidos.(Bernal .F Mosquera. D, Maury. H, González. D, Guerra. R,

			Pomare. A & Silva. M )
Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandúl	Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Química. Alejandra Patricia Otálora Rodríguez.	Evaluar la eficiencia de la PTAR(sistema de humedales artificiales de alta tasa) domésticas de la locación petrolera de Caño Gandúl en el Departamento de Casanare.	En el tratamiento de aguas residuales involucra cribado y desarenación preliminar, posteriormente pasa a un reactor anaerobio conformado por macrófitas nativas, colocadas sobre medios de soporte plástico reciclado. Obteniéndose valores de eficiencia de 92 a 95% en remoción de DBO5 y SS, 74 a 79 % en nutrientes (N y P). (Otálora. A)
Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales	Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA) Oscar Delgadillo Alan Camacho Luis F.Pérez Mauricio Andrade	Proyecto de investigación- acción denominado “Zonas húmedas construidas para la depuración de aguas residuales” el cual realizo una caracterización de este tipo de sistemas , sus ventajas y sus desventajas y las diferentes alternativas de diseño	El diseño del humedal , es vital para la eficiencia del mismo, debe tenerse en cuenta la cantidad de agua a tratar , su peso y su volumen para establecer el modelo más adecuado, en relación con el área, profundidad y tipo de sustrato, además de las condiciones ambientales que permitan la adaptación de las macrófitas, también debe evaluarse el riesgo biológico. A partir de la evolución que se hace de los modelos concluyen que estos sistemas representan enormes posibilidades para el tratamiento del agua por ser sistemas eficientes y con pocos requerimientos de mantenimiento. (Delgadillo. O, Camacho. A, Pérez. F Andrade. M)
Revisión de Técnica de	Agencia de Cooperación	Presentar las consideraciones	Se resalta la viabilidad de este tipo de sistemas por ser

<p>Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas</p>	<p>Internacional de Alemania, GIZ Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN Dra. Heike Hoffmann, Dr.-Ing. Christoph Platzer, Dra.-Ing. Martina Winker, Dra. Elisabeth von Muench</p>	<p>básicas de diseño y componentes técnicos, para humedales artificiales de flujo subsuperficial.</p>	<p>alternativas económicas para comunidades apartadas, Los humedales artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FS) pueden ser diseñados con flujo vertical u horizontal. El Humedal de Flujo Vertical (HFV) tiene un rendimiento de tratamiento más eficiente con una menor área de ocupación, por otra parte los humedales de flujo superficial (Agencia de Cooperación Internacional de Alemania).</p>
<p>Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo libre superficial</p>	<p>United States Environmental Protection Agency Office of Water Washington, D.C.</p>	<p>Presentar los criterios de diseño de los modelos de humedales FS, ventajas y desventajas del mismo.</p>	<p>En los humedales FLS el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga. Consisten normalmente de una o más cuencas o canales de poca profundidad que tienen un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación, La vegetación emergente más comúnmente utilizada en humedales FSL incluye las espadañas y aneas (Typha spp.), los juncos (Scirpus spp.) y los carrizos (Phragmites spp.). En sistemas diseñados principalmente para tratamiento, es común que sólo se seleccionen una o dos especies para la siembra. un humedal FS puede tener una menor superficie que un humedal FLS para los mismos caudales y objetivos de</p>

			calidad del agua(Environmental Protection Agency Office of Water Washington, D.C.)
Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración	Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara, Dayna Yocum.	Presenta criterios de diseño de humedales artificiales, además presenta la experiencia de un humedal de flujo horizontal.	El sistema consiste en una capa delgada (5 cm) de arena cubierta por una capa gruesa (45-75cm) de grava de tamaño pequeño-medio, y con una capa delgada (5 cm) tierra, en la cual se siembran macrofitas enraizadas las cuales actúan como filtro y al tiempo que contribuyen a la oxigenación del agua y la eliminación de contaminantes. propone además el uso de la gravedad para hacer fluir el agua dentro del sistema, con una profundidad entre 60 y 85 cm. (Yocum. D)
Humedales Artificiales	Universidad Nacional de Colombia sede Manizales Facultad de Ingeniería y Arquitectura Departamento de Ingeniería Química Ángela Sofía Silva, Hernán Darío Zamora .	Se recopila información importante sobre los humedales artificiales de los dos tipos: sistemas de flujo libre (FWS) y sistemas de flujo subsuperficial (SFS). Posee las recomendaciones necesarias para la selección de la zona y los factores que intervienen en la remoción como el clima, la vegetación, las	El área disponible para un humedal artificial depende del flujo de volumen, concentración de contaminantes, y metas del tratamiento. Los humedales se deben ubicar lejos de las comunidades, especialmente las que se encuentran por debajo de este. Además se debe contar con un caudal conocido para tratar, con el fin de no superar la capacidad del canal horizontal, Los aspectos más importantes a tener en cuenta para la construcción de humedales son básicamente, la impermeabilización de la capa superficial del terreno, la

		propiedades del agua residual entre otras.	selección y colocación del medio granular para el caso de los sistemas SFS, el establecimiento de la vegetación, y por ultimo las estructuras de entrada y salida. (Silva. A & Zamora. D).
Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá.	Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C Colombia Rodríguez Chaparro, Ivonne Maritza.	El propósito de esta investigación consistió en evaluar la capacidad de reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos en un humedal artificial de flujo vertical a escala laboratorio alimentado con agua del río Bogotá tomada a la altura del campus universitario “Río Grande” en Cájica	Los resultados obtenidos indican que este tipo de sistemas podrían ser utilizados para mejorar la calidad del agua y de esta forma contribuir a la descontaminación del recurso hídrico o inclusive para tratar aguas residuales. El humedal artificial de flujo vertical fue desarrollado a partir de las recomendaciones dadas por Arias (2003) y Cooper (1990), se construyó en acrílico, las dimensiones son 0.50m * 0.50m * 0.30m ( L*H*A) para un área superficial efectiva de 0.15m <sup>2</sup> , puesto que este modelo se diseñó para realizar pruebas piloto a pequeña escala en laboratorio.(Rodríguez Chaparro, Maritza. I )
Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas	Sergio Adrián Arias Martínez , Fernei Mauricio Betancur Toro, Gonzalo Gómez Rojas , Juan Pablo Salazar Giraldo, Marta Lucía	El propósito del proyecto es evaluar la efectividad de los humedales para reducir la carga contaminante como sistemas económicos de	Este presenta un modelo construido por subsistemas con diferentes tipos de plantas <i>Brachiaria mutica</i> por poseer un excelente desarrollo de raíces, tallos y hojas en presencia de aguas con alto contenido de microorganismos. <i>Brachiaria</i>

	Hernández Ángel	tratamiento en las granjas porcícolas en Colombia.	<i>arrecta</i> (S2) que presenta cambios importantes en su morfología aunque tuvo un lento crecimiento. Finalmente <i>Hedychium montaña</i> (3) se caracterizó por poseer un estado de estrés al estar en contacto con el agua residual, sin embargo la planta seguía con su desarrollo normal. El material filtrante de las tres unidades pilotos del humedal (S1, S2 y S3) está compuesto por capas de vermiculita, arena, arenón chino y grava, aumentándose el tamaño de la partícula a mayor profundidad. (Arias. S, Betancur. F, Gómez. G, Salazar. J, Hernández. M )
--	-----------------	--	---

Tabla 17 Marco de los proyectos sobre revisión bibliográfica

Para la selección de las macrófitas apropiadas para los procesos de fitodepuración, se realizó una revisión bibliográfica a partir de la cual se estableció el proceso de colecta y adaptación de las especies seleccionadas. A continuación se presenta a modo de síntesis los principales aportes de estas experiencias:

Proyecto	Autores	Objetivo	Breve descripción del estudio
Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, <i>Limnobium laevigatum</i> Y <i>Eichhornia crassipes</i> Para El	Valderrama, L (1996)	Evaluar el efecto de las macrófitas en el mejoramiento de la calidad del agua en un afluente agroindustrial de Bogotá	Se evaluó a pequeña escala el efecto de dos macrófitas acuáticas <i>Limnobium laevigatum</i> y <i>Eichhornia crassipes</i> para el mejoramiento de la calidad de un agua residual agroindustrial. Las dos macrófitas evaluadas fueron eficientes en la estabilización y neutralización del pH, disminución de las

Tratamiento De Aguas Residuales Agro Industriales			concentraciones de coliformes totales, DBO, DQO y sólidos suspendidos totales. <i>L. laevigatum</i> produjo un incremento en la alcalinidad total con respecto al afluente y fue más eficiente en la remoción de coliformes fecales que <i>E. crassipes</i> . Para los otros parámetros evaluados: temperatura, conductividad, sólidos disueltos y cloruros, las macrófitas no produjeron diferencias significativas en el afluente
Estudio de <i>Eichornia crassipes</i> , <i>Azolla filiculoides</i> y <i>Lemna gibba</i> en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del canton Cotacachi	Leon, M & Lucero A (2009)	Determinar la eficacia de las especies <i>Eichornia crassipes</i> , <i>Azolla filiculoides</i> y <i>Lemna gibba</i> aplicadas en asociación o en monocultivos en sistemas comunitarios de aguas residuales domésticas	El planeta enfrenta en la actualidad una gran pérdida de recursos naturales, se destaca dentro de los más importantes para el mantenimiento de la vida el agua. Entre las alternativas que se plantean para solucionar el problema de la pérdida de agua está el tratamiento de aguas residuales. El estudio parte de la necesidad de conservar el recurso agua, a partir del análisis sobre el río Pitzambiche, donde se menciona el serio problema que atraviesa el agua de estos ríos debido al vertimiento de aguas residuales domésticas y teniendo en cuenta la conciencia que los habitantes generan alrededor de la preservación de este recurso. El trabajo pone en consideración la aplicación de nuevas especies de plantas acuáticas flotantes, poniendo a disposición información sobre el comportamiento fisiológico de <i>Eichornia crassipes</i> , <i>Azolla filiculoides</i> y <i>Lemna gibba</i> , durante el tratamiento de aguas residuales

			domesticas en la comunidad cercana al rio.
Estado del Arte Aprovechamiento de los humedales para la disposición y tratamiento de efluentes líquidos	Prado, M (1997)	Realizar una revisión para conocer los aspectos más relevantes, sobre la construcción, desarrollos, conservación e importancia de los humedales. El artículo trata los fundamentos técnicos para el uso de los humedales como sistemas de tratamiento de agua, los humedales artificiales se basan en procedimiento de ingeniería ecológica y dependen de aspectos hidrológicos, sustratos de suelos, características del agua, tipo de plantas y economía.	Se define como humedales artificiales aquellos ambientes construidos por el hombre, para tratar aguas residuales y depende de la estructura vegetal dominante, estas especies son elegidas según el tipo de humedal a establecer entre ellos la influencia del clima, la salinidad, temperatura y otros, en cuanto al aspecto ecológico, se debe tener en cuenta el impacto de introducir y adaptar especies de plantas y el control de las especies no deseadas. Con respecto a la selección de especies de plantas, hay variedad de plantas emergentes y flotantes que cumplen un papel filtrador y metabolizador de compuestos contaminantes, dentro de las que se encuentran <i>Typha dominguensis</i> , <i>Pontederia cordata</i> , <i>Juncus effusus</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>lemna minor</i> , <i>phragmites comunensis</i> y otras. Además en ambientes artificiales con alta salinidad los géneros <i>Juncus</i> y <i>Typha</i> , son utilizados para tratar aguas con altos contenidos salínicos, puesto que algunas otras plantas no son consideradas halófitas.
Evaluación del tratamiento de aguas residuales con <i>Lemna gibba</i> en estanques con	Sanchez, R & Coral, Y. (2009)	Evaluar el papel de <i>Lemna gibba</i> en el tratamiento de agua residual proveniente de	Al encontrar estudios acerca de la eficiencia de <i>Lemna gibba</i> en el tratamiento de aguas residuales, se diseñó una estación piloto con 6 estanques al aire libre de 20 x 2

régimen de flujo de pistón		zonas rurales en la región Andina	metros y 0.30 m de profundidad. La lenteja de agua se adaptó de manera rápida sobre el agua residual mostrando diferencias significativas entre los tratamientos. Luego de realizados pretratamientos primarios y secundarios, se utilizó la lenteja como tratamiento terciario, en el cual se evidencio la remoción de contaminantes del agua, por lo que se concluye que resulta apropiado utilizar este tipo de plantas luego de un pretratamiento de las aguas, ya que esta planta es de rápida proliferación, alcanzando altos niveles de biomasa y evidenciándose la remoción de contaminantes.
----------------------------	--	-----------------------------------	---

Tabla 18 Revisión bibliográfica para selección de macrófitas acuáticas.

### 8.1.2 Fase de diseño y construcción

El proceso de diseño culmino con la construcción de los planos y la maqueta, posterior a la cual se inició la construcción de la estructura del modelo.

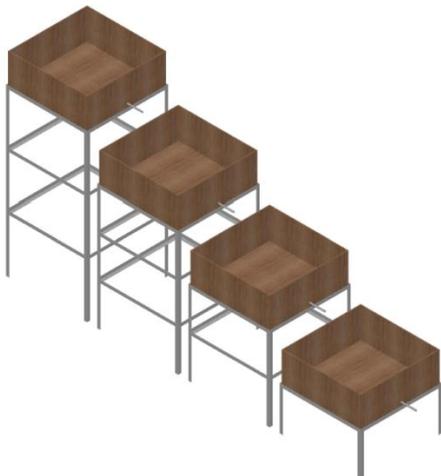


Imagen 8 plano en 3D del humedal artificial



Imagen 9 Maqueta previa a la construcción del humedal artificial

#### **8.1.2.1 Caracterizaciones del espacio**

Se partió del estudio de suelos por su importancia en relación con el soporte del modelo; el Instituto Pedagógico Nacional se encuentra situado en la localidad de Usaquén, ubicada en el nororiente de la ciudad de Bogotá, presenta una extensión total de 6531,32 hectáreas, de las cuales 3521,66 corresponden al suelo Urbano, 2719,92 a suelo Rural, todas protegidas y 289,74 a suelo de expansión. Con respecto a la caracterización geográfica de esta localidad se distinguen 2 zonas la zona baja o plana, en la que los sectores más bajos están formados por depósitos fluviales del Rio Bogotá y la zona montañosa compuesta por formaciones sedimentarias de rocas arenosas duras resistentes a la erosión y por rocas arcillosas blandas. Con respecto a los usos actuales del suelo, en la parte occidental de la localidad los usos principales son el residencial y el comercial, se registran actividades agrícolas desde la calle 200. Los cerros orientales tienen uso meramente forestal, su potencialidad es únicamente para uso de la protección del suelo, sin recomendación para la urbanización ni la explotación minera (DAPD, 2004).

El Instituto Pedagógico Nacional se encuentra ubicado al sur occidente de la localidad de Usaquén en el barrio que lleva su mismo nombre y el suelo de esta zona corresponde al suelo urbano, el cual se denomina como un área del territorio distrital destinada a usos urbanos que cuentan con infraestructura vial, redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado su urbanización y edificación según el Plan de Ordenamiento Territorial POT (Secretaria de Hacienda, s.f.)

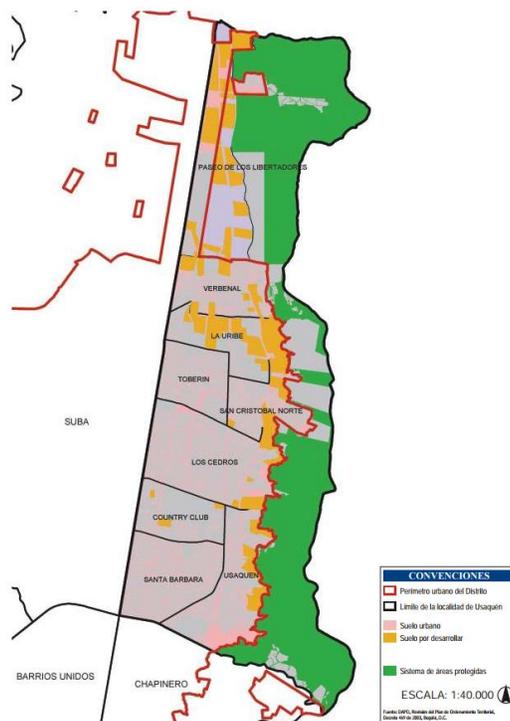


Imagen 10 Plano Clasificación del Suelo. Tomado de: <http://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/Recorriendo%20USAQUEN.pdf>

El espacio usado para la construcción del modelo de humedal artificial fue la granja , la cual se encuentra ubicada en la parte noroccidental de la institución, con 45.60m de frente por 18.40m de fondo para un total de 839m<sup>2</sup> de área, en la que en la actualidad se encuentra un galpón de gallinas, un lago para patos, tres parcelas de siembra para hortalizas, jardineras para plantas ornamentales, un lombricultivo, las jaulas para conejos y un estante para semilleros (plano granja), se trabaja ahora en un proyecto de ampliación para la adecuación de más áreas de cultivo y galpones. Dado que esta área es concebida como un laboratorio al aire

libre donde la comunidad tiene la oportunidad de desarrollar intereses orientados al desarrollo de competencias propias de las ciencias naturales, esta se considera el espacio ideal para la construcción del humedal artificial el cual puede integrarse al modelo sostenible que la institución pretende construir, a partir de la reutilización las aguas tratadas para actividades de limpieza y riego de plantas ornamentales.

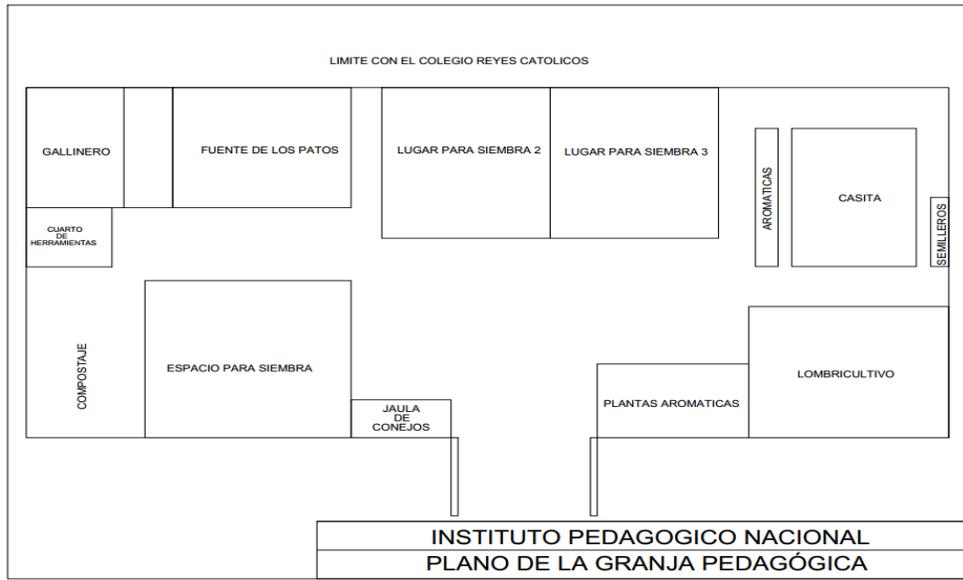


Imagen 11 Plano de la granja IPN

Teniendo en cuenta las características del suelo se diseñaron los soportes de la estructura con ángulo de hierro, para garantizar una distribución adecuada del peso y evitar la erosión del suelo, durante el proceso de seguimiento se pudo comprobar que este diseño cumplió con su propósito pues no se observan problemas de erosión o soporte, y la ubicación ha sido la adecuada puesto que facilitado el transporte del agua del lago al modelo y permitiendo el uso del modelo con fines educativos por estar en una zona con un acceso adecuado y seguro.

### 8.1.2.2 Diseño

Para la fitodepuración de las aguas pluviales apostadas en el lago artificial de la granja del Instituto Pedagógico Nacional, se realizó la construcción de un modelo de humedal artificial de flujo sub-superficial donde el agua se encuentra por debajo de la superficie del sistema, este modelo presenta ventajas para el control de plagas y olores puesto que el agua no está

expuesta directamente a la atmosfera (Martínez et al., 2010), el flujo del agua dentro del sistema es de tipo horizontal para garantizar una distribución lenta y uniforme que permita optimizar el proceso de filtración y depuración por parte de las macrófitas emergentes que constituyen en un filtro biológico plantado sobre un lecho filtrante construido con grava, arena y carbon activado el cual actúa como un filtro químico y mecánico de partículas.

Este sistema está formado por cuatro niveles o terrazas con las que se busca recrear diferentes condiciones ambientales que coexisten dentro de un ecosistema de humedal, con lo cual se pretende que el agua siga un proceso pasando de un compartimiento a otro con el objetivo de aprovechar el potencial fitodepurador de cada una de las especies (*Juncus Effusus*, *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, *Azolla filiculoides*) mientras se aprovecha al máximo el rendimiento de los filtros garantizando un mayor tiempo de tratamiento, para esto se realizó entonces una evaluación de la capacidad fitodepuradora de cada planta tomando una muestra inicial de agua en cada compartimiento y una luego de cuatro semanas, para evaluar el cambio de algunos parámetros físico-químicos como indicadores, esperando así poder comparar la capacidad de cada una de las especies y establecer la pertinencia del proceso. También se realizó un seguimiento de crecimiento de las plantas durante tres semanas.

El sistema es alimentado por una motobomba que periódicamente transporta el agua desde el lago así el primer compartimiento, estos se encuentran elevados sobre soportes de hierro a diferentes alturas, con ángulos de sostén de 3/8 de pulgada de grosor para garantizar el soporte y la adecuada distribución del peso (aproximadamente 220 kg por tanque (ecuación 5)) de manera que el suelo arcilloso de la zona no se vea afectado por la estructura, este diseño se aprovechó para formar una pendiente que garantizara el flujo del agua por acción de la gravedad pudiendo así evitar la utilización de energía, los tanques se encuentran conectados por tubos de 1/2 pulgada para garantizan el flujo del agua de manera controlada y regular.

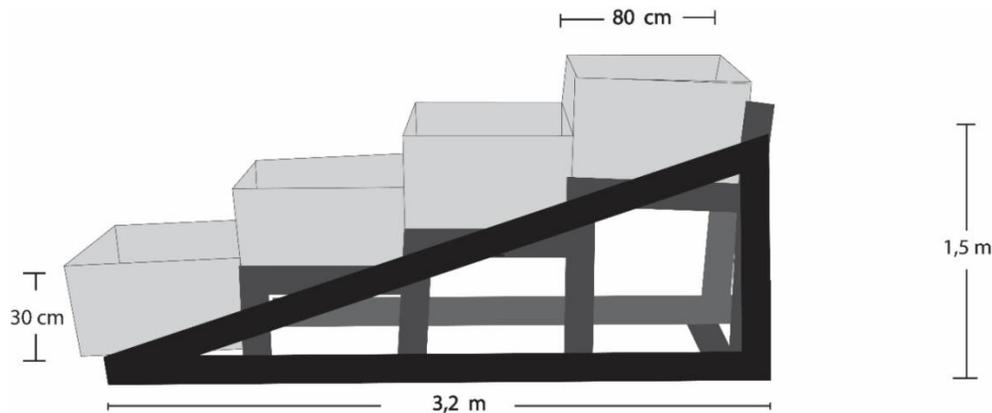


Imagen 12 Plano Humedal Artificial

Durante el proceso de seguimiento del modelo se observó que el diseño cumplió con los objetivos de funcionalidad, dado que se logró recrear cuatro ambientes particulares de manera exitosa, lográndose también un flujo adecuado del agua, en cuanto a la viabilidad del diseño debe decirse que este modelo es adecuado puesto que no se generaron problemas de filtraciones, soporte o estabilidad.

### 8.1.2.3 Construcción

Los compartimientos fueron construidos sobre una base de madera aglomerada impermeabilizada con fibra de vidrio y resina la cual es usada como aislante para evitar filtraciones y aumentar la resistencia, con una dimensión de 80 cm x 80 cm, con una profundidad de 30 cm, es decir con un volumen de  $192000 \text{ cm}^3$  (Ver Ecuación 1), de los cuales  $32000 \text{ cm}^3$  son ocupados por el filtro de grava y arena de 5 cm de grosor (Ver Ecuación 2), teniendo entonces capacidad para contener aproximadamente  $160000 \text{ cm}^3$  de agua en cada compartimiento (Ver Ecuación 3), es decir que en total el sistema tiene una capacidad de  $640000 \text{ cm}^3$  (Ver ecuación 4). (Ver planos en los anexos).

$$\text{volumen de la terraza} = 80\text{cm} \times 80\text{cm} \times 30\text{cm} = 192000 \text{ cm}^3 \text{ Ecuación 1}$$

$$\text{volumen del filtro} = 5 \text{ cm} \times 80\text{cm} \times 80\text{cm} = 32000 \text{ cm}^3 \text{ Ecuación 2}$$

$$\text{capacidad de compartimiento} = 192000 \text{ cm}^3 - 32000\text{cm}^3 = 160000\text{cm}^3 \text{ Ecuación 3}$$

$$\text{capacidad hídrica del sistema} = 160000 \times 4 = 640000 \text{ cm}^3 \text{ Ecuación 4}$$

$$\text{peso} = 192 \text{ Kg de agua} + 4 \text{ Kg sustrato} + 24 \text{ Kg estructura} = 220 \text{ Kg Ecuación 5}$$



Imagen 13 Construcción de las terrazas del Modelo de Humedal Artificial

La elección de los materiales mostro ser la adecuada dado que cumplió con los requerimientos del diseño facilitando el proceso de construcción y evidenciando durante los seis meses de seguimiento del modelo su efectividad y resistencia.

#### 8.1.2.4 Montajes

El modelo de Humedal Artificial fue construido fuera de las instalaciones del colegio entre los meses de Junio y Julio y luego fue llevado al colegio, en donde se instaló y se ubicó dentro de la granja, se le coloco a cada una de las terrazas una capa de grava y una capa de arena que sirvieron como sustratos filtradores y retenedores de sólidos suspendidos.



Imagen 14 Modelo de Humedal Artificial en la granja de IPN

En el primer tanque se recreó la pradera emergente que se caracteriza por ser una zona con especies enraizadas que emergen sobre el cuerpo de agua (Camargo et al., 2008), con un junco de la familia Juncaceae *Juncus effusus* que esta es una macrófita enraizada que actúa como filtro mecánico para partículas sólidas potenciando los mecanismos de sedimentación-separación al tiempo que aporta oxígeno al agua a través de sus raíces y adsorbe nutrientes como Nitrogeno y Fosforo ayudando a extraerlos del agua, por lo cual esta es la más indicada para estar en la primera terraza ya que su sistema radicular en asociación con el lecho filtrante, permitirá una primera la eliminación de las partículas sólidas de mayor tamaño, mientras a su vez contribuye con la oxigenación del agua.



Imagen 15 Terraza 1 *Juncus effusus*

El segundo tanque recrea la pradera errante emergente que se caracteriza por la presencia de macrófitas no ancladas al sustrato de porte medio, (Camargo et al., 2008), con una población de *Eichhornia crassipes* conocida comúnmente como buchón de agua que se destaca por su capacidad de adsorción de nutrientes como Fosforo, Nitrógeno y Potasio y otros micronutrientes como calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, el aluminio, el boro, cobre, molibdeno y zinc, llegando incluso a ser capaz de metabolizar compuestos tóxicos como los fenoles (González. H & Pinzón. G. 2012), por lo cual es ideal para este tipo de

sistemas puesto que puede tomar algunos compuestos del agua para aumentar su biomasa y de esta manera reducir los contaminantes.



Imagen 16 Terraza 2 *Eichhornia crassipes*

El tercer tanque recrea el tapete flotante emergente que se caracteriza por la presencia de macrofitas no ancladas al sustrato de porte bajo (Camargo et al., 2008), con una población de *Lemna gibba* conocida como lenteja de agua, una macrófita perteneciente a la familia Lemnaceae, cuya función principal dentro del sistema es la absorción de nitrógeno que la planta usa para la producción de nueva biomasa, ya que en su cuerpo vegetativo contiene aproximadamente un 6 % de nitrógeno, de la misma forma se puede retirar fosfato a partir de la producción de biomasa ya que *Lemna* contiene aproximadamente 1% en su cuerpo vegetativo (De Miguel, 2009).



Imagen 17 Terraza 2 *Lemna gibba*

En el cuarto tanque también se recreo el tapete flotante emergente que se caracteriza por la presencia de macrófitas no ancladas al sustrato de porte bajo, pero en este caso con una población de *Azolla filiculoides* conocida como helecho de agua, una macrófita perteneciente a la familia Lemnaceae, cuya función principal dentro del sistema es la absorción de fosforo y nitrógeno que la planta usa para la producción de nueva biomasa y como un importante componente del compost debido a su simbiosis con cyanobacterium *Anabaena* que le permite fijar nitrógeno atmosférico, esta macrófita además se usó como bioindicador en relación con la calidad de agua, puesto que esta planta requiere agua más pura (Mosquera. L, y Calderón, A).



Imagen 18 Terraza 4 *Azolla filiculoides*

Este modelo presenta un sistema de remoción de contaminantes que depende del aumento de la biomasa por crecimiento o reproducción que en este caso es de tipo vegetativo por los rizomas de las plantas (Aponte. H. 2009). Por tanto la eficiencia del sistema depende de la remoción periódica de biomasa cuando esta supere el espacio disponible, la cual posteriormente podrá reutilizarse en la fabricación de compost, ya que el tipo de filtración

que se realiza es de contaminantes que contienen micronutrientes y macronutrientes que son tomados de forma natural por las plantas y por tanto no alteran estos organismos. Para el correcto funcionamiento del sistema se requiere que el proceso de descontaminación de agua dure tres semanas en cada una de las terrazas y la cosecha de biomasa apropiadamente cada seis meses, en cuanto al mantenimiento de los sustratos este hacerse después de tres años, para mantener el rendimiento óptimo del sistema (Hoffmann et al., 2011).

El sustrato en este sistema consiste en un filtro granular de arena, grava y carbón activado con el cual se pretende disminuir la carga de partículas sólidas del agua, a partir del aprovechamiento la porosidad de estos materiales para la filtración y sedimentación de las aguas, que se basa en entrapamiento mecánico donde los sólidos suspendidos quedan atrapados en el material, con el objetivo de retener partículas de diferentes tamaños se conforman dos capas con diferentes diámetros, la primera de grava, la segunda de arena y carbón activado, que además permite adsorción de sustancias químicas volátiles como grasas y materia orgánica en descomposición (Hoffmann et al., 2011).

### **8.1.3 Fase de adaptación de las macrófitas**

#### **8.1.3.1 Colecta**

A partir de las revisiones bibliográficas realizadas se logró establecer las especies de macrófitas acuáticas indicadas el humedal artificial, las cuales fueron extraídas del Humedal Jaboque de Bogotá, entre ellas el Buchón de agua *Eichhornia crassipes*, es una de las plantas más estudiadas en la fitorremediación, debido a su alta capacidad de remoción de contaminantes entre ellos metales pesados. Es una planta flotante de raíces sumergidas, con hojas y flores aéreas, carece de tallo aparente, provista de un rizoma muy particular emergente del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie del agua, el borde se estrecha en la zona media terminando en una especie de lengüeta plana, redondeada y acorazonada, su color es verde brillante oscuro, las raíces son

espesas de color violeta oscuro presenta un desarrollo en ancho y longitud superior a los 30 cm en muchos casos. (López, D. 2012).

También se hizo la colecta del Junco fino, una planta también utilizada en fitodepuración de aguas. Esta es una planta herbácea y perenne con vainas de color marrón o rojizo, el tallo es de color verde brillante, rígido y cilíndrico de 4mm de diámetro aproximadamente, con superficie un poco estriada y no septada, presenta una inflorescencia laxa y lateral en la parte superior de la vaina, de color marrón o verdosas, con cápsula truncada y deprimida en el ápice. (UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEAR, s.f.).

Además se colecto lenteja de agua, que es una planta flotante de morfología simple, rápido y abundante crecimiento, de fácil propagación (Gutierrez K., Sangines L., Perez F & Martinez L., 2001). Esta es una pequeña planta acuática monocotiledónea, perenne, compuesta de frondas que corresponden a las hojas. Generalmente crecen en forma gregaria y con una reproducción rápida, llegan a duplicarse en 24 horas, rara vez presentan flores, presentan de 1 a 5 semillas que son estriadas longitudinalmente. *Lemna gibba* se caracteriza especialmente por poseer frondas con 3 a 5 nervios, con espacios aeríferos de más de 0,3 mm de diámetro y se observan infladas en el envés presentando una especie de giba, de ahí su nombre. (Díaz-Espinosa A.M., 2012)

Otra de las plantas colectadas fue el helecho de agua, presenta un tamaño pequeño, está formado por un tallito ramificado que parten las raicillas, está cubierto por numerosas y diminutas hojas con apariencia de escamas. Se caracteriza por encontrarse en aguas quietas y crece rápidamente de tal manera que en poco tiempo forma densos tapetes que cubren todo el cuerpo de agua y dificulta el crecimiento de otras plantas acuáticas. Las hojas son pequeñas de 1mm dispuestas en dos filas a lo largo del eje que las soporta. Se reproduce sexualmente por esporas, los esporangios están entre los esporocarpios que se encuentran en la base de las hojas. Los masculinos miden 1 mm y contienen esporas que se liberan al agua en forma de grupos llamados másulas. Las esporas femeninas son más pequeñas de unos 0,5 mm y contiene una sola espora con 3 flotadores.



Imagen 19 Colecta en campo de las plantas. Humedal Jaboque Bogotá

### 8.1.3.2 Identificación

En el caso de *Azolla filiculoides* y *Eichhornia crassipes* debido a su morfología fue posible su identificación en campo dadas sus particulares características, mientras que en el caso de *Juncus effusus* esta tuvo que realizarse en laboratorio, puesto que era necesario observar la inflorescencia para su identificación, también la determinación de *Lemna gibba* se realizó en laboratorio debido a su similitud con *lemna minor*.



Imagen 20 Planta en estado natural de *Juncus effusus*



Imagen 21 Planta de *Lemna gibba* y características



Imagen 23 Ejemplares de *Eichhornia crassipes*



Imagen 22 Planta de *Azolla filiculoides*



### 8.1.3.3 Adaptación

El Buchón de agua *Eichhornia crassipes* se le colocó agua con jabón, puesto que esta tenía algunos de los nutrientes importantes para el crecimiento y reproducción de esta planta, a la vez se realizó una pequeña experimentación, en la cual se puso una planta de Buchón en un litro de agua con jabón y se pudo observar que al cabo de 8 días el color del agua cambió a un tono más claro, si bien esta fue una prueba física y al ojo, dio una noción de la filtración que realiza la planta. En cuanto a la reproducción de la planta fue muy rápida y al cabo de 3 semanas ya había 3 individuos más. Después de las tres semanas de prueba las plantas fueron llevadas a la estructura construida del Humedal Artificial, donde inició el proceso de adaptación de las plantas.

Del humedal se extrajeron 3 plantas de la especie *Juncus efusus*, una plántula y las otras dos en estado reproductivo, con flor, de este modo fue más fácil la reproducción de estas plantas, puesto que el proceso es más lento que las demás. Estos ejemplares se llevaron en recipientes transparentes y bolsas, puesto que es una planta con gran altura, se llevaron a recipientes grandes con agua destilada para eliminar contaminantes que pudieran tener en su ambiente natural y tierra para su mantenimiento, puesto que el ambiente de esta planta es bastante húmedo pero sus raíces se sostienen en el sustrato y así permite su crecimiento. También fueron colocadas en el Humedal Artificial 2 meses después de colectadas, en donde fueron creciendo y se fueron reproduciendo.

Además se colectaron plantas de *Lemna* y *Azolla* en recipientes de vidrio de 500 ml, la reproducción de estas plantas fue mucho más rápida, en el caso de *Lemna* llega a duplicarse en 24 horas, mientras que *Azolla* al ser un helecho presenta reproducción por esporas aunque también es rápido su crecimiento. Estas dos plantas se colocaron en recipientes más amplios, con agua destilada y al cabo de 3 semanas ya habían cubierto toda la superficie de los respectivos recipientes, después de dos meses fueron sembradas en el humedal artificial.

#### 8.1.3.4 Siembra

A cada una de las terrazas se agregó inicialmente grava gruesa y delgada y arena como sustrato, *Juncus effusus* al ser una especie enraizada fue colocada en el sustrato de arena y grava del humedal artificial de tal modo que se pudiera fijar, después se le agregó agua del lago artificial de la granja a esta primera terraza y al cabo de 2 semanas las plantas lograron enraizarse y sostenerse en el sustrato. Luego de tres semanas el agua se trasladó a la segunda terraza (con sustrato), en donde se colocaron las plantas de *Eichhornia crassipes* y estas flotaron en la superficie del agua, posteriormente el agua se pasó tres semanas después a la siguiente terraza que contenía el sustrato y allí se ubicaron las plantas de *Lemna gibba*. Finalmente luego de 3 semanas se traspasó el agua a la cuarta terraza en donde se sembró la planta de *Azolla filiculoides*. Cada vez que el agua se trasladaba, se iba llenada nuevamente la primera terraza con agua del lago, para mantener las plantas con suficiente agua para sobrevivir.



Imagen 24 ubicación del sustrato en el humedal artificial



Imagen 25 Siembra de planta enraizada y planta flotante

#### **8.1.4 Fase de diseño experimental**

Se realizó la medición de parámetros físico-químicos del agua que estuvieron dentro de las posibilidades de la Universidad Pedagógica Nacional y el Instituto Pedagógico Nacional: pH, nitratos, nitritos, turbidez, temperatura, oxígeno disuelto, fosfatos, alcalinidad, dureza, color.

##### **8.1.4.1 Diseño del experimento**

En primera instancia se midió el agua inicial del lago artificial ubicado en la granja del Instituto Pedagógico Nacional, parte de esa agua se trasladó por medio de la motobomba a la primera terraza del Humedal Artificial donde se encuentra la planta de *Juncus effusus*, la cual se colocó en el humedal sobre un lecho de grava y arena, pasadas tres semanas se realizó la segunda medición del agua que salió de la primera terraza a la segunda terraza donde estaba la planta de *Eichhornia crassipes*, luego de tres semanas se realizó la siguiente medición y así sucesivamente se realizaron las mediciones cada 3 semanas después del paso del agua en cada una de las terrazas.

##### **8.1.4.1.1 Parámetros e ICAS**

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla que se presenta a continuación:

<b>Resultados</b>									
	<b>pH</b> Unidades de pH	<b>Nitratos</b> mg/l NO <sup>3</sup>	<b>Nitritos</b> mg/l NO <sup>2</sup>	<b>Turbidez</b> FTU	<b>Temperatura °C,</b> <b>Oxígeno</b> <b>disuelto</b> % de saturación	<b>Fosfatos</b> mg/l	<b>Alcalinidad</b> mmol/l	<b>Dureza</b> °d	<b>Color</b> l/m, Hanzen
<b>Método</b>	<b>pH</b> <b>metro –</b> <b>Bandas</b> <b>de pH</b>	<b>Test de</b> <b>nitratos</b> <b>Merck –</b> <b>método</b> <b>fotometrico</b>	<b>Test de</b> <b>nitritos</b> <b>Merck</b> <b>/método</b> <b>fotometrico</b>	<b>Turbidime</b> <b>tro</b>	<b>Oxigenometro</b>	<b>Test de</b> <b>fosfatos</b> <b>Merck-</b> <b>método</b> <b>fotometrico</b>	<b>Test de</b> <b>alcalinidad</b> <b>Merck-</b> <b>método</b> <b>volumétrico</b>	<b>Test de</b> <b>dureza</b> <b>Merck/</b> <b>método</b> <b>titrimétrico</b>	<b>Espectofotom</b> <b>etro</b> <b>Merck</b>
Agua inicial del lago 12 de Agosto	11.4	14, 6	0,79	185	15,5 93,1 %	1,28	Valor P positivo 4	4	Color Hanzen 400
Terraza 1 Juncus effusus 2 de septiembre	7,56	13,1	0,376	147	20,1 77,4 %	1,18	Valor M positivo 4,5	12	Color Hanzen 326
Terraza 2 <i>Eichhornia</i> 23 de octubre	7,4	8,8	0,319	80	18° 35, 1%	1,12	Valor M positivo 4,8	17	Color Hanzen 296
Terraza 3 <i>Lemna</i> 13 de noviembre	7,0	3,8	0, 119	39,42	20,5 °C 33,4 %	0,87	Valor M positivo 4,4	17	Color Hanzen 267
Terraza 4 <i>Azolla</i> 4 de diciembre	7,0	2,3	0,072	23,27	20,3 °C 36,9 %	0,37	Valor M positivo 2,5	19	259 Hanzen

#### **8.1.4.1.2 Parámetros**

La medición y análisis del funcionamiento del modelo de humedal artificial inicio en el mes de Agosto del 2015, posterior a las fases de construcción y adaptación de las plantas; a partir de la medición de los parámetros iniciales del agua objeto de tratamiento, proveniente del lago artificial del Instituto Pedagógico Nacional que funciona como hábitat de patos y microorganismos por lo cual esta presenta contaminantes relacionados con la descomposición de materia orgánica que disminuye la calidad y las posibilidades de reutilización de este recurso inicialmente de origen pluvial, que además puede presentar contaminantes relacionados con el arrastre de partículas del aire y el suelo como minerales y arenas que pueden aumentar la dureza del agua y que afectan su turbidez, polvos provenientes de la atmosfera que pueden aumentar la cantidad de sólidos disueltos, además de otras sustancias presentes en la atmosfera como gases carbónicos o sustancias sulfatadas o nitrogenadas que al hacer contacto con el agua pueden alterar el equilibrio iónico del agua (Hoffmann et al., 2011).

##### **8.1.4.1.2.1 pH**

En la primera muestra de agua tomada del lago artificial se observa un pH básico de 11,4, lo cual indica una baja disponibilidad de CO<sub>2</sub> libre, capaz de formar ácido carbónico, esto evidencia de forma indirecta presencia de organismos fototróficos que fijan el CO<sub>2</sub> a partir de actividad fotosintética, pero en este caso dado que este es un valor muy alto puede suponerse que hay una baja tasa de descomposición puesto que no se observa una presencia representativa de ácido carbónico producto de la descomposición e hidrolisis de la materia orgánica; este pH se encuentra fuera del rango aceptado para la reutilización de agua puesto que puede llegar a afectar la supervivencia de los organismos dado que el pH fisiológico se encuentra en un rango de 7 a 8,5 por lo que muchos de los procesos químicos vitales solamente pueden tener lugar dentro de estos rangos específicos (Roldán, 2003).

pH alcalino, además influye en la solubilidad de los nutrientes ionizables como Hierro, Magnesio, Zinc, Cobre, además de algunas sales y óxidos, cuya solubilidad está relacionada con aumento de la concentración de  $H^+$  y la capacidad de reducción del medio, en este caso el pH alto influye en la disponibilidad de fósforo puesto que este puede reaccionar con el calcio presente en el cuerpo de agua (Fuentes y Massol-Deyá, 2002).

Conforme el agua fue pasando progresivamente de un estanque al otro se observó una disminución y estabilización del pH, debido al aumento de los procesos metabólicos de respiración y oxidación de materia orgánica, la estabilización de este parámetro se debe al equilibrio que el sistema alcanza entre los procesos de fotosíntesis y respiración celular, la estabilización de este parámetro está relacionada con el aumento de la alcalinidad dentro del sistema, puesto que este parámetro indica la capacidad de los carbonatos e hidróxidos de neutralizar ácidos para mantener estable el pH, de modo que el sistema logra estabilizar y mantener las concentraciones iónicas (Fuentes y Massol-Deyá, 2002).

#### **8.1.4.1.2.2 Alcalinidad**

Las mediciones de alcalinidad muestran inicialmente resultados positivos para la prueba P que se realiza usando como indicador la fenolftaleína puesto que este presenta mayor sensibilidad a pH altos, mientras que al tiempo que desciende el pH las pruebas presentan resultados positivos para M en la cual se usa como indicador el naranja de metileno que tiene una mayor sensibilidad a los pH bajos; si bien estas pruebas solo pueden indicar la presencia de compuestos amortiguadores no se puede establecer por completo su naturaleza ni concentración, solo puede suponer en relación con los valores neutros del pH que se presenta una mayor concentración de carbonatos (Roldán y Ramírez, 2008).

La alcalinidad es además un indicador de productividad, que asocia los altos niveles de alcalinidad con una alta productividad, puesto que estos compuestos se convierten en reservas de carbono que intervienen en la regulación de los procesos de respiración y fotosíntesis (Roldán y Ramírez, 2008).

El aumento de la alcalinidad, está a su vez relacionado con el aumento progresivo de la dureza del agua, puesto que en este caso donde la dureza es menor que la alcalinidad se considera que esta como dureza carbonatada la cual está relacionada con los iones de  $\text{CO}_3\text{H}$  que aumentan la alcalinidad y que al reaccionar con el  $\text{CaCO}_3$  poco soluble y formar  $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$  soluble aumentan la dureza, por lo cual este parámetro también se considera un indicador de productividad; este aumento en la dureza del agua se debe a los filtros de arena y rocas y por la acción del agua como agente meteorizante puede liberar minerales como el calcio y el magnesio (Valenzuela, 2004).

#### **8.1.4.1.2.3 Dureza**

Se observa en el modelo un valor máximo de 19 °d o 190 mg/L que indican que se trata de aguas duras, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud no producen efectos negativos sobre la salud o el riego, pero que si representa un problema en relación al uso de jabones, puesto que estos reaccionan formando precipitaciones insolubles que disminuyen las capacidades disolventes del jabón, esta limitación puede superarse con el uso de detergentes sintéticos derivados de ácido sulfúrico que forman sales más solubles, que son en la actualidad los productos de limpieza más comunes; en relación con el uso para riego esto no representa efectos negativos por el contrario se considera que esta mayor presencia de calcio y magnesio es benéfica para el desarrollo de las plantas, por tratarse de nutrientes esenciales; en este caso las concentraciones de sales se encuentran por debajo del máximo admisible de 500 mg/L, lo cual indica que se trata de agua con calidad media (Neira, 2006).

#### **8.1.4.1.2.4 Temperatura**

La temperatura es un parámetro muy importante, puesto que esta relacionado con el aumento de la energía cinética dentro del sistema y en este sentido con la velocidad de las reacciones, la densidad y viscosidad del agua, así como la estabilidad y actividad de enzimas y macromoléculas en los organismos vivos, de modo que la estabilidad de este parámetro es de gran importancia para el equilibrio del sistema (Roldán y Ramírez, 2008); se observa que

durante el proceso la temperatura dentro de los tanques se mantiene dentro de los promedios de temperatura ambiente (14-25 °C), evidenciándose que los cambios en este parámetro se deben principalmente a variaciones ambientales relacionadas con cambios en la radiación solar o la fuerza o dirección del viento que influyen en la absorción de la luz y en este sentido en la conducción del calor dentro del agua.

Durante el proceso se observa un aumento progresivo de la temperatura debido al inicio de la temporada seca en el cual aumenta la temperatura ambiente y disminuyen de forma significativa las lluvias, sin embargo durante el tiempo evaluado este aumento no excede las temperaturas óptimas de los organismos vivos y dado que estos cambios no son significativos estos no afectan de manera contundente las propiedades químicas y físicas ni las velocidades de reacción, en cuanto a la estratificación térmica Rangel señala que en el caso de los cuerpos de agua ubicados en zonas tropicales estos mantienen temperaturas más o menos uniformes entre la superficie y el fondo y con ligeras variaciones a lo largo del año, considerando esto y la poca profundidad del agua puede decirse que no existe estratificación térmica, la estabilidad térmica de la columna de agua favorece la descomposición de las partículas para formar dióxido de carbono, nitritos, nitratos, fosfatos, sulfatos, además de favorecer la descomposición de la materia orgánica (Roldán y Ramírez, 2008).

En cuanto a las variaciones anuales debe tenerse en cuenta que el modelo de humedal artificial ha sido evaluado durante el tiempo seco correspondiente al fenómeno del niño en el cual la temperatura se ha incrementado cerca de 1 °C durante el primer trimestre del año aumenta así la temperatura del agua dentro del tanque (Roldán y Ramírez, 2008). La temperatura es además un factor central en la solubilidad del oxígeno donde se observa una relación inversa entre el aumento de la temperatura y la solubilidad del oxígeno.

Este parámetro estima la cantidad de oxígeno dentro de la masa de agua, este valor se considera un indicador de la contaminación del agua y un indicador de la capacidad del agua de soportar vida vegetal y animal, entre más alto sea el nivel de Oxígeno Disuelto se considera de mejor calidad puesto que hay mayores reservas de oxígeno para los procesos de oxidación de

materia orgánica y para albergar organismos aerobios, en este caso las mediciones se realizaron como porcentajes de saturación que mide la cantidad de oxígeno en relación a la cantidad máxima de oxígeno que tendría el agua en relación con la temperatura y presión dos importantes factores que limitan su solubilidad.

#### **8.1.4.1.2.5 Oxígeno disuelto**

El oxígeno en las aguas proviene del intercambio gaseoso entre la atmosfera y la superficie del agua, los procesos metabólicos de los organismos vivos y procesos físicos de difusión, en este caso se aprovecha la actividad fotosintética de las macrófitas para aumentar la actividad fotosintética de modo que un porcentaje del oxígeno producido durante este proceso sea transmitido al agua por medio de las raíces de las plantas, en este caso se observó que el agua inicial presentaba un alto porcentaje de saturación se considera que esto se debió al movimiento realizado con la motobomba para trasportarla desde el lago hasta el sistema lo cual genero aireación en la masa de agua al momento de realizar la medición, posteriormente se observó una disminución en estos porcentajes debido al aumento de los procesos de respiración y la descomposición de materia orgánica, siendo las macrófitas *Juncus effusus* y *Eichhornia crassipes* las plantas que más afectan este parámetro debido su mayor tamaño y al rápido crecimiento de su biomasa, en el caso de *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* un aumento en este recurso que señala una mejora significativa en la calidad del agua una menor necesidad de oxígeno de estas macrófitas, así como una disminución de la materia orgánica en descomposición.

En este caso no se tiene en cuenta la oxigenación producida por las lluvias, pues las terrazas fueron cubiertas con plástico transparente para garantizar el paso de la luz al tiempo que se impide la entrada directa de aguas pluviales que pueden modificar los parámetros fisicoquímicos del agua y limitar la evaluación de la efectividad del modelo.

#### **8.1.4.1.2.6 Turbidez**

La mejora en la calidad de las aguas también puede observarse en la disminución progresiva de la turbidez dentro del modelo, este parámetro es un importante puesto que mide la presencia de partículas en suspensión y su relación con la pérdida de transparencia del agua, la claridad del agua es importante puesto que influye en el paso de la luz y la radiación solar, durante todo el proceso se registró una disminución de la turbidez de cerca de 160 unidades lo que implica un importante cambio en color de las aguas y en la calidad de las mismas, aunque no se logra alcanzar los niveles de turbidez estimados por la OMS para el agua potable de 1 FTU, si se evidencia una importante reducción en las partículas disueltas en el agua esto debido a la función de los filtros de grava y arena y los procesos de sedimentación.

#### **8.1.4.1.2.7 Color**

Otro parámetro relacionado con la turbidez es el color, puesto que este es causado por partículas disueltas o en suspensión, en este caso el color se midió con la escala Hazen también conocida como color Platino Cobalto, en la cual el color varía de un rango de amarillo claro hasta marrón entre 0-500 (PCU), el cual se debe principalmente al material vegetal en descomposición por lo cual esta escala es usada para aguas naturales sin residuos industriales pues en estas la coloración se debe específicamente al tipo de compuesto; durante el proceso de tratamiento se observó una reducción de 141 unidades lo cual puede indicar no solamente una disminución en las partículas en suspensión, sino además una menor presencia de materia orgánica en descomposición que indica una mejora significativa en la calidad de agua y de forma indirecta evidencia una reutilización de los nutrientes, que además pueden verse en el aumento de biomasa (Deloya, 2006).

#### **8.1.4.1.2.8 Nitratos y Nitritos**

Uno de los nutrientes más importantes para la productividad dentro del sistema es el nitrógeno dado que este es fundamental para la síntesis de aminoácidos y ácidos nucleicos, moléculas fundamentales para los organismos vivos, la principal fuente de nitrógeno es la atmósfera donde

se encuentra de forma molecular  $N_2$  el cual solo puede ser tomado por algunas bacterias y algas que pueden reducirlo hasta formar amoníaco, el cual es oxidado por bacterias para formar nitrito y nitratos, los últimos también pueden encontrarse como producto de la descomposición de materia orgánica, por lo que dentro de los tanques el nitrógeno se encuentra principalmente como nitratos y nitritos.

Debido a que los nitritos son altamente tóxicos, se encuentran en concentraciones muy pequeñas en las aguas superficiales y deben ser oxidados por los nitratos los cuales pueden ser asimilados por plantas y animales; por esto se consideran importantes indicadores de contaminación de las aguas, pues estas concentraciones elevadas están relacionadas con contaminación derivada del uso de fertilizantes y abonos; de acuerdo con la resolución 1207 de 2014 sobre agua tratada el valor máximo admisible es 0,1 mg/l, en el caso del modelo las mediciones iniciales mostraron una concentración de 0,79 mg/l lo cual implica una alta toxicidad en las aguas, las cuales conforme fueron tratadas lograron alcanzar concentraciones admisibles de 0,072 mg/l, esta disminución está relacionada con el aumento de productividad dentro del sistema y el aumento de oxígeno disponible que favorece el proceso de oxidación a nitrato y a su vez al aumento de los recursos de nitrógeno que se traduce en el aumento de la biomasa, como también se evidencia en la disminución de nitratos dentro del sistema que pasan de 14,6 mg/l (valor por fuera del máximo admisible de 10 mg/l) a 2,3 mg/l.

#### **8.1.4.1.2.9 Fosforo**

Otro nutriente limitante por sus bajas concentraciones en los cuerpos de agua para los organismos es el fósforo puesto que es fundamental para la formación de ATP, ADN y ARN, cuyas fuentes naturales son la descomposición de materia orgánica y la mineralización, sin embargo el uso excesivo de fertilizantes y jabones ha aumentado las concentraciones de fósforo disponibles que evidencian contaminación por la sobre saturación de este elemento que reacciona formando compuestos insolubles que se precipitan y que no pueden ser usados por los organismos vivos, en el caso de modelo de humedal artificial se observa que inicialmente existe una concentración de 1,28 mg/l que posterior al proceso disminuye hasta 0,37 mg/l, que si bien representa una importante disminución no está aún dentro de los valores recomendados

para el consumo de agua, pero si para reutilización de esta en actividades industriales y agrícolas no relacionadas con alimento.

Se observa entonces una mejora en la calidad del agua en relación con una disminución significativa de turbidez y el color, así como la disminución y estabilización del pH y la alcalinidad y la mejora en los procesos de oxidación de materia orgánica y absorción de nutrientes evidenciando mejoras en calidad de agua, además debe resaltarse desde la instalación del modelo este se ha mantenido estable y se ha observado un aumento de la biomasa de las macrófitas, esto evidencia la funcionalidad del modelo, sin embargo el aumento de la temperatura puede llegar a afectar la funcionalidad del modelo y la supervivencia de los organismos vivos.

En la terraza de *Juncus effusus* se observa una disminución significativa en el pH, relacionada con un aumento de la alcalinidad que evidencia que está ocurriendo descomposición de materia orgánica que deja disponible más Carbono y que hay un aumento de organismos aeróbicos que producen CO<sub>2</sub> como producto del proceso de respiración, de modo que en esta primera parte del proceso se observa una mejora significativa de la calidad del agua relacionada con el equilibrio entre los procesos de fotosíntesis y respiración; paralelo a esto se observa un disminución en los nitratos y nitritos de más de una unidad lo cual se considera está relacionado directamente con el crecimiento de esta macrófita, evidenciando la efectividad de *Juncus effusus* en relación con la adsorción de estos contaminantes, en el caso del fosforo se observó una pequeña disminución de modo que se puede afirmar que esta planta no es la más efectiva en cuanto a la remoción de este contaminante, la efectividad del filtro en este compartimiento se refleja en la disminución significativa de la turbidez y el color que se traduce en una mejora significativa en la calidad del agua; puede decirse entonces que esta terraza muestra una gran efectividad y es una alternativa muy viable para la biotratamiento de agua.

En la terraza de *Eichhornia* se observa una disminución significativa de los nitratos y nitritos que evidencia la capacidad de esta planta de absorber y asimilar estos contaminantes como nutrientes que se observan en el crecimiento de las plantas, al igual que en la terraza anterior no se observan reducciones significativas en lo relacionado con el fosfato, en cuanto al pH se

observa una estabilidad que se apoya en aumento de la alcalinidad, sin embargo el cambio más significativo se encuentra en turbidez y el color lo cual evidencia la funcionalidad del modelo, debe mencionarse que se ha observado un aumento en la dureza del agua producido por los filtros de grava que no representa peligro para la salud, sin embargo pese a la efectividad mostrada en los anteriores parámetros se observa una disminución en la calidad del agua debido a la significativa disminución de oxígeno disuelto de acuerdo con la literatura revisada este es un efecto secundario indeseado del uso de *Eichhornia*, por lo cual puede decirse que esta es una buena alternativa para fitodepuración del agua para mejorar su eficiencia, pero deben buscarse métodos de remoción del agua que ayuden a mejorar los niveles de oxígeno disponibles.

En el caso de *Lemna* se observa una gran efectividad en la remoción del nitrógeno y el fósforo lo que la hace que esta sea la terraza que representa mayor ventaja en este sentido, por otra parte el pH y la alcalinidad se mantienen y la turbidez y color disminuyeron, al igual que en el caso anterior los porcentajes de oxígeno son bajos; por lo cual se puede afirmar que esta es una de las mejores opciones de tratamiento siempre y cuando se garanticen métodos de oxigenación del agua.

La terraza de *Azolla* muestra gran eficiencia en la remoción de fósforo, al igual que en el caso anterior se observa una buena tasa de remoción de nitrógeno, disminuciones importantes en turbidez y color, estabilidad en pH y la alcalinidad, a pesar de estos buenos resultados debe decirse que esta no es la mejor alternativa para el tratamiento primario de agua puesto que la planta requiere una buena calidad de agua para sobrevivir, por lo cual se constituye como una gran alternativa en combinación con otros macrófitos o procesos.

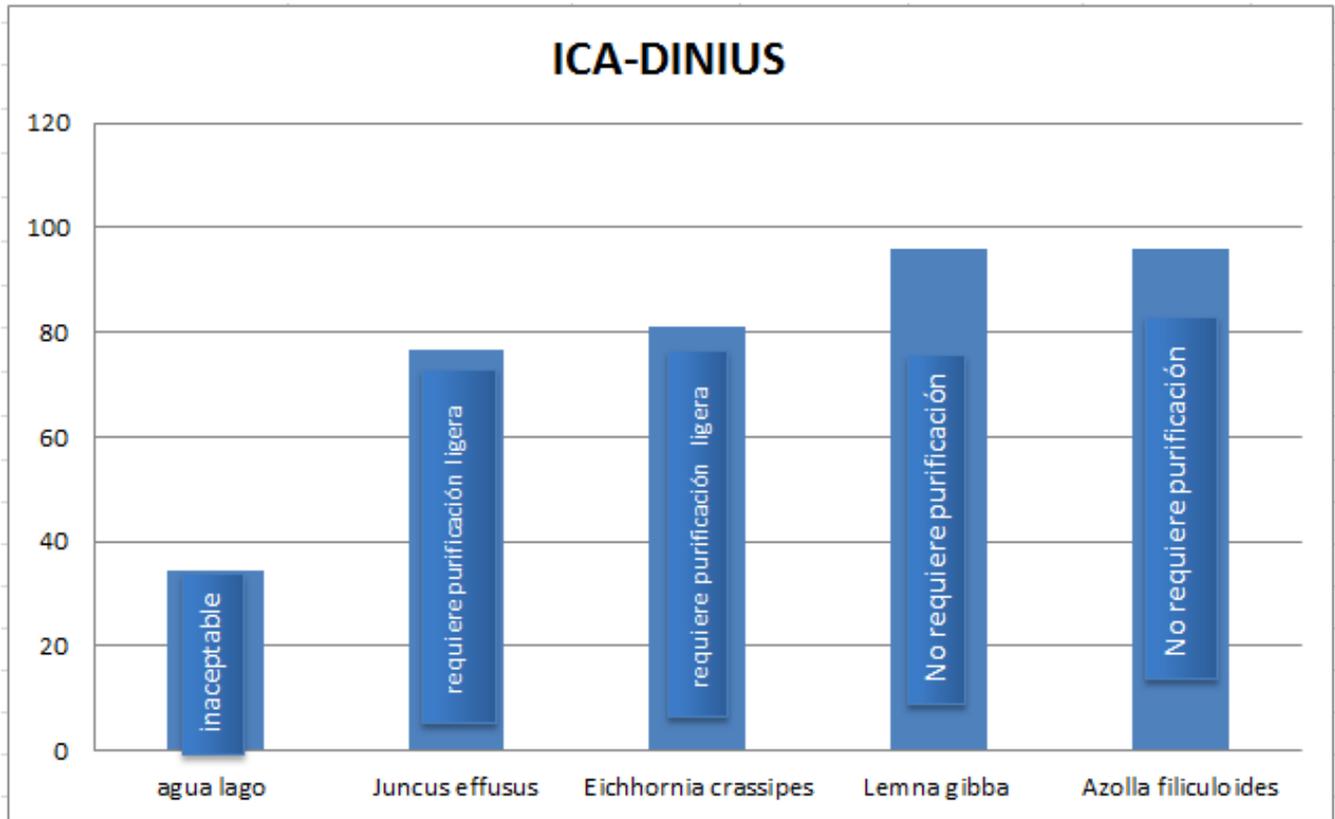
Para evaluar en conjunto los cambios en la calidad del agua se usaron índices de calidad de agua ampliamente utilizados en este tipo de estudios, puesto que permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua a partir de la relación entre los diversos parámetros evaluados, se realizaron dos ICAS diferentes que en su conjunto reúnen los parámetros medidos en este sistema.

### Cálculo del índice Dinius

	Agua inicial			<i>Juncus effusus</i>			<i>Eichhornia crassipes</i>		
	agua lago	Función del subíndice	índice *peso relativo	Terraza1	Función del subíndice	índice *peso relativo	Terraza 2	Función del subíndice	índice *peso relativo
pH(unidades pH)	11.4	13,30	56,31	7.56	94,34	399,54	7,4	102,37	433,52
Oxígeno Disuelto(% Sat)	93,10%	11,32	67,88	77,40%	11,19	67,11	35,10%	10,85	65,03
alcalinidad (mg/l)	200	0,26	0,91	225	0,26	0,89	240	0,26	0,88
nitratos (mg/l)	14, 6	0,13	0,64	13,1	0,13	0,66	8,8	0,15	0,74
temperatura (C°)	15	26,98	114,25	21	15,91	67,40	18	15,91	67,40
dureza (mg/l)	40	0,01	0,04	120	0,01	0,02	170	0,01	0,02
color (Hanzen)	400	0,07	0,26	326	0,08	0,27	296	0,08	0,28
índice			34,328			76,557			81,125

<i>Lemna gibba</i>			<i>Azolla filiculoides</i>		
Terraza 3	Función del subíndice ( I )	índice *peso relativo	Terraza 4	Función del subíndice ( I )	índice *peso relativo
7	125,55	531,68	7	125,545	531,68
60,40%	11,06	66,28	65,90%	11,100	66,55
220	0,258	0,89	215	0,259	0,90
3,8	0,187	0,93	2,3	0,215	1,06
20,5	16,63	70,43	20,3	16,925	71,68
170	0,01	0,02	190	0,006	0,02
267	0,08	0,29	259	0,083	0,29
Índice		95,788			96,025

Tabla 20 Resultados del cálculo del ICA Dinius



Gráfica 1 Resultados del cálculo ICA Dinius

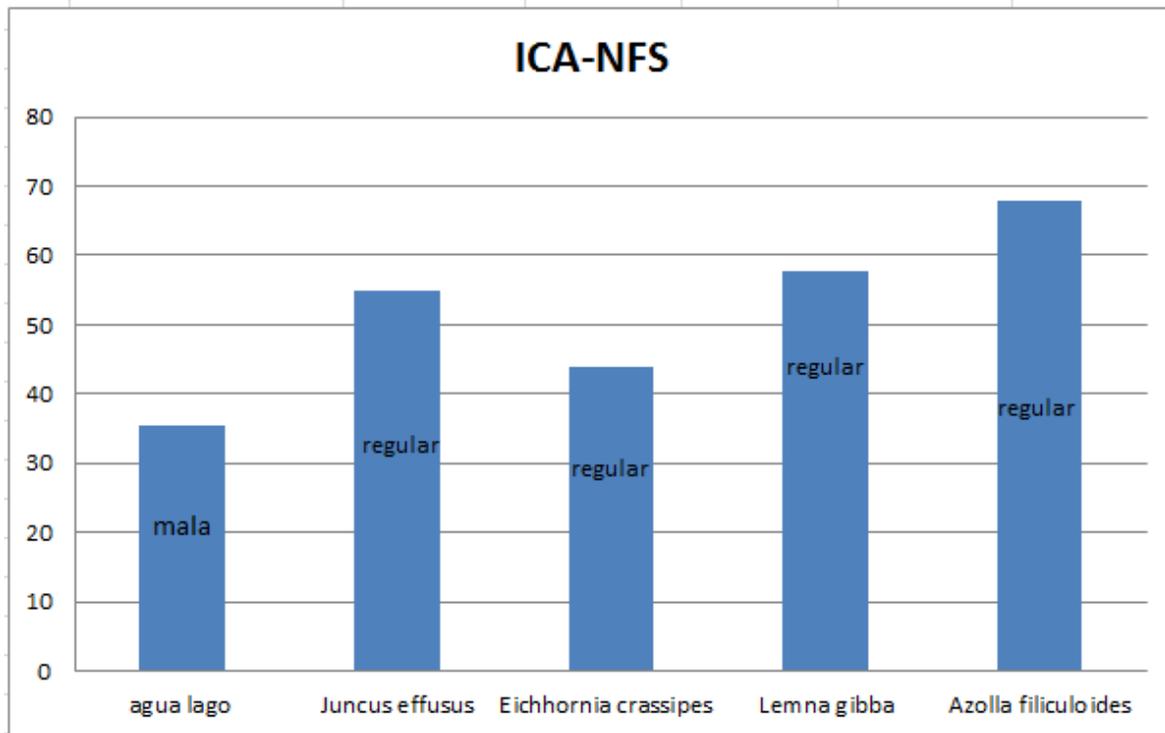
De acuerdo con la aplicación del índice ICA- DINIUS el agua del lago estaba evaluada como inaceptable para riego de cualquier tipo de cultivo esto por los altos niveles nitratos, nitritos, turbidez y pH, luego de tres semanas en el primer tanque el agua fue evaluada dentro de la categoría requiere ligera purificación lo que implica que esta agua puede ser usada para el riego de cultivos que nos sean sensibles a los altos niveles de nitritos y nitratos preferiblemente de suelos en recuperación con deficiencias en estos elementos, en el siguiente estanque se observa una ligera mejora y la clasificación se mantiene, posteriormente en el estanque *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* el agua alcanza la clasificación de no requieren purificación lo cual implica que esta puede ser utilizada para actividades de riego que de acuerdo con la legislación colombiana para aguas tratadas no impliquen el consumo de alimentos, se evidencia entonces una mejora significativa en la calidad del agua de 62 unidades demostrando la viabilidad del modelo como biofiltro para el tratamiento de aguas lluvias.

### Cálculo del índice NSF

índice ICA NSF	agua lago	peso relativo	subíndice	índice	<i>Juncus effusus</i>	peso relativo	subíndice	índice	<i>Eichhornia crassipes</i>	peso relativo	subíndice	índice
Oxígeno Disuelto (% Sat)	93,10%	0,170	90	15,300	77,40%	0,170	90	15,300	40,10%	0,170	35	5,950
pH (unidades pH)	11,4	0,120	3	0,360	7,56	0,120	96	11,520	7	0,120	90	10,800
Turbiedad (FTU)	185	0,080	5	0,400	147	0,080	5	0,400	80	0,080	5	0,400
Fosfatos (mg/l)	1,28	0,100	28	2,800	1,18	0,100	35	3,500	1,12	0,100	44	4,400
Nitratos (mg/l)	14,6	0,100	40	4,000	13,1	0,100	52	5,200	8,8	0,100	70	7,000
Temperatura (C°)	15	0,100	9	0,900	21	0,100	9	0,900	20	0,100	9	0,900
índice				<b>35,463</b>				<b>54,955</b>				<b>43,955</b>

<i>Lemna gibba</i>	peso relativo	subíndice	índice	<i>Azolla filiculoides</i>	peso relativo	subíndice	índice
60,40%	0,170	60,2	10,234	65,90%	0,170	64	10,88
7	0,120	90	10,8	7	0,120	90	10,8
39,42	0,080	48	3,84	23,27	0,080	60	4,8
0,87	0,100	40	4	0,37	0,100	84	8,4
3,8	0,100	90	9	2,3	0,100	97	9,7
20,5	0,100	9	0,9	20,3	0,100	9	0,9
			<b>57,872</b>				<b>67,881</b>

Tabla 21 Resultados del calculo ICA NSF



Gráfica 2 Resultados ICA NSF

En el caso del ICA NFS, el agua inicial es catalogada como de mala calidad a pesar de presentar un promedio de saturación de oxígeno mayor que las demás esto es debido a la importancia que este índice le da al parámetro de pH que en esta muestra es bastante básico, con forme avanza el tratamiento el índice cataloga como regular la calidad del agua debido a la importancia de las cantidades de oxígeno disuelto que son fundamentales en esta medición por lo cual se observa un retroceso en la calidad del agua en el tanque de *Eichhornia crassipes* puesto que esta macrófita tiende a desoxigenar su medio, a pesar de presentar la gran ventaja de asimilar los nitratos y fosfatos; a pesar de que la calidad se mantiene regular se observa un aumento en la calidad relacionado con la asimilación de nitrato y nitritos y fosfatos que representa la gran fortaleza de este modelo para tratar aguas pluviales cuyos contaminantes están relacionados con el arrastre de partículas del suelo y atmosfera que principalmente contienen CO<sub>2</sub> y compuestos relacionados con el uso de abonos y pesticidas, de igual manera es una oportunidad para tratar aguas domesticas contaminadas principalmente con fosfatos provenientes de los jabones, además se evidencia una disminución significativa de la presencia de partículas suspendidas y

disueltas lo cual evidencia la efectividad de los filtros de grava, arena y carbón, que a pesar de aumentar la dureza del agua no representan una desventaja para la calidad del agua.

### **8.1.5 Resultados investigación educativa**

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo educativo, acerca del diseño del módulo educativo, la respectiva evaluación, los resultados de la aplicación al grado cuarto y al grupo de énfasis y la revisión de los módulos por parte de los profesores.

#### **8.1.5.1.1 Diseño de módulos educativos**

Se diseñaron dos módulos centrados en el modelo de humedal artificial con los cuales se aborda el cuidado, ahorro y reutilización del agua, con los que se quiso evaluar la validez del espacio, uno de los módulos para ser desarrollado con los estudiantes de grado cuarto y otra para ser desarrollado con los estudiantes del énfasis de ciencias de la institución, con la idea evidenciar la pertinencia de este espacio para el desarrollo de competencias en diferentes niveles educativos, estos módulos contienen una parte introductoria y otra parte de actividades, por medio de las cuales se evalúan los logros y desempeños que alcancen o no los estudiantes.

El módulo educativo de grado cuarto consta de cuatro partes en las cuales se desarrolla el agua y la importancia del agua para los seres vivos, el cuidado del agua, la reutilización del agua y el humedal artificial, por medio de este módulo se quisieron abordar conceptos importantes que permitieran entender las propiedades físicas y químicas del agua, así como su importancia para la vida, cómo se puede hacer la reutilización de esta por medio del humedal artificial y cuáles son los procesos que hacen parte de este para que ocurra la fitodepuración. Por otra parte el módulo educativo del grupo de énfasis es de tipo informativo y contiene datos, cifras y lecturas sobre el agua, la importancia del agua para todos los seres vivos, contaminación del agua ocasionada por la actividad humana, tratamiento del agua y proceso de fitodepuración en el humedal artificial del colegio, luego de cada lectura hay unas preguntas de discusión para realizar con los estudiantes.

El contenido de los módulos educativos fue diseñado y elaborado por las autoras, las imágenes y graficas allí contenidas fueron redibujadas y las imágenes y graficas corporativas se citaron de manera que puedan ser consultadas en las respectivas fuentes. La información fue adaptada de las revisiones bibliográficas respectivas. (Ver modulos en los anexos)

#### **8.1.5.1.2 Contextualización**

Para evaluar la funcionalidad del modelo de Humedal Artificial en la granja del Instituto Pedagógico Nacional, se eligieron dos grupos un grupo de primaria que corresponde al grado cuarto, más específicamente el curso 401, en el cual se contó con la participación de 33 estudiantes que desarrollaron las actividades elegidas del módulo. El otro correspondió a un grupo de bachillerato del énfasis de ciencias, que son estudiantes del grado undécimo y se contó con la participación de 14 estudiantes, quienes estuvieron en la actividad informativa y con ellos se realizaron las preguntas de discusión y la actividad final que correspondía al módulo.

#### **8.1.5.2.1 Evaluación del módulo educativo**

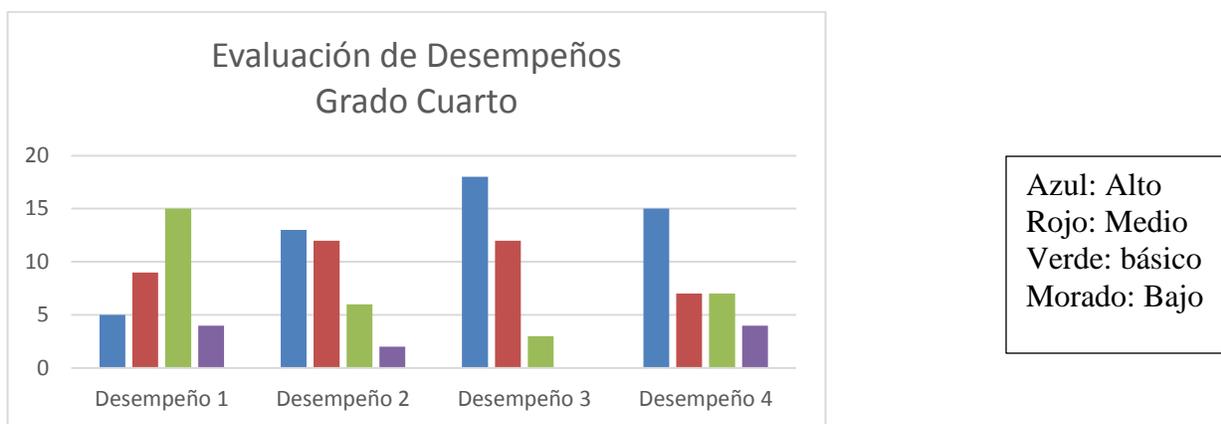
Se realizó la aplicación de algunas de las actividades propuestas en las cartillas de acuerdo con la disponibilidad de espacio y de tiempo en cada uno de los grupos, en el caso del grado cuarto se trabajaron los módulos 1 sobre las características del agua y 4 sobre el humedal artificial, en este grupo se realizaron 3 clases magistrales de explicación y aplicación de actividades evaluativas y una última clase realizada en la granja del colegio, donde se observó el humedal artificial, las plantas que encontraron allí y se pudo explicar a los estudiantes los procesos que hay para que ocurra la fitodepuración. En el caso del grupo de énfasis se abordó de manera expositiva los módulos sobre características del agua, contaminación del agua y tratamiento y biofiltros (humedal artificial), se realizaron las preguntas de discusión contenidas en el módulo y como actividad final los estudiantes presentaron una propuesta alternativa de humedal artificial, en donde se tuvo en cuenta la disponibilidad del espacio.

### 8.1.5.2.2 Aplicación grado cuarto

Se realizó la aplicación de dos actividades de la primera parte y 2 actividades de la última parte del módulo educativo correspondiente al grado cuarto, teniendo en cuenta que la disponibilidad de tiempo fue corta se consideró importante que los estudiantes inicialmente tuvieran claridad con referencia a las características y propiedades del agua y su importancia para la vida actividades que estuvieron relacionadas con la primera parte y con respecto a la última parte que tuvieran interacción con el Humedal Artificial de su colegio, observando su funcionamiento y los procesos que allí ocurren.

<b>Desempeños</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Básico</b>	<b>Bajo</b>
Relaciona las propiedades del agua para dar explicación a las experiencias propuestas.	5	9	15	4
Expresa por medio del lenguaje grafico las consecuencias de la falta de agua.	13	12	6	2
Dibuja el humedal artificial y trata de explicar los procesos que ocurren en cada parte del sistema	18	12	3	0
Observa y trata de explicar los procesos de absorción, sedimentación, filtración.	15	7	7	4

Tabla 22 Resultados de los desempeños grado Cuarto



Gráfica 3 resultados desempeños grado cuarto

Después de realizada la aplicación con los estudiantes del grado cuarto en el Instituto Pedagógico Nacional, durante las clases magistrales que permitieron dar explicación a las características que hacen del agua una sustancia especial, se pudo observar que los estudiantes

tenían ideas previas sobre las características químicas y físicas del agua, que luego se vieron reflejadas en las experiencias realizadas donde participaron de manera activa y observaron lo ocurrido en la interacción con otras sustancias, sin embargo, a la hora de explicar lo visto se obtuvo que 15 de los estudiantes alcanzaron un resultado básico, puesto que dio una sola explicación a los cuatro experimentos sobre las propiedades del agua realizados en las clases, entonces la mayoría de los estudiantes se encontró dentro de ese desempeño, puesto que no hubo argumentación que relacionara las propiedades del agua con los experimentos realizados. 9 estudiantes alcanzaron el desempeño medio en donde explicaron solo dos de los cuatro experimentos, 5 estudiantes obtuvieron el desempeño alto en donde argumentaron las razones por las cuales algunas sustancias cambiaron las propiedades del agua, por lo cual estos estudiantes alcanzaron el desempeño.

En cuanto al desempeño sobre la expresión del lenguaje gráfico a cerca de las consecuencias que se pueden generar por la falta de agua, 18 estudiantes alcanzaron el desempeño alto, 12 se ubicaron en el desempeño medio dado que los estudiantes realizaron dibujos acorde con el mensaje transmitido por el video sobre la “Abuela Grillo” y lo describieron de tal modo que resaltaron la importancia del agua para la vida, la mayoría de los estudiantes alcanzaron el punto alto y medio porque realizaron explicaciones en donde se demuestra que comprendieron la importancia del agua lo que permitió propiciar la reflexión acerca del cuidado del agua. 6 estudiantes estuvieron en el desempeño básico, porque sus dibujos únicamente reflejaron los personajes de la historia del video, pero en sus dibujos no se ve reflejada la comprensión de la importancia del agua.

En cuanto al desempeño a cerca del reconocimiento del Humedal Artificial construido en el Instituto Pedagógico Nacional, los estudiantes tuvieron la oportunidad de visitar y observar las características del espacio, 18 de los estudiantes alcanzaron el desempeño alto y 12 estudiantes el desempeño medio, por lo cual la mayoría de los estudiantes expresaron en sus dibujos la estructura del mismo y los organismos (plantas acuáticas) que allí se encuentran, además dieron cuenta por medio de sus dibujos de los procesos que allí ocurren. 3 estudiantes no realizaron un

dibujo acorde a lo observado, puesto que dibujaron la estructura del humedal con otras formas y no ubicaron dentro de él las plantas que allí se encontraban.

Con respecto al desempeño sobre la observación y explicación de los diferentes procesos que ocurren en el Humedal Artificial como absorción, sedimentación y filtración, 15 estudiantes alcanzaron el desempeño alto y 7 el desempeño medio puesto que relacionaron la función que cumple cada uno de los elementos del sistema para la fitodepuración de las aguas, del lago artificial, por lo cual alcanzaron el desempeño a manera interpretativa, en donde se hizo fundamental que los estudiantes comprendieran los principios físicos, químicos y biológicos contenidos en el proceso de fitodepuración y reutilización del agua.



Imagen 26 Estudiantes del grado cuarto en el espacio de humedal

### **8.1.5.2.3 Aplicación grupo énfasis**

Se aplicó todo el modulo educativo correspondiente al grupo de énfasis, este fue de tipo informativo por medio de una presentación de los temas que trata el modulo y se realizaron con los estudiantes las preguntas de discusión pertenecientes al mismo, como actividad final los estudiantes realizaron una propuesta alternativa de Humedal Artificial la cual fue plasmada en un dibujo y su respectiva explicación.

Pregunta	Respuestas de los estudiantes
<p>¿Por qué el agua está importante? ¿Qué argumentos le daría usted a otras personas para inducirlos a hacer uso responsable del agua?</p>	<p>El agua es importante debido a que la mayoría de procesos biológicos necesitan un medio acuoso para realizarse, lo cual podría traducirse en que sin en agua no hay vida. Creo que el principal argumento es que es algo que nos afecta a todos y que si realmente aprecian la vida el cambio no está en que los expertos solucionen algo sino en empezar por nuestros hábitos.</p>
	<p>Porque el agua es la base para todas las funciones de los organismos e individuos.</p>
	<p>El agua es útil para los seres humanos y para la naturaleza. Un argumento será que necesitamos el agua para vivir y que dentro de poco no la tendremos por esta razón hay que cuidarla y reutilizarla.</p>
	<p>Porque el agua es vida, todo es a base o relacionado con el agua. Podemos vivir hasta 3 semanas sin comida, pero solo 3 días sin agua. Sin agua todos moriremos, hay que cuidar el agua, porque algún día esta se acabara.</p>
	<p>El agua es tan importante que siempre en la mayoría de oficios que hacemos la necesitamos, y es por ello por lo que su existencia se nos hace cotidiana por eso se menosprecia. Tiene tal importancia que el no consumo de esta por un periodo de alrededor 3 días puede llevar a la muerte.</p>
	<p>Porque casi el 70% de nuestro cuerpo está hecho de agua, y es la responsable de que en lugares como Colombia abunde la flora y la fauna</p>
	<p>El agua es importante, ya que es esencial para todos los organismos, para su composición biológica y procesos que estos necesitan hacer. Sin agua estaríamos perdidos ya que es base en la sociedad, en acciones cotidianas y en importantes aspectos en la sociedad. Cabe mencionar que es esencial en nuestro cuerpo.</p>
	<p>Es esencial para vivir, además habría un grave desequilibrio en caso de que esta faltara, la necesitan muchas especies.</p>
	<p>El mayor porcentaje del planeta y de nuestro cuerpo está conformado por agua, aparte toda la vida es un ciclo donde varios nos beneficiamos los unos de los otros y de nosotros otras especies sacaran provecho alguna vez.</p>
	<p>El agua es la responsable de que la vida en la tierra prevalezca. El 75% de nuestros músculos son agua, <math>\frac{3}{4}</math> partes del planeta son agua; gracias a ella pudimos (como especie y todas las demás) llegar hasta este punto y podremos seguir avanzando (o por lo menos mantenernos)</p>
<p>Es importante porque con ella se hacen la mayoría de los procesos y no podemos vivir sin ella. E agua que se usa en algunas cosas puede ser reutilizada y es una muy buena forma</p>	

	de ahorrar y de ayudar al planeta
	El agua es esencial para la vida la que es totalmente necesaria para vivir y producir alimentos lo que nos hace vivir.
	Porque es una fuente de vida e hidratación humana, animal y vegetal ¿Cómo será la generación futura si malgastamos el agua, pensando el día de mañana? Algún día hará falta el agua potable y quien tendrá la potestad para recrearla.
	El agua es muy importante ya que nosotros somos la mayoría de agua y nuestro diario vivir es mediante esta, les diría que piensan en las nuevas generaciones porque todo lo que contaminamos ahora, ya no sirve para después.
¿Puede evidenciar en problemas de abastecimiento de agua en el país?	Según lo que vimos el problema en Colombia no es de abastecimiento sino de distribución y correcta distribución de esta, Colombia está llena de agua pero tenemos que organizar las prioridades.
	Si, actualmente se puede evidenciar la escasez de recursos hídricos en algunas regiones de Colombia como la andina y la pacífica.
	En este momento no pero a futuro va a hacer falta y va a ser horrible vivir sin agua
	Colombia es un país cuyo sustento de agua es bastante grande, el problema es que mucha de esta, está contaminada y la hace difícil de ingerir.
	Si se puede evidenciar que este recurso no se encuentra en las condiciones apropiadas en algunas poblaciones apartadas del país.
	Si, ya que a los lugares más pobres a veces ni siquiera llegan agua y cuando llega generalmente no es potable.
	Se puede evidenciar en zonas donde los ríos se están secando. Por ejemplo el magdalena está disminuyendo causando problemas en la zona, no solo ambientales si no sociales.
	Sí, hay muchos departamentos sin agua. Las personas de la Guajira están sin agua porque no hay infraestructuras.
	Si, en tan solo los municipios vecinos se pueden evidenciar la cual contrae problemas en la salud y problemas sociales.
	Sí, hay departamentos que no tienen agua potable. El agua está pero no es apta para el consumo humano.
	Si, en algunos sectores del país el abastecimiento de agua es insuficiente.
	En la Guajira
	Si, en la Guajira no se alcanza a dar abastecimiento y en muchas regiones que viven de las fuentes de agua, como el rio Magdalena, aunque si hay agua pero son utilizadas para fines económicos en vez de salubridad.
	Si en muchos municipios del país se dice que no hay agua y se

	debe buscar mucho pero si la hay aunque se utiliza para otras cosas.
¿Cuál cree usted que es la mayor amenaza a los recursos hídricos en su contexto?	Las prioridades de la gente, en Colombia como tal priman aquellas cosas que generan ingresos económicos como la minería la cual contamina el agua. En el contexto social creería que el principal problema o amenaza es la falta de conciencia.
	El uso de jabones y contaminantes utilizados a diario. Por otro lado se evidencia el mal gasto y mala utilización de dicho recurso.
	El desperdicio a la hora de bañarse y lavar cosas.
	La contaminación es la mayor amenaza, luego el hecho de que el agua cada día se ve reducida.
	La falta de conciencia de las personas y la falta de sentido de pertenencia de estas respecto a lo que disponemos.
	Creo que nosotros somos la mayor amenaza, ya no nos concientizamos y la malgastamos, y un ejemplo es el río Bogotá, básicamente abusamos con él.
	Creo que el mal gasto de agua afecta masivamente a los recursos hídricos ya que pensamos que es un recurso inagotable pero no es así, y estamos acabando con todos los recursos posibles. No soy consciente en muchas acciones cotidianas.
	Cuando las personas se tardan en la ducha.
	El mal uso del agua, por ejemplo a la hora del baño se desperdicia mucha agua.
	El hecho de que la mayoría de la población no los cuide y los gaste creyendo que son ilimitados. Nadie (o casi nadie) los usa de manera consciente, es decir, los malgastan.
	La mayor amenaza de los recursos hídricos puede ser la administración que se da a estos ya que cuando se usa por ejemplo en extracción de minerales esta se contamina.
	Contaminación fluvial y la desaparición de paramos.
	El tiempo que demoro en bañarme la cantidad de veces que se lava ropa en la lavadora, dejar la llave abierta mientras me cepillo los dientes.
	La mayor amenaza es el gasto innecesario de agua cuando uno se baña o simplemente con la lavada de la ropa.
¿Cómo cree que afectan sus acciones la sostenibilidad de los recursos hídricos?	Creo que si cada persona se hiciera esta pregunta y respondiera afirmativamente la realidad seria otra ya que la mayoría piensa que sus acciones no cuentan.
	Las acciones realizadas afectan en gran medida puesto que todo lo que uno hace tiene gran impacto
	Pienso que si todos tratamos de demorarnos menos en la ducha ayudaremos de a pocos en general.
	El desperdicio de agua potable para cosas como lavar ropa.

	La falta de conciencia puede generar un despilfarro de esta en nuestro uso cotidiano.
	Pues básicamente generan grandes repercusiones (para mal) porque contaminan el medio ambiente y aunque yo no ponga los residuos de mi casa en los ríos, yo podría hacer algo para que estos no fueran a parar allá.
	Afectan bastante. Cada individuo afecta al mundo y con sus acciones afecta o beneficia la sostenibilidad de los recursos hídricos. Creo que mal gasto mucho el agua y no soy consciente. Esto afecta más si gastamos 100 litros aprox. de agua al día.
	Gastar mucho cuando me baño y no reutilizar agua que podría ser tratada para uso
	El recoger agua de la lavadora, del baño en la ducha ayuda a la sostenibilidad de este recurso.
	En mi casa reutilizamos el agua cuando nos bañamos, recogemos el agua en una tina y la usamos para bajar la tasa. Evitamos dejar mucho tiempo con las llaves del agua abiertas. Eso ayuda a ahorrar los recursos hídricos
	El mal uso de estos recursos, como malgastarlos afecta la sostenibilidad de estos recursos.
	Tomo agua, compro productos que necesitan agua para producirse y contamina (bañarme, lavar loza, materia fecal) gastar el recurso hídrico.
	Disminuyen la cantidad de agua necesaria por persona que se necesita.
	Disminuye la cantidad de agua que necesitamos por persona y dejamos a nuestras generaciones con agua no potable.
¿Cree usted que es importante la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales?	Si, esto es comenzar por algo
	Considero que es muy importante la construcción de plantas de tratamiento
	Claro que sí, de esta manera podremos preservar un poco más de tiempo el agua.
	Claro que es importante y muy necesario. Colombia es rica en agua y sería bueno aprovechar las plantas de tratamiento para purificar el agua.
	Si es importante para poder dar una mejora a esta situación, pero realmente el problema radica en la población y en la disposición y conocimiento que las personas tienen respecto a la problemática.
	Si, bastante ya que así es posible salvar una fracción del agua existente en el planeta, que bien utilizada ayudaría a mantener la vida en el planeta tierra.
	Si es importante ya que promueve la reutilización. Las aguas residuales pueden usarse ya que sus contaminantes se van y

	permite darle usos diversos.
	Obviamente, así se sacaría provecho de muchos litros de agua.
	Si, ya que en un futuro van a ser esenciales porque actualmente el porcentaje de agua dulce consumible es bastante bajo.
	Si, así cuando dichas aguas se traten pueden ser reutilizadas, eso evitara que se gaste más agua, lo cual hará que existe más reserva considerable a futuro.
	Si es muy importante ya que se puede reutilizar este recurso tan esencial para la vida.
	Claro, para aumentar la capacidad de agua limpia y esta sea utilizable.
	Sí, porque se podría reutilizar el agua de diferentes formas y podríamos mejorar la calidad de vida tanto en el presente como pensando en futuras generaciones.
	Si porque toda el agua podría tener un proceso para descontaminar y reutilizar.
¿Cuál cree usted que es el potencial de los biofiltros para el tratamiento de aguas residuales domesticas?	Creo que es una buena alternativa que tiene buena posibilidad de ser aplicada en los hogares pero hay que darlo a conocer.
	Si, puesto que esto puede ayudar a eliminar diferentes nitratos y sustancias que son perjudiciales para el medio ambiente.
	Es bastante viable y es fácil de hacer en cada casa, así todos tendremos mejor agua.
	El potencial es que no son difíciles ni caros de conseguir. Son fáciles de usar y van a ayudar a tratar el agua.
	Considero que es bastante alto, aunque ello requiere para una mayor efectividad un espacio grande y es un problema dado que la mayoría de la población se encuentra en áreas residenciales reducidas.
	Pues que no se malgastaría el agua que usualmente no usamos porque creemos que no está lo suficientemente limpia.
	Los biofiltros en residencias domésticas, ayudan mucho a la reutilización de la misma. Si se estableciera en cada residencia se reduciría bastante el gasto excesivo de agua
	Tiene mucho potencial, es muy útil. Son cosas que podemos hacer nosotros y con muchos beneficios.
	Se mantienen solas, no contaminan el ambiente, ayudan a filtrar las aguas y poder reutilizar, económicamente no son difíciles de mantener.
	Es un alto potencial, pues además de ser fácil de hacer, los efectos son altamente beneficiosos para el agua. Además se pueden reutilizar para otras cosas en la casa.
	Tiene un alto potencial del tratamiento de aguas residuales ya que es muy sostenible.
	Bastante alto, ya que se podría usar el agua y así no gastar tanto de la tubería. Así mismo reducir costos.

	<p>A pesar de que es una innovación traída a Colombia, la implementación de los biofiltros es poco probable en mi caso, por el poco espacio en el apartamento y la duración de este nuevo tratamiento.</p> <p>Si es muy buena la idea pero en la gente no está el conocimiento de esto y por ello no se puede implementar pero sería muy bueno para el ambiente.</p>
¿Cómo crees que el modelo de humedal artificial construido en el colegio puede ayudar a mitigar los problemas de los recursos hídricos?	Pues utilizarlo de forma correcta y constante empezaría a formarse un lado ecológico y sostenible.
	Considero que el modelo construido en el IPN ayuda bastante a los recursos hídricos porque permite la purificación de la misma.
	El agua estaría menos contaminada y así podremos reutilizarla.
	Demostrando su efectividad a pequeña escala, se puede llegar a implementar en mayor magnitud para ayudar a descontaminar ciertas aguas.
	Considero que el mayor efecto posible es la ejemplificación y demostración de que hay alternativas viables para la solución de este problema.
	Pues creo que ayuda a que no se desperdicie tanta agua, ya que con ayuda de los biofiltros y/o motobombas se puede reutilizar agua que algunos organismos / seres vivos podrían utilizar para desarrollarse adecuadamente.
	Ayudaría mucho para mitigar el exceso de gasto, reutilizando recursos contaminados, descontaminándolos y darles distintos usos a esas plantas.
	Se hace uso de aguas lluvias para que por medio de biofiltros el agua pueda ser utilizada.
	Se podría hacer uso de las aguas lluvia, de las aguas que salen de la cafetería para el lavado de alimentos, reduciría gastos y ayudaría al medio ambiente.
	Evita el mal uso del agua, pues esta se reutiliza para beneficiar los otros procesos de la granja.
	El tratamiento de los recursos hídricos con el humedal artificial es una manera muy útil de reutilizar el agua para regar las plantas entre otros.
	Pues se podría usar el agua y así no gastar tanto de la tubería. Así mismo reducir costos.
	Podría ser un buen modelo para empezar a implementarlo por ahora a nivel educativo.
	Porque hay una gran cantidad de gente en el colegio y si se realiza este ayudamos a disminuir el gasto del agua por persona y así de la gente.
¿Podría rediseñar el sistema para	No
	Se podría utilizar una motobomba para que el agua utilizada en

mejorar su eficiencia en el tratamiento del agua?	la preparación de alimentos en la cafetería pueda ser utilizada en la granja.
	Así como está construido está muy bien ya que las plantas son el mejor recurso y la mejor manera de descontaminar el agua.
	No
	Haría varios diseños en los que los diferentes tipos de plantas se reorganicen para ver cuál es el orden más efectivo y trataría de crear otra estructura que permitiera ubicar los módulos de forma vertical y apilada para que requiera menos espacio.
	Pues se pueden usar aspas una especie de molino para oxigenar el agua y con la ayuda de la bioingeniería se pueden utilizar microorganismos sintéticos para regenerar el agua y así limpiarla
	Hacer un humedal doméstico. Se podría aumentar los tipos de plantas en dos cajones dos tipos. También podríamos buscar otro tipo de plantas que sean eficientes limpiando y aporten a otro tipo de cosas. Podría pensarse en hacer unos cajones pero ubicados en espiral
	No
	No se tal vez haría ciertas modificaciones en la estructura para que ocupen menos espacio.
	A mi parecer está bien como esta.
	Es una manera muy sencilla y practica de reutilizar el agua la que realizaron.
	Usar algo más grande para tratar agua.
	La verdad considero que ese sistema está súper eficaz y auto sostenible y de sistema económico para cualquier entidad.
	Si se podría si tenemos los conocimientos para realizar este tipo de tratamientos, pero si no lo tenemos, quedamos sin bases para trabajar.
Con lo que hemos aprendido durante las sesiones, planteo el diseño de un sistema de depuración de agua que pueda ayudar al ahorro y reutilización de agua en su contexto, teniendo en cuenta la	Yo crearía un tanque que reciba todo el agua que malgastamos en la casa y ese tanque esté conectado a otro que contenga en procesos diferentes tipos de plantas y carbón
	*Reutilizar el agua que se gasta para lavar los frutos o alimentos fáciles de limpiar como frutas y verduras *Inventar un sistema donde el agua que salga de la lavadora mediante un tanque de purificación con organismos sea efectiva
	Tomar el Humedal del Colegio, estudiando e investigando los tipos de plantas en cada cajón y así hacer a una escala menor y hacer un filtro de agua y así usar el agua gastada en el lavaplatos o la ducha.
	Llevar el agua de la lavadora a un tanque de depuración de agua y reutilizarla en la descarga del inodoro

eficiencia y la disponibilidad del espacio	Llevar los recursos hídricos utilizados en la cafetería del colegio mediante una motobomba al Humedal Artificial.
	Ubicación de los cajones verticalmente que se pueda colocar en cualquier lugar de la casa, en donde haya diferentes tipos de filtros (sustratos)
	No como tal tratar aguas residuales, pero yo en mi casa reutilizo el agua de la lavadora, para otras cosas, ayuda a reducir costos y reutilizo el agua adecuadamente.
	Que todas las aguas de la casa como la de la lavadora, la ducha, el lavamanos sea llevada a tratar en el Humedal Artificial y así poderla reutilizar en otras cosas
	Hacer un tipo de embudo en el techo de la casa, por donde pase el agua lluvia y el agua que sale del embudo pasa por un filtro con distintos materiales.
	Se puede usar plantas no solo para oxigenar el agua sino también para limpiarla, además de algunos organismos benéficos que ayudan a regenerarla y a filtrarla
	El agua lluvia que cae de las tejas en la terraza de la casa pasarla por el humedal artificial

Tabla 23 Resultados preguntas de discusión grupo de énfasis

Luego de la aplicación de las actividades educativas al grupo de énfasis del Instituto Pedagógico Nacional se pudieron evidenciar diferentes características sobre los desempeños evaluados en el grupo entre ellas que la mayoría de los estudiantes reconocen la importancia del agua para la vida de los seres vivos y para los mismos seres humanos, algunos colocan cifras sobre la cantidad de agua que posee el cuerpo humano, la cantidad de agua que presentan los músculos y la cantidad de agua que hay en el planeta. También expresan en sus anotaciones la importancia del agua para el cuerpo humano comparando el número de días que se puede vivir sin agua y el número de días que se puede vivir sin comida. Estas anotaciones son importantes porque nos permite evidenciar que los estudiantes pueden comprender e identificar factores que hacen al agua un recurso fundamental para la vida.

Además muchos de ellos comprenden que la problemática con el agua en el país está relacionada con la falta de abastecimiento del recurso hídrico a algunas zonas del país, donde no llega el agua potable y algunos identifican que esta problemática afecta la salubridad de estas

zonas. Así que se evidencia que algunas de las problemáticas del agua son la contaminación, las condiciones del agua no apropiadas para el consumo humano y la falta de abastecimiento para algunas regiones del país.

Algunos estudiantes coinciden con la idea de que la mayor amenaza del recurso hídrico está relacionado con el mal uso del agua en las acciones cotidianas de los seres humanos, también la contaminación del agua amenaza con la cantidad de agua potable disponible para los habitantes de Colombia, es así como para algunos estudiantes sus propias acciones afectan el sustento del recurso hídrico en el país, dentro de esas acciones está mal gastar, durar mucho tiempo con las llaves del agua abiertas, consumir productos en los que se necesita utilizar gran cantidad de agua en su producción. Por otra parte algunos de los estudiantes comprenden que sus acciones cotidianas afectan al recurso hídrico disminuyendo la cantidad de agua potable que se necesita por persona.

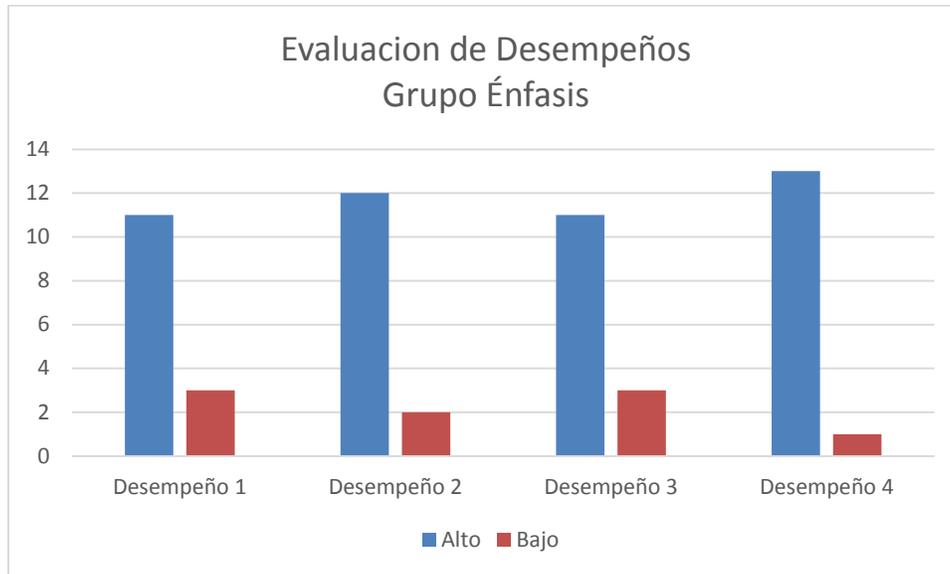
Para todos los estudiantes es positivo construir plantas de tratamiento de agua, ya que estas plantas permiten purificar el agua y de este modo puede ser reutilizada en acciones de la vida cotidiana. Muchos de los estudiantes afirmaron que los biofiltros tienen un alto potencial para el tratamiento del agua, puesto que se permiten la reutilización de este recurso, este es uno de los mayores argumentos, también algunos resaltan la importancia de dar a conocer a otras personas este tipo de sistemas, tan eficientes. Otros ven el espacio en sus casas como un problema para tener uno de esos biofiltros. Para la mayoría de los estudiantes el Humedal Artificial construido en el Instituto Pedagógico Nacional, es una alternativa que permite la reutilización del agua en otros procesos de la granja, los estudiantes reconocen que es una alternativa fácil y sostenible, en donde se pueden utilizar organismos como plantas para descontaminar el agua.

En cuanto al aspecto de rediseñar el Humedal Artificial construido en el Colegio algunos estudiantes coinciden en que se debe utilizar el agua del lavado de alimentos en la cafetería dentro de las aguas a tratar en él, otros reacomodarían las plantas para ver como este modelo puede ser más efectivo y otros consideran que el modelo es sostenible como esta. Con respecto a las propuestas realizadas por los estudiantes, luego de realizada la observación al Humedal

Artificial que encontraron en su colegio y teniendo en cuenta los desempeños a evaluar en donde los estudiantes demostraron sus conocimientos, habilidades, actitudes que permitieron la transformación de su contexto, luego de comprender las problemáticas que afronta el país con relación al recurso hídrico, los estudiantes proponen alternativas interesantes que permiten el tratamiento y reutilización del recurso hídrico, los estudiantes propusieron sistemas como un Humedal Artificial, pero los cajones de manera vertical uno debajo de otro para ocupar menor espacio, otros inventaron un sistema para reutilizar el agua de la lavadora a través de un biofiltro similar al Humedal Artificial y luego direccionar ese agua al inodoro, otros propusieron el tratamiento de agua lluvia que cae en el tejado de las casas para tratarla y luego usarla en lo que se pueda en la casa, otros prefirieron usar filtros inertes como gravas y diferentes materiales para tratar el agua de diferentes maneras. Lo anterior nos permite observar que la mayoría de los estudiantes alcanzaron el desempeño sobre la propuesta alternativa para la fitodepuración y posterior reutilización del agua.

<b>Desempeños</b>	<b>Alto</b>	<b>Bajo</b>
Reconoce las problemáticas entorno al uso de los recursos hídricos en el contexto	11	3
Comprende la importancia que la acción humana ha tenido sobre los recursos hídricos	12	2
Trata de explicar la importancia de tener una alternativa de reutilización del agua	13	1
Propone alternativas para la fitodepuración y reutilización del agua.	11	3

Tabla 24 Resultados de los desempeños grupo énfasis



### 8.1.5.2.3 Revisión por expertos

En la revisión realizada por la profesora Roció Calderón profesora encargada del grado cuarto en el año 2015, se puede ver que está totalmente de acuerdo con los conceptos, los temas y las actividades, la forma y la pertinencia del módulo educativo para este grado, además tiene sugerencias con respecto al lenguaje que se utiliza en el módulo, puesto que es muy técnico para los niños a esa edad y también hace sugerencias con respecto a la información que allí se presenta en especial las gráficas se consideran en primera instancia no adecuadas para ese nivel, por lo tanto acogiéndonos a las sugerencias presentadas por la profesora se realizan cambios en el contenido y la forma del módulo educativo para este grado. Se presenta la tabla de revisión del módulo por la profesora a cargo de biología con el curso 401

<b>Validaciones grado Cuarto</b>		
<b>Consideraciones</b>	<b>Criterio</b>	<b>Observaciones</b>
Los conceptos son interesantes	E	No presenta
Los temas se relacionan con el entorno	E	No presenta
Las actividades tienen un contenido ambiental	E	No presenta
Los objetivos están acordes con las actividades propuestas	E	No presenta
Las actividades diseñadas son congruentes con los diferentes niveles de educación	E	No presenta
La información es clara y concisa	B	Cambiar palabras

		técnicas
Se desarrollan las actividades de manera secuencial	E	No presenta
El lenguaje es adecuado de acuerdo al nivel educativo	B	Eliminar graficas
Los textos planteados son coherentes y se relacionan con las actividades	E	No presenta
La propuesta presenta creatividad	E	No presenta
El diseño cautiva la atención del lector	E	No presenta
Los problemas planteados están diseñados hacia problemáticas ambientales	E	No presenta
Las actividades son motivadoras para el aprendizaje	E	No presenta
Las lecturas y actividades son coherentes con los contenidos	E	No presenta
Las actividades están diseñadas desde el enfoque CTS	E	No presenta

Tabla 25 Resultados de validacion grado cuarto

A continuación se presenta la tabla de revisión del módulo por el profesor encargado del grupo de énfasis en el año 2015.

<b>Validaciones grupo de Énfasis</b>		
<b>Consideraciones</b>	<b>Criterio</b>	<b>Observaciones</b>
Los conceptos son interesantes	E	No presenta
Los temas se relacionan con el entorno	E	No presenta
Las actividades tienen un contenido ambiental	E	No presenta
Los objetivos están acordes con las actividades propuestas	E	No presenta
Las actividades diseñadas son congruentes con los diferentes niveles de educación	E	Sugiero tener presente la lectura relacionada con el agua en cifras para los niños más pequeños.
La información es clara y concisa	E	No presenta
Se desarrollan las actividades de manera secuencial	E	No presenta
El lenguaje es adecuado de acuerdo al nivel educativo	E	No presenta
Los textos planteados son coherentes y se relacionan con las actividades	E	No presenta
La propuesta presenta creatividad	E	No presenta
El diseño cautiva la atención del lector	E	No presenta
Los problemas planteados están diseñados hacia problemáticas ambientales	E	No presenta

Las actividades son motivadoras para el aprendizaje	E	No presenta
Las lecturas y actividades son coherentes con los contenidos	E	No presenta
Las actividades están diseñadas desde el enfoque CTS	E	No presenta

Tabla 26 resultados de validación grupo énfasis

Con respecto a la validación de tipo cualitativo realizada por el profesor de Física Franklin Niño Duarte del grupo de énfasis, se encuentra que está completamente de acuerdo con los contenidos, la forma y la pertinencia de las actividades en cada uno de los ítem evaluados en la propuesta educativa que se aplicó con el grupo de énfasis, el profesor presenta como sugerencia en el ítem “Las actividades diseñadas son congruentes con los diferentes niveles de educación”, tener presente la lectura relacionada con el agua en cifras para los estudiantes de primaria.

Además resalta como aspecto positivo de la propuesta el contenido de las actividades que puede ser incluido desde la transversalidad, puesto que las lecturas se pueden tratar en las distintas áreas del conocimiento apuntando al reconocimiento de la importancia del cuidado del agua y las posibilidades de tratamiento y aprovechamiento del agua. También afirma que no encuentra aspectos negativos en la propuesta presentada. con respecto al potencial de la propuesta educativa presentada para el Instituto Pedagógico Nacional el validador considera que puede ser aplicado en todos los grados, sin embargo, se deben hacer modificaciones en el estilo de lectura dependiendo del grado a aplicar y se puede trabajar de manera transversal y apoyada en el trabajo de la granja. Como sugerencia manifiesta organizar los tiempos, momentos, espacios y resultados que esperan recopilar para garantizar la apreciación de la importancia del agua en nuestra vida, ya que la importancia del recurso hídrico puede ser tratada desde todas las áreas, con relación a la propuesta educativa se deben realizar pocas o ninguna corrección. Para el docente la propuesta cumple con todos los requisitos para su aplicación con los estudiantes del grupo de énfasis del Instituto Pedagógico Nacional.

## 9. Conclusiones

- El modelo de humedal artificial del Instituto Pedagógico se constituye como un espacio educativo para la sensibilización en torno a las prácticas de uso de los recursos hídricos y sus posibilidades de reutilización; puesto que posibilita la enseñanza y aprendizaje conceptos propios de las ciencias naturales que permiten el desarrollo preliminar de competencias científicas en torno a los recursos hídricos, logrando así una sensibilización basada en el conocimiento del tema.
- El diseño del humedal artificial permitió la recreación a menor escala de algunos de los procesos que ocurren en los humedales naturales, en las de praderas emergentes y flotantes, cumple además con las condiciones de soporte y estabilidad planteadas en diseño.
- El humedal artificial es un espacio innovador que representa la posibilidad de poner en práctica conceptos científicos para transformación del entorno, y en este sentido se constituye como una alternativa para el tratamiento de agua en contextos urbanos.
- El humedal artificial es espacio educativo que llama la atención de los estudiantes puesto que es un espacio no convencional para la enseñanza en ciencias, que aporta al desarrollo y fortalecimiento del espacio de la granja escolar del Instituto Pedagógico Nacional.
- El modelo de humedal artificial logro mejor la calidad de agua de forma significativa permitiendo que esta sea reutilizada en la labores de riego que no implique alimentos y en labores de limpieza, lo cual puede llevar a la disminución del consumo de agua potable, constituyéndose como un ejemplo diseño y viabilidad de los biofiltros en contextos urbanos como alternativas de tratamiento de agua.
- El modelo de humedal artificial tiene la capacidad de mantenerse en condiciones climáticas habituales, pero en caso de fenómenos climáticos extremos de sequias o lluvias requieren mayor mantenimiento y cuidado.

## 10. Recomendaciones

- Promover el desarrollo de futuros trabajos que integren el modelo de humedal artificial a nuevas experiencias y espacios educativos.
- Promover el desarrollo del estudio microbiológico del modelo de humedal artificial.
- Fortalecer el vínculo de investigación y cooperación entre la Universidad Pedagógica Nacional y el Instituto Pedagógico Nacional.
- Realizar monitoreo constante del modelo para controlar el crecimiento de las macrofitas.
- Fortalecer los recursos e infraestructura disponibles para la investigación formativo de los licenciados en biología de la Universidad Pedagógica Nacional.

## Lista de referencias

- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN. (2012). Bogotá ciudad de estadísticas, Consumo y producción de agua potable y residual en el uso residencial urbano de Bogotá, D.C.( Boletín No. 40 – 2012.). Recuperado de <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionTomaDecisiones/Estadisticas/Bogot%E1%20Ciudad%20de%20Estad%EDsticas/2012/DICE124-BoletinComplementoConAgua-2012.pdf>.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria Distrital de Medio Ambiente.(2014) recuperado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores-por-recurso-natural?v=1&p=21>.
- Andrade, M. C. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Proyecto GOV-AGUA, Programa ALFA de la Unión Europea. Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J. y Hernández, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Informador Técnico (Colombia) Vol. 74, p 12 – 22.
- Arroyo, P. (2010). Los humedales construidos como sistemas para el tratamiento de agua residual industrial y urbana. Caracterización de las comunidades de bacterias presentes en estos ecosistemas. Universidad de León, España.
- Ávila, A., Carvajal, Y., Gutiérrez, S. (2013). Análisis de la influencia de EL Niño y Niña en la oferta hídrica mensual de la cuenca del Río Cali. Tecnura. Vol. 18 No. 41 pp. 120 – 133.
- Bagué, A., Calle, J., Rivera J. G., Lizón, A. y Bedoya, M. (2012). Orientaciones Pedagógicas para la Implementación del Enfoque por Competencias (ed.). Medellín: Fondo Editorial ITM.
- Beleño, I. (2011).El 50% del agua en Colombia es de mala calidad. Unimedios (UN Periódico Impreso No. 141).

- Beltrán, J. y Rangel, O. (2013). Modelación hidrológica del humedal de Jaboque – Bogotá, D.C. (Colombia). Caldasia.
- Beltrán, J. y Pérez, L. (2008). El proceso de sensibilización. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Bernal, F., Mosquera, D., Maury, H., González, D., Guerra, R., Pomare, A. y Silva, M. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la Corporación Universitaria de la Costa. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales, 149-155.
- Blanco, I. (2014). Aplicación de humedales artificiales para la depuración de purines de granjas porcinas. Universidad de León, España.
- Bohorquez, D. (2014) Estrategia didáctica relacionada con la biosorción de colorantes orgánicos presentes en humedales artificiales por la planta botoncillo de agua (*bidens laevis*) para favorecer actitudes hacia las ciencias. (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá D.C.
- CAFAM (2001). Programa de formación continuada de Cafam. Recuperado de: [http://www.oei.es/quipu/colombia/programa\\_cafam.pdf](http://www.oei.es/quipu/colombia/programa_cafam.pdf).
- Campbell, D. y Stanley, J. (1966). Diseños experimentales y cuasi -experimentales en la investigación social. Amorrortu editores, S. A, Buenos Aires.
- Canales, A. (2010). Evaluación de la biomasa y manejo de *Lemna gibba* (lenteja de agua) en la bahía interior del Lago Titicaca, Puno. *Ecología Aplicada*, v.9 (n.2). Lima.
- Carbajal, A. Y González, M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. En Vaquero y Toxqui. (CSIC), agua para la salud. pasado, presente y futuro (pp.33-45). Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Chaparro, T. y Ospina, I. (2005). Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* (No 15) 74-84.
- Convención Ramsar (1971). Acerca de la importancia de los humedales. Recuperado de <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convenci%C3%B3n-de-ramsar-y-sus-misi%C3%B3n>.

- Convenio Ramsar (1971). Acerca de la importancia de los humedales. recuperado de <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convenci%C3%B3n-de-ramsar-y-su-misi%C3%B3n>.
- Cortes, A. (2014). Evaluación del desempeño de humedales construidos subsuperficial de flujo horizontal sembrados con especies nativas tropicales para la eliminación de cr (vi) y cd (ii) de lixiviado de relleno sanitario. (Posgrado en ingeniería sanitaria y ambiental). Universidad del Valle Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali, Colombia.
- Decreto 3930 de 2010. En cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial 47837 de octubre 25 de 2010. Bogotá, Colombia.
- Delgadillo, A., González, A., Prieto, F., Villagómez, R., y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and subtropical agroecosystems, vol.14 no.2.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), Cochabamba, Bolivia.
- Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente (s.f.) Tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá. Ingeniería y Ciencia Vol. 8.
- Díaz, C. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, 1-8.
- Díaz, F. y Hernández, G. (1999). Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo, capítulo 2, p. p. 13 a 19, editorial McGRAW HILL, México.
- Díaz, G. (2006). Los paradigmas de investigación científica, cuba. Escuela de salud pública. Modulo "La Investigación en salud", Maestrías ENSAP.
- E. de Miguel, J. de Miguel y M.D. Curt.(2009). Manual de Fitodepuración, Filtro de macrófitas en flotación.
- EAAB. (s.f.). Guía conceptual sobre la PTAR El Salitre. Obtenido de [http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/guia\\_concPTARSalitre.pdf](http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/guia_concPTARSalitre.pdf).

- Escobar, J. (2012). Cartilla día de los Humedales 2012, Secretaría de Ambiente.Fundación Humedales Bogotá.
- Fernández, J., Beascoechea , E., Muñoz, M. y Curt Fernández de la Mora, M. (2009). Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid.
- Fernández. N & Solano. F. (2005). Una Herramienta para la Valoración de la Calidad del Agua. Universidad de Pamplona, España.
- Fundacion Humedales (s.f.) Juncales en las lagunas de Fúquene, Cucunuba y palacio. Valores sociales y propuestas para su manejo sostenible. [archivo PDF] Documento tecnico divulgativo. Recuperado de: [http://www.globalnature.org/bausteine.net/f/7151/Fundacion\\_Humedales\\_Feb\\_2010.pdf?fd=0](http://www.globalnature.org/bausteine.net/f/7151/Fundacion_Humedales_Feb_2010.pdf?fd=0)
- Gallego, A., Gallego, R. y Pérez, R. (2010). El problema de la recontextualización en la transposición didáctica. Campo Abierto, vol. 29 n° 2, pp. 63-76 .Universidad Distrital de Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá. Colombia.
- González, V., Caicedo, O. y Aguirre, N.(2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NFS, Dinius, y BMWP, en la quebrada Ayurá, Antioquia. Revista Gestión y Ambiente.
- González. H & Pinzón. G. 2012. análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque la florida, por fitorremediación usando buchón de agua. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Colombia.
- Hernández R., Fernández C. & Baptista L. (2003). Metodología de la investigación. McGraw-Hill Interamericana. México, D. F.
- Hernández, A. (1998). Depuración de aguas residuales. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Servicio de Publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. Madrid.
- Hernández, G. (2008). Los constructivismos y sus implicaciones para la educación. Perfiles educativos vol.30 no.122 México.
- Hernández, S. R. (2006). Similitudes y diferencias entre los enfoques cuantitativo y cualitativo. En Metodología de la investigación. (3-30). México: McGraw-Hill.

- Hernández. G, (1997). Módulo Fundamentos del Desarrollo de la Tecnología Educativa (Bases Psicopedagógicas). Coordinador: Frida Díaz Barriga Arceo. México: Editado por ILCE- OEA.
- Hidalgo, O., Montano, J., y Sandoval, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*, Vol. 14 (1): 17-25.
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., y Von Muench, E. (2011). Technology Review of Constructed Wetlands Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, GIZ Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua Estudio Nacional 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.(2010). Estudio Nacional de Agua. Colombia: Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/021888.htm>.
- Instituto Pedagógico Nacional (2013). Manual de convivencia Instituto Pedagógico Nacional. Acuerdo 08 del 2013 Instituto Pedagógico Nacional. Recuperado de <http://ipn.pedagogica.edu.co/vercontenido.php?idp=4&idh=24>
- Instituto Pedagógico Nacional. (2001). Proyecto Educativo Institucional del Instituto Pedagógico Nacional Múltiples Desarrollos. Recuperado de <http://ipn.pedagogica.edu.co/vercontenido.php?idp=4&idh=24>.
- Instituto Pedagógico Nacional. (2015). la granja escolar en el IPN: laboratorioexperimental del ambiente rural en un ámbito urbano. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/291232324/Granja-2015>.
- Lahora, A. (2008). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de los Gallardos [archivo PDF] (Almería). España. GALASA. Recuperado de: [http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319\\_depuracion\\_aguas.pdf](http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13101319_depuracion_aguas.pdf)

- Lizarazo. J y Orjuela. M. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina, Especialización en Administración en Salud Pública Bogotá, Colombia.
- Martelo. J, y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. Ingeniería y Ciencia, ing. Cienc., Volumen 8,( número 15), 221-243.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Recuperado de [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n\\_Pol%C3%ADtica\\_Nacional\\_\\_Gesti%C3%B3n\\_/libro\\_pol\\_nal\\_rec\\_hidrico.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional__Gesti%C3%B3n_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010.
- Ministerio Del Medio Ambiente y Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2002). POLITICA NACIONAL DE EDUCACION AMBIENTAL SINA Recuperado de [http://cmap.upb.edu.co/rid=1195259861703\\_152904399\\_919/politica\\_educacion\\_amb.pdf](http://cmap.upb.edu.co/rid=1195259861703_152904399_919/politica_educacion_amb.pdf).
- Miranda, M. y Flores, A. 2013. Efecto del fotoperiodo en la remoción de plomo por *Lemna gibba* L. (Lemnaceae). Polibotánica, vol 36 (53-67).México.
- Monereo.C (1999).Estrategias de enseñanza y aprendizaje Formación del profesorado y aplicación en la escuela. Recuperado 04 de abril del 2015 de <http://www.terras.edu.ar/jornadas/119/biblio/79Las-estrategias-de-aprendizaje.pdf>.
- Moreno, D. Y Niño, L. (2012). Las plantas acuáticas como herramienta para la enseñanza de conceptos botánicos en educación no formal. (Licenciatura en biología). Universidad Pedagógica Nacional, Departamento de Biología. Bogotá, Colombia
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0100s/i0290s.pdf>.

- Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, FAO.(2000). Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia experiencias en américa latina. No 13. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). Agua para la alimentación, Agua para la vida. Una evaluación exhaustiva de la gestión del agua en la agricultura. Recuperado de [http://www.fao.org/nr/water/docs/ca\\_summary\\_es.pdf](http://www.fao.org/nr/water/docs/ca_summary_es.pdf).
- Organización Naciones Unidas. (2015). Agua Para un Mundo Sostenible. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002322/232272s.pdf>.
- Osorio, P. (2003). Sistemas de tratamiento de aguas domesticas empleados por la CVC en el sector rural del Valle del Cauca-Colombia. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales, 162-168.
- Otálora, A (2011) Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Bogotá. Colombia.
- Otálora, A. (2011). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño gandul (Magister en ingeniería ambiental). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería.
- Otálora, Y. (2010). Diseño de espacios educativos significativos para el desarrollo de competencias en la infancia. CS, 5, 71–96.
- Pacheco. M.(2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL). Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo, ISSN-e 1988-0928, N°. 3, 2008, págs. 39-57.
- Pérez, M. y Chavera, G. (2015). Diagnóstico de aguas manual de laboratorio. Universidad de Medellín, Colombia.
- Prieto, V. (1997). EL INSTITUTO PEDAGÓGICO NACIONAL Y LA EDUCACIÓN DE LA MUJER: 1927-1936. Revista Colombiana de Educación. Universidad Pedagógica Nacional Volumen N. (34).
- Ramírez. C, García. J, Hernán. C.(2004). Corporación autónoma regional del valle del cauca caracterización y modelación matemática del río cauca - pmc fase ii. Universidad

del Valle; Facultad de ingeniería escuela de ingeniería de recursos naturales y del ambiente.

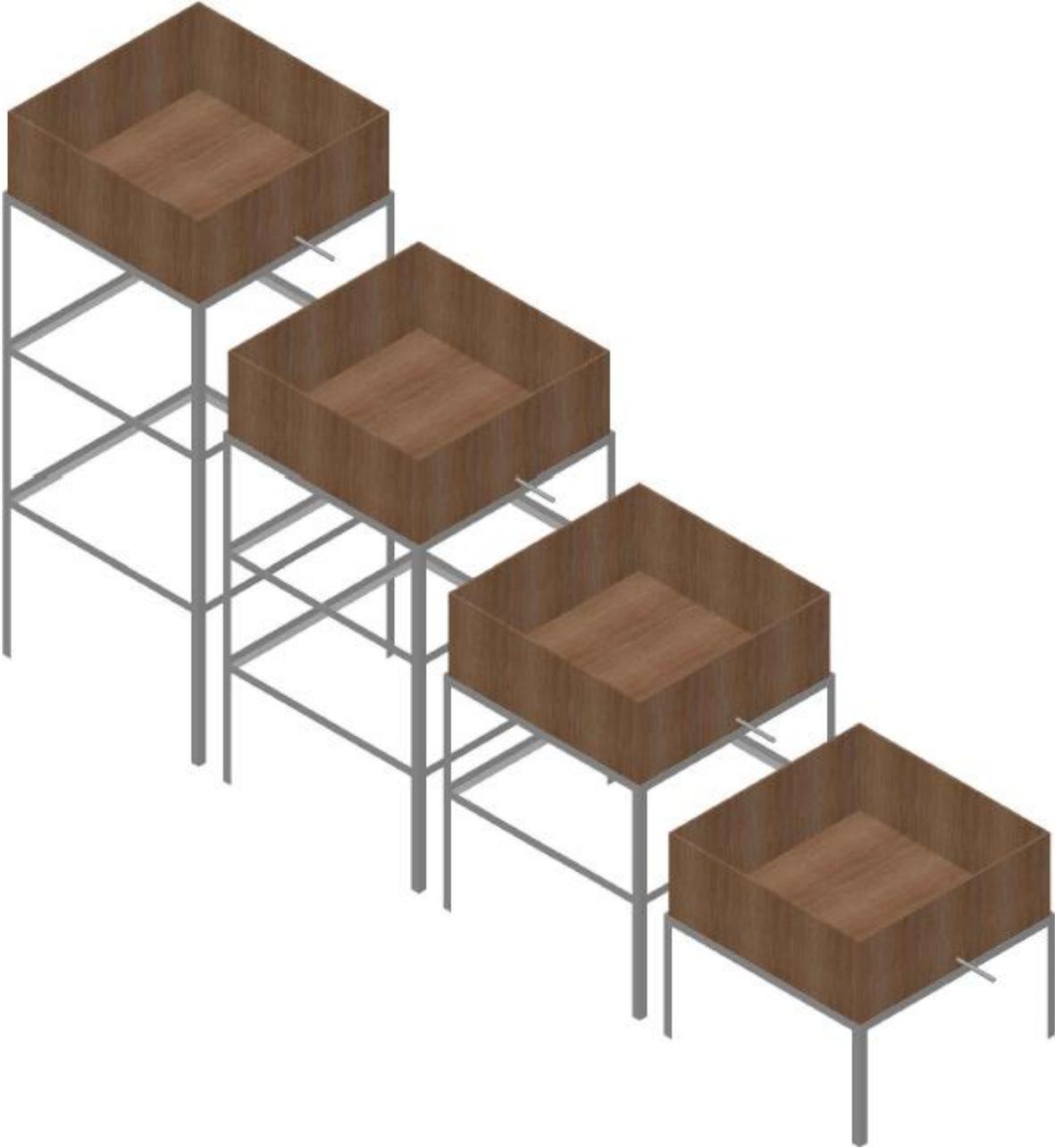
- Resolución Número 1207 DE 2014. por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. DIARIO OFICIAL 49242 miércoles 13 de agosto de 2014. Bogotá, Colombia.
- Rodriguez, T. & Ospina, I. (2005). Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá. [archivo PDF] Bogota D.C. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2332403>
- Roldan, G (2003) Bioindicacion de la calidad del agua en Colombia. Universidad de Antioquia.
- Roldan, G. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia.
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2005). política humedales de del distrito capital. Recuperado de [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=b3186a1c-c2a6-4cae-8e85-3eaecfee4fb7&groupId=55886](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=b3186a1c-c2a6-4cae-8e85-3eaecfee4fb7&groupId=55886).
- Sesento, L. (2008). Modelo sistémico basado en competencias para instituciones educativas públicas (Tesis doctoral). CIDEM, Morelia, Michoacán.
- Silva. A y Zamora H. (2005). Humedales Artificiales. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura Departamento de Ingeniería Química.
- Sistema de información ambiental de Colombia. (2016). Oferta del agua. Colombia: Ministerio de Medio Ambiente. recuperado de <http://www.siac.gov.co/ofertaAgua.html>.
- Smits, P. (2005). Phytoremediation. Recuperada de: Annual Review of Plant Biology, Vol. 56 (15-39).
- Torres, A., Mora, E., Garzón., Ceballos, N. (2013). Desarrollo de Competencias Científicas a Través de la Aplicación de Estrategias Didácticas Alternativas. un Enfoque a Través de la Enseñanza de las Ciencias Naturales.

- Torres. P, Cruz. H, Patiño. P. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Rev. ing. univ. Medellín vol.8 no.15 suppl.1 Medellín.
- Tovar. J & García. G. (2012). Investigación en la práctica docente universitaria: obstáculos epistemológicos y alternativas desde la Didáctica General Constructivista. Educ. Pesqui., São Paulo, v. 38, n. 04, p. 881-895.
- UNESCO. (2006). El agua, una responsabilidad compartida. Francia: WWPA. Obtenido de informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo.
- UNESCO. (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015 . Italia: WWAP. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002322/232272s.pdf>.
- UNESCO-WWAP (2003). WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE Executive Summary of the UN World Water Development. (Report First published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) Recuperado de <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>.
- United States Environmental Protection Agency Office of Water Washington, D.C (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo libre superficial.
- Van der Hammen, Stiles, G., Rosselli. L, Chisacá. M, Camargo, G., Guillot. G, Useche. Y, Salvador, D. PROTOCOLO DE RECUPERACIÓN Y REHABILITACIÓN ECOLÓGICA DE HUMEDALES EN CENTROS URBANOS. (2008.) Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá D.C.
- Vargas, O., Díaz, A., Díaz, E., Pinzón, Y., Camelo, L., Caro, A., y Ramírez, P. (2012). Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá.
- Velázquez, J. 1994. Plantas acuáticas vasculares de Venezuela. Universidad central de Venezuela, Caracas, 992 pp.
- Yocum, D. Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración. Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara.

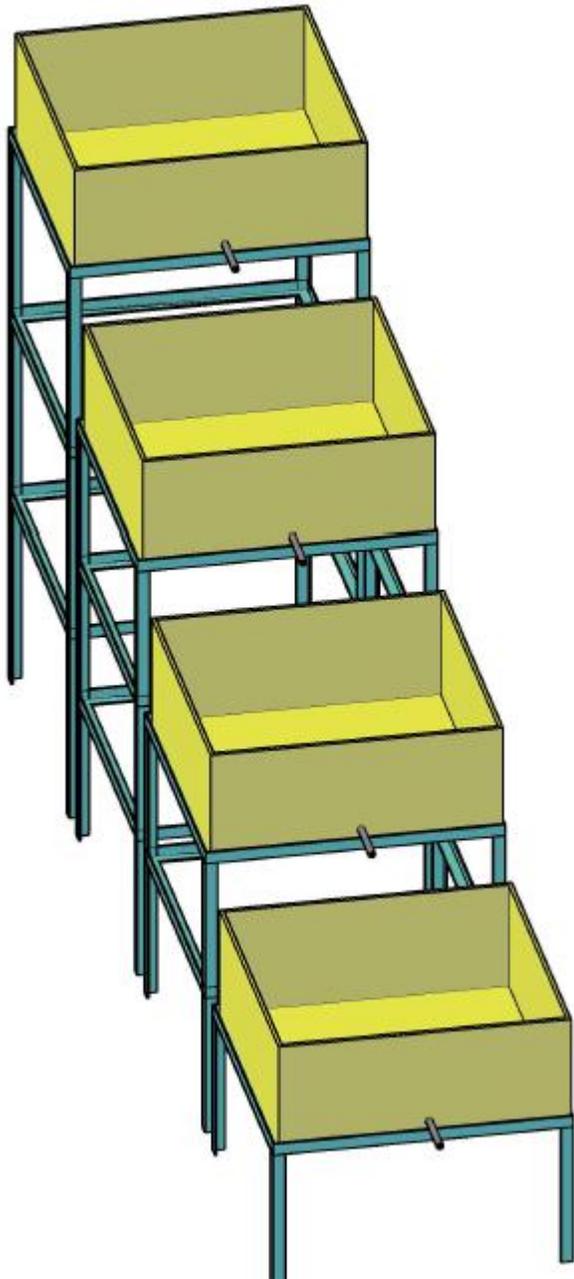
- Zapata, A (2014). Humedales artificiales; una propuesta para la mitigación de la, contaminación hídrica de la quebrada la nutria, de los cerros orientales de Bogotá D.C. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Colombia.

**Anexos**

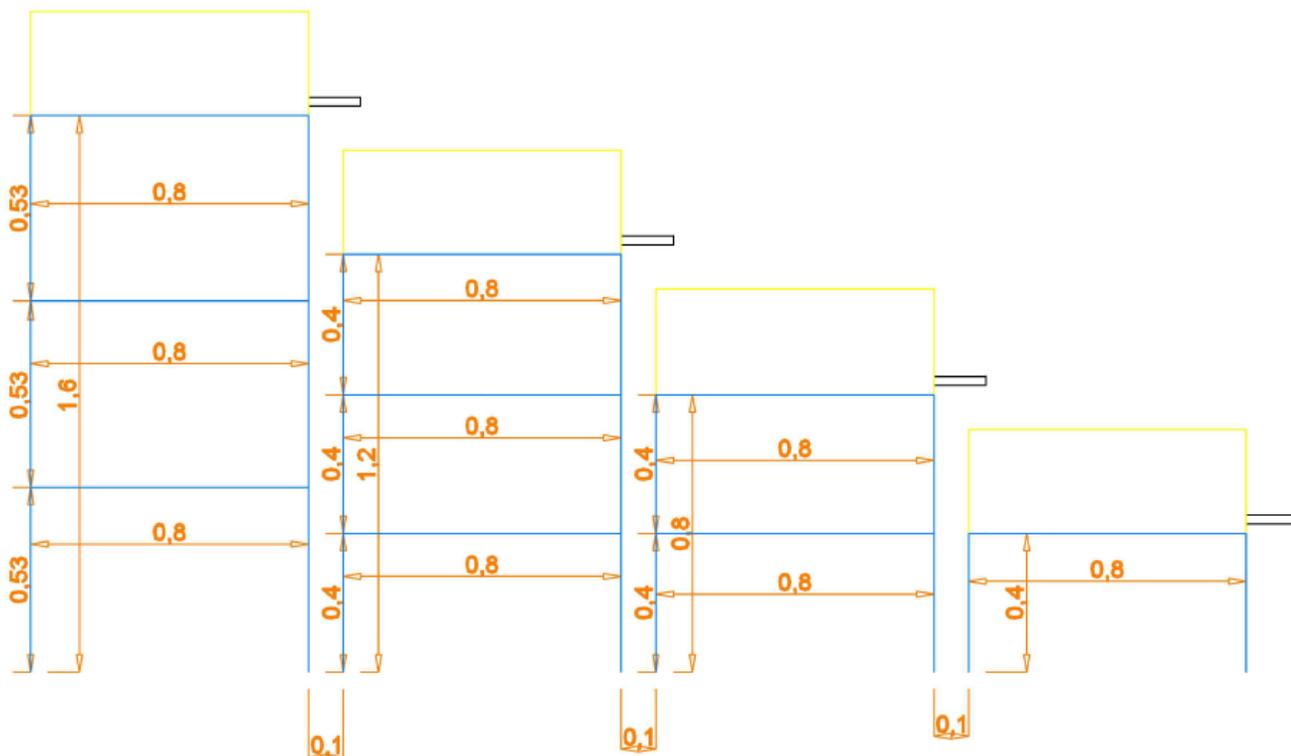
ANEXO 1 Plano en 3D, estructura del modelo de Humedal Artificial



ANEXO 2 Plano en 3D, vista frontal estructura Humedal Artificial



### ANEXO 3 Plano a escala Estructura Humedal Artificial



ANEXO 4 Presupuesto, presenta el registro de los costos de la construcción del modelo

Materiales	Valor
tiras de ángulo de 1" por 1/8	\$ 130.500,00
aglomerado de 9 mm dos laminas (1,22mx2,44m)	\$ 90.000,00
acarreo madera y ángulos	\$ 30.000,00
resina, estileno ,mat,gel coat	\$ 69.136,00
estireno	\$ 6.766,00
brocha y rodillo	\$ 6.200,00
resina	\$ 27.492,00
Rodillo	\$ 3.000,00
resina	\$ 27.492,00

disco de corte	\$ 4.500,00
brocha y rodillo	\$ 8.000,00
resina y estireno	\$ 24.360,00
kilo de soldadura	\$ 9.000,00
flanche taque, hembras PVC, brocha	\$ 20.100,00
llaves plásticas , tubos de PVC	\$ 25.000,00
kilo de soldadura	\$ 9.000,00
plástico negro	\$ 25.000,00
silicona	\$ 2.000,00
pintura blanca	\$ 5.000,00
hembras PVC	\$ 4.000,00
pinceles , marcadores	\$ 6.000,00
Plástico	\$ 10.000,00
Graba	\$ 5.000,00
Total	\$ 547.546,00

Anexo 5 Imágenes sobre las propuestas de sistemas de tratamiento de aguas Grupo Énfasis

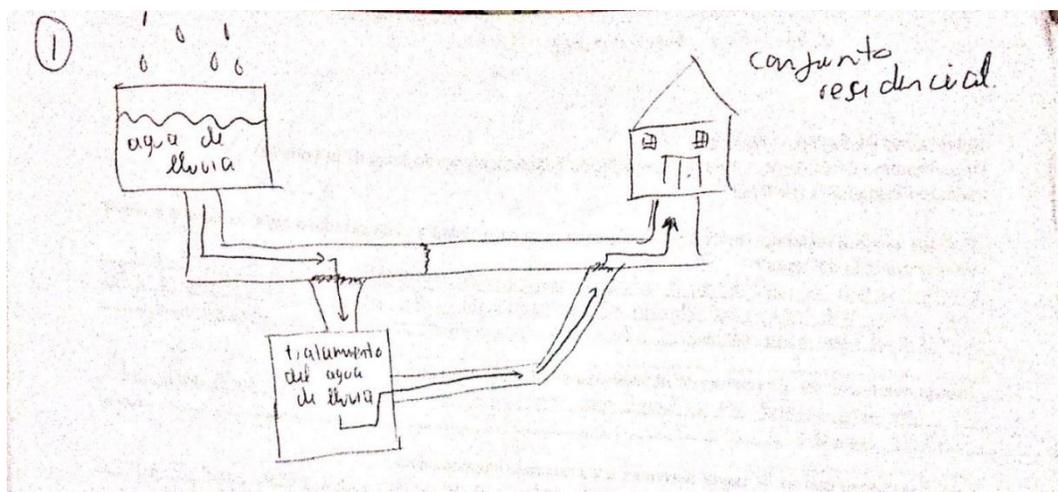


Imagen 27 Propuesta de tratamiento de agua lluvia



Imagen 28 Propuesta de tratamiento de agua lluvia en la terraza de un casa

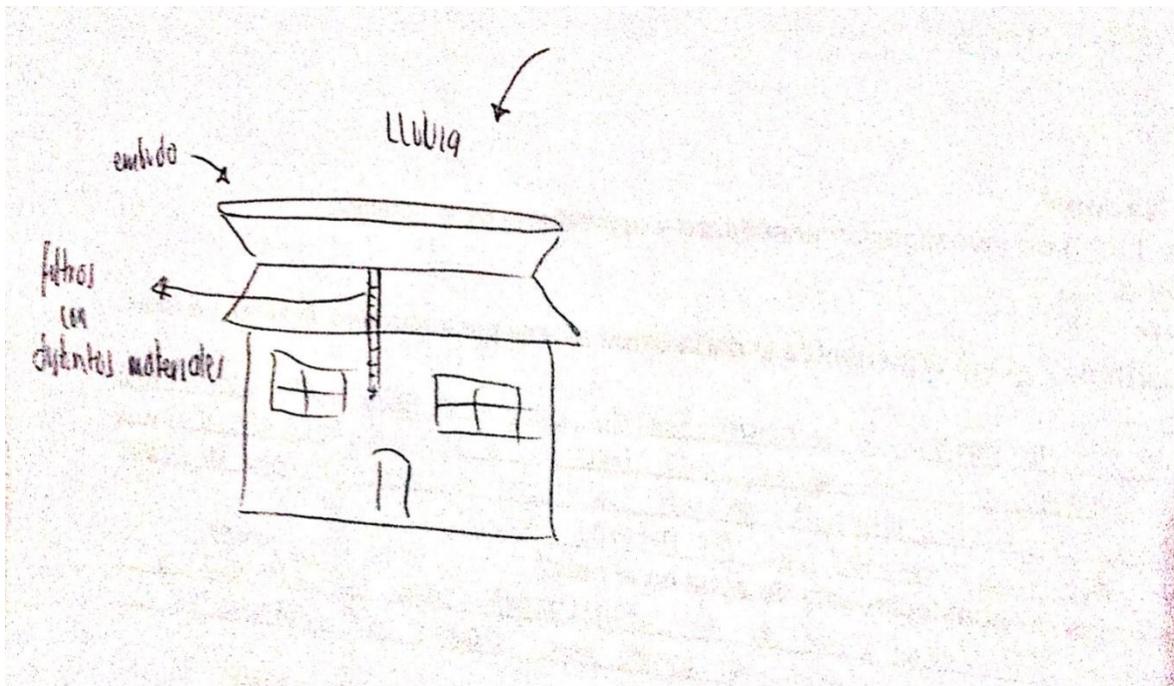


Imagen 29 Propuesta de tratamiento de agua lluvia unicamente con el uso de sustratos como grava

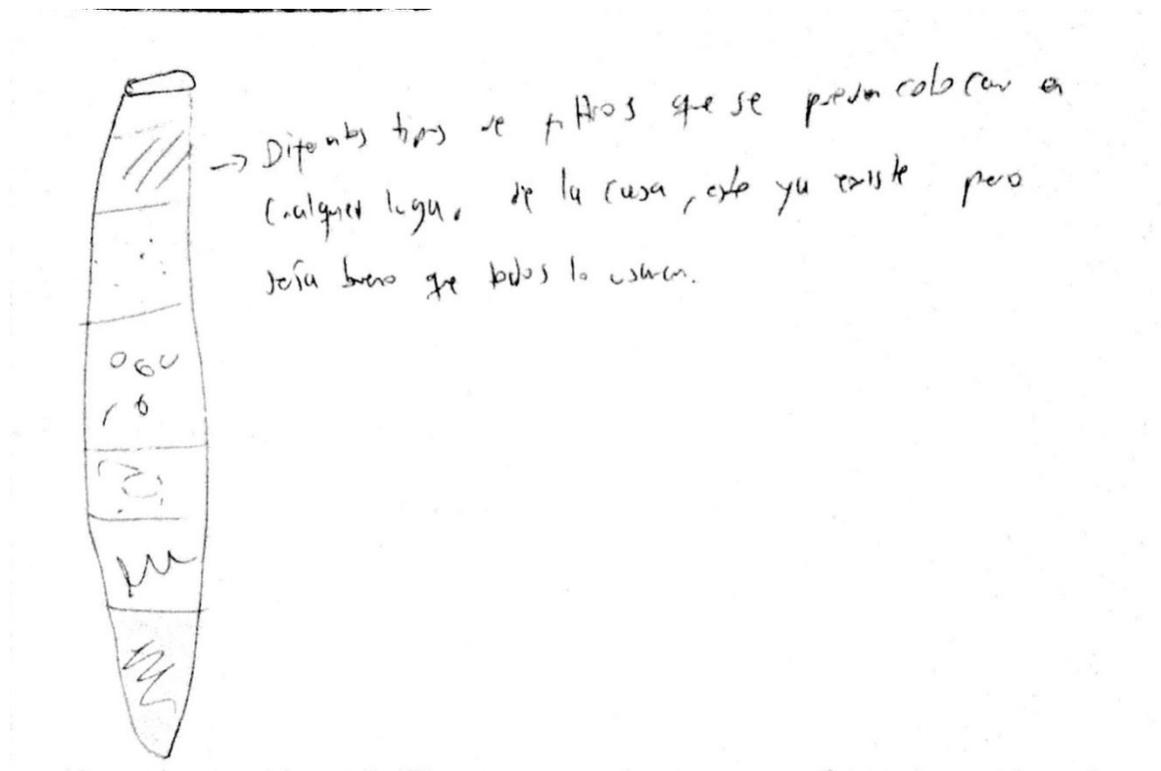


Imagen 30 Propuesta de sistema vertical que ahorra espacio y solo con el uso de sustratos

ANEXO 6 Imágenes sobre el cuidado del agua



Imagen 31 resalta la importancia del agua para la vida

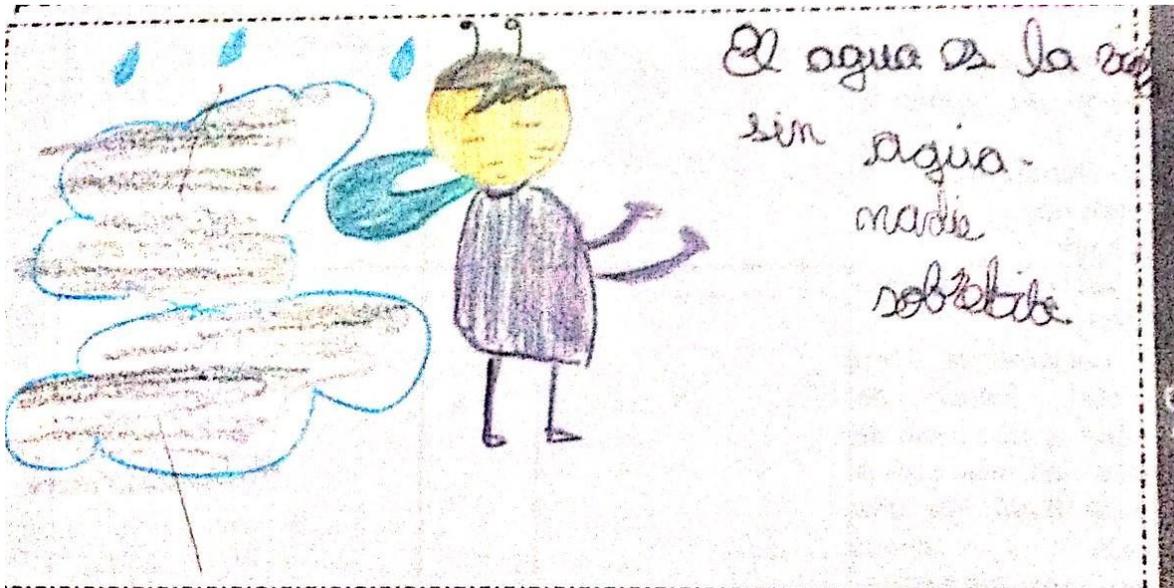


Imagen 32 imagen que muestra la descripción del dibujo

Luego de ver el cortometraje de la abuela grillo, expresa por medio de un dibujo lo ocurrido en esta historia.

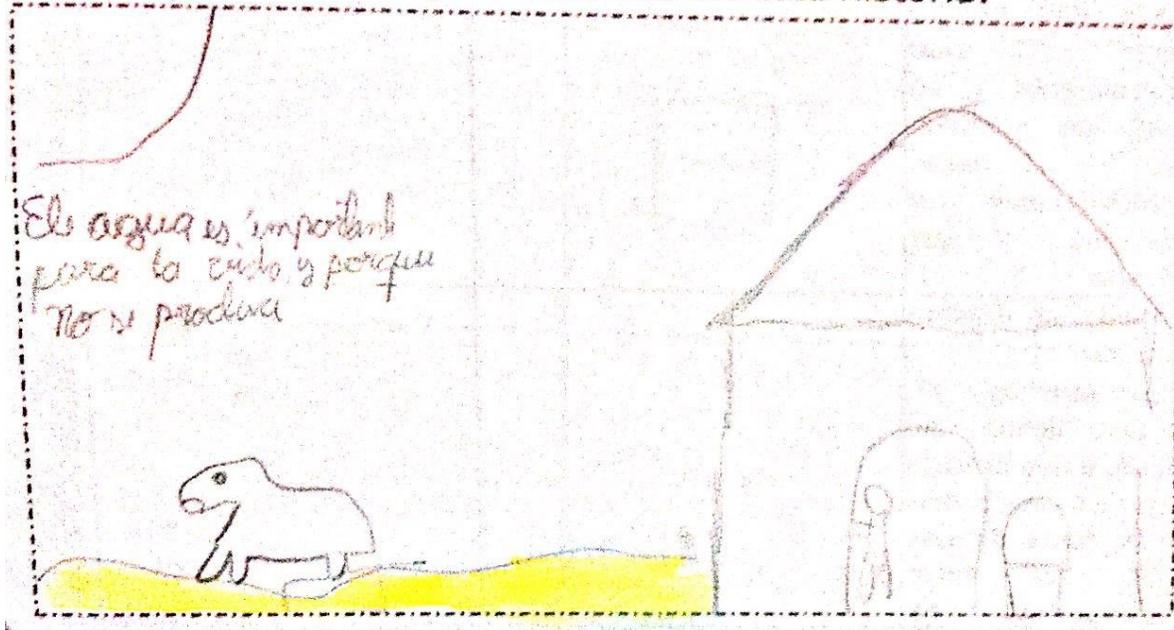


Imagen 33 se expresó gráficamente la importancia del agua para los seres vivos



Imagen 34 Expresa la importancia del agua

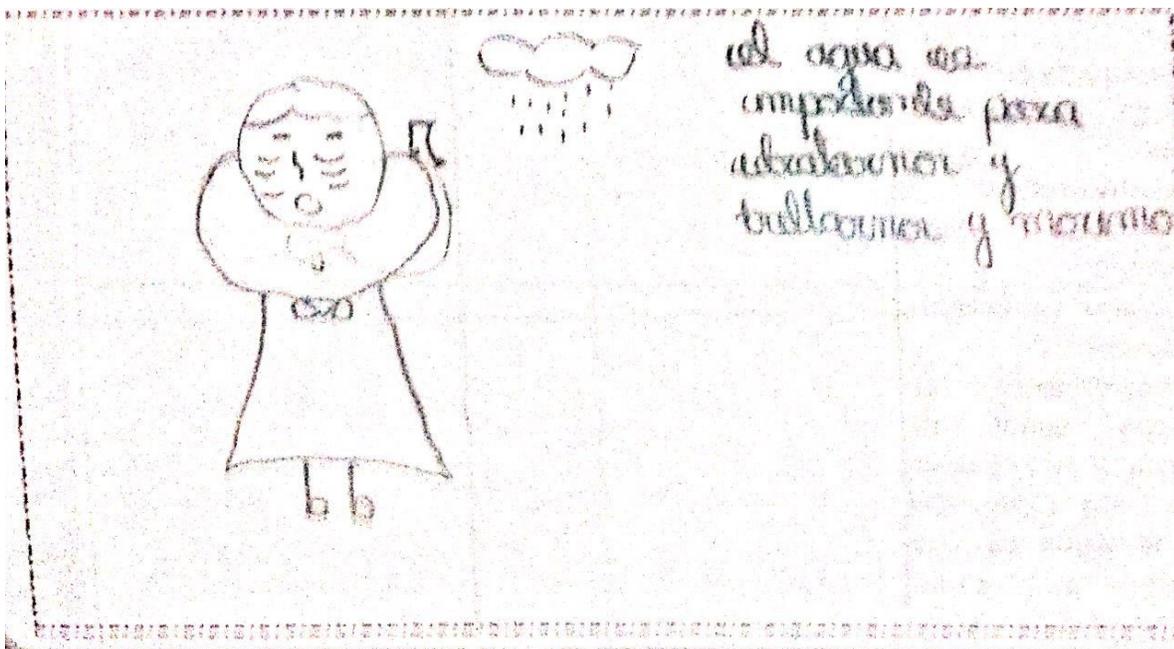


Imagen 35 Anota que sin el agua no hay vida

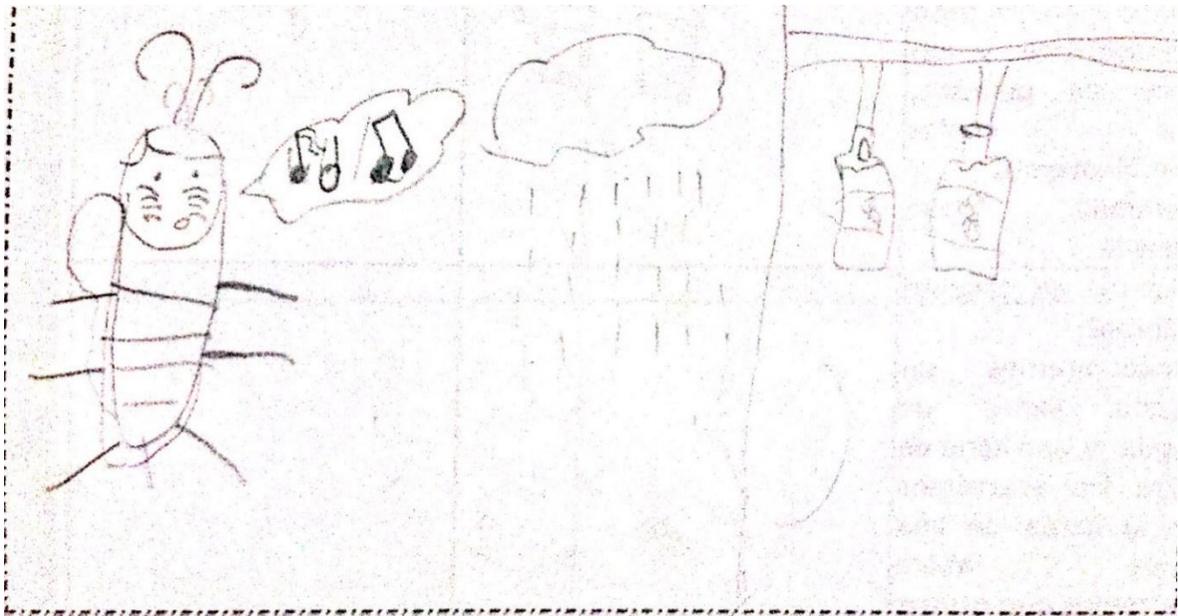


Imagen 36 El estudiante en su dibujo demuestra las problemáticas que evidencia sobre el agua

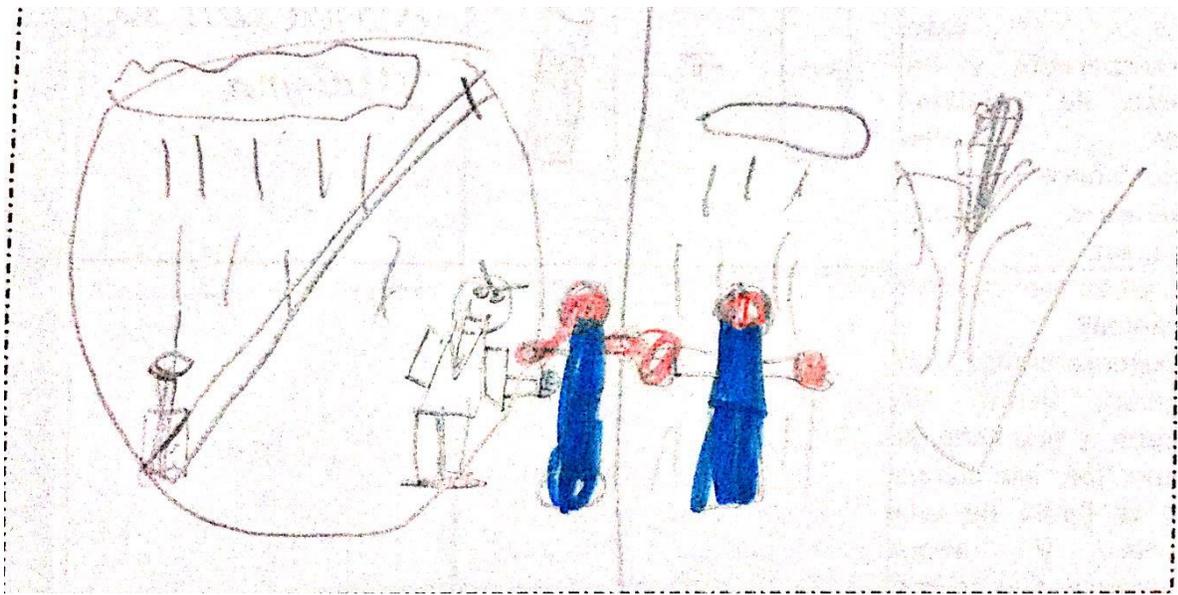


Imagen 37 El estudiante resalta los aspectos positivos y negativos sobre el cuidado del agua



Imagen 38 En su dibujo expresa aspectos del video que hacen relevancia a la importancia del agua.

ANEXO 5 Dibujos del Humedal Artificial luego de realizar el ejercicio de observacion del mismo

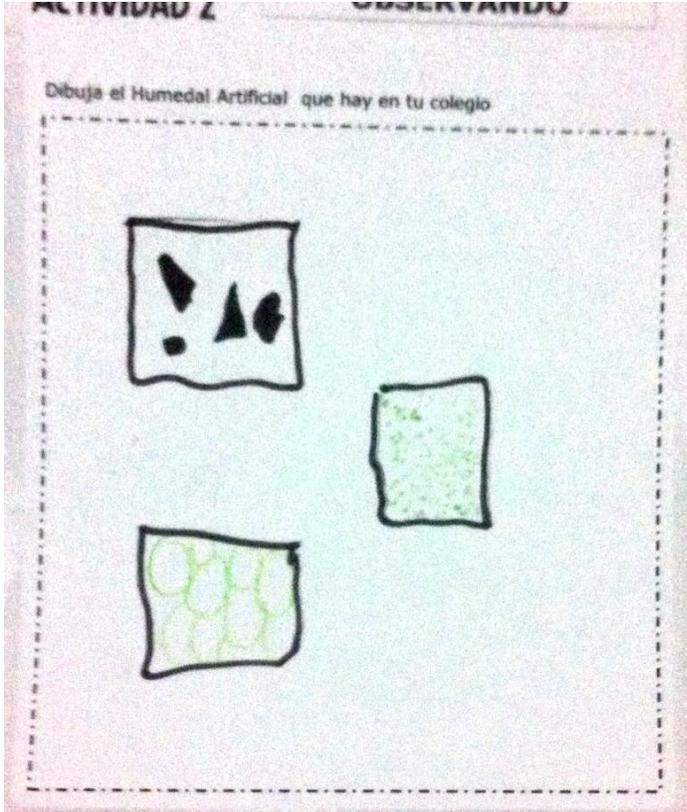


Imagen 39 Dibujo que muestra algunos de los tanques con plantas

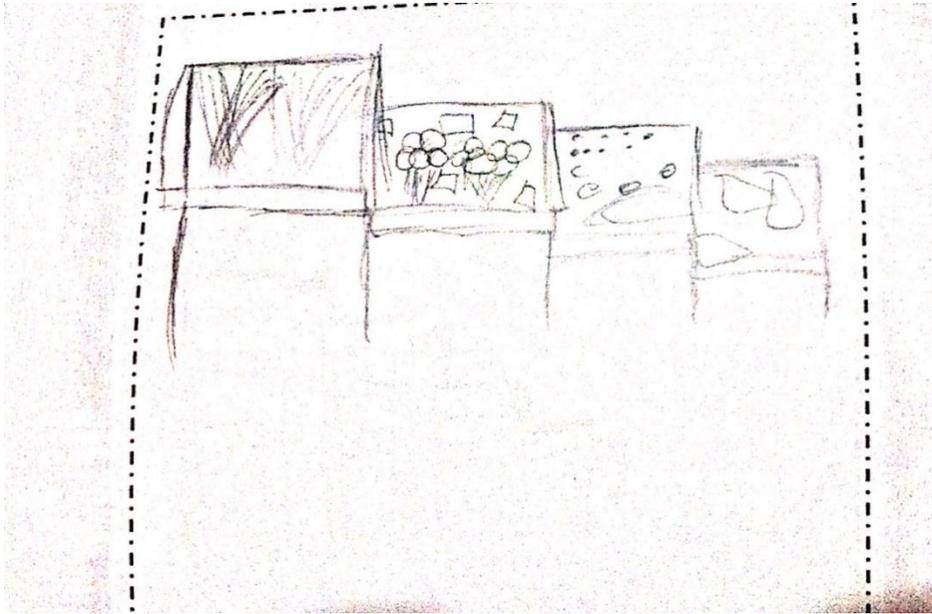


Imagen 40 Imagen de la estructura y plantas encontradas en el Humedal Artificial

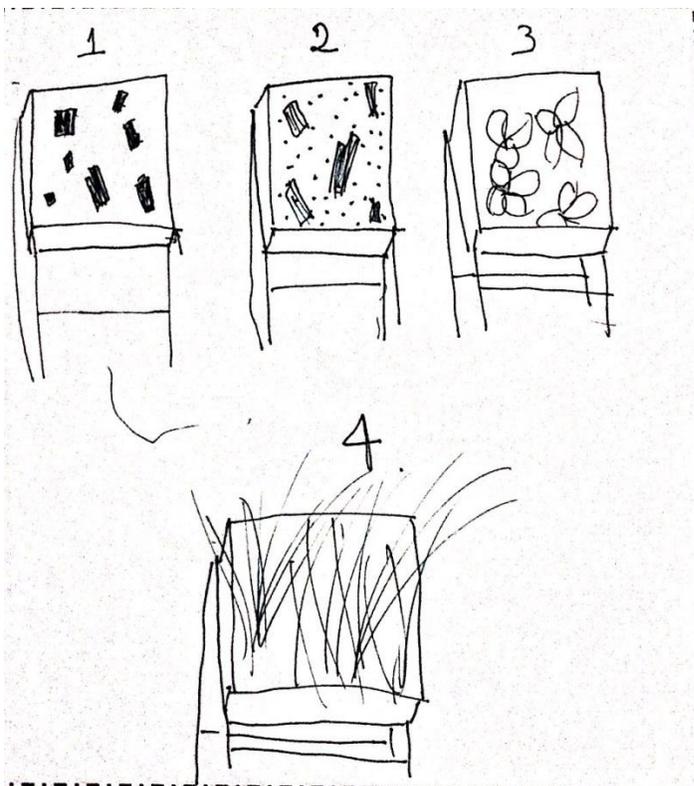


Imagen 41, Imagen que evidencia el tipo de plantas encontradas en cada una de las terrazas del Humedal Artificial.

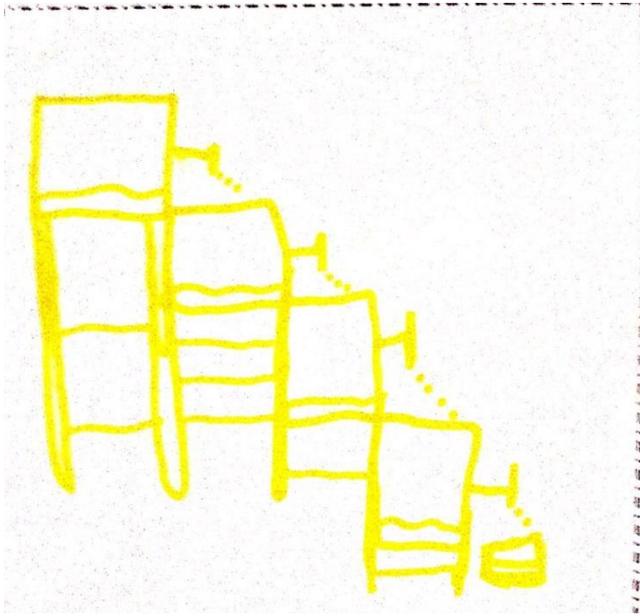


Imagen 42, Refleja solo la estructura pero no las plantas acuáticas.

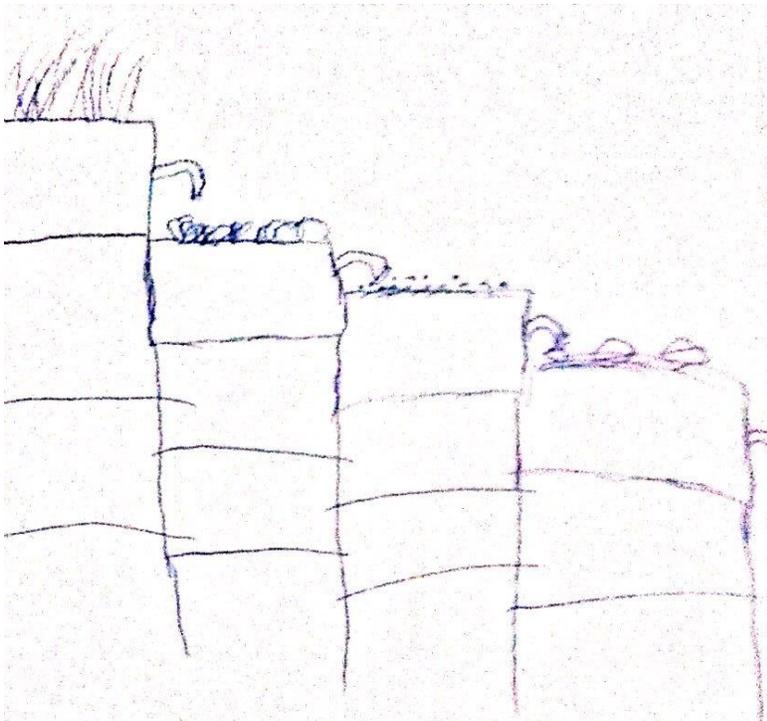


Imagen 43, Expresa en su dibujo la estructura del Humedal Artificial y las plantas allí presentes.

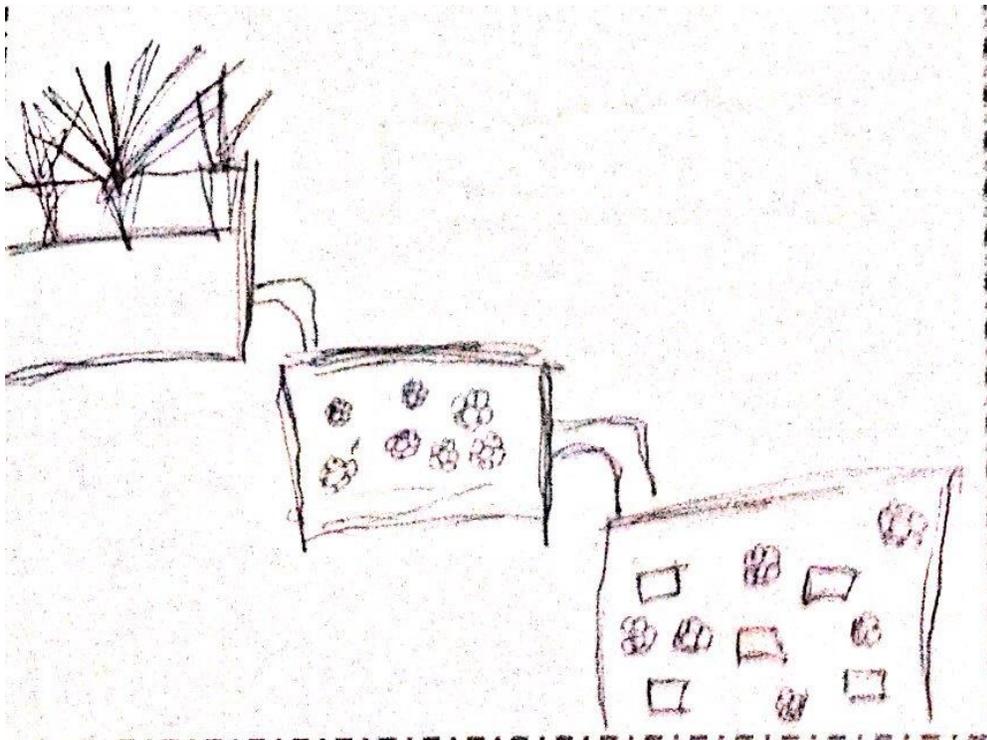


Imagen 44, Solo dibuja 3 de los tanques.

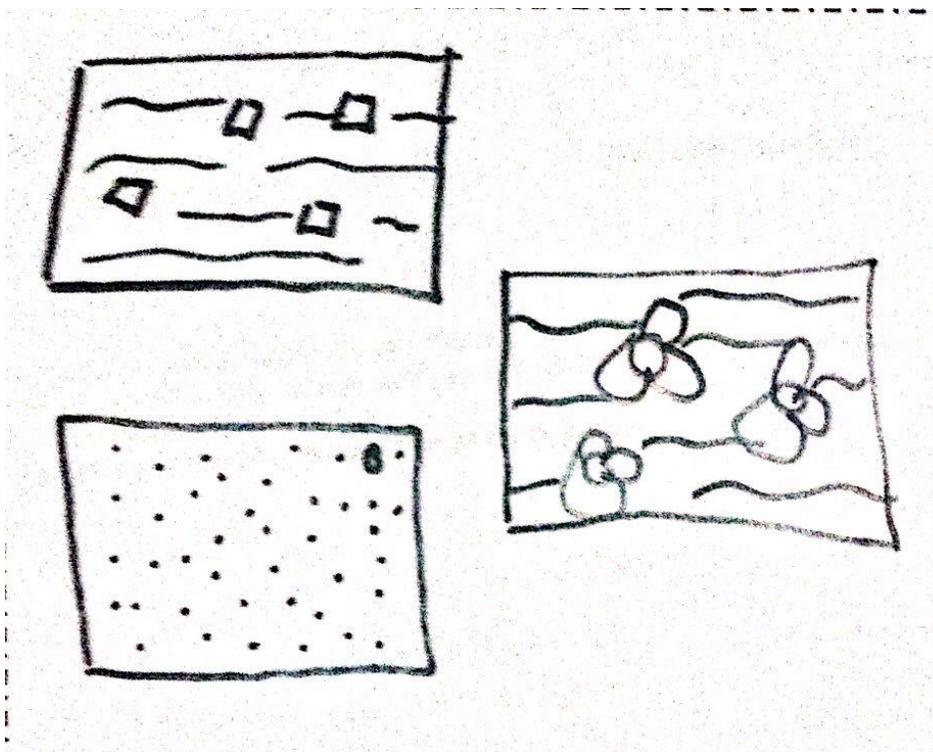


Imagen 45, Dibuja 3 tanques con las plantas observadas en cada uno.