

**El humedal artificial como material educativo
para la enseñanza de la fitorremediación con
Buchón de Agua (*Eichhornia crassipes*) en
sistemas acuáticos dirigido a los maestros de
biología del Distrito**

Cindy Vanesa Muñoz Trujillo

Seidy Katherinne Novoa Pardo

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Biología

Bogotá D.C.

2018

**El humedal artificial como material educativo
para la enseñanza de la fitorremediación con
Buchón de Agua (*Eichhornia crassipes*) en
sistemas acuáticos dirigido a los maestros de
biología del Distrito**

Cindy Vanesa Muñoz Trujillo

Seidy Katherinne Novoa Pardo

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Licenciado (a) en Biología

Director (a):

Ibeth Paola Delgadillo Rodríguez

Línea de Investigación La Ecología en la Educación Colombiana
Grupo de Investigación CASCADA.

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Biología

Bogotá D.C.

2018

*Este trabajo es dedicado a mi Dador de Sueños y forjador de caminos **DIOS**.
A mí admirable **MADRE**, mi motor, la mujer más esforzada y valiente que he conocido.
A mis **ABUELOS**, por ser mis ejemplos de vida, lucha, fortaleza y persistencia.
A mi amada **Universidad Pedagógica Nacional**, la casa de maestros, mi casa.
-Katherinne.*

*Este trabajo se lo dedico inicialmente a **DIOS** por darme la oportunidad de vivir.
Agradezco a mi **FAMILIA** por siempre acompañarme en todos los momentos, pero quiero
agradecer especialmente a mi **padre Jairo Antonio Muñoz Pineda**, quien ha sido mi punto
de apoyo en todo momento.
A **Arturo Acosta Sánchez** por ser aquella persona que busca siempre lo mejor para mí.
-Cindy.*

*“Mientras enseño continúo buscando,
indagando. Enseño porque busco, porque
indagué, porque indago y me indagó. Investigo
para comprobar, comprobando intervengo,
interviniendo educo y me educo. Investigo para
conocer lo que aún no conozco y comunicar o
anunciar la novedad.”*

Paulo Freire.

Agradecimientos

El primero en mi lista siempre es y será DIOS, aquel padre y amigo que con amor me sostuvo y me llevó a alcanzar este sueño. A mi madre Lilia Yolanda Pardo Gonzáles por ser mi inspiración día a día, acompañarme paso a paso en este proceso y ser quien jamás dejó de creer en mí. A mi hermano Nicolás Guio Pardo por enseñarme a soñar en alto, sin importar la circunstancia. A mi segunda familia Jorge Alfredo Usme Moreno, Sara Isabel Pardo Gonzáles y Diana Yelitza Usme Pardo, por brindarme su apoyo y valentía siempre que lo necesité. A mis Abuelos Marco Tulio Pardo y Felisa Gonzáles por enseñarme el incalculable valor de la perseverancia en la vida.

A mi compañera de trabajo y aventuras Cindy Vanesa Muñoz Trujillo, por construir y asumir juntas este gran reto no como un obstáculo, sino como una oportunidad de ser mejores.


Quiero agradecer a mi padre Jairo Antonio Muñoz Pineda por siempre estar pendiente de mí y brindarme su apoyo en todo momento; a mi madre Soraya Trujillo Peralta por estar conmigo en este proceso de crecimiento académico, a mi hermano Juan Camilo Muñoz Trujillo acompañarme en cada momento, a mi compañero de vida Arturo Acosta Sánchez por siempre llevarme a mis límites logrando explorar las mejores cualidades de mí.

Finalmente, quiero dar gracias a Katherine Novoa Pardo por ser una persona agradable y sencilla con quien fue posible cumplir este gran reto.

A Ibeth Paola Delgadillo Rodríguez, por ser una maestra y directora intachable, por contagiarnos de su alegría en los días más grises y sacar a flote la mejor versión de nosotras.


A Francisco Medellín Cadena por su gran espíritu de servicio y por compartir su tiempo disposición durante de la realización de este trabajo.

Finalmente, a nuestra Universidad Pedagógica Nacional por enseñarnos a amar y defender la educación pública como algo nuestro y de todos. Pero, sobre todo, por darnos el privilegio de formarnos como maestras y profesionales que siempre creerán en la educación como la mejor arma de transformación de toda sociedad.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 14	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	El Humedal Artificial como material educativo para la enseñanza de la Fitorremediación con buchón de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) en sistemas acuáticos dirigido a los maestros de biología del Distrito
Autor(es)	Muñoz Trujillo, Cindy Vanesa y Novoa Pardo, Seidy Katherinne.
Director	Delgadillo Rodríguez, Ibeth Paola
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2018. 152 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	HUMEDAL ARTIFICIAL, FITORREMEDIACIÓN, MATERIAL EDUCATIVO, MAESTROS EGRESADOS DE BIOLOGÍA.

2. Descripción
<p>El presente trabajo de grado tuvo como propósito la enseñanza de la Fitorremediación a través de la elaboración de un Humedal Artificial principalmente con Buchón de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) como material educativo, que permitiera la comprensión de la dinámica de los sistemas acuáticos dirigido a los maestros egresados de la Licenciatura de Biología de la Universidad Pedagógica Nacional.</p> <p>Teniendo en cuenta que Colombia es un país con una gran biodiversidad y una considerable cantidad de recursos hídricos, es cada vez más evidente que los cuerpos de agua y principalmente los humedales han venido siendo afectados y deteriorados debido al desconocimiento e inadecuado manejo de los mismos a lo largo del tiempo. Aunque es un tema apremiante, para los ciudadanos puede resultar en muchas ocasiones distante y ajeno a su misma realidad. Por tal razón, se propuso un material educativo para maestros y maestras egresados de la licenciatura en biología de la Universidad Pedagógica Nacional, para la enseñanza de las complejas dinámicas de los sistemas acuáticos relacionadas ampliamente con la Ecología en la Educación Colombiana.</p> <p>El material educativo compuesto por el Humedal Artificial con la macrófita Buchón de agua (<i>Eichhornia c.</i>) y los talleres teórico-prácticos que se articulan alrededor del mismo, conforman en conjunto el (HAFIT), el cual contiene temáticas relevantes e innovadoras a la hora de enseñar en las la dinámica de los humedales naturales como sistemas acuáticos relacionándolo a los procesos que suceden un humedal artificial económico y sencillamente diseñado por el maestro para ser constantemente abordado en sus clases de ciencias.</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 14	


Para ello fue necesario realizar prácticas experimentales con el Buchón de agua como parte de un humedal artificial, evaluando su eficiencia como organismo fitorremediador, a partir de ello plantear talleres teórico-prácticos con el humedal artificial como material educativo, que permitiesen la comprensión del proceso de Fitorremediación con macrófitas, y finalmente validar el material educativo con un grupo de maestras egresadas de biología en la ciudad de Bogotá, reconociendo la Fitorremediación como eje de reflexión acerca del uso e importancia de los humedales como recursos hídricos

En esta medida se encontró finalmente que el Buchón de agua es un organismo fitorremediador, proceso que puede ser evidenciado por medio del Kit Millipore de Merck, detección de Nitratos en la planta por medio de la prueba con Difenilamina, pruebas de cromatografía con pigmentos de la hoja y el estudio morfológico de la planta; las cuales en conjunto pueden constituir una manera de abordar la fitorremediación en diversos contextos educativos. Lo anterior se vincula en un material educativo que contribuye a los maestros de biología de tal forma, que cuenten con una alternativa de enseñanza en la escuela, en la cual se hacen partícipes activos dentro de la apropiación de los recursos hídricos como derecho y deber de los ciudadanos.


3. Fuentes

Para la realización del trabajo de grado se tuvo en cuenta la siguiente lista de fuentes bibliográficas, las cuales brindaron la información necesaria para la elaboración del humedal artificial, la ruta metodológica y la retroalimentación en la discusión de los resultados. Para cumplir lo anterior se consultaron fuentes magnéticas, artículos, trabajos de grado, tesis de maestría, monografías, portales web y libros relacionados:

- Agudelo, L. M., Macías, K., & Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 57-60.
- Aguirre, I. (2012). Los procesos indagatorios como estrategia pedagógica para fomentar actitudes científicas en estudiantes de secundaria mediante la técnica de Fitorremediación de zinc y níquel. Bogotá: Trabajo de grado.
- Álzate Ríos, H. F. (2010). Diseño y creación de un material educativo computarizado (Yaku 1.0) referente a la temática del agua y su gestión integral. *Revista de investigaciones*, 89-98.
- Andersen, Ra. [ed.] 2005. *Técnicas de cultivo de algas*. Elsevier, Amsterdam, 578 pp.
- Arias, S., Ferney, B., Gómez, G., Salazar, J., & Hernández, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Revista Sena*, 12-22.


 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Calidad en la Educación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 14	

- Alvarado, L. y García, M. (2008) Características más relevantes del paradigma socio-critico: su aplicación en investigaciones de educación ambiental y de enseñanza de las ciencias realizadas en el Doctorado de Educación del Instituto Pedagógico de Caracas. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, No. 2 Año 9.
 - Ausubel, Novak y Hanesian. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Editorial trillas.
 - Ausubel, D. (1963), *Teoría del Aprendizaje Significativo*. Recuperado de http://delegacion233.bligoo.com.mx/media/users/20/1002571/files/240726/Aprendizaje_significativo.pdf
 - Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2008). *Fisiología Vegetal*. Barcelona: Mc GrawHill.
 - Badillo, L., Carvajal, C., Plata, D., & Fernández, D. (2016). Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque. *Revista de Tecnología | Journal of Technology*, 161-170.
 - Begon, M., Harper, J., & Townsend, C. (1999). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Omega.
 - Berdugo M., Betancourt A., Maldonado A. y Garzón J. (2003). Evaluación y dinámica de uso del recurso hídrico en el corregimiento de Barú (Cartagena, Bolívar, Colombia). *Universidad Nacional de Colombia. Acta Biológica Colombiana*, Vol. 9 No 1. Bibliografía de la matriz de revisión documental CIUP
 - Bravo, N. (2018) El concepto del taller. *Acreditación Unillanos*. Consultado el 22 de junio del 2018
http://acreditacion.unillanos.edu.co/CapDocentes/contenidos/NESTOR%20BRAVO/Segunda%20Sesion/Concepto_taller.pdf
 - Bécares, E. (2004) *Ecología de lagunas y humedales*. Asociación Española de Ecología terrestres. *Ecosistemas, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. Recuperado de: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=184>
 - Beltrán, M. & Borrero, L. (2012) Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte. *CIENCIAS – QUÍMICA. Revista Tumbaga* 2012 | 7 | 73-99
 - Buitrago, N. (2011). El humedal madre vieja, un laboratorio para el aprendizaje

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Realidad en Formación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 14	


significativo y el desarrollo de habilidades de pensamiento. Arauca .

- Cárdenas, J., Coronel, E., Mezarina, C., & Ñaupari, F. (s.f.). Boletín N° 5. Medios y Materiales Educativos en el Aula. Huancayo: Universidad Continental.
- Carreño, U., & Granada, C. A. (2015). Diseño, desarrollo y evaluación de una tecnología de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando la Eichhornia crassipes para el tratamiento aguas contaminadas con cromo. Bogotá.
- Castillo, F. (2005). Biotecnología ambiental. Madrid: Tebar.
- Castiblanco, A., Vargas, C., Moyano, E., Medellín, F., Ojeda, G., Jiménez, H., Gómez, S. (2016) Encuentro de experiencias: Relatos sobre enseñanza de la biología a través de trabajos prácticos. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Centro Nacional de Conservación y Restauración. (2014). Prueba de Difenilamina a la Gota para detectar Nitrato de Celulosa en los Objetos de Museo. Notas del ICC, 1-2.
- Celis, G. (2013). Diseño e implementación de una estrategia didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de la Biotecnología aplicada a temas ambientales: un estudio de caso con alumnos de grado décimo de la Institución Educativa Sol de Oriente. Medellín.
- Cerdeira, S., Saenz, L., & Haim, L. (2018). Proyecto de fitorremediación en el laboratorio escolar. Buenos Aires.
- Contreras, R. (2012). Ontología y epistemología cyborg: representaciones emergentes del vínculo orgánico entre el hombre y la naturaleza. Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad, 131-141.
- Contreras, E. (2013). El concepto de estrategia como fundamento de la planeación estratégica. Pensamiento y Gestión, 152-181.
- Combariza, D. (2015) Territorialidad, Apropiación e Integración desde los Espacios Hídricos. Colombia. Revista Aportes.
- Cubillo, J. (2011). Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos. Pereira.
- del Carmen, L. 2011. El lugar de los trabajos prácticos en la construcción del conocimiento científico en la enseñanza de la biología y la geología. En Camaño, A. (coord.). 2011. Didáctica de la Biología y la Geología. Formación del profesorado. Educación secundaria. 2 Vol. II. Barcelona: Grao.
- Delgadillo, I. (2014) Respuestas biológicas de Scenedesmus ovalternus y

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Realidad en Formación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 5 de 14	


Chlorella vulgaris inmovilizadas en alginato de calcio, ante diferentes concentraciones de nutrientes en condiciones de laboratorio. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

- Delgadillo, I. (2017). Presentación de propuestas de formación en investigación para semilleros, grupos de estudio y/o colectivos académicos. Bogotá.
- Delgadillo, A. González, C. Prieto, F. Villagómez, J. Acevedo, O. (2011) Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14: 597- 612. Sitio web: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación. (2007). Plan Nacional de Desarrollo. Bogotá: Norma Beatriz Solís Cárdenas.
- Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. (2010) Manual básico de piscicultura en estanques. Departamento de Acuicultura. Montevideo, Uruguay. MGAP-DINARA-FAO, 2 Recuperado de: http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1959_manual.pdf
- El Espectador. (11 de agosto del 2015). El Espectador: Más de 200 toneladas de mercurio son vertidas en suelo y agua de ríos: ENA. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/mas-de-200-toneladas-de-mercurio-son-vertidas-suelo-y-a-articulo-578403>
- El Espectador. (22 de marzo de 2017). El Espectador. Obtenido de <https://www.elespectador.com>
- Escuela de Bonsai (2015). Jacintos de agua - Eichhornia crassipes. España. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=XRTdOU0BjUw>
- Exiquim (2018). Analítica de aguas y alimentos. Kit de pruebas instrumentos y accesorios. FEA, Catálogos. MERK. Recuperado
- Franco, R., & Suárez, J. (2015). La Fitorremediación: una alternativa de educación en Química para la sustentabilidad ambiental. Bogotá.
- Gallego, J., Sánchez, J., Peláez, A., Garcia, M., Ortiz, J., & Torres, T. y. (2003). La biorremediación, frente al vertido del "Prestige". Medio Ambiente, 30 - 38.
- García, J. (2004). Investigaciones en Educación Ambiental. De la conservación de la biodiversidad a la participación para la sostenibilidad. Valencia: Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- García, J. (2012). La Fitorremediación de Mercurio como estrategia CTSA para el Desarrollo de habilidades argumentativas. Bogotá: Universidad Pedagógica

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Realidad en Formación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 6 de 14	


Nacional.

- Gerba C.P., Thurston J.A., Falabi J.A., Watt P.M. y Karpiscak M.M. (1999). Optimization of artificial wetlands design for removal of indicator microorganisms and pathogenic protozoa. *Wat. Sci. Tech.* 40, 363-368.
- Gidahatari. (octubre de 2018). Gestión Sostenible del Agua. Obtenido de Gestión integrada de recursos hídricos en cuencas: <http://gidahatari.com/se-es/consultoria>
- Góonzales, Á., & Perilla, L. (2015). 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. Bogotá.
- Guerrero, E., Sánchez, H., Álvarez, R. y Escobar, E. (1998). Una Aproximación a los humedales en Colombia. Fondo FEN Colombia. UICN. Bibliografía de la matriz de revisión documental CIUP.
- Guevara, M., & Ramírez Cando, L. (2015). Eichhornia crassipes, Su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 22 (2), 5-11.
- Gúzman, J. (2009). Modulo el agua, (Material educativo para la educación de los adultos) como parte del esquema curricular del modelo de educación para la vida y el trabajo (MEVYT) del Instituto Nacional de Educación para los Adultos. México.
- Granada, C., & Carreño, U. (2015). Diseño de un sistema de tratamiento a través de un filtro biológico y Biorremediación para las aguas contaminadas con metales pesados. *Revista Virtual Pro*.
- Hernández, M. (2004) La Biotecnología desde la perspectiva de la Educación Ambiental: análisis de las preconcepciones y creencias en la enseñanza secundaria. Diploma de Estudios Avanzados del Programa de Doctorado Interuniversitario de Educación Ambiental.
- IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo.
- Ingraham, L.J. y A.C. Ingraham. 1998. Introducción a la microbiología. Vol. 1. Trad. al español por J.J. Nieto, E. Quesada y A. Ventosa. Reverté. Barcelona, España.
- Jaramillo, M. D., & Flores, E. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Ecuador.
- Jiménez C. y Padilla C. (2010). Remoción de contaminantes orgánicos de

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 7 de 14	


aguas residuales indriales con Eichhornia crassipes o Jacinto de agua. (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.

- Jiménez, R. (2009). Medios y materiales: Concepto de Material Educativo. Visitado el 22 de junio del 2018 del sitio web: <http://rociomarilynjimenez.blogspot.com/2009/09/concepto-de-material-educativo.html>
- Knight, B. (2016) Eichhornia crassipes, la peligrosa flor invasora de la naturaleza. HipanTv. España. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=r7ID73sJKMs>
- Lancheros, A., y Vera G. (2011). La Fitorremediación en el tratamiento de Aguas Residuales para la Remoción de Cr VI: Aporte del trabajo experimental para la Apropriación del Lenguaje Científico. Tesis de licenciatura no publicada. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- López, J., Vásquez, V., Gómez, L. y Priego, A. (2009). Humedales. Veracruz
- Exxon Valdez. Revista Escuela de Minas de Madrid, publicación tecnológica y docente de la Escuela de Minas de Madrid, 2004 Vol. 1, pp. 72-76. Consultado el 24 de marzo del 2017 de: http://oa.upm.es/3432/2/TORRES_ART_2003_05.pdf
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. Ingeniería y Ciencia, 221-243.
- Martínez, A. (S.F). Lecciones para diferenciar: Conceptos, Historias y Debates. Bogotá: Catedra doctoral.
- Martínez, A. y Ríos, F. (2006). Los Conceptos de Conocimiento, Epistemología y Paradigma, como Base Diferencial en la Orientación Metodológica del Trabajo de Grado Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. Cinta moebio 25: 111-12. <http://www.facso.uchile.cl/publicaciones/moebio/25/martinez.htm>
- Magnetti, R. (s.f.). Trabajos Prácticos de Química. Ediciones Personales.
- Manzanal, F. y Jiménez, C. (1995) La enseñanza de la ecología. un objetivo de la educación ambiental. Departamento de Ecología de la Universidad de Santiago de Compostela. La Coruña. Investigación y Enseñanza de las Ciencias.
- Maldonado, J. (2013) Capítulo 15: Asimilación del Nitrógeno y Azufre. Fisiología Vegetal. P. 287- 303.
- Malacarne, F. (2008). Biotecnología, educación y desarrollo sostenible.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Realidad en Formación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 8 de 14	


Ciência-Tecnologia- Sociedade no Ensino das Ciências – Educação Científica e Desenvolvimento Sustentável (Aveiro), 117,122, 3810-193.

- Martín, L. (2000). Los trabajos prácticos. En J. Perales, & P. De León, Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias (págs. 267-288). España: Marfil.
- Marqués, P. (2011) Los medios didácticos. Recuperado de: <http://peremarques.pangea.org/medios2.htm#inicio>
- Maya, D. et al. (2009). Conflictos socioambientales y recurso hídrico: una aproximación para su identificación y análisis. Pontificia Universidad Javeriana. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Banco Mundial.
- Melo, G. (2015). Evaluación fitodepurante de un sistema biológico artificial en aguas de riego como alternativa para la sostenibilidad del recurso hídrico. Chía.
- Medellín, F. Vargas, C. & Ojeda, G. (2016). Encuentro de experiencias. Relatos sobre enseñanza de la Biología a través de trabajos prácticos. Universidad Pedagógica Nacional: Bogotá.
- Mendoza, Y. (2016). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 39-41.
- Ministerio de Educación Nacional. (7 de junio de 1998). Obtenido de http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-339975_recurso_5.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (octubre de 2018). MINAMBIENTE. Obtenido de Administración del recurso hídrico: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico>.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo. (2002). Decreto No..1729 DE 2002 – Cuencas Hidrográficas. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo.
- Minchola, J., & Gonzáles, F. (2013). Humedales Artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick. Revista del Museo de Historia Natural y Cultural ARNALDOA. Universidad Privada Antenor Orrego, 433 - 444.
- Montoya, D. (2016). Los acueductos y sistemas de distribución de agua comunitarios en el área rural de Bogotá y la gobernanza del agua en la ciudad. Universidad Nacional de Colombia. Bibliografía de la matriz de revisión

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Calidad en la Educación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 9 de 14	


documental CIUP.

- Moreno, F. (2012). Diseño de un manual guía del docente para el estudio limnológico de ecosistemas acuáticos para el fortalecimiento de conceptos científicos en estudiantes de educación media. Bogotá.
- Moreira, M. (1993), Aprendizaje Significativo: Un Concepto Subyacente, Instituto de Física (UFRGS), Porto Alegre, Brasil. Recuperado el 29 de septiembre de <http://www.if.ufrgs.br/~Moreira/apsigsubesp.pdf>,
- Naranjo, L. (2012). Principios de Ecología de los Humedales. WWF, Colombia.
- Ospina, D. (2017). UDEA. Obtenido de Los Materiales Educativos: <http://aprendeonline.udea.edu.co>
- Paredes, J. (2015) Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes Jacinto de agua. Tingo María.
- Pérez, J., Molano, C., Flórez, D., Rendón, A., & Flórez, G. (2010). Diseño de material educativo para la enseñanza de la conservación del Cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*). Revista Luna Azul, 197-203.
- Perdomo, M (2010). Diseño participativo de un modelo de seguimiento, monitoreo y control social a los humedales urbanos de Bogotá. D.C. Estudio de caso humedal Tibanica. Universidad Nacional de Colombia. Bibliografía de la matriz de revisión documental CIUP.
- Perdomo, A., Velasco, M., Cortés, M., Gallo, J., & Franco, R. (2016). La Fitorremediación como estrategia para reducir impactos del mercurio en agua: un microproyecto de educación en química verde. Bio-Grafía Escritos Sobre La Biología Y Su Enseñanza, 106.116. <https://doi.org/10.17227/biografia.extra2016-6325>
- Pineda, 2009. Revista EL TIEMPO. Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-5258188>
- Quispe, L., Betsy, J., Martínez, C., & Cruz, M. (2017). Eficiencia de la especie macrófita Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 79-93.
- Randy, H., Verónica I., Leonardo, G. (1999). Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano. Revista Terra, 1999 Vol. 17, No. 2. Consultado el 24 de marzo del 2017 de:

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 10 de 14	

<https://chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art159-174.pdf>

- Raskin, I. y & Ensley, B. (2000). Phytoremediation of Toxic Metals, Using Plants to Clean Up the Environment. Wiley-Interscience. Scientific, Technical, and Medical Division. New York. 10158- 0012.
- Rial, A. (2013). Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos. *Biota colombiana*, 70-91.
- Roa, R., Valbuena, E. (2013) Incurción de la Biotecnología en la educación: Tendencias e Implicaciones. *Revista Colombiana de Biotecnología*, (2013) Vol. 15(2):156. Consultado el 24 de marzo del
- Rodríguez, J. (2004) La Biorremediación frente al vertido del Exxon Valdez. Universidad de Oviedo. Recuperado el 24 de marzo del 2017 de: http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/biorremediacion_exxon_valdes.pdf
- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias del Agua*, antes *Ingeniería hidráulica en México*, 59-68.
- Romero, P., Camacho, T., Flórez, M., Gaibao, D., Aguirre, M., Pasive, Y. y Murcia, G. (2012) *Estrategias Pedagógicas en el Ámbito Educativo*. Colegio Mayor José Celestino Mutis. Bogotá, Colombia.
- Roldán P. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia
- Sánchez, J., & Gómez, D. (2017). Diseño e implementación de un Proyecto de investigación en el aula sobre la fitorremediación de CR (VI) como una estrategia para el desarrollo de competencias científicas investigativas. *Biografía*.
- Salas, A. (2013) *Fundación Humedales Bogotá*. Recuperado de: <http://humedalesbogota.com/2013/11/12/el-ayer-y-el-hoy-de-los-humedales-de-bogota/>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *Manuales Ramsar: Uso racional de los humedales*. Gland: Ramsar.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (octubre de 2018). *Alcaldía de Bogotá*.


 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 11 de 14	

Obtenido de http://www.ambientebogota.gov.co/c/journal/view_article_content?groupId=10157&articleId=14190&version=1.2

- Secretaria Distrital de Ambiente. (2015). Descripción y contexto de las cuencas hídricas del Distrito Capital (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo). Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente.
- Sánchez García, J., & Torres Sabogal, L. (01 de febrero de 2012). Fitorremediación de Mercurio como estrategia CTSA para el Desarrollo de habilidades argumentativas. Trabajo de grado. Bogotá.
- SENA (2011) Ambientes de aprendizaje en piscicultura. Recuperado de: <http://mujeresdegestion.blogspot.com/p/la-piscicultura-y-la-acuicultura.html>
- Silva, A. y Zamora, H. (2005) Humedales Artificiales. Modalidad Monografía. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de ingeniería química, Universidad Nacional de Colombia.
- Talero, D. (2016) Páramo de Chingaza y recurso hídrico: construcción de una propuesta didáctica para la enseñanza de la Geografía. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.
- T. Scheper, et.al. (2003) Advances in biochemical engineering Biotechnology Vol. 78 Phytoremediation. Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Tsao, D. (2003). Overview of Phytotechnologies. Springer.
- Tunjo, L & Aguirre, I (2011). Los procesos indagatorios como estrategia pedagógica para fomentar actitudes científicas en estudiantes de secundaria mediante la técnica de Fitorremediación de zinc y níquel. Bogotá.
- Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. Sitio web oficial (2018) <http://www.pedagogica.edu.co/>
- Universidad de Antioquia (2010) Hidrogeología para la gestión del recurso hídrico.
- Universidad de Antioquia. Bibliografía de la matriz de revisión documental Proyecto CIUP.

4. Contenidos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue necesario realizar prácticas experimentales con el Buchón de agua como parte de un humedal artificial, evaluando su eficiencia como organismos fitorremediadores, plantear talleres teórico-prácticos con el humedal

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 12 de 14	


artificial como material educativo, que permitiesen la comprensión del proceso de Fitorremediación con macrófitas, y finalmente validar el material educativo con maestros egresados de biología en Bogotá, reconociendo la Fitorremediación como eje de reflexión acerca del uso e importancia de los humedales como recursos hídricos. Todo lo anterior en busca de alternativas viables que puedan ser implementadas en todas las instituciones de Bogotá.

5. Metodología


Para el cumplimiento de los tres objetivos la metodología utilizada consistió en un enfoque mixto estructurado en el paradigma socio-crítico, el cual orientó el proceso de investigación realizado y el análisis de resultados a partir de las reflexiones de los maestros de biología. Este proceso en conjunto tuvo tres fases, las cuales fueron en un primer momento, la experimentación con el Buchón de agua (*Eichhornia c.*) con el fin de evaluar su respuesta a la Fitorremediación con Nitritos (NO₂⁻) y Nitratos (NO₃⁻), seguido de una revisión documental acerca de talleres teórico-prácticos entorno a la enseñanza de la ecología y finalmente, la validación con tres maestras del distrito egresadas de la licenciatura en Biología, a través de una implementación presencial en el Colegio Gimnasio El Lago y una implementación virtual en el Colegio Agustiniانو Tagaste y Colegio Candelaria Integrada.

6. Conclusiones

- Aunque en la exposición de *Eichhornia c.* a nitratos (NO₃⁻) y nitritos (NO₂⁻) del medio BBM y medio natural, se evidenció una reducción progresiva de ambos compuestos en los dos medios, el nitrato resultó ser el compuesto mejor asimilado por la planta, debido a que el nitrato es absorbido de manera natural por esta para utilizarlo en procesos fundamentales como lo son el crecimiento, el desarrollo y la reproducción. Por otro lado, nutrientes como el nitrógeno de los cuales se deriva los nitritos y nitratos que posteriormente son absorbidos por la planta, es un factor esencial para mantener procesos celulares como la síntesis de proteínas, vitaminas, hormonas, procesos estructurales, entre otros; que, de un modo u otro, al final determinarán el estado de las estructuras morfológicas de la planta.
- Construir talleres en torno al humedal artificial permite articular y adaptar las temáticas desarrolladas en cada uno con las necesidades que hacen parte del contexto de las instituciones educativas, en donde laboran los maestros de Bogotá actualmente, en relación a los humedales como recursos hídricos, tema necesario de abordar en el aula de tal manera que se puedan generar en conjunto soluciones y reflexiones frente a ello.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Realidad en Formación</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 13 de 14	

- La planta tiene diferentes formas de absorber los nitritos y por otro lado los nitratos del medio donde se encuentra, ya que mientras usa los nitratos para procesos vitales y los concentra en estructuras tales como hojas, raíces y peciolo, los nitritos solo los hiperacumula y concentra en las zonas de las raíces ya que este es un compuesto tóxico en la mayoría de ocasiones. En la raíz es donde este compuesto es estabilizado químicamente y devuelto al medio natural en una forma menos tóxica.
- A partir de los distintos modos de validación con los maestros de biología del distrito, es posible concluir que el humedal artificial, el HAFIT y el maestro de manera independiente no alcanzan el mismo propósito, sino que es su articulación en conjunto lo que permite que se cree un verdadero aprender-haciendo. Esta unión entre la teoría y la práctica permiten la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos desde temáticas como la Fitorremediación, entendiendo esta como un eje central para la reflexión del uso e importancia de los recursos hídricos en Bogotá.
- El humedal artificial como material educativo para la enseñanza de la fitorremediación con Eichhornia c. en sistemas acuáticos funciona, siempre y cuando este sea considerado como una parte del proceso para el afianzamiento de conocimientos frente a las temáticas en el HAFIT que se elaboraron al rededor del mismo. Entendiendo que se necesita una verdadera articulación durante el proceso para que se obtengan los resultados que se desean en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Es decir que el proceso que se lleve a cabo con el material educativo en conjunto determinará los resultados de la enseñanza y lo aprendido.
- En la formación como futuras maestras en biología, diseñar y construir el humedal artificial y que a partir de allí emergieran los talleres teórico-prácticos (HAFIT), fue una forma enriquecedora de reconocer las dinámicas de un humedal natural y a su vez generar una postura crítica mucho más cercana frente a la situación actual de los recursos hídricos en Bogotá. Por otra parte, el material educativo se convierte en un elemento significativo y útil que podrá ser incluido en el proceso de enseñanza como futuras licenciadas en biología.
- Finalmente, en cuanto al Buchón de agua, ninguna planta puede categorizarse como “mala” ya que todas las plantas juegan un papel particular y específica en el equilibrio de un ecosistema. Es decir, que todas son necesarias siempre y cuando estén en su hábitat correcto y su manejo se haga consiente de los impactos que puede generar su manipulación

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 14 de 14	

e introducción en los sistemas acuáticos.

Elaborado por:	Muñoz Trujillo, Cindy Vanesa y Novoa Pardo, Seidy Katherinne.
Revisado por:	Delgadillo Rodríguez Ibeth Paola

Fecha de elaboración del Resumen:	06	11	2018
--	----	----	------

Contenido

RESÚMEN ANÁLITICO EN EDUCACIÓN - RAE.....	6
Contenido.....	17
Lista de figuras.....	20
Lista de tablas	21
Introducción	22
Planteamiento del problema.....	24
Justificación	28
Objetivos.....	33
Objetivo general.....	33
Objetivos específicos	33
Antecedentes	34
Antecedentes Internacionales	34
Antecedentes Nacionales.....	37
Antecedentes Locales.....	43
Marco teórico	48
Biotecnología y Biorremediación.....	48
Fitorremediación con Buchón de agua	50
Humedales artificiales como sistemas acuáticos	55
Apropiación del Recurso Hídrico	61
Enseñanza de la Ecología mediante trabajos prácticos	68
▢ Talleres experimentales en contextos educativos.....	71
Material Educativo para los maestros en Biología.....	72
▢ Estrategia.....	72
▢ Estrategia Pedagógica.....	72
Marco metodológico	76
Paradigma epistemológico	76
Enfoque Metodológico.....	77
Contextualización.....	78
Ruta Metodológica.....	81

Buchón de agua como organismo fitorremediador	82
Búsqueda y obtención de los buchones de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	82
Exposición y trasplante de <i>Eichhornia crassipes</i> al medio BBM preparado y medio natural	83
Medición de respuesta de <i>Eichhornia crassipes</i> a exposición de Nitratos (NO ₃ ⁻) y Nitritos (NO ₂ ⁻)	84
Talleres teórico-prácticos con el Humedal Artificial como material Educativo.....	85
Diseño y prueba de protocolos para los talleres teórico-prácticos	86
┆ Estructura de los talleres teórico-prácticos	87
Validación del material educativo a través de la Fitorremediación como eje de reflexión.....	88
┆ Validación interna por pares académicos.....	88
┆ Validación por implementación.....	89
┆ Validación virtual	91
Resultados y discusión de resultados.....	93
Buchón de agua como organismo fitorremediador	93
┆ Exposición y trasplante de <i>Eichhornia crassipes</i> al medio BBM y medio natural	96
┆ Resultados de la exposición de <i>Eichhornia crassipes</i> a Nitratos (NO ₃) y Nitritos (NO ₂ -)	100
Talleres teórico-prácticos con el Humedal Artificial como material Educativo	105
┆ Diseño y prueba de protocolos para los talleres teórico-prácticos.....	105
┆ Estructura de los talleres teórico-prácticos	108
Validación del material educativo a través de la fitorremediación como eje de reflexión	110
┆ Validación interna por pares académicos.....	110
┆ Validación por implementación.....	111
┆ Validación virtual	112
Diseño	112
Contenido	112
Finalidad:	113
Observaciones generales adicionales.....	114
Conclusiones	119
A. Anexo: Formato de validación virtual	121
Gimnasio El Lago. Maestra Diana Castaño.....	122
B. Anexo: Formato de contextualización	125

Contexto Colegio Agustiniario Tagaste	129
Contexto Gimnasio El Lago	134
Contexto Colegio La Candelaria Integrada	138
Bibliografía	142

Lista de figuras

Figura 1. Principales contaminantes absorbidos en la rizósfera. Overview of Phytotechnologies. (Tsao, D. 2003)	51
Figura 2. Rizosfera de raíz de planta (P ---> P = fotoquímicos producidos por la fotosíntesis y translocados a través del floema, P ---> E = fitoquímicos liberados como exudados, P--- > O2 = Fitoproductos químicos consumidos durante la respiración para producir o. (Tsao, D. 2003).....	51
Figura 3. Tipos de plantas acuáticas en un Humedal Artificial. Silva y Zamora (2005)	59
Figura 4. (Izquierda) se observa un Sistema de Flujo Libre (FWS) y en la. (Derecha) se observa un Sistema de Flujo Subsuperficial (SFS). Ejemplificación de los tipos de Sistemas de Flujo de un Humedal Artificial. (Silva y Zamora, 2005.	60
Figura 5. Descripción del ciclo de gestión y planificación de los recursos hídricos. (Global Water Partnership, GWP. 2009)	65
Figura 6. V Heurística. (Novak y Gowin citado en del Carmen, 2011)	69
Figura 7. Representación gráfica del concepto taller en términos educativos y pedagógicos. (Bravo, 2018).....	71
Figura 8. Diagrama de flujo Ruta Metodológica. (Muñoz y Novoa, 2018)	81
Figura 9. Adaptación del Medio Basal de Bold (BBM). (Delgadillo, 2014).....	83
Figura 10. Kit Aquamerck®, MERCK. (Novoa, 2018).....	84
Figura 11. Paleta de colores que permite la medición de Nitritos en el agua. (Muñoz, 2018)	84
Figura 12. Paleta de colores que permite la medición de Nitratos en el agua. (Muñoz, 2018).....	85
Figura 13. Montaje Humedal Artificial construido, agua natural y Buchón de agua. (Muñoz, C. 2018).....	86
Figura 14. Humedal Artificial diseñado. (Novoa, 2018)	89
Figura 15. Diseño y socialización del Humedal Artificial en la institución Gimnasio el Lago. (Novoa, 2018)	90
Figura 16. Medios con buchón de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) Al lado derecho se ubican los medios BBM, al lado izquierdo se ubican los medios naturales. (Novoa, 2018)	96
Figura 17. Parámetros generales de la calidad de agua para cultivos de peces (Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, 2010)	97
Figura 18. Comparación del estado de la raíces centrales y adventicias de <i>Eicchornia crassipes</i> . (Muñoz, 2018).....	99
Figura 19. Estructura de Talleres HAFIT. (Muñoz y Novoa, 2018)	110

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Comparación de todos los medios BBM vs Medio natural	98
Tabla 2. Tabla de resultados	103
Tabla 3. Concentración de Nitritos en medio BBM y Medio natural	103
Tabla 4. Concentración de Nitratos en medio BBM y medio natural	104
Tabla 5. Tabla de temáticas y actividades del material educativo HAFIT	105

Introducción

El presente trabajo de grado tuvo como propósito la enseñanza de la Fitorremediación a través de la elaboración de un Humedal Artificial principalmente con Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) como material educativo, que permitiera la comprensión de la dinámica de los sistemas acuáticos dirigido a los maestros egresados de la Licenciatura de Biología de la Universidad Pedagógica Nacional.

Teniendo en cuenta que Colombia es un país con una gran biodiversidad y una considerable cantidad de recursos hídricos, es cada vez más evidente que los cuerpos de agua y principalmente los humedales han venido siendo afectados y deteriorados debido al desconocimiento e inadecuado manejo de los mismos a lo largo del tiempo. Aunque es un tema apremiante, para los ciudadanos puede resultar en muchas ocasiones distante y ajeno a su misma realidad. Por tal razón, se propone un material educativo adaptado para maestros y maestras egresados de la licenciatura en biología de la Universidad Pedagógica Nacional, entendiendo estos como sujetos claves que a través de su importante labor en los diferentes contextos educativos del país, pueden suscitar la reflexión en torno al uso e importancia de los recursos hídricos y a su vez, potencializando mediante materiales educativos como el presentado, la enseñanza de la complejas dinámicas de los sistemas acuáticos relacionadas ampliamente con la Ecología en la Educación Colombiana. El material educativo compuesto por el Humedal Artificial con la macrófita Buchón de agua (*Eichhornia c.*) y los talleres teórico-prácticos que se articulan alrededor del mismo, conforman en conjunto el (HAFIT), el cual contiene temáticas relevantes e innovadoras a la hora de enseñar las dinámica de los humedales naturales como sistemas acuáticos, relacionándolo a los procesos que suceden un humedal artificial económico y sencillamente diseñado por el maestro para ser constantemente abordado en sus clases de ciencias.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue necesario realizar prácticas experimentales con el Buchón de agua como parte de un humedal artificial, evaluando su eficiencia como organismo fitorremediador, a partir de ello plantear talleres teórico-

prácticos con el humedal artificial como material educativo, que permitiesen la comprensión del proceso de Fitorremediación con macrófitas, y finalmente validar el material educativo con un grupo de maestras egresadas de biología que actualmente laboran en la ciudad de Bogotá, reconociendo la Fitorremediación como eje de reflexión acerca del uso e importancia de los humedales como recursos hídricos. Todo lo anterior en busca de alternativas viables que puedan ser implementadas en el presente y futuro en las instituciones educativas de Bogotá.

Para el cumplimiento de los tres objetivos, la metodología utilizada consistió en un enfoque mixto estructurado en el paradigma socio-critico, el cual orientó el proceso de investigación realizado y el análisis de resultados a partir de las reflexiones de los maestros de biología. Este proceso en conjunto tuvo tres fases, las cuales fueron en un primer momento, la experimentación con Buchón de agua (*Eichhornia c.*) con el fin de evaluar su respuesta fitorremediadora a Nitritos (NO_2^-) y Nitratos (NO_3^-), seguido de una revisión documental para la elaboración de talleres teórico-prácticos entorno a la enseñanza de la ecología y finalmente, la validación con un grupo de maestras del distrito, a través de distintas modalidades de validación tales como lo fueron la implementación presencial en el Colegio Gimnasio El Lago, las validaciones virtuales en el Colegio Agustiniانو Tagaste y Colegio Candelaria Integrada y adicional a ello, la validación por pares académicos en la UPN.

En esta medida se encontró finalmente que el Buchón de agua es un organismo fitorremediador, proceso que puede ser evidenciado por medio del Kit Millipore de Merck, detección de Nitratos en la planta por medio de la prueba con Difenilamina, pruebas de cromatografía con pigmentos de la hoja y el estudio morfológico de la planta; las cuales en conjunto pueden constituir una manera de abordar la fitorremediación en diversos contextos educativos. Lo anterior se vincula en un material educativo que contribuye a los maestros de biología de tal forma, que cuenten con una alternativa de enseñanza en la escuela, en la cual se hacen partícipes activos dentro de la apropiación de los recursos hídricos como derecho y deber de los ciudadanos.

Planteamiento del problema

Colombia se caracteriza por ser un país megadiverso, goza de una ubicación geográfica privilegiada, por ende, una variedad de climas e innumerables recursos hídricos que incluso lo han llevado a catalogarse como uno de los países del mundo con mayor riqueza hidrológica y ecosistemas productores de agua, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), en sus Estudios Nacionales del Agua ENA (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010). Sumado a esto, Colombia cuenta con una extensa red hídrica representada por seis tipos de agua incluyendo aguas lluvias, aguas subterráneas, aguas termominerales, aguas marinas, oceánicas y aguas superficiales, siendo estas últimas las que favorecen la existencia de un importante número de cuerpos de agua lénticos y lóticos.

El mundo actual ha manifestado un crecimiento gradual en los procesos industriales y tecnológicos que se han gestado, llegando a considerar que los beneficios otorgados por los mismos eran mayores que los problemas que se generaban, pero este pensamiento cambió cuando los procesos de industrialización fueron afectando directamente al equilibrio en la naturaleza. Particularmente, este tipo de procesos realizados por el ser humano y otros agentes externos han repercutido en el agua, alterando y contaminando a los sistemas acuáticos al modificar las características fisicoquímicas y su composición, además de incidir directamente en el ciclo natural del agua.

En Colombia las cuencas hidrográficas del Magdalena, Cauca y Caribe se encuentran en un estado preocupante ya que han sido degradadas debido a las actividades industriales que afectan directamente la calidad del agua. Una de estas actividades es la minería con la ejecución de megaproyectos relacionados con la extracción de plata y oro, que además vierte 205 toneladas de Mercurio al año en 150 municipios ubicados en ciudades como Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Villavicencio, Bucaramanga y Manizales (El Espectador, 2015). Pese al daño ambiental e impacto que se genera en los recursos hídricos, la actividad minera es considerada como una alternativa de trabajo para

los pobladores donde se realizan dichas extracciones (como en la Guajira), aun así, no se tiene en cuenta el impacto ambiental que se genera en los recursos hídricos.

No es un secreto que, aún con esta riqueza hídrica colombiana, el país ha alcanzado cifras preocupantes de contaminación en mares, lagos, ríos, cuencas, páramos y humedales. Dicha situación abre tan solo un panorama de las muchas problemáticas ambientales que claramente se presentan tanto a nivel nacional como a nivel urbano. En efecto, este panorama agobiante responde principalmente a que existe una notable desapropiación de los recursos hídricos y, por ende, un alto desconocimiento de la importancia que estos juegan en las dinámicas ecológicas que se presentan en la naturaleza.

En consecuencia, existe además un alto desconocimiento acerca de los procesos necesarios para el funcionamiento y equilibrio adecuado de un ecosistema. Se entiende por ecosistema a toda la comunidad de seres vivos cuyos procesos vitales están relacionados entre sí, en función de los factores físicos del ambiente que comparten (Roldán & Ramírez, 2008). Por ende, si alguno de estos se ve influenciado negativamente, afectará todo el conjunto de relaciones implicadas. Debido a su desconocimiento, se dificulta la comprensión de un organismo vivo y sus procesos naturales de regulación como un escenario de múltiples aprendizajes, y, por lo tanto, resulta ajeno para los sujetos de aprendizaje, e incluso para los maestros en biología, la aproximación y enseñanza de campos como la biotecnología amigable con el ambiente, fundamentada en escenarios acuáticos, para potenciar conocimientos ecológicos contextualizados.

A través de la contextualización realizada fue posible evidenciar que los maestros de biología no cuentan con un material educativo que brinde elementos visuales y sensitivos que permitan tener una interacción próxima a las dinámicas que ocurren en los sistemas acuáticos, además de que las instituciones educativas por lo general no tienen a su alcance cuerpos de agua como humedales, lagos y lagunas, generando que las clases de biología se limiten a ser teóricas en su totalidad, por lo cual el material se convierte en una posibilidad de acercar este tipo de escenarios al aula de clase y poder enseñar la ecología con mayor

integridad de elementos. Es allí donde es posible contar con un conocimiento y reflexión colectiva relacionada con el cuidado del ambiente y a la vez, con la conservación del equilibrio natural del agua y las formas vivientes que dependen directamente de este recurso, siendo de indiscutible consideración en el propósito de desarrollar una apropiación de los recursos hídricos como derecho y deber de todos los bogotanos.

Uno de los elementos articuladores en el presente trabajo de grado son los humedales, importantes para que exista un adecuado equilibrio en los ecosistemas. Los humedales juegan un papel significativo al momento de tener en cuenta los servicios ecosistémicos que ofrecen a los seres humanos, como es el suministro de agua dulce, biodiversidad, amortiguación en control de crecidas, aguas subterráneas y alimentos. Su enseñanza en las instituciones educativas toma trascendencia en cuanto los estudiantes pueden aprender las relaciones sistémicas que ocurren en estos, y facilitar su aprendizaje acerca de las situaciones que emergen en estos sistemas naturales. Por lo cual, a través del Humedal Artificial es posible aproximar al estudiante a comprender las funciones y procesos que ocurren a su interior desde un ámbito próximo, el cual sería el humedal como objeto de enseñanza, teniendo como punto central a las plantas acuáticas y a la importancia que representa en estos ecosistemas.

Razón por la cual las macrófitas acuáticas como la *Eichhornia crassipes* comúnmente conocida como Jacinto de agua o Buchón de agua, en consecuencia, al desconociendo de sus beneficios ecológicos —su gran potencial de absorción, asimilación y transformación de compuestos tóxicos—. Esto evidencia la ausencia de alternativas de enseñanza en las que, como se mencionó anteriormente, se tomen organismos y sus procesos ecológicos naturales, dentro de la educación capitalina, por lo cual se hace pertinente familiarizar al maestro en biología y al estudiante con los procesos que realiza la naturaleza con el fin de autorregularse.

Por lo tanto, surge la necesidad de que los maestros de biología cuenten con un material educativo que contemple una ruta metodológica capaz de representar una nueva posibilidad

de enseñanza en lo concerniente a temáticas y prácticas viables, económicas y enfocadas en el aprendizaje de la ecología dentro las escuelas distritales. Así mismo, ha emergido la oportunidad de aportar, desde la licenciatura en biología de la Universidad Pedagógica Nacional, un material educativo que permita tanto al estudiante como al maestro acercarse e involucrarse conjuntamente a problemáticas reales de la sociedad, desarrollando soluciones innovadoras.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, surge como pregunta problema de la presente investigación: *¿De qué manera se puede posibilitar la reflexión acerca del uso e importancia del recurso hídrico por medio de un humedal artificial como material educativo para la enseñanza de la Fitorremediación con buchón de agua (Eichhornia crassipes)?*

Justificación

El presente proyecto plantea la fitorremediación como un proceso relacionado con la biotecnología ambiental y como un elemento articulador entre *ciencia, hombre y naturaleza* (el *hombre* desde su accionar y la *naturaleza* como su entorno vivo), que posibilita que los maestros de biología del distrito capital reconozcan alternativas innovadoras para el proceso de enseñanza a favor del ambiente que permita la restauración del equilibrio natural del agua, desde las múltiples relaciones y dinámicas que se establecen en ecosistemas como los humedales, comprendiendo que la naturaleza se comporta como un todo en un sistema que tiene sus propios procesos de autorregulación y que de estos depende el funcionamiento de la vida como la conocemos.

Para iniciar, es necesario tener en cuenta que el agua es un elemento de la naturaleza que constituye aproximadamente el 70% de la superficie en el planeta Tierra, convirtiéndose en un recurso finito pero esencial y vital para los seres vivos, así como para el desarrollo económico y social. Al ser un elemento que hace parte de los ecosistemas naturales, el agua es fundamental para el correcto funcionamiento de los procesos biológicos que dan origen a la vida en el planeta, contribuyendo a la estabilidad de los sistemas acuáticos naturales, de los seres vivos.

El Distrito Capital (Bogotá) está ubicado en la Sabana de Bogotá, situada desde el altiplano cundiboyacense, próximo a los páramos de Chingaza y Sumapaz, los cuales se encuentran localizados en la cordillera oriental de los Andes. En el Oriente circunda con el cerro de Monserrate (3.152 m.s.n.m) y Guadalupe (3.260 m.s.n.m), los cuales han conformado una gran parte de la red hidrográfica de la ciudad. El drenaje que surge de los cerros se convierte en los principales afluentes de las cuencas de agua en los ríos: Salitre, Fucha, Tunjuelo y Torca (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015).

Así mismo, la Estructura Ecológica Principal de Bogotá está conformado por tres elementos principales: El Sistema de Áreas Protegidas, en el cual hace parte el Santuario Distrital de Fauna y Flora como el Bosque de las Mercedes, la Reserva Forestal Distrital como los Cerros de Suba y las Sierras del Chicó y el Parque Ecológica Distrital donde se encuentra el Cerro de la Conejera, el Cerro de Torca, Entrenubles, y los humedales Jaboque, Juan Amarillo, Santa María del Lago, Torca-Guaymaral, Córdoba, Burro, Techo, Vaca, Capellanía, Tibanica y Meandro del Say; Como segundo elemento también están los Parques Urbanos que se divide en Recreación Pasiva, donde se encuentran los Ríos y Canales; y de Recreación Activa como los Parques en la categoría de Metropolitanos y Urbanos (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015).

Cabe resaltar que los ríos Salitre o Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo, es de vital importancia la calidad de sus aguas debido a que se convierten en un eje integrador de la fauna y flora capitalina. Del mismo modo, los ríos son los recursos hídricos más importantes en la ciudad, los cuales han recibido un impacto directo e indirecto en el equilibrio y en las dinámicas ecológicas de sus aguas debido a los vertimientos domésticos y no domésticos.

Reconociendo el contexto actual y la importancia del Recurso Hídrico, se hace necesario que el profesor de biología de Bogotá piense alternativas para la enseñanza de la biología, específicamente de la ecología, reconociendo así la necesidad de crear un material educativo en el que los maestros sean los principales partícipes de la construcción y conceptualización de temáticas referentes a los sistemas acuáticos con los que aún cuenta la ciudad de Bogotá. Para generar una conciencia ambiental acerca de los cuerpos de agua con los que cuenta la capital, es pertinente tener en cuenta el papel que juega el maestro en dicho proceso, en tanto es capaz de convertirse en un modelo a seguir siendo un actor social que promueve el aprendizaje en los estudiantes desde su permanente relación con el saber.

Esta panorámica que se abre en torno a la enseñanza de la apropiación del Recurso Hídrico en las Instituciones Educativas del Distrito de Bogotá no ha sido posible, en gran medida, debido al desconocimiento del mismo recurso y a las dificultades que existen para obtener permisos académicos en aras de realizar salidas de campo, talleres y/o actividades acogidas a la normatividad existente, que le permitan al estudiante tener una aproximación e interacción con los ecosistemas acuáticos y recursos hídricos que existen en la ciudad. Desde esta perspectiva, el maestro en biología se convierte en un mediador entre la ciudad y la naturaleza, multiplicador del conocimiento y potenciador del desarrollo cognitivo, social y cultural de los educandos, que además puede dar a conocer un panorama de las situaciones reales y emergentes que ocurren en torno a los recursos hídricos de la ciudad, constituyéndose finalmente como un agente de cambio de actitudes y pensamientos en relación con la naturaleza.

Lo anterior propicia un espacio oportuno para la configuración y el continuo proceso de formación de los maestros; pues les permite comprender que no solo es importante la investigación y la apropiación de la disciplina, sino que también en el campo propio de los profesionales en educación, la pedagogía y la didáctica tienen más cercanía con los maestros, pues la *“didáctica piensa y habla sobre el cómo de la enseñanza y la pedagogía piensa y habla sobre todo lo relacionado con la enseñanza.”* (Martínez, S.F). En ese orden de ideas, y en cuanto al proceso formativo que se está llevando a cabo; desde la posición de futuras docentes del área de Biología, se considera importante la construcción de conocimiento teniendo como base al *“Mundo de la vida”* como se expone en los Lineamientos Curriculares de Ciencias Naturales, entendiéndose este como el espacio donde el sujeto vive, convive crece y se desarrolla, aquel lugar al que todos pertenecen sin lugar a exclusión alguna, el lugar que les es común a todos porque todos pertenecen a él; ese lugar de donde surgen todos los pensamientos, las ideas, las abstracciones mentales, el conocimiento y el saber que dan origen al *“Mundo de las Ideas”* o *“Mundo del conocimiento científico”*, esta metáfora con el fin de dar a entender la importancia de incluir al sujeto estudiante al conocimiento sin necesidad de que abandone el lugar al que pertenece, sino que al contrario haga uso de los conocimientos que adquiere aplicándolos a

situaciones problema de su vida cotidiana, por lo anterior se considera importante el fomento del conocimiento por medio de la práctica (Ministerio de Educación Nacional, 1998).

A partir de lo expuesto se deben plantear opciones que piensen en el cuidado de los recursos hídricos con los que cuenta Bogotá, por lo cual en el desarrollo de este proyecto se pretende facilitar, principalmente, la enseñanza de temáticas como la Fitorremediación, dado que en su desarrollo se promueven investigaciones en torno al recurso hídrico, se convierte en una alternativa ambiental diferente que genera un impacto favorable hacia el medio ambiente, permite entender la regulación y las dinámicas que tiene un ecosistema sin alteraciones antrópicas, favorece el aprendizaje de conocimientos ecológicos por parte de los estudiantes a partir de un ecosistema específico y por ende, se da lugar a que el maestro pueda constituirse como agente de cambio. Así mismo, la Fitorremediación es enseñada como excusa para explicar la dinámica de los sistemas acuáticos por medio del Humedal Artificial, objeto que se convierte en un eje articulador que permite entender las situaciones que emergen en los sistemas naturales y que puede ser llevado de forma sencilla y económica a todas las instituciones educativas.

La fitorremediación surge como una forma de reestablecer el ciclo natural del agua, siendo un proceso que utiliza la capacidad de las plantas para acumular, metabolizar y absorber contaminantes que pueden ser encontrados en el aire, agua o suelo tales como: metales pesados, compuestos derivados del petróleo, compuestos orgánicos, entre otros. Este tipo de biorremediación se constituye como una alternativa Fitotecnológica que permite pensar en métodos fisicoquímicos sustentables y de uso viable en la actualidad, debido a los bajos costos que representa y a su amplio uso.

De esta manera, el presente proyecto de investigación plantea diseñar e implementar un Humedal Artificial con el uso de macrófitas acuáticas como el Buchón de agua, perteneciente a la familia de las Pontederiaceae, con los maestros de biología de Bogotá en procesos de fitorremediación dentro de los sistemas acuáticos de la ciudad, debido a la

excelente capacidad de estas plantas de absorber componentes tóxicos y purificar el agua. Esta planta se percibe como invasora y plaga debido a su eficiente y rápida reproducción, sin embargo, es posible que esta planta pueda permanecer en los sistemas acuáticos sin representar un mayor riesgo si se implementan diferentes medidas tales como el control mecánico y el control biológico.

Así pues, reflexionar acerca de las dinámicas que surgen alrededor del agua permite que propuestas como la planteada en este trabajo de grado, así como el uso de las colecciones de insectos acuáticos y demás proyectos enmarcados dentro del grupo de investigación CASCADA, sean viables y necesarios para ser desarrollados en las instituciones educativas, en tanto constituyen alternativas sustentables en la que el profesor de biología es el principal actor social.

Partiendo de ello, la presente investigación se proyecta dentro del grupo CASCADA de la Universidad Pedagógica Nacional, y dentro del macroproyecto propuesto por el Semillero de investigación *ECO*, el cual es sustentado bajo tres importantes líneas, como lo son *Biodiversidad y Conservación de la Región Andina (SARA)*, *Enseñanza ambiental, retos y perspectivas* y *La Ecología en la Educación Colombia (LEE)*, siendo en esta última en donde se plantea apoyar los procesos colectivos referidos a “*la construcción de una caja de herramientas educativas para la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos, que contribuya a la apropiación del recurso hídrico como derecho y deber de los bogotanos*” (Delgadillo, 2017). Finalmente, es a través de este trabajo de grado, donde se desea contribuir a la apropiación del recurso hídrico por medio de la conceptualización de la fitorremediación con macrófitas acuáticas, principalmente el buchón o lirio de agua, por medio del diseño de un humedal artificial, como objeto articulador de las dinámicas ecológicas que surgen en los sistemas acuáticos.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un humedal artificial como material educativo para los maestros de biología de Bogotá, que permita la enseñanza de la fitorremediación con Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*).

Objetivos específicos

- Realizar prácticas experimentales con el Buchón de agua como parte de un humedal artificial, evaluando su eficiencia como organismo fitorremediador.
- Plantear talleres teórico-prácticos con el humedal artificial como material educativo, que permitan la comprensión del proceso de fitorremediación con macrófitas.
- Validar el material educativo con maestros de Bogotá, reconociendo la fitorremediación como eje de reflexión acerca del uso e importancia de los humedales como recursos hídricos.

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

En miras de que el presente trabajo de grado busca apoyarse bajo trabajos y estudios que han contribuido en la comprensión y/o enseñanza de la fitorremediación, desde diversas estrategias y métodos educativos. Dentro del marco internacional, el siguiente antecedente consultado se titula: *“La eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental”*, elaborado por Baldeón, Arias, Martínez, Cruz, en el año 2017 en Perú, donde se planteó como objetivo estimar la capacidad de remoción de metales pesados por la macrófita *Eichhornia crassipes*, y evaluar su crecimiento con el paso del tiempo, en la laguna de la Universidad Peruana Unión. Para ello, se realizó una adaptación por tres semanas de la planta acuática en la laguna, con el fin de evidenciar su crecimiento y desarrollo para luego diseñar sistemas flotantes. Los resultados encontrados arrojaron una gran disminución de parámetros fisicoquímicos como pH, DBQ, fosfato, temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, sólidos totales y una mayor conductividad. Por otro lado, se realizó un seguimiento al crecimiento del buchón de agua, durante dos meses, en donde presentó un crecimiento rápido, llenando el sistema flotante previamente diseñado, dada la cantidad precisa de nutrientes que necesita la planta para su crecimiento. Este trabajo aporta una gran caracterización de las ventajas y desventajas con los que ha sido descrito el buchón de agua y su introducción en sistemas acuáticos.

El siguiente antecedente consultado: *“Modulo el agua, (Material educativo para la educación de los adultos) como parte del esquema curricular del modelo de educación para la vida y el trabajo (MEVYT) del Instituto Nacional de Educación para los Adultos”*, el cual fue desarrollado durante cuatro años y publicado en el año 2009 por

Guzmán, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Este proyecto fue abordado en el Instituto Nacional de Educación para Adultos (INEA) teniendo como objetivo principal desarrollar y aplicar una serie de módulos consecutivos, los cuales contenían una estructura didáctica que fomentaba y orientaba a los adultos que aún no habían podido culminar sus estudios de educación media o universitaria, a poner en práctica acciones en torno al uso adecuado del agua y de los recursos hídricos de México. La propuesta surge por la preocupación del autor, estudiantes, maestros y especialistas, frente al tema del mal uso desperdicio y desequitativa gobernanza del agua en los sectores más vulnerables de México. Para ello, se aplicaron diversas encuestas, talleres y actividades enmarcados en unidades didácticas o módulos haciendo énfasis en el reconocimiento del agua como derecho y recurso vital del planeta. Dentro de ello se abordaron problemáticas como su uso indiscriminado en las actividades ganaderas, su baja potabilización, el cambio climático, compuestos tóxicos que generan contaminación y además brinda recomendaciones en cuanto al uso, cuidado y valoración de este precioso líquido. Se concluyó que el módulo *El agua para todos*, contribuyó a la alfabetización y concientización de la comunidad abordada desde el cuidado racional del agua, generando cambios de actitud frente a su consumo.

Este trabajo aporta un proceso riguroso que se desarrolló en términos pedagógicos y educativos en pro a la valoración, adecuados usos, diversas concepciones, cuidados, gobernanza justa y apropiación de los recursos hídricos; dado que esta realidad no resulta ajena a la que enfrenta Colombia, entre otras partes del mundo.

El siguiente antecedente consultado: ***“Humedales Artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick”*** desarrollado por Minchola y Gonzáles, en el año de 2013 en Perú, quiso exponer la trascendencia que tiene la implementación de los humedales artificiales, como una alternativa viable, eficiente y económica al momento de realizar procesos de tratamiento de aguas residuales. Para ello, fue necesario tomar muestras de agua del humedal, para determinar coliformes fecales, coliformes totales, temperatura, pH, DBO5 y oxígeno disuelto. A partir de ello, se encontró una disminución

en las muestras fisicoquímicas del agua debido a la acción de los microorganismos asociados a la raíz de las plantas que se encontraban allí. Se concluyó que el humedal artificial es un proceso eficiente en la remoción de contaminantes, ya que se convierte en una estructura artificial en el que actúan en conjunto diferentes elementos naturales, como el tipo de sustrato, las plantas y los microorganismos presentes. Este trabajo investigativo aporta en la medida en que es reconocido el humedal artificial como un sistema en el que pueden confluir diferentes organismos y realizar procesos de remoción de contaminantes, de forma similar a la manera en cómo ocurre en un ecosistema natural.

El siguiente antecedente consultado: **“*Eichhornia crassipes, su invasividad y potencial fitorremediador*”** realizado por Guevara y Ramírez en el año 2015, en Ecuador, buscó dar a conocer un panorama acerca de la descripción en general de esta planta acuática, entre ellas su origen, sus usos ornamentales, hábitos de crecimiento, y su característica más conocida, ser considerada invasora debido a su éxito reproductivo y adaptativo; sin embargo, se destaca su potencial como organismo natural que crece en ambientes contaminados, capaz de realizar procesos de fitorremediación *ex situ*, contribuyendo a la disminución de metales pesados, colorantes y plaguicidas. Para ello, se hizo un contraste entre las consecuencias tales como la disminución del turismo por su alta presencia en lagos, cuencas y humedales; y por otro lado beneficios como el mejoramiento de los cuerpos de agua donde habita.

En este trabajo se destaca la importancia que tiene el Buchón de Agua como organismo fitorremediador que permite recuperar sistemas acuáticos que se encuentran contaminados por acciones humanas, aspecto que ha sido resaltado debido a los experimentos realizados en humedales artificiales construidos, ya que la planta cuenta con una amplia versatilidad en procesos a fines a la biotecnología ambiental.

El siguiente antecedente consultado: **“*Proyecto de fitorremediación en el laboratorio escolar*”** publicado por Cerdeira, Saenz y Haim en el año 2018, en la Revista **“*Por qué la Biotecnología*”** de Buenos Aires, Argentina; tuvo como objetivo planificar y desarrollar

proyectos de investigación desde el área de las Ciencias Naturales en las escuelas secundarias o polimodales de Buenos aires, con el fin de hacer posible enseñar contenidos conceptuales de biología, química y física. En ese sentido, se utilizó como eje transversal a la fitorremediación con el fin de fortalecer la relación y aplicación de estas tres disciplinas en la resolución de problemas ambientales alusivos a la contaminación del agua. Para esto se plantearon diversas actividades y talleres experimentales en el laboratorio con el uso de plantas extractoras de cobre, como *Lemna minor* y *Azolla pinnata*, así mismo, se realizaron demostraciones del efecto de la fitorremediación mediante talleres de técnicas de cultivo de plantas (cultivos hidropónicos) y se plantearon diferentes diseños experimentales de fitorremediación en donde se comparó la eficiencia de la remoción del ion cúprico en plantas como el tomate (*Lycopersicon sp.*), la mostaza (*Brassica sp.*) y la lechuga (*Lactuca sativa*) con el fin de determinar qué planta era la más eficiente en la absorción de cobre presente en soluciones hidropónicas.

Esta propuesta de talleres y actividades experimentales en el laboratorio, contribuye al presente trabajo de grado en cuanto a los métodos procedimentales utilizados para medir y determinar la capacidad de absorción de iones y contaminantes presentes en el agua, haciendo uso de diferentes especies vegetales. Dentro de ellos se resalta el método calorimétrico el cual es utilizado para representar el espectro de absorción de cada sustancia, en función de su concentración.

Antecedentes Nacionales

Con el paso del tiempo y el aumento de los avances tecno científicos de la sociedad, la investigación dentro del marco de la Biotecnología y su enseñanza ha sido igual de importante, haciéndose necesaria la aplicación de estrategias didácticas, pedagógicas y metodológicas a la hora de educar en ciencia y tecnología dentro de las escuelas colombianas. Es por ello que en términos de materiales para la enseñanza, el siguiente antecedente consultado: ***“El diseño e implementación de una estrategia didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de la biotecnología, aplicada a temas ambientales: un estudio***

de caso con alumnos de grado décimo de la Institución Educativa Sol de Oriente”, desarrollado por Celis en el año 2013 en la ciudad de Manizales, tuvo como objetivo diseñar y aplicar una unidad didáctica mediante la construcción y aplicación colectiva de actividades de enseñanza-aprendizaje sobre biotecnología e investigación, entendiendo la unidad didáctica como una estrategia metodológica en el proceso instructivo, cuyo tema central es la preservación y cuidado de los recursos naturales del Cerro Pan de Azúcar y de la Institución Educativa Sol de Oriente. Así mismo se pretendió con su aplicación que los estudiantes tuvieran un aprendizaje significativo en cuanto al cuidado del ambiente dentro de las inmediaciones de su Institución educativa. Por otra parte, al autor propone la idea de *sujeto-ciencia y entorno*, lo cual enriquece la perspectiva de la Biotecnología, como un elemento articulador para la enseñanza de las ciencias. Así mismo, muestra claramente la necesidad de desarrollar estrategias nuevas e innovadoras que faciliten la comprensión de diferentes técnicas biotecnológicas y con ello, el posicionamiento crítico y reflexivo de los sujetos frente al impacto que generan desde su accionar.

El siguiente antecedente consultado: *“Diseño de un manual guía del docente para el estudio limnológico de ecosistemas acuáticos para el fortalecimiento de conceptos científicos en estudiantes de educación media”*, realizado por Moreno en el año 2012, de la Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional de Colombia, abordó como objetivo principal ampliar el conocimiento limnológico como estrategia para buscar consolidar conceptos científicos en los estudiantes de educación media. Teniendo en cuenta esto, la investigación buscó diseñar una herramienta didáctica para los docentes que acercaran a los estudiantes de la educación media a un conocimiento científico mediante un manual guía para el estudio de los sistemas acuáticos en salidas de campo, y a su vez, que contribuyeran a identificar y reconocer problemáticas ambientales que afectan a los recursos hídricos. Para esto se realizó un análisis de las razones por las que el docente no involucra las salidas de campo en sus actividades de enseñanza- aprendizaje, posteriormente se realizó una revisión disciplinar desde la limnología y finalmente se construyó el manual dirigido a los maestros como producto final del trabajo, para el fortalecimiento de conceptos científicos en estudiantes de educación media. Este trabajo aporta conocimientos propios de la

limnología tales como: particularidades del agua, clasificación de los sistemas acuáticos y la dinámica de los sistemas acuáticos; además de un procedimiento claro acerca del diseño de material educativo dirigido a los procesos de enseñanza-aprendizaje en los maestros de educación media del país.

Por otro lado, en lo referente a la importancia y diseño de humedales artificiales, el siguiente antecedente consultado es el estudio teórico de: ***“Humedales artificiales”*** realizado por Silva y Zamora en el año 2005 también en la ciudad de Manizales, quienes recopilaron información desde diferentes autores sobre las condiciones básicas a tener en cuenta para la construcción los humedales artificiales, principalmente los de sistema de flujo libre (FWS) y sistema de flujo subsuperficial (SFS). Para ello, se llevó a cabo el diseño hidráulico de dos humedales artificiales en los cuales se tuvieron en cuenta premisas como: modelos de remoción (DBO), selección de la zona y de factores como el clima, la vegetación y propiedades del agua residual que influyen positivamente en la remoción de materia orgánica. Esto resultó pertinente para el presente trabajo de grado, en términos de poder abordar las ventajas, desventajas, recomendaciones y validaciones para el diseño y construcción de este tipo de sistemas artificiales.

El siguiente antecedente consultado: ***“El humedal Madre vieja, un laboratorio para el aprendizaje significativo y el desarrollo de habilidades de pensamiento”***, fue desarrollado por Buitrago en el año 2011 en la Universidad Nacional de Colombia en la sede de Orinoquía, Arauca-Arauca. Este proyecto tuvo como objetivo principal diseñar una propuesta de aula donde se desarrollarán habilidades como el pensamiento para alcanzar un aprendizaje significativo y competencias científicas, ambientales y ciudadanas en los estudiantes de grado décimo de la Institución Técnica Educativa Simón Bolívar del Municipio de Arauca. Es por ello que el humedal se abordó como un laboratorio vivo de aplicación de conceptos y principios que posibilita un mayor aprendizaje significativo y un mejor desarrollo de habilidades de pensamiento, pues requiere la incorporación de distintas habilidades, destrezas y competencias en la comprensión de los procesos implicados en el funcionamiento de dicho ecosistema. De este mismo modo, también se orientó la enseñanza

de las ciencias a la aplicación de conceptos y procesos en el contexto real de los estudiantes exponiendo problemáticas ambientales, analizando la magnitud de la manipulación antrópica en los ecosistemas y en la calidad de vida del hombre mismo. Para ello se buscó cumplir con los objetivos planteados en la convención RAMSAR a fin de proteger los ecosistemas y humedales, mejorando los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Se utilizaron pruebas diagnósticas, guías de trabajos, guías de laboratorios, elaboraciones de bitácoras por partes de los estudiantes y una prueba final que busco indicar si el objetivo general de la investigación se habría cumplido a cabalidad. Ante esto se concluyó que efectivamente los estudiantes lograron adaptarse a una nueva metodología de trabajo activo y autónomo en cuanto a su proceso de enseñanza-aprendizaje y a su vez lograron acercarse a los conocimientos científicos a través del humedal. Así mismo, se logró relacionar conocimientos teóricos y prácticos logrando un mejor proceso de aprendizaje de las ciencias en relación a las problemáticas de su entorno.

Este trabajo contribuye principalmente en cuanto al uso del humedal como espacio vivo de aprendizaje, llamativo, versátil, fresco y de uso no convencional en contextos educativos. Es por eso que al concebir el humedal como un ecosistema que alberga una gran diversidad de especies y procesos, permite tanto a maestros como estudiantes dimensionar el panorama abrumador que enfrentan, aplicando conceptos científicos, ecológicos y ambientales en un contexto real, proponiendo soluciones y finalmente evidenciado su importancia como recurso hídrico de los ciudadanos.

El siguiente antecedente consultado: ***“Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque”***, desarrollado por Badillo, Carvajal, Plata y Fernández, en el año 2016, muestra cómo los humedales artificiales se han convertido en una alternativa para el tratamiento de aguas residuales y en la reducción de contaminantes tóxicos, imitando el proceso que ocurre usualmente en los humedales naturales. Así que, este proyecto se plantea como objetivo evaluar la eficiencia que tienen los humedales

artificiales con aguas residuales provenientes de la Universidad El Bosque. En la aplicación del proyecto fue necesario que se elabora el prototipo de humedal artificial superficial de flujo vertical, a fin de proceder con el horario de tratamiento de aguas residuales de la institución; para esto, fue necesario utilizar tres tipos de macrófitas fitorremediadoras, como el buchón de agua, césped de caña y ninfa de agua, e igualmente con cuatro tipos de suelo. Se encontró que en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual hubo un cambio significativo en las muestras seleccionadas a causa de las plantas que se manejaron en el montaje experimental, ya que sus propiedades permiten la remoción de los contaminantes. De la misma manera, se concluyó que los humedales artificiales son sistemas que se convierten en una tecnología ambiental que tiene bajo costo y permite realizar procesos de Fitorremediación exitosos. Este trabajo aporta una importante metodología a utilizar en cuanto al diseño y los parámetros que deben ser tenidos en cuenta al momento de la construcción de los Humedales Artificiales, las plantas y el tipo de suelo apropiado para realizar un proceso de Fitorremediación en el tratamiento de contaminantes y aguas residuales.

Finalmente, la fitorremediación con la especie *Eichhornia crassipes*, ha sido una alternativa aplicada en múltiples estudios, con el fin de contrarrestar el impacto generado por diferentes contaminantes en sistemas acuáticos. Siguiendo esta línea, el siguiente antecedente consultado: “***Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor y Eichhornia crassipes en aguas residuales producto de la actividad minera***”, desarrollado por Flores y Jaramillo en el año 2012, planteó como objetivo remover la cantidad de la concentración de sales de mercurio presentes en aguas residuales a través de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*. Para la experimentación, el agua fue obtenida de procesos industriales mineros donde se encontró mercurio y las plantas vegetales fueron extraídas de la Laguna de Paccha; seguido a esto, fue necesario revisar la estructura de diferentes tipos de humedales, como el humedal de flujo superficial (HFSS), el humedal de flujo subsuperficial vertical (HFSV) y el humedal de flujo subsuperficial horizontal (HFSH).

Así mismo, se describió la anatomía y morfología vegetal de la macrófitas, reconociendo su hábitat y sus patrones de crecimiento. Finalmente se concluyó que las plantas vegetales acuáticas ofrecieron una gran capacidad para la remoción de metales pesados, en este caso, mercurio, reconociéndola como una alternativa económica y efectiva al momento de pensar en tecnologías viables para el ambiente. De esta manera, este trabajo de grado expone un alcance real del proceso de fitorremediación frente a una problemática común y doliente, la contaminación de aguas por la actividad minera del sector, reconociendo el proceso como tecnología susceptible a ser aplicada en la producción minera a bajo costo.

El siguiente antecedente consultado: ***“Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia)”***, realizado por Mendoza en el año 2017, se dio a conocer el uso y la aplicación que tiene la fitorremediación en el tratamiento de aguas residuales como tecnología ambiental, que resultó ser una alternativa de bajo costo en su implementación. Para ello, se evaluó la eficiencia de remoción de carga orgánica del agua recolectada de la estación de bombeo 3 de la ciudad y se hizo en unidades a escala de laboratorio con la planta *Eichhornia crassipes*.

Los ensayos fueron realizados durante 225 días en cubetas de vidrio, en donde tres cubetas fueron provistas de agua con 15 plantas de la especie *Eichhornia crassipes* y otras tres cubetas fueron utilizadas como control. Seguido a esto, se realizó la medición de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos en el agua tales como el pH, amonio, oxígeno disuelto, ortofosfato, demanda química de oxígeno, coliformes fecales y totales. Las plantas fueron recolectadas en lagunas artificiales, las cuales fueron llevadas al laboratorio en recipientes plásticos, e igualmente aclimatadas con dos meses de anterioridad antes de dar inicio al experimento. Se pudo concluir que la planta acuática *E.crassipes* fue una opción posible y factible en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas. La presente investigación representa un fundamento teórico importante a la hora de trabajar experimentalmente con *Eichhornia crassipes* bajo escalas controladas de laboratorio y la

medición de parámetros fisicoquímicos que son indicativos en la remoción de contaminantes en sistemas acuáticos.

Antecedentes Locales

Dentro del marco local, el antecedente consultado: *“El humedal artificial como un espacio para la sensibilización entorno a las prácticas de uso de los recursos hídricos y sus posibilidades de reutilización”*, realizado por Gonzales y Perilla en el año 2015 en la Universidad Pedagógica Nacional; tuvo como objetivo 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 (IPN). Para ellos, se realizó primero una exhaustiva revisión bibliográfica desde un enfoque cuantitativo y posterior a esto la construcción del humedal artificial en el IPN, haciendo uso del agua de la granja ubicada al interior del colegio y de plantas previamente extraídas del humedal Jaboque. Estas plantas estuvieron expuestas a un proceso pre-adaptatorio a su introducción en el ambiente artificial, con el fin de que continuaran con su ciclo reproductivo normal. A partir de ello, se diseñaron módulos educativos desde un enfoque cualitativo, dirigidos al grado cuarto y al grupo de énfasis del IPN, los cuales fueron aplicados y evaluados por los estudiantes y maestros bajo los parámetros establecidos por las investigadoras.

En cuanto al diseño experimental se establecieron dos índices de calidad fisicoquímicos del agua (ICA Dinius e ICA NFS), los cuales arrojaron que, debido al estado regular del agua del lago, no se requería el proceso de depuración natural de las plantas introducidas. Finalmente se concluyó que el modelo artificial del IPN constituyó un espacio educativo de sensibilización en cuanto al uso adecuado y responsable de los recursos hídricos; y a su vez posibilitó tanto la enseñanza de conocimientos científicos como la aplicación de los mismos en busca de una transformación del ambiente.

Esta investigación aporta al presente trabajo de grado, un estudio en el cual identificar las posibilidades y deficiencias del desarrollo de un proyecto de fitorregulación, dada su similitud en el uso de macrofitas capaces de regular, equilibrar y mantener las condiciones naturales del agua, además de recrear mediante el diseño del humedal artificial procesos químicos, físicos y biológicos, posibilitando una reflexión constante del uso adecuado de los recursos hídricos en un país como Colombia, donde la contaminación de ríos, cuencas y humedales es una problemática latente.

El siguiente antecedente consultado: ***“La Fitorremediación en el tratamiento de aguas residuales para la remoción de Cr VI: aporte del trabajo experimental para la apropiación del lenguaje científico”***, realizado por Lancheros y Vela en el año 2011, tuvo como objetivo diseñar un protocolo experimental acerca de la capacidad fitorremediadora de cuatro especies vegetales específicas, en lo concerniente a la remoción de cromo hexavalente, reconociendo la incidencia de este tipo de trabajos en la apropiación de lenguajes y conceptos científicos. Se realizó para ello un test inicial acerca de los conceptos que los maestros en formación de séptimo semestre del programa de la licenciatura en química manejaban en su momento, acerca de la técnica limpia de la fitorremediación. Posteriormente se desarrolló el protocolo experimental con las cuatro especies vegetales contempladas para el trabajo, entre ellas *Lemna minor* y *Azolla filiculoides*, y finalmente se pidió a los maestros en formación como producto final del ejercicio un artículo en el cual expusieran los resultados del protocolo experimental, evaluando la terminología científica que utilizaban antes y después del proceso. Se concluyó a partir de esto, que experimentar con las especies vegetales seguido del enfoque investigativo adoptado por los maestros en formación, generó en ellos una apropiación del lenguaje científico adecuado para la elaboración de explicaciones valiosas frente a temáticas como la fitorremediación.

Este antecedente contribuye al presente trabajo de grado ya que aborda protocolos experimentales que pueden ser fácilmente abordados con los maestros de biología, para la apropiación de conceptos y lenguajes científicos útiles en la enseñanza de la fitorremediación en contextos escolares.

El siguiente antecedente consultado: ***“La Fitorremediación de Mercurio como estrategia CTSA para el Desarrollo de habilidades argumentativas”***, realizado por García en el año 2012, en el cual se abordó la posible disminución de los problemas ambientales que surgen en la Vereda el Mochuelo Alto, en Ciudad Bolívar. Así mismo, se planteó llevar las problemáticas a la escuela apoyándose en una metodología en la cual a través de una simulación educativa el estudiante argumentara mediante el juego de roles dichas problemáticas, adquiriendo así habilidades de argumentación en clase. Para esto, primero se recolectaron las especies *Lemna minor*, *Bidens laevis* y *Echhornia crassipes*, del Humedal Jaboque y se dispusieron en una solución de Mercurio (1 ppm) durante 72 horas, posteriormente, por medio de la técnica de absorción atómica se determinó la capacidad de retención del mercurio por parte de cada una de las macrófitas trabajadas. Seguido a esto, se realizó un cuestionario en el Colegio Guillermo Cano Isaza de Ciudad Bolívar, para evidenciar las relaciones CTSA con las problemáticas ambientales y de contaminación que establecían los estudiantes y a partir de un debate los estudiantes pudieron argumentar cada una de sus posturas frente a problemáticas ambientales de su entorno

Este trabajo aporta al proyecto de investigación por cuanto es posible evidenciar las diferentes apropiaciones que tuvieron los estudiantes acerca de las problemáticas ambientales que surgen en propio entorno. Esta experiencia es significativa, ya que aunque el material educativo es diseñado para los maestros del distrito, es utilizado finalmente con los estudiantes, siendo ellos los principales protagonistas del proceso de reflexión y argumentación en torno a estas situaciones ambientales que surgen.

El siguiente antecedente consultado: ***“Los procesos indagatorios como estrategia pedagógica para fomentar actitudes científicas en estudiantes de secundaria mediante la técnica de Fitorremediación de zinc y níquel”***, realizado por Aguirre y Tunjo en el año 2012, presenta un estudio acerca de la adquisición de actitudes científicas por medio de procesos indagatorios a través de la fitorremediación con tres especies de macrófitas: *Lemna minor*, *Bidens laevis* y *Eichhornia crassipes*; proceso que fue aplicado con estudiantes del colegio Tomás Carrasquilla del grado décimo. Para ello, se realizó primero

una contextualización en la población estudiantil para definir los conceptos estructurantes del tema de estudio y posterior a ello, elaborar un protocolo de clase, el cual permitirá fomentar las actitudes científicas por medio de procesos indagatorios. Se concluyó que, por medio de la enseñanza de la fitorremediación y los procesos indagatorios realizados en la primera fase metodológica, los estudiantes lograron desarrollar actitudes científicas, ya que por medio de la experimentación adquirieron elementos que les permitía argumentar y apropiarse de temáticas que afectan el ambiente. Por otro lado, se demostró que la planta acuática con mayor capacidad de remoción de metales pesados fue *Eichhornia crassipes*, específicamente en fitoextracción de Níquel y rizofiltración en Zinc. Esto aporta una ruta metodológica valiosa en cuanto al trabajo experimental realizado con *Eichhornia crassipes* demostrando su eficiencia como organismo fitorremediador y además permite evidenciar que los estudiantes logran conceptualizar los procesos que ocurren en la fitorremediación y adoptar posturas críticas frente a estos procesos.

El siguiente antecedente consultado: ***“La fitorremediación como estrategia para reducir impactos del mercurio en agua: un microproyecto de educación en química verde”***, realizada por Perdomo, Velasco, Cortés, Gallo y Franco en el año 2015 dentro de la Universidad Pedagógica Nacional, se analizó la importancia de la *fitorremediación* como una técnica de química verde para disminuir el impacto ambiental que genera el mercurio (Hg) en fuentes hídricas a partir del estudio de *Eichhornia crassipes*, esto con el fin de determinar el nivel de absorción de dicha especie frente al mercurio en ecosistemas acuáticos y establecer la relación entre la técnica fotoquímica de la fitorremediación y la química verde. Metodológicamente se experimentó dentro de un sistema acuífero diseñado artificialmente a micro escala, con el fin de exponer la planta a una concentración inicial de 5 ppm de mercurio (II) dentro de un rango de tiempo de 1 hora, 1 hora con 30 minutos y 3 horas. Posteriormente se optó por un análisis cuantitativo, con el fin de determinar y comparar la concentración final del metal traza (Hg) acumulado por la planta. Este estudio aporta una valiosa ruta metodológica acompañada de conocimientos disciplinares químicos y biológicos, fundamentales para la comprensión de la fitorremediación como una tecnología eficaz, viable y rápida frente a problemáticas ambientales actuales.

El siguiente antecedente consultado: “*Diseño e implementación de un Proyecto de investigación en el aula sobre la fitorremediación de Cr (VI) como una estrategia para el desarrollo de competencias científicas investigativas*”, realizado por García y Gómez en el año 2017 dentro del programa curricular de la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional, tuvo como objetivo desarrollar y fortalecer las competencias científicas e investigativas en los estudiantes del Énfasis de Tecnologías Limpias de la Licenciatura, a través de la implementación de una secuencia didáctica diseñada desde un ciclo de aprendizaje hipotético-deductivo. Esta investigación se consolidó bajo un proyecto investigativo de aula que partió de problemas ambientales, en el que se estableció la fitorremediación de Cr (VI) con las macrófitas *Eichhornia crassipes*, *Cyperus papyrus*, *Spathiphyllum wallissi* y *Dracaena braunii*, como una posible solución al tratamiento de las aguas residuales causadas por los productos de las curtiembres de Villa Pinzón (Cundinamarca, Colombia).

Se concluyó que la contaminación del agua por metales pesados fue una problemática real que pudo ser llevada al aula para proponer soluciones desde la fitorremediación; por otro lado se logró fortalecer competencias científicas en los futuros Licenciados a través de los proyectos propuestos, y finalmente se obtuvo una notable retención de la cantidad de Cromo (VI) al cabo de 72 horas en las cuatro especies vegetales trabajadas, entre las cuales se encontraba *Eichhornia crassipes*, la macrófita más rápida y eficaz removiendo el 72,55% del contaminante cromo hexavalente. Ello aporta al presente proyecto de investigación, principalmente los detalles referidos a los procedimientos necesarios para la determinación y cuantificación de Cr (VI). Así mismo resalta el método *difenilcarbazida* en medios ácidos durante la preparación de diferentes soluciones químicas y lecturas colorimétricas que son útiles para determinar la eficiencia de las especies vegetales (*Eichhornia crassipes*) en la fitorremediación. Así mismo, aporta conocimientos relacionados con la construcción, desarrollo y aplicación de materiales en este caso didácticos dirigidos a los maestros en formación de la universidad.

Marco teórico

Debido a que el punto central del presente proyecto corresponde a trabajar técnicas biotecnológicas como la Fitorremediación a través del uso del Humedal Artificial como material educativo dirigido a los maestros egresados de la Licenciatura en Biología, que no solo ilustra, sino que a su vez posibilita ampliar de una forma distinta la manera de concebir procesos biotecnológicos y sus diversas contribuciones a la apropiación del Recurso Hídrico, será necesario plantear y entender algunos ejes conceptuales como la biotecnología y Biorremediación, la Fitorremediación con buchón de agua, el Humedal Artificial como sistema acuático y material educativo sobre los cuales se apoyará y argumentará el tema central de esta investigación.

Biotecnología y Biorremediación

Teniendo en cuenta lo anterior, y queriendo trazar un recorrido que se propone reconstruir el devenir de aquello que es entendido como *Biotecnología*, Malacarne (2008) nos muestran en *Biotecnología, educación y desarrollo sostenible*, que dicho término se emplea para denominar a todo uso de procesos biológicos, organismos vivos o partes de ellos, para fabricar productos útiles. Sin embargo, otros autores afirman que la biotecnología no es una ciencia, sino un sistema tecno-científico:

(...) el cual, agrupa a un conjunto de disciplinas como la biología, la química, genética, agronomía, medicina y ecología, entre otras. Esta plataforma tecnológica interactúa de forma transversal con dichas disciplinas y encuentra aplicaciones en diversos sectores productivos, permitiendo un aumento de productividad y competitividad. (Malacarne, 2008, p.117)

Es por ello que se considera todo un reto para el maestro incursionar en la enseñanza de la biotecnología en un contexto tan cambiante y abierto a novedades tecnológicas como es la escuela, a lo cual se suma la innegable relación o conexión de la tecnología con lo vivo y con las formas en que concebimos la realidad y el contexto del que somos parte; así también lo reitera Hernández (2004) al afirmar que:

La biotecnología constituye un ejemplo ideal de conexión entre las cuestiones científicas, el desarrollo tecnológico y el contexto social; ya que, las modificaciones que está introduciendo en nuestras vidas interesan, ilustran claramente la relación entre la llamada ciencia pura y las aplicaciones tecnológicas y, ponen de manifiesto la conexión existente en la actualidad, como intereses comerciales, políticos, científicos y tecnológicos. (p. 1)

Ahora bien, es necesario abordar el concepto de Biorremediación, el cual fue acuñado a finales de la década de los setenta y a principios de los ochenta. En esa época, los científicos observaron que era posible aplicar estrategias de remediación que fuesen de origen biológico. La Biorremediación se terminó consolidando como una de las ramas de la biotecnología, la cual se basa en la capacidad de los microorganismos para llevar a cabo procesos degradativos mediante la producción de enzimas. Con el tiempo se descubrió que existían bacterias cuya fuente de alimento era el petróleo, y que, al absorber dicha sustancia, logra transformarlo en uno menos tóxico o incluso eliminarlo totalmente del ambiente donde se encontraban Rodríguez (2004).

La capacidad de degradar hidrocarburos en algunas bacterias, terminó siendo unas de las técnicas pioneras utilizadas tras la tragedia ocurrida en Alaska frente al vertido del *Exxon Valdez*. Rodríguez (2004) en su artículo *la Biorremediación frente al vertido del Exxon Valdez*, menciona que dicho vertido ocurrido el 24 de marzo de 1989 en las costas de Alaska es una referencia imprescindible para entender cómo se puede afrontar la limpieza definitiva de las costas afectadas por El Prestige. El mismo autor afirma que la Biorremediación fue una de las técnicas dominantes en la recuperación ambiental usados a largo plazo.

De este mismo modo es posible evidenciar el alcance y el poder que tiene la Biorremediación en problemas ambientales de grandes proporciones. Otra definición que se puede encontrar, es la ofrecida por Gallego, J.; Sánchez, J.; Peláez, A.; Garcia, M.; Ortiz, J.; Torres, T. y Llamas, J. (2003) definen a la Biorremediación como:

una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos, fundamentalmente bacterias, pero así mismo, hongos y levaduras, para transformar contaminantes orgánicos en compuestos simples poco o nada contaminantes. Dentro de los contaminantes más exitosos en la Biorremediación son por lo general los hidrocarburos, y entre otros compuestos más pesados como

como Hidrocarburos clorados, tales como PCBs, TeE, PCE, pesticidas, herbicidas; entre otros. (p. 72)

Gallego et al. (2003) resalta la Biorremediación bacteriana en términos de su importancia y de la amplitud de medios en los que puede ser aplicado, tanto en sólidos, líquidos o gases. De igual modo es una tecnología no agresiva con el ambiente y por lo general no requiere componentes estructurales o mecánicos para su adecuado funcionamiento, lo que significa que la Biorremediación tiene un bajo coste al tratarse de un proceso natural que solo requeriría de una constante estimulación y presencia de nutrientes claves, y la actividad enzimática de los microorganismos. Siendo consecuente con esto, (Muñoz 2006, citado por Malacarne, 2008) resalta que, dadas las facilidades de dichos procesos, en la actualidad la Biotecnología no solo contribuye a la limpieza del ambiente de desechos tóxicos, sino que contribuye a evitarlos.

Fitorremediación con Buchón de agua

Según Castillo (2005) la Fitorremediación se define como la utilización de plantas para eliminar contaminantes orgánicos o inorgánicos (oxianiones, metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos, lixiviados e hidrocarburos), aprovechando su capacidad para metabolizar o concentrar todo tipo de compuestos químicos. Dr. Tsao (2003), como la implementación de vegetación para suprimir, sustituir y degradar los compuestos orgánicos e inorgánicos existentes en sedimentos, suelos, aguas superficiales y subterráneas. Además, esta tecnología ambiental no necesita de herramientas mecánicas o de instrumentación industrial, generando una contribución importante a la disminución de gases de efecto invernadero siendo que las plantas acuáticas funcionan como sumideros de este proceso.

Esta técnica se constituye en cinco partes importantes a tener en cuenta: La primera es la *extracción y concentración* de contaminantes en partes cosechales de la planta; la segunda es la *degradación* de contaminantes orgánicos; la tercera consiste en la *absorción* de metales de los acuíferos; la cuarta es la *reducción* de la disponibilidad de los contaminantes

para otros organismos; y la quinta refiere a la *volatilización* de contaminantes y *eliminación* de contaminantes atmosféricos. Este tipo de características requieren pensar en que esta tecnología necesita de la nutrición orgánica, absorción del agua, realización de fotosíntesis, biometabolismo, evapotranspiración y exudación de la raíz.

Lo que esta caracterización sugiere es una complejidad conceptual detrás de la Fitorremediación y fitotecnología; la exudación de la raíz permite ejemplificar este punto. La exudación ocurre en la rizosfera, siendo esta última definida desde Ingraham e Ingraham (1998) como una parte del suelo que rodea las raíces de las plantas, siendo diferente a cualquier otra región del suelo. Sin embargo, en algunas plantas en las que ocurre un tipo de simbiosis entre hongos y raíces, denominado micorriza, existe una diferencia con la rizosfera en la medida en que no se encuentran

Contaminant class	Common sources	Specific constituents
Heavy Metals	Mining Sites, Smelters	Ag, Au, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn
Metalloids	Power Plants, Wood Treating Facilities, Agriculture	As, Hg, Se
Radionuclides	Department of Energy Facilities	¹³⁷ Ce, ²³⁹ Pu, ⁹⁰ Sr, ^{234/238} U, tritium
Salts	Agriculture, Oil and Gas Production, Metals Processing	Na, Ca, Mg Chlorides
Agrochemicals	Agriculture	Atrazine, Metolachlor, (Pesticides, Fertilizers) Propanil, 2,4-D, NO ₃ , NH ₄ , TKN, Phosphorus, Organophosphates
Hydrocarbons	Oil and Gas Industry	BTEX, MTBE, GRO, DRO, PAH, O&G, VOC, SVOC, TPH
Chlorinated Compounds	Industrial Facilities, Dry-Cleaners, Wood Treating Facilities	PCE, TCE, DCE, VC, TCA, TCAA, PCB, PCB
Nitroaromatics	Department of Defense Facilities	Nitrobenzene, TNT, RDX, HMX (unexploded ordnance)
Leachate	Landfills (Municipal, Industrial)	Municipal, Hazardous, RCRA Wastes
Wastewater	WWTP, POTW	BOD ₅ , COD, TDS, TSS, TOC, phenols, <i>E. coli</i> , fecal coliform, pathogens

Figura 1. Principales contaminantes absorbidos en la rizósfera. Overview of Phytotechnologies. (Tsao, D. 2003).

estrechamente relacionados con los microorganismos, aspecto que sí ocurre en la rizosfera;

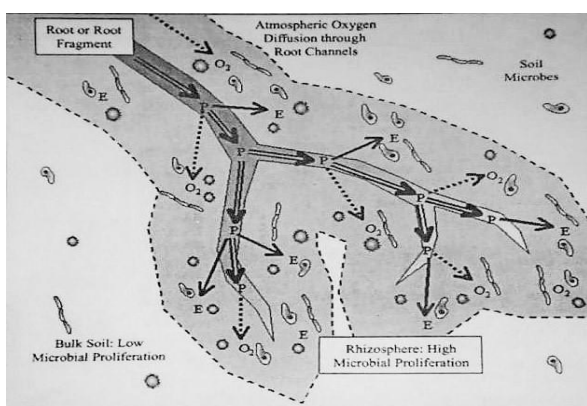


Figura 2. Rizosfera de raíz de planta (P ---> P = fotoquímicos producidos por la fotosíntesis y translocados a través del floema, P ---> E = fitoquímicos liberados como exudados, P ---> O₂ = Fitoproductos químicos consumidos durante la respiración para producir o. (Tsao, D. 2003).

dicha relación denominada *efecto de la rizosfera*, es expresada por la relación *R:S*, la cual denota la proporción de la cantidad de organismos dispuestos en una porción de suelo en la rizosfera. Para que este proceso pueda ser efectivo, es necesario que las plantas expulsen nutrientes y contengan agentes antimicrobianos que no permitan el crecimiento de algunos microorganismos; siendo así que los microorganismos que se encuentran en la rizosfera favorecen al crecimiento de la planta y

en algunos casos, se convierte en un tipo de protección contra hongos patógenos que puedan afectar el crecimiento y desarrollo de sus raíces.

Hablar de la rizosfera es necesaria para establecer su importancia para definir y señalar los procedimientos utilizados en las fitotecnologías. Un tipo de contaminantes son los lixiviados, los cuales según Beltrán y Borrero (2012) se definen como todos aquellos líquidos que, junto con la lluvia, aguas superficiales, subsuperficiales y propias de las basuras, llevando consigo material sólido.

Partiendo de esto también Castillo (2005) mencionan que el proceso de la degradación en plantas o biotransformación de compuestos potencialmente tóxicos (xenobióticos o no xenobióticos) está basada en una serie de reacciones de óxido-reducción o hidrolíticas, cuyo objetivo es modificar dichos compuestos para su posterior eliminación mediante diferentes vías de secreción o excreción. Así mismo, el principio de degradación y descontaminación de compuestos orgánicos e inorgánicos contaminados por sustancias químicas tóxicas consiste en la interacción de las plantas acuáticas o macrófitas, con las comunidades microbianas, el suelo y los cuerpos de agua.

En esta relación de macrófitas con los microorganismos las plantas acuáticas se alimentan de los compuestos orgánicos e inorgánicos en el suelo y en el agua; dichas sustancias en exceso son utilizadas por las plantas como fuente de alimento para la producción de energía mediante la biodegradación bacteriana, en la cual, en la cual, se desarrollan relaciones simbióticas en la medida en que uno de los organismos implicados (la planta) absorbe las sustancias tóxicas, según sea el tipo de Fitorremediación, mientras que el otro (las bacterias) proporcionan nutrientes tales como carbohidratos, oxígeno minerales inorgánicos, entre otros, protegen y mejoran la capacidad de absorción de la planta. En otras palabras, el proceso consiste en la absorción y la metabolización de los compuestos xenobióticos y no xenobióticos, los cuales son degradados para obtener el crecimiento de la planta, en donde es necesario tener en cuenta la importancia que tiene la rizosfera.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en las fitotecnologías, es el proceso que lleva la planta para su crecimiento y desarrollo; dicho proceso consiste en la absorción de agua y de nutrientes inorgánicos por medio de las raíces, mientras la planta libera fitoquímicos hacia la rizosfera. Es así como la energía de la planta es conseguida a través de las hojas de la planta para fotosintetizar CO_2 siendo liberado hacia la atmósfera. Estos procesos biológicos pueden aportar significativamente al control de los contaminantes.

Los trece nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento, reproducción y desarrollo de la planta, son: Nitrato, Fosfato, Nitrógeno de Amonio, Potasio, Magnesio, Sulfato, Hierro, Cloruro, Zinc, Manganeso, Cobre, Borato y Molibdato. Estos nutrientes son absorbidos por el sistema radicular una vez se encuentran disponibles en el agua que hay en el suelo. La absorción de estos nutrientes ocurre desde la raíz a partir del apoplasto (células que se encuentran en la raíz) o el simplasto (lado interno de la membrana celular en donde los solutos y el agua de bajo peso molecular se pueden difundir libremente); además, dos formas de pasar minerales a través de la raíz es por medio de los canales con gradientes electroquímicos y las proteínas de transporte por medio de ATPasa. Una vez los nutrientes se encuentran en el interior de la raíz, recorren la planta por medio del xilema.

Del mismo modo, minerales como Zn, Mn y Cu en altas concentraciones pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y para la planta específicamente. Para este tipo de minerales las plantas tienen otros procesos con los que pueden estabilizar las cantidades que presentan de dichos minerales, eliminando el exceso para hacia el sistema en donde se encuentre, ya sea agua o suelo. Una primera estrategia para exudar estos minerales es por medio de vacuolas que actúan como una forma de almacenamiento para la planta, y le ayuda a transportar los minerales hacia todas sus estructuras. La segunda estrategia es reducir la toxicidad de los compuestos inorgánicos por medio de un cambio de su especificidad a través de la incorporación de un compuesto organometálico; todo lo descrito anteriormente son aspectos a tener en cuenta al momento de pensar en la remoción de los contaminantes.

Por otro lado (Raskin, 2000) define la Fitorremediación como una alternativa y solución económicamente viable para remediar sitios altamente contaminados. De esta alternativa se han desarrollado varios subconjuntos de procesos fitorremediativos de compuestos orgánicos e inorgánicos, como la *rizofiltración*, en la cual las raíces de las plantas cultivadas en agua aireada, precipitan y concentran metales tóxicos de efluentes contaminados; la *fitoestabilización*, en la cual las plantas estabilizan los contaminantes en suelos, transformándolos en inofensivos; la *fitoextracción* (para compuestos inorgánicos), consiste en la implementación de plantas acumuladoras o hiperacumuladoras que tengan la capacidad de condensar y absorber, en sus tallos y hojas, los contaminantes que se encuentran en el suelo, como metales pesados, metaloides, sales y radionucleidos; la *fitodegradación*, en la cual las plantas producen enzimas que les permite catalizar los elementos que absorbió en el proceso de transformación de sustancias tóxicas mediante su metabolismo; la *fitoestimulación*, en la cual las plantas que se encuentran en el suelo, principalmente en la rizosfera, se ven estimuladas debido a la actividad microbiana que permite la degradación de los contaminantes; y finalmente la *fitovolatilización*, en la que las plantas extraen metales volátiles (mercurio y selenio, entre otros) del suelo y follaje.

El proceso de Fitorremediación es realizado por las plantas acuáticas o macrófitas, las cuales tienen una importante incidencia en los ecosistemas de humedal. Tal y como lo menciona Rial (2013), el Jacinto de Agua o Buchón de Agua (*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática flotante perteneciente a la familia Pontederiaceae, descrita por primera vez en Brasil, en especial en las cuencas de la Amazonia brasileña. Esta planta presenta unas características que le han hecho merecedora del concepto *maleza invasora*, el cual es definido por Roldán (1992) como cualquier especie vegetal que tiene una alta tasa de crecimiento impidiendo la fotosíntesis de otras especies de su mismo estrato, debido a que limita el acceso de la luz solar a los espejos de agua. Este fenómeno, causado por el Buchón de Agua, se debe a lo que ya exponía Roldán (1992): una alta tasa de reproducción y crecimiento; tiende a desarrollarse en los bordes de las represas, lagos y humedales, sin embargo, dependiendo del estado de eutroficación existente, esto es, altos niveles de

fósforo, nitrógeno, potasio, plomo y cobre, también puede llegar a invadir aguas abiertas, sobre todo si presenta poco movimiento.

En cuanto a la morfología de la planta, sus hojas son de color verde con peciolo elongado e inflado de aire lo cual le permite la flotabilidad en el agua, y con desarrollo ascendente. Sus estolones llegan a tener hasta 35 cm de longitud desde la roseta hija y sus flores varían de color azul a morado presentando una mancha amarilla sobre el lóbulo superior. Presenta raíces filamentosas que alcanzan más de un metro de longitud, cuya medida depende de la absorción de nutrientes tomados en la columna de agua, la temperatura, y la cosecha. Martero y Lara (2012) mencionan que el principal proceso para la remoción de contaminantes por parte de estas macrófitas está delimitado por tres mecanismos: agregado de nutrientes a la planta, sedimentación y filtración de sólidos, y finalmente la eliminación de materia orgánica por medio de microorganismos facultativos, expresado en simbiosis. El éxito del crecimiento del Buchón de agua depende principalmente de la cantidad de nutrientes que contenga el cuerpo de agua, especialmente en Fósforo, Nitrógeno y Potasio. Además, es una fitotecnología que tiene un costo relativamente bajo, permitiendo ser llevada a diferentes espacios, dando como resultado el tratamiento de aguas y suelos que no tienen al alcance la remoción de contaminantes y que sí puede ser posible en poco tiempo, por medio de la Fitorremediación.

Humedales artificiales como sistemas acuáticos

El agua ocupa más del 71% de la superficie de la tierra y es el medio natural para muchas formas de vida, además, la interacción entre el agua y la atmósfera constituye el principal factor determinante del clima. Lo que significa que el ecosistema acuático no es independiente de factores o elementos de otros ecosistemas pues incluso al igual que el terrestre, es el resultado de la interacción entre el agua, la atmósfera, la tierra y los organismos vivos (Roldán, 1992). Según Roldán (1992): “*El agua es un compuesto formado por moléculas covalentes en las cuales un átomo de oxígeno (O) comparte dos electrones con dos átomos de hidrógeno (H)*” (p. 53);

Teniendo en cuenta lo anterior, el agua se configura como todo un sistema en el que emergen diferentes relaciones entre factores tanto bióticos como abióticos que afectan su metabolismo, funcionalidad y productividad. Esto es posible relacionarlo con los aportes teóricos de Roldán (1992), pues esta caracterización resulta ejemplificando lo que él denomina la unidad ecológica por excelencia en la que un grupo de organismos interactúan entre sí y estos a su vez con el ambiente: el *Ecosistema*. Dentro de los *factores abióticos* que influyen en la estabilidad y productividad de los ecosistemas acuáticos se encuentra la luz solar, los gases y los sólidos disueltos en el agua. En los *factores bióticos* se incluyen a todos los organismos vivos que se encuentran en el ecosistema y cumplen funciones ecológicas; así, en primer lugar se encuentran los *productores* tales como las algas, bacterias y plantas fotosintetizadoras; en segundo lugar *los consumidores*, que pueden ser animales acuáticos (protozoos, invertebrados y vertebrados superiores); y en tercer lugar *los descomponedores o mineralizadores de materia orgánica* tales como hongos y bacterias, indispensables para la producción de sales minerales, óxidos de carbono, oxígeno e hidrógeno, y la asimilación de nutrientes como el nitrógeno disuelto en el agua (Roldán, 1992).

Un ecosistema lo componen factores ambientales o ecológicos bióticos o abióticos, que son elementos susceptibles de actuar directa o indirectamente sobre alguna fase del desarrollo de los organismos. Dentro de los ecosistemas de tipo acuático, se han destacado a los humedales como uno de los más importantes y necesarios en el planeta tierra. Estos se definen según López, Vásquez, Gómez y Priego como terrenos cuyos suelos están permanentemente o periódicamente inundados o saturados, en ambientes con agua dulce o con algún grado de salinidad. Los ecosistemas acuáticos poseen diversos tipos de vegetación cuyas especies pueden ser de gran utilidad como bioindicadores, ya que la mayoría depende necesariamente de la abundancia del agua para su subsistencia.

Un tipo de ecosistema de agua dulce que se trabaja en el presente trabajo de grado, son los humedales. Una definición que se brinda de los humedales, es aquella expuesta en el artículo 3º, inciso tercero de la Ley de Aguas Nacionales:

(...) zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos son permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos. (López, Vásquez, Gómez y Priego, 2009, p. 229)

Por otro lado, la Convención de Ramsar define al humedal como un ecosistema en el que se incluye variedad de hábitat tales como pantanos, llanuras de inundación, turberas, ríos y lagos, áreas costeras, marismas, manglares, praderas de pastos marinos, arrecifes de coral, y áreas marinas en donde la profundidad en marea baja no supere los seis metros (Secretaría de la Convención de RAMSAR, 2010).

Según Naranjo (2012) los *bosques inundables* son aquellas comunidades que están en su mayoría representados por árboles arraigados en suelos hídricos. Las *ciénagas*, son aquellas comunidades compuestas por plantas herbáceas de tipo emergente y arraigada; los *bofedales* representan a las comunidades compuestas por musgos y ericáceas en forma de turba profunda; y finalmente los *pantanos*, que son aquellas comunidades compuestas por hierbas arraigadas en turba somera permitiendo así el flujo de agua en su interior.

Según López, Vásquez, Gómez y Priego (2009), los humedales también pueden clasificarse teniendo en cuenta aspectos como el tipo de hidrología, geomorfología, formas dominantes de vida de la vegetación, fisiografía y composición del sustrato. Gracias a ello se describen los humedales marinos y estuarino (submareal e intermareal), ripario (intermareal, perenne e intermitente), lacustre (limnético y litoral) y palustre. La clasificación de la Convención RAMSAR por otro lado, realizó otro tipo de reconocimiento que responde un poco más al tipo de ambiente, manifestando que también pueden clasificarse en: *marino/costeros*, *humedales interiores* (continentales) y finalmente humedales construidos por el hombre, los cuales incluyen a su vez los *humedales artificiales*.

En relación a lo anterior, el Humedal Artificial como un sistema acuático, es abordado en un primer momento por Gerba, Thurston, Watt y Kar-piscak (1999) quien lo define como: *“un sistema que simula una zona de transición entre el ambiente terrestre y acuático, pero que son específicamente construidos para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad de tratamiento”* (p. 158). Es la capacidad de tratamiento del Humedal Artificial la que permite que sea utilizado *“para mejorar la calidad residual, en el cual mediante procesos biológicos se permite la degradación de la materia orgánica”* (Silva y Zamora, 2005, p. 10).

Así mismo, Beltrán y Borrero (2012) definen a los Humedales Artificiales (HA) como Ecotecnologías que actúan como sistemas de tratamiento de tipo natural, a partir de la emulación de procesos físicos, químicos y biológicos que mejoran la calidad del agua residual que fluye a través de sí. Así mismo concuerdan con la idea de Giraldo (2001 citado en Beltrán y Borrero, 2012) en la que manifestaba que los HA ofrecen una alternativa ecológicamente racional en el tratamiento de lixiviados, puesto que son sistemas naturales menos costosos, de mayor simplicidad y que suelen adaptarse a diferentes niveles de tratamiento.

En cuanto a su funcionamiento, los HA utilizan procesos de degradación de contaminantes mediante los mismos mecanismos físicos, químicos y biológicos que se presentan en los humedales naturales y por lo cual se crean ambientes de tipo aerobio o anaerobio en el medio filtrante (Yalcuk y Ugurlu, 2009, citado en Beltrán y Borrero, 2012). Así mismo, estos sistemas acuáticos contienen un sistema de flujo con un sustrato o suelo compuesto ya sea por arena o grava gruesa preferiblemente de diámetro de partícula de 4 cm. (Kadlec, 1999, citado en Beltrán y Borrero, 2012); finalmente también cuentan con microorganismos y animales que se alimentan de la materia orgánica del medio y facilitan el flujo constante de nutrientes.

Por otro lado, Silva y Zamora (2005) definen los HA como áreas con gran cantidad de agua que pueden estar compuestos principalmente por plantas semisumergidas y sumergidas como espadañas, carrizos, juncos, enneas, jacintos de agua y las lentejas de agua, las cuales están en una constante interacción con microorganismos y la atmósfera, que ayudan a la degradación de la materia orgánica. Debido a toda esta materia vegetal presente en los humedales se generan superficies para la formación de películas bacterianas que promueven una constante transferencia de oxígeno.

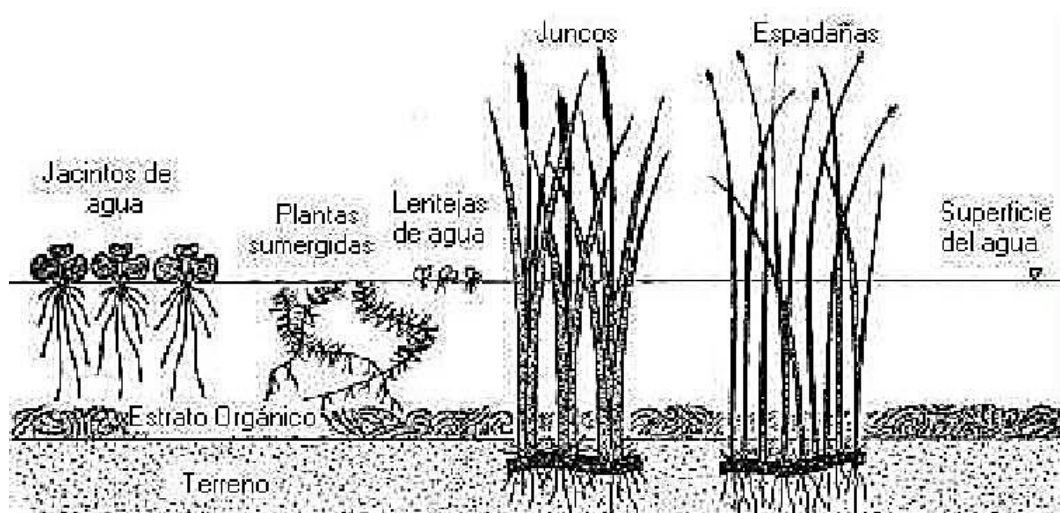


Figura 3. Tipos de plantas acuáticas en un Humedal Artificial.
Silva y Zamora (2005).

Existen dos tipos de sistemas de Humedal Artificial, uno de ellos es el Sistema de Flujo Libre o (FWS), el cual consta de grava como un medio de soporte, sobre el cual se establece el nivel del agua y en donde las hojas, el tallo y las raíces de las plantas son las estructuras encargadas de proveer el oxígeno libre en el ecosistema. El otro tipo de HA es el Sistema de Flujo Subsuperficial o (SFS) el cual a su vez puede ser de tipo horizontal y vertical, siendo el Humedal de Flujo subsuperficial Horizontal (FSH) el más eficiente en la remoción de materia orgánica. Este tipo de Humedal Artificial también consta de un lecho de grava, pero que en este caso cumple la función de facilitar la formación de películas

microbianas encargadas de procesar el oxígeno y los demás procesos que suceden en el interior del sistema. En este caso el agua está por debajo del medio de soporte y fluye únicamente a través del lecho de grava haciendo que las raíces de la planta se establezcan en el fondo del lecho (Silva y Zamora, 2005).

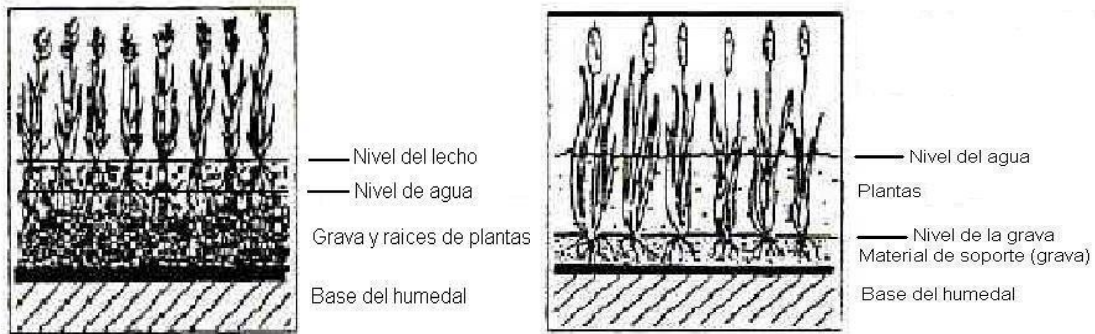


Figura 4. (Izquierda) se observa un Sistema de Flujo Libre (FWS) y en la (Derecha) se observa un Sistema de Flujo Subsuperficial (SFS). Ejemplificación de los tipos de Sistemas de Flujo de un Humedal Artificial. (Silva y Zamora, 2005).

Por otro lado, el gran grupo de plantas existentes en los ecosistemas se subdividen en aquellas que son híbridas (pueden vivir en ambientes acuáticos y terrestres), terrestres y acuáticas; estas últimas (las acuáticas) también reciben el nombre de *macrófitas*. Según el hábitat y el medio en el que se desarrollen las macrófitas pueden clasificarse en *flotantes*, *sumergidas* y *emergentes*. Las *plantas flotantes* son todas aquellas cuyas hojas se mantienen flotantes en la superficie del agua y sus raíces no se establecen ni se adhieren en el fondo del sistema acuático. El modo de nutrición de este tipo de plantas está restringido directamente a la absorción de nutrientes disponibles en el agua, a través de la difusión por su pared celular o por medio del desarrollo de un sistema radicular.

Las *plantas sumergidas* son aquellas que cumplen todo su ciclo biológico dentro del agua, aunque poseen flores que salen en la superficie. Este tipo de especies vegetales se caracterizan por tener raíces enraizadas al fondo, tallos largos y ramificados; en su mayoría están representadas por la familia *Hydrocharitaceae*. En este tipo de plantas también

pueden encontrarse las llamadas malezas de agua, como es el caso de *Potamogeton*, la cual es una planta acuática sumergida con una amplia distribución mundial.

Las *plantas emergentes* por otro lado, son todas aquellas especies vegetales que crecen firmemente en el fondo de aguas poco profundas y la mayor parte de sus tallos y hojas emergen por encima del agua. La mayoría de las estructuras de la planta son lo suficientemente rígidas para no depender del agua para su soporte y se ven representadas en su mayoría por el género *Typha* y grupos como *Juncaceae* los cuales se caracterizan por alcanzar grandes alturas (Roldán, 1992).

Apropiación del Recurso Hídrico

La palabra Recurso es definida por Begon, Harper y Townsend (1999) como materia que los organismos vivos pueden consumir, en el sentido de la expresión “ha disminuido la reserva” (hablando en cantidades) debido al consumo que han realizado los organismos para luego incorporarlos en su biomasa y transformarlos en energía para el desarrollo de diferentes actividades. Los recursos pueden ser abióticos, como la cantidad de radiación que necesitan las plantas para la fotosíntesis denominada como recurso energético, o los bióticos, como lo son las presas para los depredadores, siendo recursos alimenticios. El agua, aunque es un recurso necesario para la vida en el planeta, es limitada, por tal razón el agua necesita entenderse como un recurso que necesita tanto cantidad como calidad necesaria para garantizar un verdadero desarrollo sustentable

Una de las múltiples y variadas definiciones del Recurso Hídrico, es la proporcionada por Maya y Ramos (2009), quienes lo describen desde una multidimensionalidad:

La multidimensionalidad del Recurso Hídrico hace relación a su naturaleza como recurso natural finito y vulnerable que hace parte de un ecosistema y es fundamental para el sostenimiento de la vida en general y de la especie humana en particular...El Recurso Hídrico puede ser tanto un bien público, como un bien privado. (p. 22)

Desde Berdugo, Betancourt, Maldonado y Garzón (2003) el Recurso Hídrico también se define como el conjunto de eventos, flujos y procesos que sigue el agua, desde su origen hasta su desecho; pero también la percepción del Recurso Hídrico varía entre la sociedad de acuerdo con la edad, el oficio y el sexo.

Por otro lado, la Universidad de Antioquia (2010) define a los Recursos Hídricos Subterráneos como la reserva más importante de agua potable en el planeta, y si bien en Colombia su utilización data de varias décadas, cada día la presión sobre este recurso aumenta al disminuir la oferta superficial. Esta situación merece una especial atención de aquellos profesionales y entidades ambientales que se relacionan con áreas de conservación, para reflexionar la necesidad de capacitar sujetos que adquieran conocimientos básicos que les posibiliten tomar decisiones adecuadas ante esta delicada problemática.

Sin embargo, hablar sobre los Recursos Hídricos también implica hablar de humedales, ya que ellos también tienen como fin regular procesos como el ciclo del agua y el Recurso Hídrico en general; por lo que su estudio no debe limitarse al enfoque ecosistemático o biológico, sino que deben verse dentro de una óptica mucho más amplia, en donde juegan un papel fundamental los aspectos sociales, culturales y económicos (Granizo, citado en Guerrero et al., 1998).

Según Rivera (1992 citada en Guerrero et al., 1998), dentro de los aspectos políticos y normativos de los humedales como sistemas que regulan el Recurso Hídrico de Colombia, se resalta que debido a las características e importantes funciones que cumplen, se han considerado a los humedales como bienes de uso público intransferibles y que no pierden vigencia o validez en el transcurso del tiempo, según el mandato del artículo 63 de la Constitución Política. Pero, aun así, en la actualidad no existe en Colombia una normatividad específica para la conservación, protección, y manejo de los ecosistemas de humedales, encontrándose sólo algunas normativas relacionadas al derecho de adquisición del agua. Se resalta que con la creación del Ministerio de Medio Ambiente por medio de la

Ley 99 de 1993, donde se establecen principios generales para la protección de estos sistemas y el Decreto 1687 de junio 27 de 1997 se han venido desarrollando lineamientos y directrices (superficiales) de lo que debería tenerse en cuenta para la protección, conservación, recuperación, y manejo de los ecosistemas de humedales del país.

Frente a este predicamento, Perdomo (2010) menciona que el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Capital reconoce a los humedales como parte del Sistema Hídrico de la ciudad y del Sistema de Áreas Protegidas, definido este último como

Un conjunto de espacios de valor singular, cuya conservación es imprescindible para el funcionamiento de los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad y la evolución cultural del Distrito. Este sistema es componente constitutivo de la Estructura Ecológica Principal, (EEP) como red de espacios y corredores que sustentan la biodiversidad y los procesos ecológicos del territorio'. (p. 18)

Gracias a esto es de gran urgencia realizar estudios cuya función principal sea evaluar el uso que se le brinda al Recurso Hídrico y la calidad del agua dentro una región, ya que esto provee un soporte para el diseño de políticas y planes de manejo que contribuyen a mejorar la calidad de vida de los habitantes (Turcker y Vivado, 1980 citado en Berdugo et al. 2003).

Así mismo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura citado en Montoya (2016) resalta que, en el Segundo Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos publicado por la UNESCO en 2006, se determinó la pertinencia de incorporar nuevos factores para explicar la insuficiencia de agua en algunas regiones del planeta. A la fecha, predominan argumentos que atribuyen este evento a la carencia de infraestructura necesaria para transportar el líquido, al crecimiento del consumo de agua, a su distribución irregular y al desperdicio o la contaminación.

También en lo referente a su gestión, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012), todo Recurso Hídrico debe disponer de una cuenca hidrográfica como unidad mínima para la planeación ambiental, pues involucra los elementos que permiten la comprensión integral de un territorio y por ello que la Legislación Colombia la define como

El área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que a su vez, pueden desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo , 2002)

En cuanto a la distribución del agua, el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) como institución encargada de realizar la evaluación acerca del estado del Recurso Hídrico en Colombia, precisamente en aspectos como su distribución, oferta, demanda y calidad, desarrollo un estudio en el año 2014, tomando en cuenta aspectos científicos y técnicos que permitieron conocer la dinámica del agua en Colombia. En dicho estudio identificaron las zonas hidrográficas y cuencas que deben tener mayor prioridad para mejorar la gestión del país al respecto, expuso la necesidad de reforzar los Institutos de Investigación ambiental y, además, encontró que tiene un rendimiento hídrico 6 veces mayor al rendimiento mundial, y que la reserva de aguas subterráneas se distribuye en un 74% sobre todo el territorio colombiano (IDEAM, 2014).

La distribución de agua en Colombia es heterogénea, hecho ejemplificado en regiones del Caribe, Magdalena y Cauca, donde se encontró que solo el 21% hace parte del agua superficial en su oferta total referente a las cuencas hídricas. En cuanto a la contaminación del Recurso Hídrico, la calidad del agua en aspectos como nutrientes, material degradable y no biodegradable, mercurio y metales pesados, se encuentran concentrados en ciudades como Cúcuta, Villavicencio, Bogotá, Manizales, Cali, Cartagena, Medellín y Bucaramanga, hecho asociado al uso del Recurso Hídrico, la variabilidad climática y desabastecimiento (IDEAM, 2014)

Estas problemáticas dieron origen a la creación de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como forma de articulación entre los objetivos que plantea el Ministerio y la implicación del concepto de GIRH, siendo este último el que brinda las indicaciones específicas acerca de las políticas públicas sobre el Recurso Hídrico, enfocado en tres pilares: social, económico y protección de los ecosistemas. Lo que se busca es la integralidad de todos los elementos en la

naturaleza, con el fin de tener un enfoque holístico, que permita comprender que el agua hace parte de este sistema.

La Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership GWP), define a la GIRH como: “*un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos asociados, para maximizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales*” (Gidahatari, 2018). De esta manera, el enfoque otorgado por la GIRH, se convierte en una posibilidad que permite la gestión y el desarrollo adecuado y sostenible de los recursos hídricos.

Para esto, se han creado políticas públicas, establecidas por el Plan Nacional de Desarrollo (2006-2010), como una línea de acción en el capítulo 5 denominado: Una gestión ambiental y del riesgo que promueva el desarrollo sostenible, que pueden ser tenidas en cuenta por parte de los administradores de

recursos hídricos, en donde se deben seguir unos pasos secuencialmente y tener un óptimo cumplimiento, los cuales se enfatizan en la creación de objetivos generales, la identificación de los problemas en la gestión del agua, formular una lista de las estrategias a implementar para solventar dicho problema, seguido por su evaluación en los resultados obtenidos que a su vez permitirá retroalimentar las medidas tomadas. (Departamento Nacional de Planeación, 2007)



Figura 5. Descripción del ciclo de gestión y planificación de los recursos hídricos. (Global Water Partnership, GWP. 2009).

Acerca de la Administración de los Recursos Hídricos, el Ministerio de Ambiente (2018) lo define como

(...) el proceso dentro de la gestión del Recurso Hídrico que consiste en la aplicación, por parte de la Autoridad Ambiental competente, de diversos instrumentos técnicos y normativos a través de los cuales se realiza la gestión sostenible, que parte del conocimiento del estado de la disponibilidad del agua en términos de cantidad y cantidad, de la equidad en el reparto entre usuarios, así como su descarga a los cuerpos receptores luego de ser utilizada en diversas actividades. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

A partir de lo expuesto se hace énfasis en el seguimiento, control de instrumentos y herramientas cuantitativas que permitan dar una adecuada orientación acerca de la gestión del Recurso Hídrico y así, poder controlar las fuentes de contaminación que los afecta. Para lo anterior, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se basa en las políticas fundamentadas en la GIRH, siendo el instrumento principal donde es posible encontrar las normativas dispuestas para la administración del agua.

Reconociendo lo expresado hasta el momento, es necesario que en los ecosistemas acuáticos exista un equilibrio entre algunos aspectos: precipitación, evaporación, nacimientos de agua subterránea, evapotranspiración y afloramientos superficiales. Para que dicho equilibrio exista, es necesario tener en cuenta el ciclo hidrológico del agua, y, por tanto, las tres fases fundamentales que le constituyen, según Roldán y Ramírez (2008): precipitación, evaporación y escorrentía.

La precipitación es el resultado obtenido producto de la condensación del vapor de agua en la atmosfera que se dispone en la superficie de la Tierra. Sin embargo, el agua que se evapora en la tierra tiene diferentes etapas antes de regresar a la atmósfera; las plantas retienen el agua, la cual es utilizada en su metabolismo y luego es liberado en el proceso de evapotranspiración; los animales toman el agua necesaria y la excretan por medio de la orina. El agua lluvia es retenida en los lagos de la tierra, donde regresa a la atmósfera por medio de la evaporación, esta agua también regresa a los ríos y, por último, al mar.

Por tal razón, el flujo de agua subterránea es importante para la manutención de las corrientes de agua en tiempos de poca lluvia. Cabe resaltar que este proceso depende directamente de la topografía del suelo, del clima, del uso de la tierra y la vegetación, puesto que el agua proveniente de la escorrentía controla los factores físicos y químicos, de lagos y ríos. Finalmente, por ello, es importante proponer soluciones para el cuidado y la conservación del agua entendiéndolo como recurso, como influyente de otros factores y como elemento cuyo ciclo garantiza la supervivencia para especies y todo tipo de sociedades, induciendo con ello el desarrollo de la apropiación, la gobernanza y la soberanía.

Históricamente una de las primeras teorías acerca de la distribución del agua es la teoría de la soberanía territorial, más conocida como la *Doctrina Harmon*, la cual apareció por primera vez en México en el año 1896 como producto del conflicto entre este país y los Estados Unidos en torno a la desviación del Río Bravo y Río Grande en la frontera entre México y EE. UU para favorecer la agricultura norteamericana, provocando déficit significativo en la agricultura mexicana. Dicha doctrina partía de preguntas como: ¿De quién son los ríos? ¿Cómo distribuir o repartir los recursos hídricos, en este caso los ríos? La doctrina partía de la premisa de que los recursos hídricos que corrían por un territorio quedaban a responsabilidad del estado dominante, asimismo, el estado debía encargarse de las actividades económicas que se pueden desarrollar en los cuerpos de agua y su soberanía a razón de los recursos. (Combariza, 2015)

Montoya (2016) menciona que la gobernanza del agua en Bogotá fue dinamizada a través de una estrategia de gobierno, en la cual se vincularon diferentes actores que sugirieron soluciones a las problemáticas relacionadas con este líquido vital. Lo anterior, lo hicieron mediante unos escenarios denominados *cabildos* de presupuestos participativos, en los que se tomaron decisiones de inversión y se elaboraron planes de trabajo que involucraron a las entidades y a la ciudadanía. Además de ello, hubo otros contextos en los cuales también se abordaron aportes en lo referente a la gobernanza del agua, uno de ellos fue a través de la Gestión Popular del Agua liderada por los acueductos comunitarios en la zona rural de la

capital y, por otro lado, a nivel nacional a partir de políticas públicas y la normatividad para la gestión del agua en el país.

Teniendo en cuenta esto, en el año 2014 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible planteó un principio de gobernanza en el cual, según Montoya (2016), se incluyó que todos los actores que tienen que ver con el Recurso Hídrico, de forma activa y pasiva, e incluso solo con el ambiente que rodea al cuerpo de agua en cuestión, podrían participar en el ordenamiento y el manejo del mismo. Es decir, el agua se establece desde esta perspectiva como un bien comunal con un derecho a su uso, pero no a su posesión, lo cual también implica que se organicen unas estructuras comunales alrededor de su regulación. Estas organizaciones proporcionan un manejo democrático del agua, respetando los límites ecosistémicos que implica el consumo de la misma y el cuidado de las fuentes de agua, ya que es vista como un recurso vital para la vida de todos.

Enseñanza de la Ecología mediante trabajos prácticos

La enseñanza de la ecología comprende desde Hungerford y Peyton (1992, citado en Manzanal y Jiménez, 1995) como un aspecto estrechamente relacionado a la Educación Ambiental, entendiéndose esta última como necesaria en la formación de ciudadanos conscientes de las repercusiones que ha traído su relación con la biosfera y su papel tanto en la degradación como en la conservación y mantenimiento de su entorno. El poder incluir a la ecología y los demás estudios referentes a la Educación Ambiental, ha sido parte de la necesidad de promover una mejor comprensión y familiarización por parte de los sujetos, frente a los múltiples problemas ambientales en contextos educativos dentro del aula.

Es por eso que desarrollar unos mejores conocimientos en ecología puede promover una mejor actitud a la hora de comprender la relación de la especie humana con todo lo que lo rodea, y, por ende, con la toma de decisiones ante diversas dificultades, alcanzando un progreso cada vez más alto frente a ello. (Manzanal y Jiménez, 1995)

Por su parte, los trabajos prácticos son definidos como:

“una estrategia que permite el aprendizaje de forma asequible, real y evidenciable para el estudiante, ya que involucra una construcción que requiere de los conceptos comprendidos para que se conviertan en conceptos apropiados desde el pensar y el hacer voluntario.” (Medellín et. al, 2016, p. 19)

Lo anterior implica hablar acerca del aprendizaje, de la complejidad de pensar en el objeto de enseñanza, y en el sujeto que enseña, generando que el aprendizaje adquirido pueda ser utilizado, reflexionado y apropiado para la construcción de conocimiento relacionado con la experiencia de cada sujeto.

Igualmente, los trabajos prácticos pueden ser comprendidos como espacios que permiten la construcción del conocimiento, donde el docente cuenta con la posibilidad de promover y orientar el diálogo de saberes, identificar las ideas previas de los estudiantes, ejemplificar el tema dado y presentar diferentes perspectivas en torno al tema o problema de interés. Para ello, los trabajos prácticos se podrán realizar en la medida en que se pueda cuenta con un ambiente en que los estudiantes realicen sus inferencias, propuestas y explicaciones acerca de una situación determinada, logren debatir y poner en contraposición sus ideas y, además, discutan en torno el conocimiento que el profesor comparte. Con esto es posible que los estudiantes adquieran habilidades científicas que les permitirá construir explicaciones complejas acerca del tema o fenómeno a estudiar.

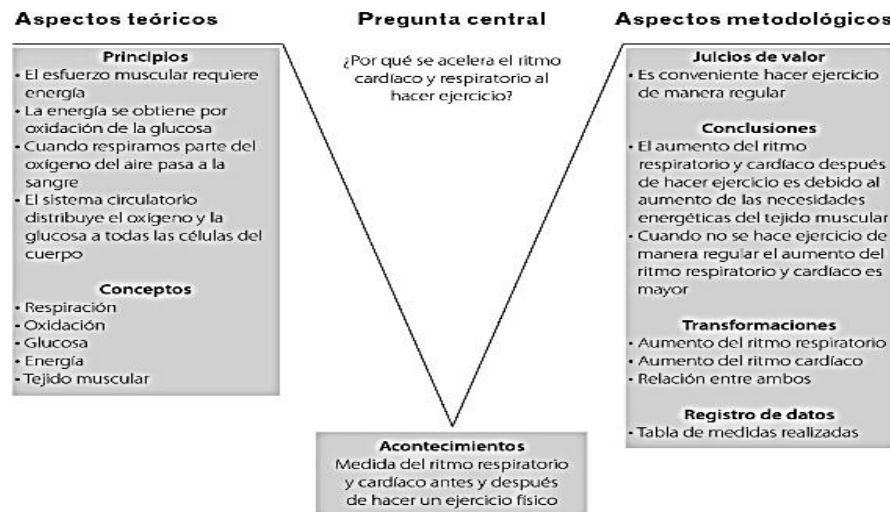


Figura 6. V Heurística. (Novak y Gowin citado en del Carmen, 2011).

De acuerdo con lo anterior, entender que las sesiones de clase no deben ser divididas entre lo teórico y lo práctico es fundamental para construir un conocimiento integral y promover un aprendizaje significativo. Se posiciona entonces a los trabajos prácticos como precedente para dicho propósito, en tanto buscan una continuidad de las diferentes actividades propuestas en las clases de ciencias y permiten que el estudiante pueda relacionar los conocimientos que aprendió en la teoría y aplicarlos en la práctica. Una forma de desarrollar un trabajo práctico es proponer un hilo conductor que permita entrelazar las actividades propuestas y que los estudiantes no tengan que recurrir a la memoria en aspectos que ocurrieron semanas atrás en las sesiones de clase, y de esta manera, poder facilitar y dar sentido a todas las actividades.

Es necesario recordar aquí que, el estudio de las ciencias, se tiende a desarrollar desde dos sentidos: trabajos prácticos y trabajos teóricos. De esta manera, las prácticas son entendidas como una forma de ilustrar los conocimientos teóricos. Por medio de las prácticas experimentales los estudiantes ponen en discusión sus conocimientos al contrastarlos con lo que surge en la realidad, es decir, la práctica tiene que ser vista como un complemento de las clases teóricas. Esto supone que las prácticas deben ser entendidas como un medio que permite al estudiante verificar lo aprendido en la teoría. Frente a esto, Novak y Gowin (1988, citado en del Carmen, 2011) presentan un esquema denominado *V Heurística* el cual permite interpretar los resultados obtenidos en una práctica experimental u observación.

Este tipo de esquema al ser implementado por el maestro durante el desarrollo de talleres teórico-prácticos acompañadas del diseño del humedal artificial, como el propuesto en el presente trabajo, puede facilitar al maestro el proceso de orientación de las actividades y las relaciones que se desean establecer a través de estas con la temática de enseñanza; de tal manera, que para el este sujeto de enseñanza signifique una herramienta que le permita

evaluar eficazmente, las relaciones y articulaciones que sus estudiantes han afianzado en términos de conceptos, conocimientos y *práxis*.

• Talleres experimentales en contextos educativos

Dentro de la compleja relación *Teórico-Práctica* también emerge el concepto de *taller*, que en términos educativos comprende el espacio donde varias personas trabajan cooperativamente para hacer o reparar algo, es decir, un lugar donde se aprende junto con otros. También

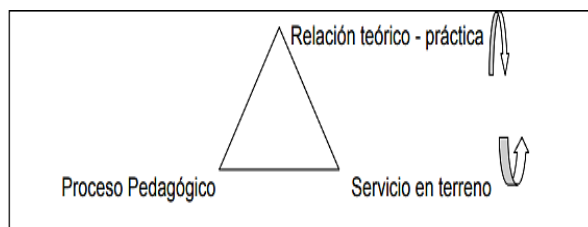


Figura 7. Representación gráfica del concepto taller en términos educativos y pedagógicos. (Bravo, 2018).

para este trabajo de grado se entiende como un método activo de enseñanza que provee una experiencia innovadora en donde puede relacionarse la teoría y la práctica en un mismo momento (Bravo, 2018).

Pero estas no resultan ser las únicas definiciones. Según Kisnerman (citado en Bravo, 2018) define *taller* como una unidad productiva de conocimiento a partir de una realidad concreta. Por su parte, Reyes citado en Bravo, 2018), lo precisa que es

... una realidad integradora, compleja, reflexiva, en que se unen la teoría y la práctica como fuerza motriz del proceso pedagógico; Aylwin y Bustos, como una nueva forma pedagógica que pretende lograr la integración de teoría y práctica concebido desde un equipo de trabajo; Prozeauski, como una realidad compleja que integra en un solo esfuerzo tres instancias básicas: un servicio de terreno, un proceso pedagógico y una instancia teórico-práctica, que además retroalimenta la labor del docente y finalmente González como un tiempo y espacio que se abre para la vivencia, la reflexión y la conceptualización tales como la síntesis del pensar, el sentir y el hacer; en otras palabras, el lugar para la participación y el aprendizaje. (Bravo, 2018, pp. 1-2)

Según Bravo (2008) mediante el taller, tanto los docentes como los alumnos desafían en conjunto problemas específicos, buscando que el aprender a ser, el aprender a aprender y el aprender a hacer se den de manera integrada, como corresponde a una auténtica educación o formación integral.

Material Educativo para los maestros en Biología

- **Estrategia**

El término de “estrategia” ha tenido múltiples significados debido a su aplicación y uso en diferentes disciplinas y áreas del conocimiento, por lo cual se tiende a modificar su significado según el enfoque que se le ha querido proporcionar. Sin embargo, el concepto de “estrategia” cobra mayor importancia al momento de tomar decisiones en cuanto a la gestión en una organización, en donde se ve la necesidad de implementar cualquier tipo de recursos para ser utilizados de forma eficaz en aras de dar cumplimiento al objetivo que se inicial. Para esto, es necesario tener claro: establecer lo que se quiere alcanzar, cómo se piensa hacer y conocer la orientación que se tiene en el proyecto, es suficiente para poder plantear las estrategias necesarias para cumplir los objetivos (Contreras, 2013).

- **Estrategia Pedagógica**

Según el diccionario de la Lengua Española una estrategia es el *Arte de dirigir* o asegurar el cumplimiento de un objetivo que ya ha sido delimitado Espasa, 2001, como se citó en Romero, Camacho, Flórez, Gaibao, Aguirre, Pasive y Murcia (2012). Este tipo de estrategias se caracterizan por contar en primer lugar con una planificación con un propósito definido; en segundo lugar, con un conjunto de acciones específicas; y, por último, se constituye en un equipo o grupo de trabajo selecto para llevarla a cabo, pues la estrategia se dirige a una población específica y atiende a sus necesidades.

Conforme a esto, puede decirse que una estrategia pedagógica no puede reducirse a un método, actividad, herrmeamientas, serie de pasos operacionales o metodología, pero sí puede abordarse como todo un conjunto de decisiones o acciones necesarias, oportunas y convenientes para un momento adecuado en relación con el aprendizaje, tal como lo enuncia Espasa 2002 (como se citó en Romero et al. 2012):

“Una estrategia de aprendizaje son reglas que permiten tomar las decisiones adecuadas en el momento oportuno en relación con el aprendizaje. Las estrategias tienen un carácter propositivo, intencional; implican, por tanto, y de forma inherente, un plan de acción, frente a las técnicas que son marcadamente mecánicas y rutinarias. Forman un conjunto de operaciones mentales: selección organización, transfer, planificación, que realiza el alumno cuando se enfrenta a su tarea de aprendizaje con el propósito de optimizarlo. Las estrategias facilitan la adquisición, procesamiento, transformación y recuperación de la información. Tienen un carácter intencional y están sujetas a entrenamiento” (p. 1045).

Es por esto que una estrategia pedagógica maneja con antelación un campo de conocimiento y acciones que van de la mano con objetivos o metas de aprendizaje, incluyendo materiales, recursos y/o herramientas que se constituyen como un medio para desencadenar una serie de procesos de aprendizajes y resultados acordes a los objetivos planteados en un inicio. Este punto lo plantea Picardo Joao, Balmore Pacheco, y Escobar Baños (2004, citado en Romero et al., 2012), como se menciona a continuación:

Una estrategia pedagógica es un sistema de acciones que se realizan con un ordenamiento lógico y coherente en función del cumplimiento de objetivos educacionales. Es decir, constituye cualquier método o actividad planificada que mejore el aprendizaje profesional y facilite el crecimiento personal del estudiante. (p. 161)

De esta manera, se puede entender a una estrategia pedagógica como un conjunto de procedimientos, según un orden dispuesto, que se dispongan para el cumplimiento de los objetivos planteados y faciliten el proceso de aprendizaje del estudiante.

Finalmente, la estrategia pedagógica según Bravo (2018): “*comprende los objetivos, los métodos y las técnicas, que todos en conjunto, la estrategia es una totalidad que da sentido de unidad a todos los pasos de la enseñanza y del aprendizaje*” (p. 7). En ese sentido, en el presente trabajo de grado se concibe los talleres prácticos, en términos educativos, como la estrategia pedagógica, dado que contiene un conjunto de objetivos, métodos y técnicas específicamente diseñadas como un apoyo a los maestros de biología, en torno a la enseñanza de la ecología y las dinámicas de los sistemas acuáticos, y la apropiación del Recurso Hídrico, involucrando importantes reflexiones frente al mismo.

● **Material Educativo**

Jiménez (2009) menciona que un material comprende todos aquellos elementos concretos físicos que portan mensajes educativos o que son utilizados para fines educativos. Estos materiales son utilizados para desarrollar estrategias cognitivas, enriquecer la experiencia sensorial, facilitar el desarrollo, la adquisición y el afianzamiento del aprendizaje, aproximando a los sujetos a la realidad de lo que se quiere encontrar. Esto promueve el aprendizaje significativo, estimula la imaginación y la capacidad de abstracción de los alumnos, y promueve la construcción de la elaboración de conceptos y conocimientos.

Delgadillo y Góngora (2014) por otro lado, definen *material educativo* como un sinónimo de medio didáctico, ya que se contempla como un material que es elaborado con la intencionalidad de facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Según los autores, este es un objeto que puede presentar tres dimensiones: cultural, pedagógica y didáctica. *Cultural*, ya que es un constructo producto de un grupo social, y debido a que se actualizan y concretan unos saberes que están legitimados históricamente; es *pedagógico*, pues está diseñado con una intención educativa; y finalmente *didáctica* porque está adecuada a una población específica (Convención Andrés Bello, 2001. Citado en Delgadillo y Góngora, 2014).

Jiménez (2009) expone que la importancia de los materiales educativos radica especialmente en que estos son diseñados para alcanzar unos resultados óptimos en el aprendizaje; es por ello que dichos materiales deben responder a los objetivos que se propone la estrategia, pues no se trata de utilizar cualquier material y, de cualquier forma, sino de elegirlos y adecuarlos a las necesidades e intereses de los educandos. Por eso el material educativo es un medio que sirve para estimular y orientar el proceso educativo, permitiendo al alumno adquirir experiencias y desarrollar actitudes y reflexiones, puesto que también conlleva una dimensión pedagógica.

En cuanto a las características del material, es necesario que su aspecto físico sea capaz de despertar el asombro de los estudiantes; la importancia de su diseño recae en que los estudiantes mantengan su concentración en los temas enseñados. En cuanto a los procesos cognitivos favorece la observación y la construcción de juicios; en los procesos afectivos promueve la cooperación, el trabajo en equipo y la construcción de conocimiento colectivo, que inciden directamente en el desarrollo de la personalidad de los educandos. Sin embargo, cabe aclarar que el material educativo favorece los procesos de interacción, y no de procesos afectivos, así mismo, es importante poder relacionar y adaptar el material educativo con los diferentes tipos de aprendizajes de los estudiantes.

Marqués (2000) argumenta que la implementación de cualquier material puede servir como una forma para ayudar y facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje, sin embargo, hay que tener en cuenta que no todos los materiales son útiles en educación, debido a que no tienen una intención didáctica., y es por ello que se hace necesario diferenciar los siguientes conceptos: recurso educativo y medio didáctico. Un *recurso educativo* es un material que es implementado con una intención didáctica o como una alternativa que facilite las actividades formativas, según el contexto educativo en el que se esté aplicando. Cabe resaltar que un recurso educativo puede ser resultado de un proceso didáctico, y por tanto participar en la enseñanza y el aprendizaje, pero no siempre es un material didáctico. En cuanto al *medio didáctico*, se entiende que es un material elaborado para facilitar procesos de enseñanza y aprendizaje, como las plataformas virtuales o los libros de texto, por lo que, a diferencia del recurso educativo, este siempre va a ser resultado de un proceso didáctico.

Marco metodológico

Paradigma epistemológico

El paradigma bajo el cual se sustenta la investigación es el paradigma *socio- crítico* planteado por Habermas (1994) a partir de la *Teoría Crítica*, el cual se concibe bajo tres principios básicos que son: *a.* la realidad como praxis; *b.* unir teoría y práctica integrando conocimiento, acción y valores; y *c.* orientar el conocimiento hacia la libertad, a partir de la capacitación de los sujetos para la participación y transformación social. Es por ello que la investigación tiene en cuenta el empoderamiento social para implicar a los participantes en procesos de autorreflexión y la toma de decisiones consensuadas (Popkewitz, 1998, citado por Alvarado y García, 2008)

El paradigma socio-crítico ha sido satisfactoriamente aplicado en investigaciones de educación ambiental y en la enseñanza de la ciencia, funcionando como un paradigma crítico y transformador de realidades. Esto se debe a que el paradigma nace de la crítica a las tradiciones positivistas e interpretativas que han tenido poca influencia en la transformación de problemáticas reales que atañen a la sociedad, llevando al conocimiento a extremos demasiado tecnificados o empíricos o muy interpretativos. Es por ello que este paradigma, pretende superar el reduccionismo y el conservadurismo admitiendo la posibilidad de una ciencia social que no sea ni puramente empírica ni sólo interpretativa, y sobre todo que ofrezca aportes al cambio social desde el interior de las propias comunidades (Alvarado y García, 2008, p. 189); en este caso entendiendo a las comunidades como las propias instituciones educativas del distrito en las cuales los maestros de biología son aquellos sujetos sociales claves que participan, promueven, intermedian y facilitan la reflexión crítica entorno a la apropiación del recurso hídrico.

El paradigma socio-crítico atiende principalmente a la búsqueda de soluciones o respuestas a determinados problemas que han sido generados por la sociedad a través de la participación de todos los miembros y autorreflexión crítica en los procesos de conocimiento. En esa medida, se van a tener en cuenta las necesidades tanto de los maestros de biología como de la población o comunidad en la cual está inmerso el docente, la investigación participante, ejercicios de auto reflexión y crítica social, y finalmente la búsqueda de soluciones que beneficien al colectivo y no a intereses personales, en este caso a partir de la construcción del humedal artificial como material educativo para la apropiación del recurso hídrico.

Enfoque Metodológico

En la presente investigación se pretende hacer uso del enfoque mixto, ya que, por un lado, se utilizará el **enfoque cuantitativo**, debido a su énfasis en los elementos que pueden ser comprobados, medidos y se presentan de manera secuencial, permitiendo acotar los resultados que se van encontrando a lo largo de la investigación. Su aplicación será conveniente en las prácticas experimentales con el buchón de agua y su respuesta a las condiciones presentadas en un humedal artificial.

Así mismo, debido a que este proceso experimental se piensa desarrollar con el acompañamiento de los profesores egresados de la Licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional, es necesario contar con un **enfoque cualitativo** que permita comprender los fenómenos que surgen en la interacción de los maestros con el humedal artificial, describir y entender las reflexiones emergentes que suscitan este proceso, brindando una mayor facilidad a las tesis para comprender el contexto que surge en este fenómeno

Es así como se decide hacer uso del **enfoque mixto**, definido por Sampieri y Mendoza (2008) de la siguiente forma:

Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. (Sampieri, Fernández y Baptista, 2010, p. 19)

Por lo anterior, este tipo de enfoque pretende combinar características tanto cualitativas como cuantitativas, buscando reducir sesgos en la investigación y contar con mayores elementos de análisis del fenómeno a investigar.

Contextualización

La población a la cual va dirigida y con la cual se proyecta a un futuro el uso del material educativo (HAFIT) producido en el presente trabajo de grado, son principalmente los maestros egresados de la Licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional que laboraran actualmente en la ciudad de Bogotá. Es por ello, que se desarrollaron tres tipos de validación del material educativo producido a partir del diseño del humedal artificial, los cuales fueron: *a)* Validación interna por pares académicos en la UPN *b)* Validación por implementación *c)* Validación virtual, para lo cual en estas dos últimas formas de validación se acudieron específicamente a tres maestras egresadas de la licenciatura, las cual estaban incluidas dentro del grupo de 30 maestros vinculados al proyecto creado en el 2018-I por el Semillero ECO: “*Diseño de una caja de herramientas educativas (AGUA CACHACA) para la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos, que contribuya a la apropiación del recurso hídrico como derecho y deber de los Bogotanos*”, cuyo objetivo principal respondía a fomentar la apropiación del recurso hídrico como derecho y deber de los bogotanos. Para constituir el grupo de 30 maestros se realizó un proceso de selección y filtros específicos con cada uno de ellos, para posteriormente trabajar y coordinar particularmente con tres maestros (a) que tuviesen interés en aplicar en sus respectivas instituciones educativas, la temática principal de este

trabajo de grado. El proceso de selección de maestros dentro del proyecto (*AGUA CACHACA*) al cual se vinculó el presente trabajo de grado, consistió en un primer lugar a la convocatoria de más de 100 maestros egresados del departamento de biología de la UPN y luego de ello, una serie de filtros se aplicaron con el fin de tener en cuenta únicamente a los maestros que cumplieren con dos de los requisitos básicos para participar, dentro de los cuales ser egresado de la UPN y laborar en colegios formales en alguna de las localidades ubicadas en la ciudad de Bogotá. Posteriormente, se realizó una reunión inicial con los maestros seleccionados y posteriormente por parte de las tesisistas se llevaron a cabo visitas a sus instituciones con el fin aplicar en cada uno de ellos los formularios de contextualización, que se observan en (Anexo C).

En los formularios de contextualización, inicialmente fue posible a partir de lo caracterizado por parte de las investigadoras, escoger y evaluar la pertinencia de aplicación en las instituciones educativas Gimnasio El Lago, el Colegio Agustiniiano Tagaste, y la Institución Educativa Distrital La Candelaria Integrada ubicadas en la ciudad de Bogotá, Colombia; las cuales se identificaron por tener condiciones, realidades y necesidades particulares, de tal forma que el material educativo pudiese adaptarse a diferentes contextos sociales, económicos y especialmente educativos.

En un primer lugar, El Colegio Gimnasio El Lago, fue el lugar donde se realizó la validación por implementación de los Talleres Teórico - Prácticos de HAFIT con ayuda de la profesora Diana Castaño y 35 estudiantes de séptimo grado. Dicha institución se encuentra ubicada en la localidad décima de Engativá en el barrio Santa María del Lago, su estructura consta de un edificio de 5 pisos con una gran extensión en el patio, cuenta con un laboratorio con microscopios, estereoscopios y sistemas de proyección; es de carácter mixto, privado y de jornada única con los niveles de educación formal: pre-escolar, primaria y bachillerato. Cabe resaltar que cercana a la institución se encuentra el Humedal Santa María del Lago, lugar que se caracteriza por tener flora como los bosquecillos de alisos y sauces, lentejas de agua, alisos, juncos y varios ejemplares de buchón de agua; por otro lado, en cuanto a la fauna es posible encontrar tinguas, cucaracheros de pantano,

bienteveos y fochas. La ubicación cercana a un humedal real, también fue un factor relevante a la hora de escoger el colegio de validación por implementación, al ser un espacio donde los estudiantes y el maestro podrían tener contacto con el mismo durante el desarrollo de los talleres teórico-prácticos del material educativo HAFIT.

En segundo lugar, en la institución educativa Colegio Agustiniano Tagaste, donde labora la maestra egresada Jenny Marcela Moyano Acevedo, con quien se desarrolló la validación de carácter virtual del material educativo, se encuentra ubicado en la localidad 8 de Kennedy, en el barrio Lagos de Castilla de la ciudad de Bogotá. El nivel educativo de este colegio consiste en: pre-escolar, básica – primaria, básica secundaria y básica media, con un tipo de jornada única; además es un colegio no oficial mixto que se caracteriza por tener sus principios de la Iglesia Católica y en la filosofía Agustiniana. La maestra nombrada es quien maneja el área de Ciencias Naturales, en los grados de tercero a quinto. En cuanto a su estructura, es una institución educativa que pertenece a la categoría de megacolegio, ya que cuenta con zonas verdes dentro del mismo, dotación de microscopios y estereoscopios adecuados para el desarrollo de las clases de Ciencias Naturales, además de contar con sistemas de proyección avanzados.

Finalmente, el tercer colegio I.E.D Integrada La Candelaria, lugar donde se realizó la validación de tipo virtual, se encuentra ubicado en la localidad 17 de la Candelaria, en el barrio La Concordia en Bogotá. La profesora Nayibe Andrea Velandia Ibagué es la encargada de enseñar Química y Biología en la institución, la cual presenta jornada mañana y tarde. Es un colegio de tipo mixto, calendario A y su nivel educativo consta de básica primaria, secundaria y media. En cuanto a su estructura, cuenta con dos edificios, los cuales no cuentan con laboratorios, microscopios, estereoscopios o con sistemas acuáticos cercanos, al ser un lugar de difícil acceso.

Ruta Metodológica

A continuación se muestra un diagrama de flujo que contiene simplificadaamente las tres fases más importantes desarrolladas en el trabajo, las cuales se abordarán posteriormente de manera profunda a lo largo de la ruta metodológica expuesta (Ver figura 8).

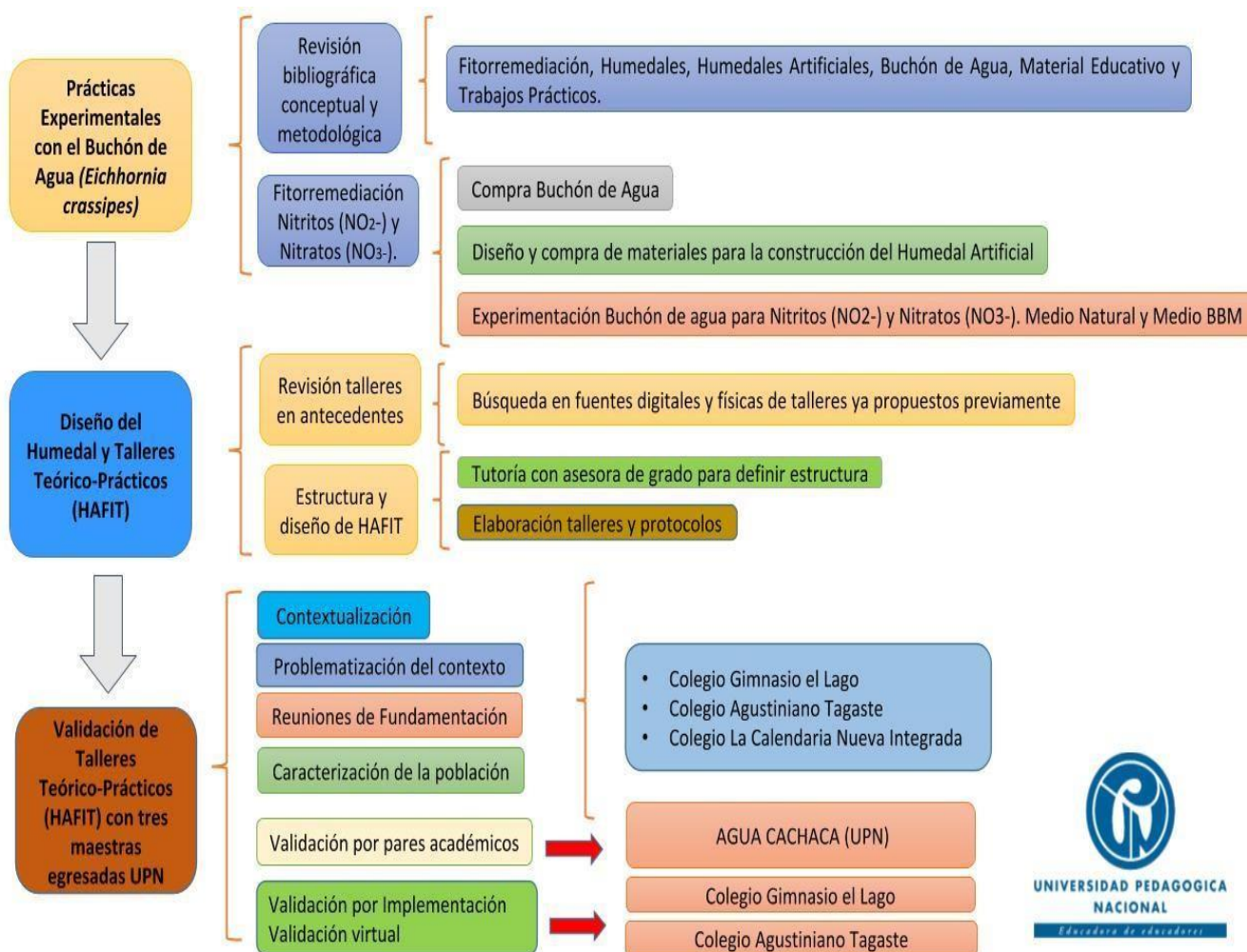


Figura 8. Diagrama de flujo Ruta Metodológica. (Muñoz y Novoa, 2018)

Buchón de agua como organismo fitorremediador

Esta primera fase responde al primer objetivo específico de “*realizar prácticas experimentales con el Buchón de agua como parte de un humedal artificial, evaluando su eficiencia como organismos fitorremediadores*”, para lo cual se hicieron las siguientes actividades:

Búsqueda y obtención de los buchones de agua (*Eichhornia crassipes*)

Se inició la búsqueda de humedales en Bogotá que contarán con el Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), proceso que resultó ser complicado debido a que han sido removidos en gran cantidad de los espejos de agua de los humedales. Sin embargo, a través de la búsqueda exhaustiva en redes sociales como Instagram y portales web como MercadoLibre, fue posible adquirir los ejemplares a través de la empresa BajoAquaCol, ubicada en el municipio de La Vega - Cundinamarca, la cual está encargada de la producción de peces ornamentales, especialmente de Ciprinidos, como carpas, goldfish y bailarinas. En esta empresa el Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) es altamente apetecido para la cría de peces como los Ciprinidos, ya que estos lo utilizan como sustrato de postura y alimentación; por otro lado, buchones en reciprocidad hacen uso de las heces y descomposición del alimento para su nutrición.

Los Buchones de agua *Eichhornia crassipes*, fueron comprados a un precio de \$500 (COP) por unidad y en total se adquirieron 19 ejemplares de la especie *Eichhornia crassipes* junto con 8 litros agua aproximadamente del medio natural donde provenían, en este caso la Vega - Cundinamarca. Seguido de su compra, fueron llevados al laboratorio de biología donde fueron lavados y limpiados de todas las impurezas que tenían en sus raíces aproximadamente por 5 minutos primero con agua de llave y posteriormente se repitió el mismo procedimiento con agua destilada. Seguido a esto, se realizó la trasplantación de la planta en 4 frascos de beaker de 2000 ml. Dos de ellos con el medio BBM y los dos

siguientes con el medio natural proveniente; esto con el fin de exponer a *Eichhornia crassipes* a una fase de ambientación a condiciones de laboratorio.

Exposición y trasplante de *Eichhornia crassipes* al medio BBM preparado y medio natural

En un inicio se propuso la preparación de un medio general de BBM (Medio Básico Bold) para ubicar a dos de los buchones de agua (*Eichhornia crassipes*) en dos montajes independientes, proceso que fue desarrollado en el Laboratorio de Biología y en la Colección de Insectos Acuáticos del grupo de investigación CASCADA de la Universidad Pedagógica Nacional.

Componente final	Solución stock (g/L dH ₂ O)	Cantidad usada (mL/L)	Concentración final en el medio (M)
Macronutrientes			
NaNO ₃	25.00	10	2.94×10^{-3}
CaCl ₂ · 2H ₂ O	2.50	10	1.70×10^{-4}
MgSO ₄ · 7H ₂ O	7.50	10	3.04×10^{-4}
K ₂ HPO ₄	7.50	10	4.31×10^{-4}
KH ₂ PO ₄	17.50	10	1.29×10^{-3}
NaCl	2.50	10	4.28×10^{-4}
Solución EDTA alcalina			
EDTA	50.00	1	1.71×10^{-4}
KOH	31.00		5.53×10^{-4}

Figura 9. Adaptación del Medio Basal de Bold (BBM). (Delgadillo, 2014).

Para la preparación del stock fue necesario adecuar las medidas en gramos (g) de cada solución en 100 ml de agua destilada, para que posteriormente fueran utilizados como medios óptimos para el buchón a condiciones controladas de laboratorio.

Medición de respuesta de *Eichhornia crassipes* a exposición de Nitratos (NO_3^-) y Nitritos (NO_2^-)

Para realizar las mediciones se hizo uso del análisis de agua Aquamerck®, MERCK, teniendo en cuenta los recipientes de Nitritos (NO_2^-) y Nitratos (NO_3^-), en donde, según el manual mencionaba que el procedimiento a realizar sería el siguiente:



Figura 10. Kit Aquamerck®, MERCK. (Novoa, 2018).

PROCESO PARA NITRITOS

- 1) En el tubo A y B Agregar 5 ml del líquido presente en cada medio
- 2) Al tubo A, adicionar 5 gotas de NO_2^- -1
- 3) En el tubo A adicionar 1 cucharada de NO_2^- -2
- 4) Agitar el tubo A por 1 minuto

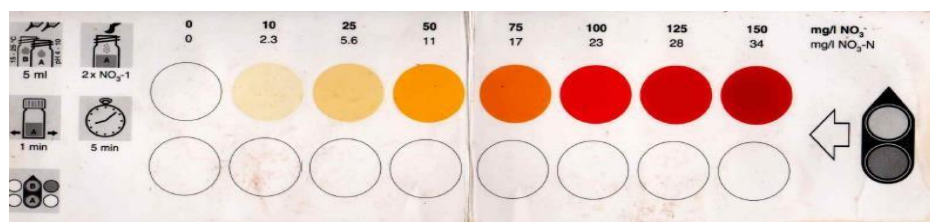


Figura 11. Paleta de colores que permite la medición de Nitritos en el agua. (Muñoz, 2018).

- 5) Observar muestra en la paleta de colores.

PROCESO PARA NITRATOS

- 1) Medir la cantidad de Nitratos presentes en BBM.
- 2) Tomar 5 ml. de la muestra y adicionar al BBM
- 3) Adicionar 3 cucharadas de NO_3^- -1
- 4) Agitar el frasco 1 minuto.
- 5) Dejar reposar 5 minutos

6) Comparar resultado obtenido con la paleta de colores.

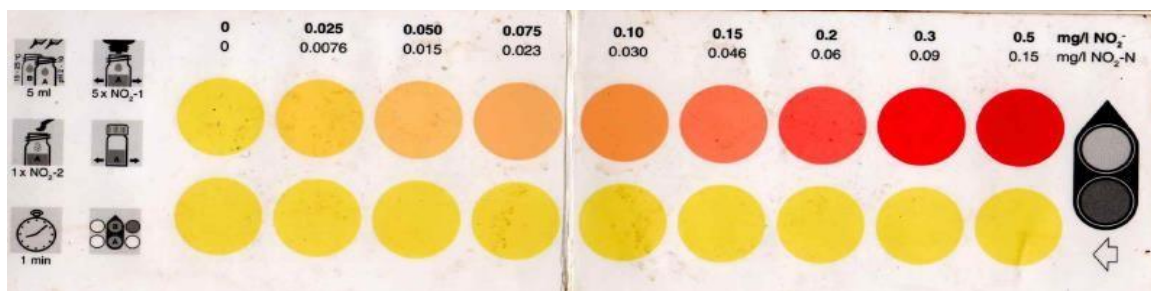


Figura 12. Paleta de colores que permite la medición de Nitratos en el agua. (Muñoz, 2018).

Talleres teórico-prácticos con el Humedal Artificial como material Educativo

Esta fase constó de *plantear talleres con el humedal artificial como material educativo, que permitiesen la comprensión del proceso de fitorremediación con macrófitas*, para ello se dio inicio a la construcción del humedal artificial, para lo cual fue necesario primero hacer una revisión documental de los antecedentes consultados para el presente trabajo de grado con el fin de tener una guía frente a las medidas y parámetros básicos para su construcción. Así mismo, en la revisión documental realizada fue posible encontrar diferentes estructuras para desarrollar los talleres que acompañaron el proceso educativo junto con el humedal artificial, constituyendo de esta forma, el material educativo llamado en conjunto (HAFIT) impreso en formato físico y digital CD, proyectado especialmente para el uso presente y futuro de maestros egresados de la Licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional.

Diseño y prueba de protocolos para los talleres teórico-prácticos

Para el diseño del Humedal Artificial, previamente se realizó el bosquejo de su estructura, teniendo en cuenta la distribución de las cajas y el orden en el que iban a ubicarse para garantizar el paso del agua de un compartimiento a otro. Para eso fue necesario utilizar dos cajas grandes con las siguientes medidas:

L: 45.4 x A: 30 x H: 17 cm, dos cajas medianas con capacidad de 6.5 litros, de

preferencia, transparentes, cinta velcro, 1 tubo PVC, Soldadura y Limpiamax de PVC, seis empaques de caucho, uniones macho y hembra, cautín, teflón, embudo y fibra de colador. El paso a paso para elaborar el humedal artificial, fue especificado en el **Taller 1 (Introducción a la Fitorremediación con humedales artificiales.)** Finalizada esta etapa de construcción del Humedal Artificial, se realizó una prueba piloto con la siembra del Buchón de Agua instalándolo en una de los compartimientos del humedal con el fin de simular la zona acuática y el Papiro (*Cyperus papyrus*) el cual fue utilizado para asemejar a la zona terrestre en otro compartimiento. Cabe aclarar que, aunque el Papiro fue introducido dentro de uno de los compartimientos, no se abordó con mayor profundidad dentro de este estudio, dando prioridad a la macrófita acuática Buchón de agua. Siendo así, esta primera prueba piloto, se hizo con el fin de verificar el funcionamiento del humedal y que no hubiese ningún tipo de filtración de agua al exterior.

Después de experimentar la efectividad del Humedal Artificial, se procedió a decidir la estructura de los talleres teórico-prácticos, para lo cual se escogieron macrotemas que se pudieran enseñar y servir como guía para los maestros de biología a la hora de explicar ampliamente la dinámica de los sistemas acuáticos a partir de la fitorremediación con macrófitas.



Figura 13. Montaje Humedal Artificial construido, agua natural y Buchón de agua. (Muñoz, C. 2018).

- **Estructura de los talleres teórico-prácticos**

Para la estructura de los talleres teóricos-prácticos se realizó una revisión documental de diferentes referentes, en donde se decidió adaptar la estructura de los talleres propuestos por Viviana Caicedo. Los talleres tenían la siguiente estructura: Portada e introducción a los talleres; 1) Título, 2) Introducción, 3) Objetivo del taller, 4) Hipótesis del maestro, 5) Sección de Actividades: 5.1) Fundamentación teórica de la actividad, 5.2) materiales, 5.3) notas o aclaraciones; 6) Protocolo de la actividad: 6.1) Imágenes, 6.2) Paso a paso, 6.3) Notas, 6.4 Orientaciones para tu clase; 7) Posibles resultados, 8) Espacio del maestro, 9) Bibliografía de ayuda.

Dentro de la construcción de los protocolos de las actividades que estaban incluidos en los talleres, fue necesario hacer diferentes prácticas experimentales para evidenciar la presencia de Nitratos en la planta, siendo una forma accesible para la enseñanza de la Fitorremediación en los colegios. Una de las actividades propuestas en los talleres fue el de medir la presencia de Nitratos en la planta. Para ello, los materiales utilizados fueron: 1 Probeta, 2 Erlenmeyer, 2 Pipetas, 1 Mortero, y los reactivos de Difenilamina (0.25 g), Ácido sulfúrico (40 mL) y Agua Destilada (10 mL). Primero, fue necesario hacer la preparación de los reactivos para Nitratos:

1. Adicionar 10 mL de agua destilada al Erlenmeyer.
2. Adicionar 0.25 g de Difenilamina al mismo Erlenmeyer del paso 1
3. Macerar las hojas y la raíz del Buchón de agua.
4. Agregar una pequeña muestra al Erlenmeyer.
5. Agregar 5 del reactivo elaborado en el paso 1 y 2.
6. Esperar 3 minutos para evidenciar la coloración para Nitratos.

La segunda actividad planeada para realizar en los talleres fue un Experimento de cromatografía con las hojas del Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*). En esta fase es necesario tener los siguientes materiales: hojas verdes y amarillas (Clorosis) del Buchón de

agua, 1 mortero, tijeras, alcohol, dos tarros con tapa, papel de filtro, dos vasos, dos pajitas, cinta adhesiva.

1. El procedimiento consta de cortar las hojas del Buchón de agua en pequeños trozos,
2. Machacar con el mortero los trozos de hojas verdes y amarillas.
3. Adicionar 5 mL de alcohol y poner las muestras en un tarro.
4. Dejar por 2 horas las hojas amarillas y verdes en el tarro con alcohol.
5. Agregar una pequeña muestra de cada extracto en dos vasos.
6. Cortar dos tiras de papel filtro, y con un palo para pincho delgado, colgar las dos tiras. Usar la cinta para pegar las tiras de papel filtro.
7. Esperar 24 horas.
8. Observar y analizar la pigmentación obtenida en las dos tiras de papel filtro.

Validación del material educativo a través de la Fitorremediación como eje de reflexión

Respondiendo al tercer objetivo correspondiente a la *validación del material educativo reconociendo la fitorremediación como eje de reflexión acerca del uso e importancia de los humedales como recurso hídrico*, se realizaron las siguientes modalidades de validación:

- **Validación interna por pares académicos**

En un primer momento, la validación por pares académicos de los talleres teórico- prácticos (HAFIT) basados en el humedal artificial como material educativo para la enseñanza de la fitorremediación en sistemas acuáticos, se llevó a cabo internamente con el equipo de investigación del proyecto *AGUA CACHACA* en la UPN, mediante un formato de validación virtual, donde se evaluadores tuvieron en cuenta aspectos como la estructura, contenido, coherencia y la viabilidad de implementación. A partir de ello, emergieron unas observaciones puntuales acerca de 3 aspectos principales, entre ellos la forma y el lenguaje

manejado en los talleres ya que estos debían estar orientados al maestro, involucrar secciones adicionales que fortalecieran el sentido educativo de cada actividad para el maestro, la articulación de los temas con una fundamentación teórica fuerte y finalmente enriquecer otras secciones como los posibles resultados, el espacio del maestro y la bibliografía de ayuda. Todas las observaciones recogidas se tuvieron en cuenta para las posteriores correcciones y mejoramiento del libro de talleres teórico-prácticos (HAFIT) como parte del material educativo, que sería posteriormente validado por implementación con la maestra Diana Castaño y vía virtual mediante el mismo formato de validación aplicado con los pares académicos, pero finalmente con las maestras Jenny Moyano y Nayibe Velandia.

- **Validación por implementación**

Después de las correcciones realizadas a partir de la validación interna por pares académicos, se dió inicio a la validación por implementación, la cual fue realizada en la Institución Educativa Gimnasio El Lago con la maestra egresada de biología de la Universidad Pedagógica Nacional, Diana María Castaño López. Este tipo de validación a diferencia del anterior consistió en el acompañamiento en la clase de la maestra Castaño con un curso en particular de grado séptimo de primaria, donde le fue entregado a la docente el libro de talleres HAFIT constituido por un total de 5 talleres diseñados para que se pudieran adecuar y apropiarse de acuerdo a las prácticas, modelo y metodologías particulares de cada maestro al momento durante su aplicación.



Figura 14. Humedal Artificial diseñado. (Novoa, 2018)

La actividad desarrollada, consistió primero en una breve introducción por parte de las tesisistas acerca de las diferencias y relaciones entre los humedales artificiales vs humedales naturales, resaltando los tipos de plantas que se encuentran en un humedal natural, y que, a su vez, pueden ser sembradas en humedales artificiales. Posterior a ello, se abordó con el curso las características del agua y los componentes que pueden contribuir a que se clasifiquen como agua gris o agua negra. Luego se llevó a cabo la organización del curso conformado por 35 estudiantes, en dos grupos por mesón de laboratorio, explicando en cada uno de ellos las generalidades de las plantas acuáticas (Buchón de agua) y en otro grupo las generalidades de las plantas terrestres (Papiro) que se pueden encontrar en un humedal natural, haciendo énfasis en sus estructuras morfológicas y su capacidad como organismos fitorremediadores.



Figura 15. Diseño y socialización del Humedal Artificial en la institución Gimnasio el Lago. (Novoa, 2018).

En un segundo momento de la actividad con el grupo se dio inicio a la construcción del humedal artificial y la siembra de las plantas en cada zona del humedal, teniendo en cuenta las indicaciones del protocolo (Diseño del humedal artificial) del **taller 1: Introducción a la fitorremediación con humedales artificiales** y el protocolo (Siembra de las plantas en el humedal) del **taller 2: Morfología del Buchón de Agua (*Eichhornia crassipes*)**

Después de finalizar la actividad de construcción del humedal artificial en el laboratorio del colegio, la maestra abordó temáticas relacionadas al **taller 4: Dinámica de los sistemas acuáticos: Retos e implicaciones**, entre ellas se destacaron las características fisicoquímicas del agua y de un humedal como sistema acuático, generalidades de la contaminación e importancia y concientización de los humedales como recursos hídricos, también relacionadas al **taller 5: Importancia y apropiación de los humedales como Recursos Hídricos**.

A modo de cierre según el **taller 5** anteriormente nombrado, el maestro desarrolló una actividad de mesa redonda con el fin de debatir y concluir lo aprendido en las actividades anteriores a partir del humedal artificial. La maestra evaluó los resultados de las actividades con sus estudiantes mediante un test de cuatro preguntas abiertas que fueron: 1) A partir de lo aprendido con el Buchón de agua, ¿que caracteriza a una planta acuática del humedal? 2) A partir de lo aprendido con el Papiro, ¿que caracteriza a una planta de zona terrestre del humedal? 3) ¿En qué consiste el proceso de fitorremediación llevada a cabo por la planta acuática y terrestre? 4) ¿Qué diferencia a un humedal artificial de un humedal natural?

- **Validación virtual**

Para la fase de validación con las maestras egresadas de la Licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional, fue necesario enviar de manera virtual a cada una de ellas el formato de Validación virtual (Ver anexo A), el cual permitió evaluar la pertinencia del material educativo planeado. Para ello, algunos ítems del formato habían sido anteriormente aplicado dentro de la validación de pares académicos con el equipo de investigación AGUA CACHACA, donde a partir de ello también se definieron parámetros adicionales que debían ser incluidos en el formato para las maestras, tales como: Diseño, Contenido, Finalidad y Observaciones generales o adicionales.

El ítem de Diseño contenía los siguientes criterios, que según la apreciación de las maestras evaluadoras, valorarían con un SI/NO según su concepto: El tipo de letra, y estética que se maneja en el taller es pertinente; la organización del contenido en el taller resulta adecuada

para el desarrollo de este; el material gráfico (fotografías, videos, colores, ilustraciones y decoración) le resulta acorde para el tema que se está tratando; la narrativa visual es pertinente al contexto educativo; el taller se encuentra libre de errores ortográficos y gramaticales. Para el segundo ítem denominado Contenido, estaba compuesto por los siguientes aspectos: Las temáticas del taller permiten la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos; la fundamentación teórica le permitió entender la temática planteada; el paso a paso descrito dentro del taller es apropiado para su implementación por el docente; la bibliografía proporcionada es de ayuda y complementa teóricamente el taller. Para el tercer ítem Finalidad, tenía los siguientes criterios: Los conceptos planteados a lo largo del taller contribuyen a un desarrollo entendible de la temática; el paso a paso descrito dentro del taller conlleva a cumplir los objetivos propuestos en el mismo; el taller propuesto posibilita la apropiación del recurso hídrico. Finalmente, como cierre del Formato de Validación se propuso el espacio de Observaciones adicionales, en donde las maestras pudieron expresar ampliamente las reflexiones que suscitaban de la evaluación del material educativo.

Resultados y discusión de resultados

Buchón de agua como organismo fitorremediador

- **Búsqueda y obtención de los buchones de agua (*Eichhornia crassipes*)**

Respondiendo a la primera fase de la ruta metodológica la cual correspondió a la búsqueda y obtención de los buchones de agua, se evidenció que no fue una labor sencilla obtenerlos, debido principalmente a su erradicación progresiva en estanques, lagunas y algunos humedales bogotanos; tal fue el caso del Humedal El Chicó el cual hacía parte del gran grupo de humedales urbanos y el único dentro de la Localidad de Chapinero según Fundación Humedales Bogotá (2013), pero que actualmente al igual que muchos más en diferentes zonas de la ciudad fueron desecados para convertirlos en terrenos para la construcción de nuevas viviendas residenciales y por ende, la mayoría de su vegetación representativa fue retirada.

Otro fue el caso del pequeño humedal ubicado en las cercanías del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, donde tampoco fue posible encontrar la especie *Eichhornia crassipes* conocido comúnmente como Buchón o Lirio de agua; más sin embargo si se encontró en altas cantidades la especie *Limnobium laevigatum* o mejor conocido como Buchón cucharita debido a la forma de sus hojas, siendo una planta muy frecuente tanto de humedales como **estanques y canales de tierra fría**. Esto posiblemente se deba a que resulta cada vez menos “estético” y viable para los alrededores de estos sistemas acuáticos el crecimiento de los buchones de agua al ser considerados no solamente en Colombia sino en países como México y España entre otros países del mundo, una especie invasora la cual es radicada mecánicamente a través de su quema y trituración (Escuela de Bonsai, 2015); o en otros casos es utilizado para rellenos sanitarios, aprovechamiento en compostaje y biomasa seca en otro tipo de sistemas.

Otra de las razones que explica la poca aparición de *Eichhornia crassipes* actualmente en los humedales bogotanos, es su extracción constante por parte de diferentes fundaciones, entidades ambientales o habitantes del sector tras la amenaza que esta planta puede producir a los espejos de agua en caso de no ser manejada adecuadamente; teniendo en cuenta que no es una planta endémica sino introducida de las selvas amazónicas brasileñas. El biólogo Estadounidense Bob Knight entrevistado en la sección televisiva *HipanTv* en el año 2016, menciona que dentro de los principales daños que ocasiona esta especie, está la absorción constante de luz en los espejos del agua escureciéndola de tal forma que disminuye la posibilidad de aprovechamiento de este recurso para otros organismos acuáticos, se reproduce velozmente hasta formar islotes grandes y tupidos impidiendo el crecimiento de otras especies vegetales y microorganismos benéficos para el agua, aumenta al pasar del tiempo la velocidad de evaporación del agua y su descomposición incrementa los valores de sulfuro de azufre del sistema acuático. Pero a su vez Knight finaliza mencionando el hecho de que todas las plantas son buenas, pero siempre y cuando estén en el hábitat correcto; aludiendo así al desconocimiento y mal manejo que el hombre le ha venido dando a las especies vegetales a lo largo del tiempo. (Entrevista *HipanTv*, 2016)

Esto quiere decir, que en sí especies como *Eichhornia crassipes* y entre otras muchas plantas con capacidad invasiva recae directamente en un asunto de mal manejo de gestión ambiental y ecosistemático por parte del hombre y su relación con la naturaleza que lo rodea y de la cual dispone, ya que esta planta como cualquier otro organismo en un ambiente intentan responder a dos premisas básicas de supervivencia a través de su crecimiento y posterior reproducción.

Cabe resaltar que los cuerpos de agua mencionados anteriormente, a pesar de estar ubicados dentro del perímetro urbano de la ciudad y poseer pequeñas extensiones, estos también son incluidos dentro de la categoría de humedales urbanos según la definición del Convenio RAMSAR (2010), donde se define los humedales como: “*extensiones de marismas, pantanos y turberas, 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”. Razón por la cual el desconocimiento de lo que es considerado un humedal o no, invisibiliza este tipo de ecosistemas en la ciudad y acaban perdiendo su valor en términos de acciones de restauración convirtiéndolos en flancos vulnerables de desaparición progresiva. (Salas, 2013)

Respondiendo a esta misma lógica y relacionándolo con lo mencionado por Salas (2013) se evidenció que efectivamente la pérdida de humedales urbanos y por ende de especies vegetales propios de ellos, ha obedecido a que infortunadamente a través de la historia los asentamientos humanos que se encuentran a su alrededor han generado un impacto cada vez mayor en la situación ambiental de su estado. Así mismo, Salas (2013) afirma que: “Las principales avenidas de la ciudad han contribuido enormemente a la fragmentación de los que antes eran lagos y convirtiéndolos en áreas de humedales, dejando como resultado la formación de parches dentro de la matriz que modificaron el funcionamiento normal del sistema hídrico, y de paso afectando la fauna y flora de la zona” (p.1).

Fue por ello, que, durante la búsqueda del buchón de agua en diferentes zonas de la ciudad de Bogotá, fue posible notar que era mucho más frecuente su venta a través de mercados en línea y empresas como BajoAquaCol con precios que pueden oscilar de entre \$5.00 a 7.000 pesos por planta. Esto indica que, aunque ya no es tan común su presencia en humedales o lagunas en la ciudad por las razones anteriormente mencionadas; si es común su uso en estanques de criadero para peces ornamentales, comida para cerdos o en el campo de la agroindustria.

- **Exposición y trasplantación de *Eichhornia crassipes* al medio BBM y medio natural**



Figura 16. Medios con buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) Al lado derecho se ubican los medios BBM, al lado izquierdo se ubican los medios naturales. (Novoa, 2018).

Respondiendo a la segunda fase de la ruta metodológica la cual correspondió a la exposición y trasplantación *Eichhornia crassipes* al medio BBM (*Medio Básico Bold*) preparado y medio natural, se evidenció a partir del Kit colorimétrico de Merck Millipore y la lectura de datos semicualitativos basados en las comparaciones de medidas de color proporcionadas por la paleta de colores del kit, una reducción progresiva de Nitritos (NO_2^-) y Nitratos (NO_3^-) tanto en medio BBM como en el medio natural; siendo el medio BBM en el que mejor se adaptó *Eichhornia crassipes*, puesto que este medio contenía mayor diversidad de compuestos, sales y nutrientes benéficos para la planta, además de mantener un pH óptimo de 6.6 (Delgadillo, 2014).

Entre ellos se encontraban compuestos nitrogenados (**Nitrato de sodio- NaNO_3**), compuestos inorgánicos minerales como el Calcio (**Cloruro de calcio- CaCl_2**), Magnesio (**Sulfato de magnesio- $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$**), fuentes comunes de Fósforo y Potasio como (**Fosfato dipotásico- K_2HPO_4**) y (**Fosfato monopotásico - KH_2PO_4**), y finalmente una solución alcalina de EDTA tales como **Ácido etilendiaminotetraacético- (EDTA)** e **Hidróxido de potasio (KOH)** que se componen de compuestos que reaccionan con ácidos, iones metálicos o metales pesados tóxicos. (Andersen, 2005 citado en Delgadillo, 2014)

Aunque el medio BBM es utilizado como medio de cultivo para el crecimiento de algas especialmente de *Chlamydomonas*, algas verdes filamentosas como *Klebsormidim*

flaccidum y algas xantofilas como *Heterococcus endolithicus*; entre otras más (Andersen, 2005), no se utilizaron para ello concentraciones elevadas de ningún nutriente más allá de los especificados en la tabla de *Medio Basal de Bold* establecido por Andersen (2005), esto posiblemente disminuyó el crecimiento de este tipo de organismos fotosintéticos en el medio, dejando disponibles la mayoría de los nutrientes disueltos en el agua para la planta.

Por otro lado, el medio natural que provenía de un estanque de ciprinidos de la Vega Cundinamarca, donde la principal actividad desarrollada es la acuicultura, entendida esta como la acción y rubro comercial productivo, en la crianza de recursos hidrobiológicos como peces, moluscos, crustáceos y vegetación acuática, en ambientes físicos controlados (SENA, 2011, p.1); constaba de un pH entre 6 a 8, resultando adecuada para la cría de este tipo de peces y con diferentes cargas de materia orgánica producto de la descomposición de su dieta alimenticia rica en compuestos nitrogenados tales como (*Mojarrina de proteína cruda tetracolor granulada y alimento Jungle en ojuela para peces ornamentales*) y los posteriores desechos de los peces, provocando cambios en las condiciones fisicoquímicas del medio. A continuación, se muestra la tabla de parámetros generales que condicionan la calidad del agua en los estanques destinados para el cultivo de peces.

Tabla 2. Parámetros generales de la calidad de agua para cultivo de peces

Item	Límite inferior	Límite superior
Temperatura	depende de la especie	
Oxígeno disuelto (ppm)	4.0	10.0**
Alcalinidad (ppm)	50.0	300.0
Dureza (ppm)	20.0	300.0
pH	7.0	9.5
Amonio total (ppm)	0.0	1.0
Amonio no ionizado (ppm)	0.0	0.1
Nitrito (ppm)	0.0	0.05
Dióxido de C (ppm)	0.0	20.0

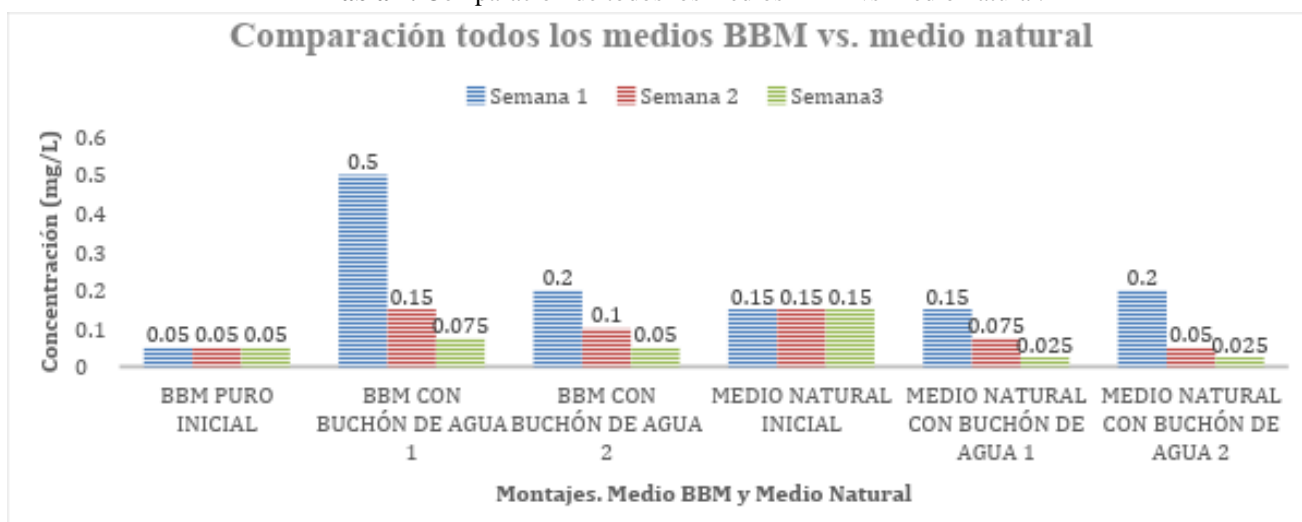
** Los estanques pueden exceder los 10 ppm en horas de la tarde. ppm = partes por millón.
 Extraído: Revista Gestión Técnica N° 14. Fuente SAGYP (2002).

Figura 17. Parámetros generales de la calidad de agua para cultivos de peces (Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, 2010).

Teniendo en cuenta estos parámetros y sumado a ello (Roldán, 1992) menciona que también hay unos factores abióticos que influyen en la estabilidad y productividad de los ecosistemas acuáticos, dentro de ello se encuentra la penetración de la luz solar, los gases y sólidos disueltos en el agua; pero además de ello también intervienen otros los factores, en este caso bióticos, donde se incluyen a todos los organismos vivos que se encuentran en ella y cumplen importantes funciones ecológicas; aquellos son en un primer lugar los *productores* representados por la presencia de **algas, bacterias y plantas fotosintetizadoras**, en un segundo lugar los *consumidores* como animales acuáticos (**protozoos, invertebrados y vertebrados superiores peces**) y en un tercer lugar los *descomponedores o mineralizadores de materia orgánica* tales como **hongos y bacterias** indispensables para la producción de sales minerales, óxidos de carbono, oxígeno e hidrógeno y la asimilación de nutrientes como el nitrógeno disuelto en el agua.

Siendo así, el estado de las muestras de agua de medio natural al venir ya con organismos tales como algas, pequeñas plantas, peces y por ende bacterias asimiladoras del nitrógeno disuelto en el agua (producto de la descomposición de los diferentes compuestos orgánicos presentes en el mismo) intervino en la capacidad fitorremediadora del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) que, aunque fue exitosa, lo fue aún más en el medio BBM, como se muestra a continuación:

Tabla 1. Comparación de todos los medios BBM vs Medio natural.



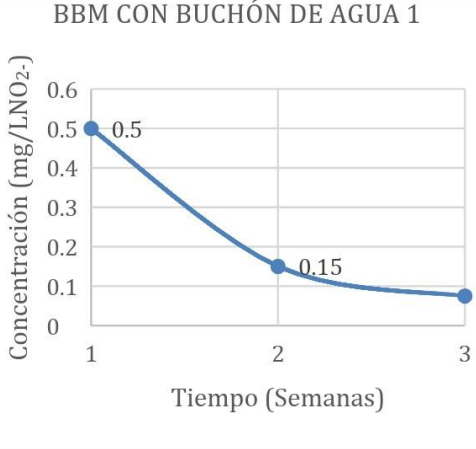



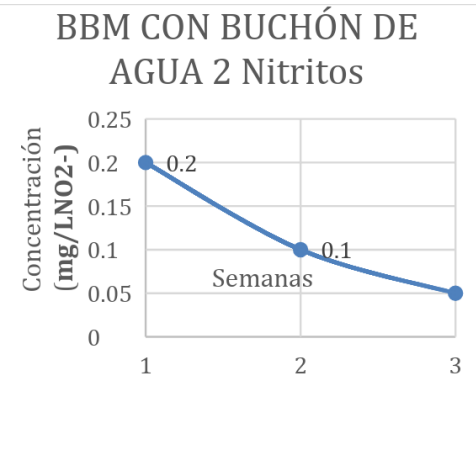

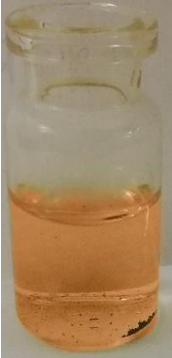

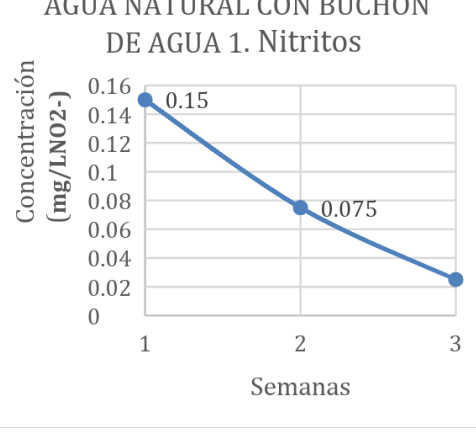



Ya que este no poseía además de los nutrientes y compuestos, otros factores tales como organismos que pudiesen generar algún tipo de competencia o se alimentaran propiamente de las raíces de la planta disminuyendo su velocidad de absorción de contaminantes, teniendo en cuenta que el tamaño de las raíces interviene en la capacidad de acumulación y absorción de materia orgánica presente en el agua. (Escuela de Bonsai, 2015)

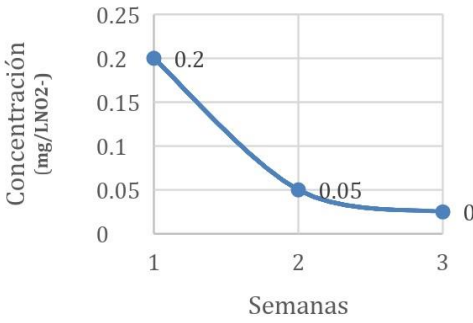

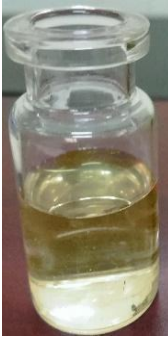

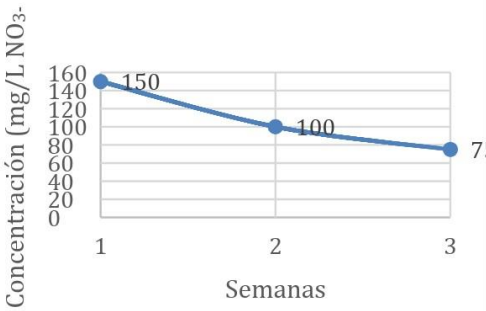



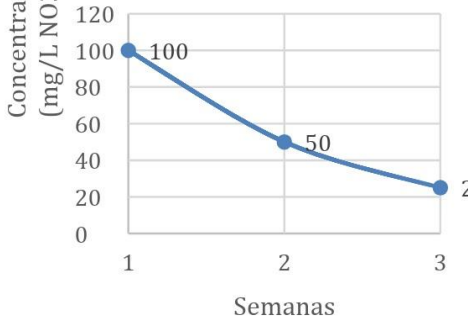





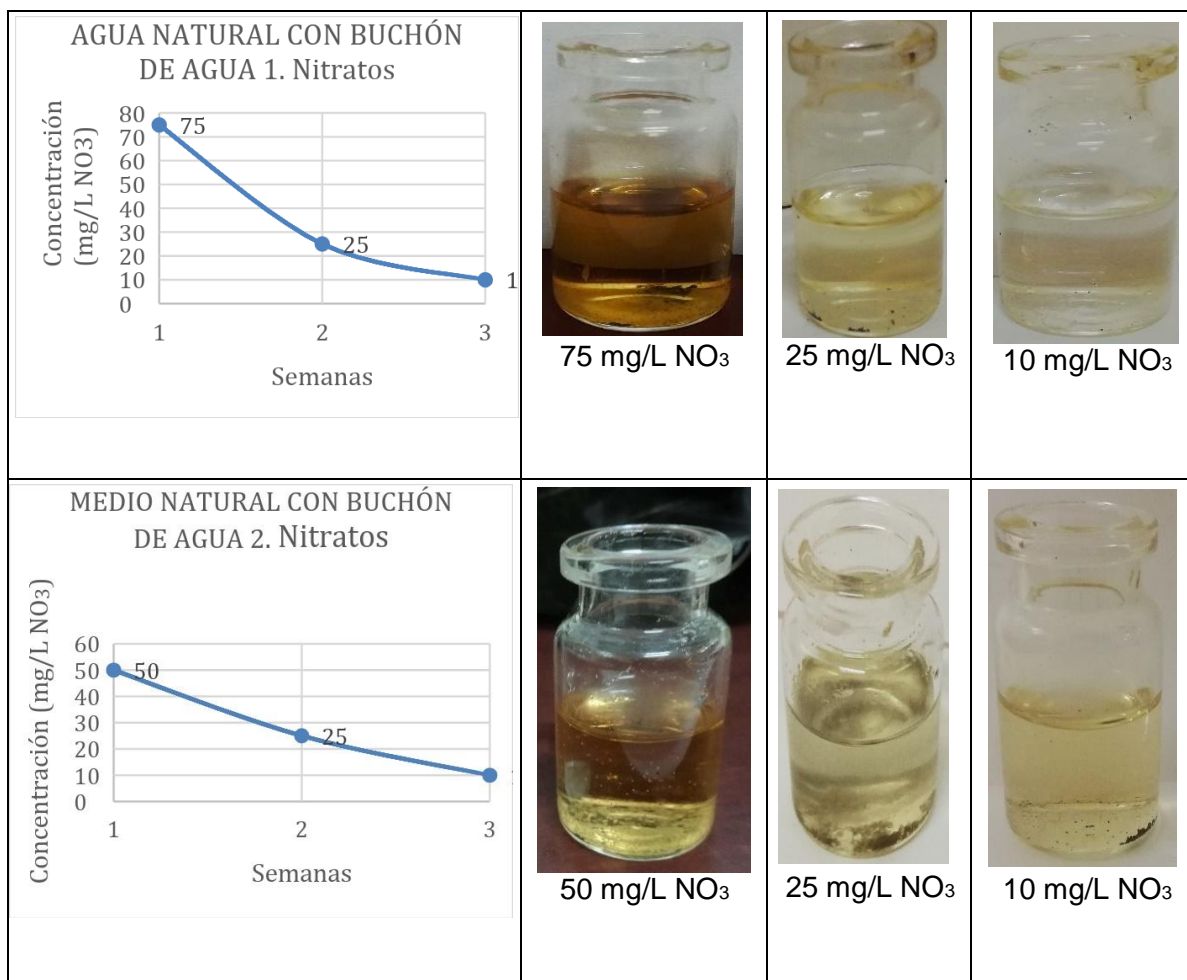
Figura 18. Comparación del estado de la raíces centrales y adventicias de *Eicchornia crassipes*. (Muñoz, 2018).

En la figura derecha se observa un buchón con raíces completas y bien desarrolladas. En la izquierda se observa un buchón con raíces, aunque maduras poco desarrolladas, debido a que han sido maltratadas por distintos organismos presentes en el agua de estanque.

Por otro lado, variables como el tiempo también pudieron intervenir en el estado del medio natural, debido a que como se mencionó anteriormente el agua ya venía cargado de materia orgánica y a medida que avanzaba el tiempo se intensificaba su descomposición y estancamiento provocando malos olores, mayor eutrofización, turbidez y cambios extremos en el pH del agua. (Delgadillo, 2014)

MEDIO. Concentración Eje Y (mg/L) vs. Tiempo Eje X (Semanas)	Semana 1	Semana 2	Semana 3								
<p>BBM CON BUCHÓN DE AGUA 1</p>  <table border="1"> <caption>Data for BBM CON BUCHÓN DE AGUA 1</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (Semanas)</th> <th>Concentración (mg/L NO₂⁻)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.075</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo (Semanas)	Concentración (mg/L NO ₂ ⁻)	1	0.5	2	0.15	3	0.075	 <p>0.5 mg/L NO₂⁻</p>	 <p>0.15 mg/L NO₂⁻</p>	 <p>0.075 mg/L NO₂⁻</p>
Tiempo (Semanas)	Concentración (mg/L NO ₂ ⁻)										
1	0.5										
2	0.15										
3	0.075										
<p>BBM CON BUCHÓN DE AGUA 2 Nitritos</p>  <table border="1"> <caption>Data for BBM CON BUCHÓN DE AGUA 2 Nitritos</caption> <thead> <tr> <th>Semanas</th> <th>Concentración (mg/L NO₂⁻)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Semanas	Concentración (mg/L NO ₂ ⁻)	1	0.2	2	0.1	3	0	 <p>0.2 mg/L NO₂⁻</p>	 <p>0.10 mg/L NO₂⁻</p>	 <p>0.050 mg/L NO₂⁻</p>
Semanas	Concentración (mg/L NO ₂ ⁻)										
1	0.2										
2	0.1										
3	0										
<p>AGUA NATURAL CON BUCHÓN DE AGUA 1. Nitritos</p>  <table border="1"> <caption>Data for AGUA NATURAL CON BUCHÓN DE AGUA 1. Nitritos</caption> <thead> <tr> <th>Semanas</th> <th>Concentración (mg/L NO₂⁻)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.075</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Semanas	Concentración (mg/L NO ₂ ⁻)	1	0.15	2	0.075	3	0	 <p>0.15 mg/L NO₂⁻</p>	 <p>0.075 mg/L NO₂⁻</p>	 <p>0.025 mg/L NO₂⁻</p>
Semanas	Concentración (mg/L NO ₂ ⁻)										
1	0.15										
2	0.075										
3	0										

<p>AGUA NATURAL CON BUCHÓN DE AGUA 2. Nitritos</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Semanas</th> <th>Concentración (mg/L NO₂⁻)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Semanas	Concentración (mg/L NO ₂ ⁻)	1	0.2	2	0.05	3	0	 <p>0.2 mg/L NO₂⁻</p>	 <p>0.050 mg/L NO₂⁻</p>	 <p>0.0250 mg/L NO₂⁻</p>
Semanas	Concentración (mg/L NO ₂ ⁻)										
1	0.2										
2	0.05										
3	0										
<p>BBM CON BUCHÓN DE AGUA 1. Nitratos</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Semanas</th> <th>Concentración (mg/L NO₃⁻)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>75</td> </tr> </tbody> </table>	Semanas	Concentración (mg/L NO ₃ ⁻)	1	150	2	100	3	75	 <p>150 mg/L NO₃⁻</p>	 <p>100 mg/L NO₃⁻</p>	 <p>75 mg/L NO₃⁻</p>
Semanas	Concentración (mg/L NO ₃ ⁻)										
1	150										
2	100										
3	75										
<p>BBM CON BUCHÓN DE AGUA 2. Nitratos</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Semanas</th> <th>Concentración (mg/L NO₃⁻)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	Semanas	Concentración (mg/L NO ₃ ⁻)	1	100	2	50	3	25	 <p>100 mg/L NO₃⁻</p>	 <p>50 mg/L NO₃⁻</p>	 <p>25 mg/L NO₃⁻</p>
Semanas	Concentración (mg/L NO ₃ ⁻)										
1	100										
2	50										
3	25										



- **Resultados de la exposición de *Eichhornia crassipes* a Nitratos (NO₃) y Nitritos (NO₂-)**

El Kit Colorimétrico de Merck o sistema de Aquamerck se encarga de evaluar rápidamente el estado del agua a través de pruebas titrimétricas y colorimétricas mediante el uso de tarjetas de colores o frascos de prueba. Dentro de las ventajas de su uso está el ser prácticos para su uso in situ, poseer instrucciones ilustradas para su procedimiento, manejar rangos de medición orientados a la aplicación, brindar escalas de colores brillantes y comparadores de alta calidad, alta perduración a través del tiempo y bajos costos de análisis (Exiquim, 2018 p. 26).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, evidenciando que hubo una absorción de nitritos y nitratos en los cuatro montajes (Medio

BBM y Medio natural); comprobando que el buchón de agua (*Eichhornia. c.*) es efectivamente un organismo fitorremediador, cumpliendo así el primer objetivo planteado.

Tabla 2. Tabla de resultados

Por otro lado, aunque hubo una disminución progresiva tanto de nitritos como de nitratos en los montajes de ambos medios (BBM y agua natural), se evidenció que el nitrato fue el compuesto notablemente mejor absorbido y asimilado por *Eichhornia c.*, puesto que al no representar en la mayoría de los casos un compuesto tóxico, como sí lo son los nitritos en concentraciones elevadas, estos terminan siendo absorbidos por ella rápidamente para tres procesos principales como lo son el desarrollo, crecimiento y reproducción. Esto también puede evidenciarse en las figuras comparativas que se muestran a continuación:

Tabla 3. Concentración de Nitritos en medio BBM y Medio natural.

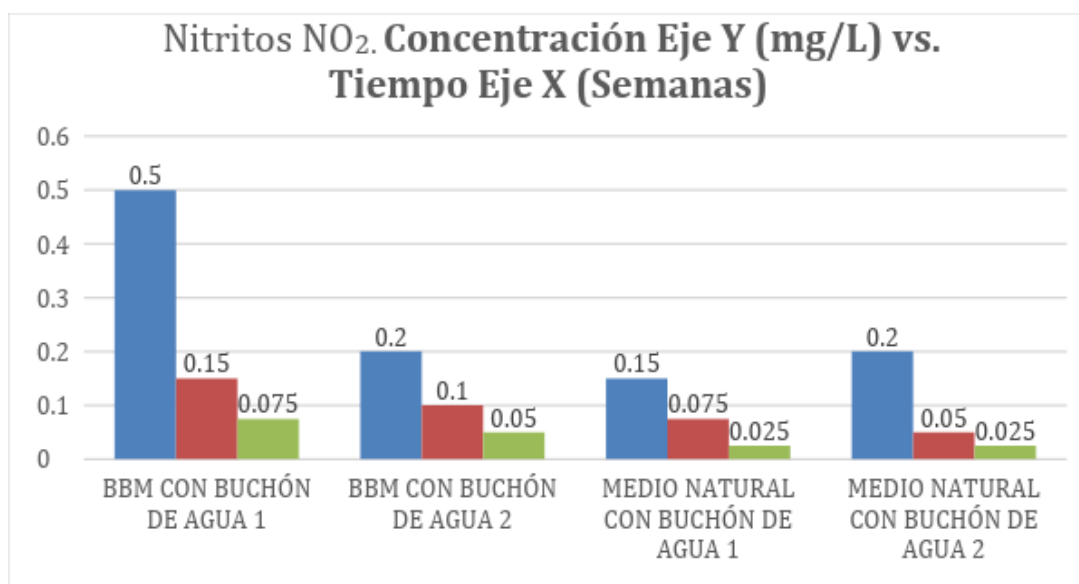
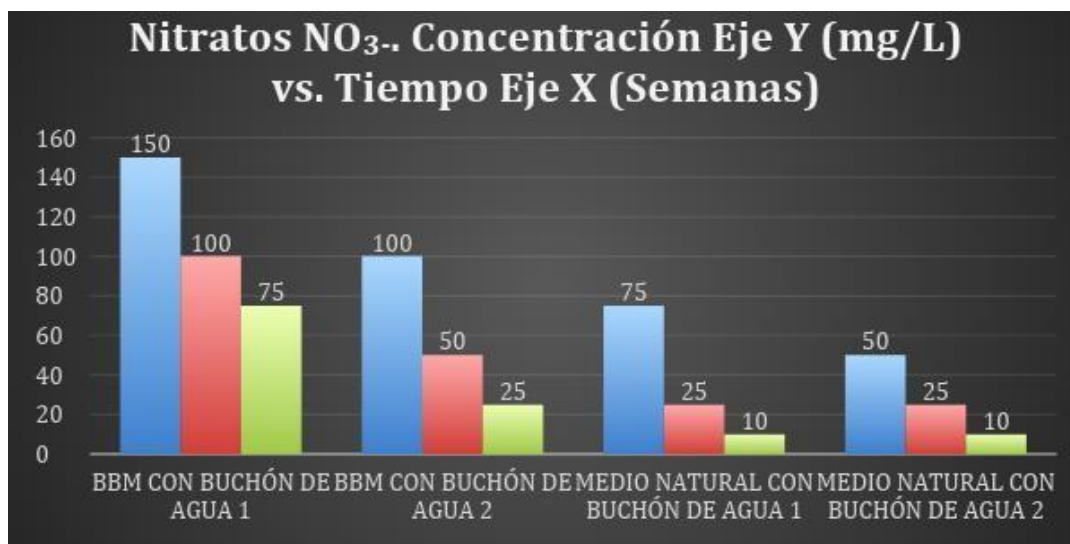


Tabla 4. Concentración de Nitratos en medio BBM y medio natural.



Puede evidenciarse que en las cuatro replicas la reducción del nitrato disminuyó de manera progresiva al pasar las semanas; mientras que, en el caso del nitrito, fue en el montaje de BBM con buchón de agua #1, donde más se evidenció en términos de los datos arrojados por coloración obtenida, la reducción más significativa del mismo.

Esto se sustenta bajo lo abordado por Jiménez y Padilla (2010) quienes mencionan que la asimilación de los nitratos por parte de las plantas, es una acción fundamental y natural que sucede en las raíces en los periodos de crecimiento, ya que estos compuestos son utilizados para formar nuevos tejidos por las plantas, o bien, por medio de las bacterias desnitrificadoras se convierte en un nitrógeno fundamental. Los nitratos también pueden ser eliminados por medio de la desnitrificación biológica, luego de ser liberados como óxido nitroso gaseoso y nitrógeno molecular a la atmosfera.

Talleres teórico-prácticos con el Humedal Artificial como material Educativo

- **Diseño y prueba de protocolos para los talleres teórico-prácticos**

Respondiendo a la segunda fase de la ruta metodológica la cual correspondió al diseño y prueba de protocolos para los talleres teóricos prácticos, después de la construcción del humedal artificial y las pruebas piloto llevadas a cabo de este, emergieron cinco talleres y dentro de los mismos unos protocolos a partir de las temáticas específicas que a continuación se muestran:

Tabla 5. Tabla de temáticas y actividades del material educativo HAFIT.

Temática	Actividad del taller HAFIT
Introducción a la fitorremediación con Humedales artificiales (HA)	Diseño del humedal artificial y salida de campo a un humedal natural
Morfología del buchón de agua (<i>E. crassipes</i>)	Ilustración de la morfología del buchón de agua y Siembra de las plantas acuáticas en el HA.
Experimentación con el buchón de agua (<i>E. crassipes</i>)	Detección de Nitratos (NO ₃ -) en estructuras de la planta por prueba de Difenilamina y Cromatografía con pigmentos de la hoja
Dinámica de los sistemas acuáticos: Retos e implicaciones	Incidencia de la luz en un cuerpo de agua y Colmatación: repercusiones de los sedimentos en sistemas acuáticos.
Importancia y apropiación de los humedales como recursos hídricos	Mesa redonda de socialización y reflexión final

Razón de ello, es el que pedagógica y didácticamente hablando el maestro necesitaría una línea guía que permitiese la unión entre teoría y práctica (Bravo, 2018), para llegar no sólo a construir un conocimiento mucho más afianzado con sus estudiantes frente a la temática de la fitorremediación con macrófitas en sistemas acuáticos, sino además teniendo como eje central el humedal artificial como el material educativo que le posibilitara llegar al objetivo de enseñanza con sus estudiantes sin importar el curso, institución o edades de los estudiantes en los que se implementara; es decir lograr unas temáticas lo suficientemente prácticas y pertinentes para que se logaran adaptar a lo sujetos de aprendizaje.

Por otro lado, en dos de los cinco talleres sus protocolos tuvieron que ser probados experimentalmente desde un inicio con el fin de verificar su eficiencia para el proceso de enseñanza en las instituciones donde el maestro tendría que aplicarlas. A partir de esas experimentaciones fue posible obtener unos resultados importantes de tener en cuenta a la hora de comprender la fitorremediación con macrófitas, creyendo necesario incluirlos en las secciones de *Posibles Resultados* de estos talleres.

Tal fue el caso del **Taller 2 (Morfología del Buchón de agua *Eichhornia crassipes*)** en donde se evidenció que la planta pasaba por algunos cambios morfológicos visibles después de haber estado expuesta de 1 a 2 meses en condiciones de laboratorio tanto al medio de agua natural como al medio BBM. En ambos casos, a medida que pasaba el tiempo los buchones presentaron despigmentación en hojas, poco crecimiento, agrietación y posterior desprendimiento de sus hojas, debido posiblemente al limitado factor de luz que había en el lugar y la cada vez más baja disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno en el agua, ya que la mayoría de estos habían sido absorbidos en forma de nitratos en su totalidad semanas antes por las raíces centrales y adventicias de la planta acuática.

Esto sucede debido a que nutrientes como el nitrógeno luego de ser asimilado por las raíces de la planta, es utilizado por esta para el crecimiento tanto de hojas como de tallos y peciolo, así mismo para la producción de clorofila, evitar el exceso de lignina en las hojas y la síntesis de proteínas y vitaminas; además de ser parte de varios procesos estructurales de sus células. Pero el exceso o déficit de este nutriente también resultan ser dañino para la misma, evidenciándose en síntomas como el crecimiento excesivo de la planta, una excesiva cobertura vegetal que terminan cubriendo los espejo del agua evitando la entrada directa de luz y la clorosis que se traduce en pérdida de la clorofila en las células de los cloroplastos haciendo que estos pierdan la intensidad de su color y por ende presenten marchitamiento, hojas entre amarillas y cafés o agrietamiento de los bordes de la hoja o rompimiento o desprendimiento total de las hojas.

Otro de los cambios que se evidenciaron fue la longitud que alcanzaban las raíces adventicias de algunos buchones y la coloración de las mismas. En algunos sus raíces llegaban a medir de 80 a 100 centímetros de altura mientras que en otros tan solo alcanzaban los 20 centímetros o menos; en esto podría interferir tres aspectos básicos dentro de los cuales estaría la etapa de madurez en donde se encontrara la planta, el ambiente de dónde provinieron originalmente (presencia o no de peces que se alimentaran de sus raíces) o la cantidad de compuestos o nutrientes que pudiesen estar disponibles en el agua.

Esto se argumenta bajo que el tamaño de las raíces interviene en la capacidad de acumulación y absorción de la materia orgánica e inorgánica presente en el agua. Los buchones que más rápido absorben y por ende son más eficientes, desarrollan unas raíces mucho más largas y con una coloración oscura (Escuela de Bonsai, 2015). Es decir que en el caso de *Eichhornia crassipes* el tamaño de las raíces puede llegar a contribuir en la velocidad de absorción como respuesta al medio en donde se encuentren y por ende en la eficacia de proceso de la fitorremediación.

En el caso del **Taller 3 (Experimentación con el Buchón de Agua como organismo fitorremediador)** en el protocolo de detección de nitratos mediante la prueba de Difenilamina, se encontró una coloración azul-verde en las hojas del Buchón de Agua, cualquier coloración diferente indicó que no había presencia de Nitratos en esa parte del organismo, como en el caso de las raíces, que dio como resultado una coloración rojiza. Esto se debe principalmente a que a medida que la planta crece y se desarrolla, el nitrato se reduce en la parte de la raíz y su contenido aumenta en la hoja. Estos compuestos solubles son conformados por el Nitrógeno y Oxígeno, en el ambiente generalmente el nitrito (NO_2^-) se convierte en nitrato (NO_3^-); usualmente es normal encontrar presencia de nitrato ya que es esencial para el crecimiento de las plantas, el cual proviene de los fertilizantes y otras actividades agrícolas. Así mismo, la absorción de nitrato por parte de las plantas tiende a disminuirse debido a las bajas temperaturas del medio; en el proceso de anaerobiosis y también por la presencia de inhibidores metabólicos, da como resultado un transporte activo, el cual depende de la energía metabólica.

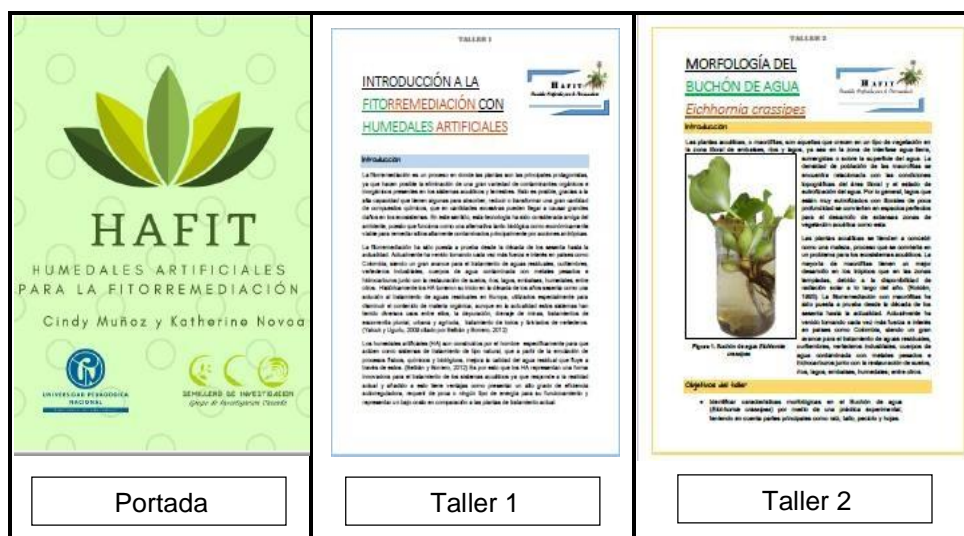
Debido a que la Difenilamina ($C_6H_5)_2NH$, es un compuesto orgánico, Maloney y Thornton (1982) mencionaron que debido a que la prueba consiste en la oxidación de la Difenilamina incolora, esta va obteniendo una coloración azul parecido al de la quinoidina debido a la oxidación de iones del óxido de nitrógeno, que luego son liberados por la reacción con el ácido sulfúrico (citado en Centro Nacional de Conservación y Restauración, 2014, p. 2).

En cuanto a la segunda experimentación de cromatografía, este es un método de análisis por el cual permite la separación de líquidos o gases en una mezcla por medio de adsorción selectiva, se utilizaron dos buchones en medios diferentes, el BBM y Natural. Allí se encontró dos tipos de resultados, en la hoja del buchón del medio BBM hubo presencia de pigmentos clorofílicos intensos (coloración verde), mientras que en la hoja del buchón del medio natural se encontró presencia de pigmentos de tipo xantofilas (coloración amarillo-parda). En el desarrollo de la práctica se pudo evidenciar que el alcohol, y los pigmentos que se encontraban allí, fueron ascendiendo como resultado de la capilaridad. Así que, los pigmentos que se encuentran menos solubles y que contienen mayor masa, se quedan adheridos en la parte inferior del papel; en cambio, los pigmentos con mayor solubilidad y con menor masa ascendieron a través del papel filtro con el alcohol. Todo este proceso sucede ya que es evidente la tensión superficial, que es resultado de una fuerza no equilibrada que se encuentra al interior del líquido y que influye en las moléculas superficiales; por lo cual, cada pigmento tiene diferentes grados y masa de solubilidad, razón por la cual se generan diferentes franjas de colores debido a su pigmentación producida.

- **Estructura de los talleres teórico-prácticos**

Los talleres teórico-prácticos se estructuraron por secciones de tal manera que fueran sencillos de abordar y trabajar por el maestro. Se inicia con una primera **sección de Introducción** la cual ilustra un panorama general de la temática del taller, una **sección de Objetivos** donde se plantea las metas generales del mismo, una sección de **Hipótesis del Maestro** en donde se plantea una suposición hecha a partir de las secciones anteriores que le servirán al maestro como base para iniciar la actividad propuesta, acompañada de una

sección de **Fundamentación Teórica** que incluye los conceptos estructurantes necesarios a tener en cuenta para poder tener un adecuado manejo de la actividad, una **sección de Protocolo** para el paso a paso de la actividad, una sección de **Orientaciones para tu clase** la cual se aborda en sólo tres de los cinco talleres como una sección especial de sugerencias pensadas en cómo y para qué el maestro enseña cada temática y actividad bajo un trasfondo educativo, una sección de **Notas** que son recomendaciones explícitas que se dan a lo largo del taller, una sección de **Posibles Resultados** que plantea una serie de afirmaciones guía de lo que se esperaría que el maestro obtuviese en términos disciplinares y en su quehacer docente, en algunos casos una sección **Actividades Complementarias** y a modo de cierre una sección de **Espacio del Maestro** donde el mismo moviliza sus observaciones, aportes y reflexiones que emergen en el proceso, entorno a una pregunta orientadora. Finalmente se expone una sección de **Bibliografía** donde se ubica las distintas fuentes bibliográficas consultadas para la estructuración teórica del taller y junto con ello una bibliografía complementaria para el maestro.



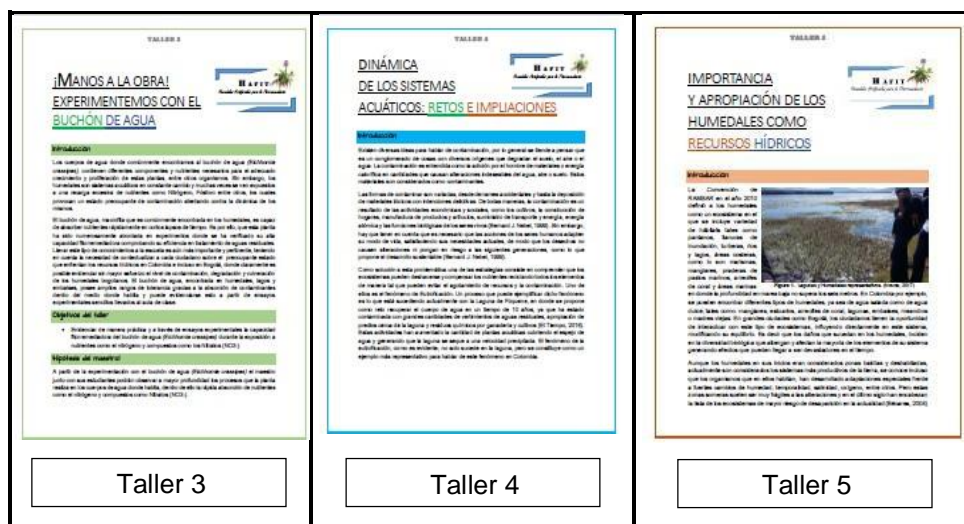


Figura 19. Estructura de Talleres HAFIT. (Muñoz y Novoa, 2018).

Validación del material educativo a través de la Fitorremediación como eje de reflexión

Respondiendo a la segunda fase de la ruta metodológica la cual correspondió a la validación del material educativo reconociendo la Fitorremediación como eje de reflexión acerca del uso e importancia de los humedales como recurso hídrico, se obtuvieron los siguientes resultados en los tres tipos de validación realizados:

- **Validación interna por pares académicos**

En la validación con pares académicos por parte del equipo de investigación del proyecto Caja de Herramientas Educativas: *AGUA CACHACA* de la Universidad Pedagógica Nacional, se obtuvieron sugerencias y observaciones por parte de la evaluadora en lo referente a los ítems de estructura, contenido, coherencia y viabilidad de implementación, fue por ello que respondiendo en términos del diseño se definió una ilación de las partes del taller de tal forma de su lectura fuera sencilla, clara y visualmente llamativa; en términos de contenido y finalidad, en los talleres se enriqueció las fundamentaciones teóricas cuidando que esta fuese coherente con la temática que se proponía y se fortaleció las secciones

dirigidas hacia el maestro además de las justificaciones educativas de cada una de las actividades.

- **Validación por implementación**

En la validación por implementación con la Institución Educativa Gimnasio el Lago, se evidenció que gracias al diseño del humedal artificial el maestro pudo abordar conocimientos tanto biológicos y ecológicos relacionados a la dinámica de un sistema acuático con sus estudiantes de manera sencilla y fluida, entre estos los tipos de contaminación de un cuerpo acuático, características del agua que componen a los humedales naturales, conexiones y relaciones de un sistema acuático con un sistema terrestre, las características morfológicas y potencial fitorremediador de la vegetación de humedales, entre otros muchos.

Así mismo se evidenció que fue posible en una sesión de clase de tan solo 60 minutos diseñar el humedal artificial completo y al mismo tiempo hacer uso de este como material educativo junto con el desarrollo de varias actividades del libro de talleres HAFIT, permitiendo que efectivamente exista una relación e ilación educativa entre cada una de las actividades propuestas. Es así como el maestro puede abordar incluso de una forma sistémica y simultánea los talleres HAFIT poniendo en juego lo propuesto en los Trabajos Prácticos, relacionando la teoría y la práctica y manteniendo como eje central la enseñanza de las dinámicas de los sistemas acuáticos a partir de la Fitorremediación con buchón de agua y la importancia de los humedales como recursos hídricos, dando como resultado la construcción de un conocimiento sistémico y generando un aprendizaje significativo (Novak y Gowin citado en del Carmen, 2011).

Finalmente fue posible evidenciar que, partiendo de la zona acuática, terrestre y de transición que componía el humedal artificial junto con la vegetación situada en cada una de ellas, resultó para el maestro mucho más sencillo abordar en el aula temáticas como la fitorremediación en términos de la labor ecológica que cumplen estas macrófitas en un cuerpo de agua, que a simple vista tiene un grado de complejidad a la hora de querer enseñarlo.

- **Validación virtual**

Colegio Gimnasio El Lago (Ver Anexo A)

Diseño:

Criterio	Si	No	Observaciones
El tipo de letra, y estética que se maneja en el taller son pertinentes.	X		
La organización del contenido en el taller resulta adecuada para el desarrollo de este.	X		
El material gráfico (fotografías, videos, colores, ilustraciones y decoración) le resulta acorde para el tema que se está tratando.	X		
La narrativa visual es pertinente al contexto educativo.	X		
El taller se encuentra libre de errores ortográficos y gramaticales.		X	

En cuanto al ítem denominado *Diseño* es posible evidenciar que la maestra Diana Castaño demuestra estar de acuerdo en cuanto al tipo de letra y estética, la organización del contenido, el material gráfico y la narrativa visual. Sin embargo, en cuanto a la ortografía la maestra manifiesta encontrar errores ortográficos y gramaticales. De acuerdo a lo anterior, es notable que el diseño de los talleres teórico-prácticos tiene un diseño entendible, atractivo y sencillo de manejar.

Contenido:

Criterio	Si	No	Observaciones
Las temáticas del taller permiten la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos.	X		
La fundamentación teórica le permitió entender la temática planteada.	X		

El paso a paso descrito dentro del taller es apropiado para su implementación por el docente.	X		
La bibliografía proporcionada es de ayuda y complementa teóricamente el taller.	X		

Para el criterio de *Contenido* se encontró que, según los criterios acerca de la pertinencia de las temáticas en los talleres, la fundamentación teórica, el paso a paso y la bibliografía proporcionada, permitieron reconocer la dinámica de los sistemas acuáticos, y además, es posible encontrar toda la información necesaria para enseñar la ecología en las instituciones educativas, ya que se ofrecen orientaciones que van dirigidos a los maestros para que el desarrollo de los talleres teórico-prácticos, sea completo. Los talleres fueron elaborados con el fin de que en el proceso de aprendizaje fuera posible tener en cuenta las ideas previas y el contexto de los estudiantes para que sean relacionados con la estructura de su conocimiento; en pocas palabras, que la información otorgada sea entendible e interpretables para el estudiante. Igualmente se demuestra que la maestra está totalmente de acuerdo con cada uno de los criterios mencionados en el Formato de Validación.

Finalidad:

Criterio	Si	No	Observaciones
Los conceptos planteados a lo largo del taller contribuyen a un desarrollo entendible de la temática.	X		
El paso a paso descrito dentro del taller conlleva a cumplir los objetivos propuestos en el mismo.	X		
El taller propuesto posibilita la apropiación del recurso hídrico.	X		

En cuanto al ítem de *Finalidad* se encontró que los conceptos planteados en los talleres teórico-prácticos contribuyeron al desarrollo de las temáticas, así mismo el paso a paso permite cumplir los objetivos que se plantearon en los talleres, y finalmente, el conjunto de los talleres teórico prácticos HAFIT posibilitaron la apropiación del recurso hídrico como derecho y deber de los ciudadanos.

Observaciones generales adicionales:

Se sugiere poder desarrollar e implementar un taller escrito con el grupo de estudiantes para de alguna manera, poner a prueba la apropiación del conocimiento y poder evidenciar un cambio actitud y medir el proceso de concienciación frente a la valoración del agua y ver este recurso como vulnerable, para así, poder implementar acciones claras en la comunidad y en el entorno educativo, lo cual permita contribuir a su conservación.

Finalmente, la maestra menciona en observaciones generales que sería necesario implementar un taller en donde se pudiera evidenciar la apropiación de conocimiento y cambio de actitudes. Inicialmente, generar cambio de actitudes y conciencia sobre un aspecto, es un proceso de larga duración y particular de cada sujeto, sin embargo, por tal razón se ofrecen este conjunto de talleres en el que el maestro pueda apropiarse del contenido y orientar sus clases de ciencias en torno a la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos.

Colegio Agustiniano Tagaste (Ver Anexo B)

En cuanto a las maestras Nayibe Velandia y Jenny Moyano, los resultados y opiniones percibidas del libro de talleres teórico-práctico HAFIT, por parte de ambas maestras fueron similares. Por lo cual, se sistematizó en las siguientes secciones, siendo estas respuestas comunes y más importantes señaladas dentro del formato:

Diseño:

Criterio	Si	No	Observaciones
El tipo de letra, y estética que se maneja en el taller es pertinente.	X		El tipo de letra es pertinente, hace amena la lectura y motiva al lector a seguir leyendo
La organización del contenido en el taller resulta adecuada para el desarrollo de este.	X		La incorporación de colores para diferencias las actividades me parecen adecuada, rompe con la homogeneidad y la monotonía
El material gráfico (fotografías, videos, colores, ilustraciones y decoración) le resulta acorde para el tema que se está tratando.	X		Las imágenes son muy buenas, no obstante, la calidad y resolución de algunas tomadas al estereoscopio podrían ser un poco más claras.
La narrativa visual es pertinente al contexto educativo.	X		Este criterio se cumple satisfactoriamente.
El taller se encuentra libre de errores ortográficos y gramaticales.	X		Sería pertinente revisar nuevamente algunos textos, en momentos sobran palabras, y los párrafos son muy largos por lo que sería pertinente apoyarse en puntuación para hacer más amena su lectura.

En cuanto al criterio de *Diseño* la maestra Jenny Moyano denoto en cada ítem una total conformidad con los aspectos evaluados, sin embargo, la maestra hace comentarios que complementan sus juicios emitidos a cada ítem. Para el tipo de letra y estética manejada en el taller menciona afirma que sí le motiva a la lectura del taller y seguir leyendo, aspecto que se comparte en la organización del contenido del taller en donde menciona que los colores utilizados para diferenciar las actividades cambian la uniformidad dentro del texto y rompe con la monotonía. En cuanto al material gráfico utilizado, la maestra Jenny ratifica que las imágenes utilizadas en los talleres son adecuadas, sin embargo, menciona que es necesario mejorar la claridad de las imágenes tomadas en el estereoscopio. Por otro lado, en cuanto a la narrativa visual califica como totalmente satisfactorio y que es pertinente al contexto educativo aplicado. En el ítem acerca de la ortografía y gramática de los talleres, la maestra sostiene que hay redundancia de palabras, y que, en los párrafos más extensos, sería pertinente utilizar de la puntuación para hacer más interesante su lectura.

Contenido:

Criterio	Si	No	Observaciones
Las temáticas del taller permiten la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos.	X		Las temáticas son muy oportunas e ideales para la ejecución del proyecto a desarrollar.
La fundamentación teórica le permitió entender la temática planteada.	X		El apoyo teórico en cada apartado es muy oportuno, se recomienda tener en cuenta el nivel de formación del docente de Ciencias Naturales, en caso de que sea licenciado en Química, parte del vocabulario es especializado y puede generar inconvenientes para el maestro.
El paso a paso descrito dentro del taller es apropiado para su implementación por el docente.	X		Parte de la cartilla esta direccionada a protocolos de prácticas de laboratorio por lo que es oportuno para afianzar la experimentación en la clase, por lo que me parece oportuno y muy valioso.
La bibliografía proporcionada es de ayuda y complementa teóricamente el taller.	X		La bibliografía como material complementario es ideal, aunque considero que en algunos apartados escasa.

Para el criterio de *Contenido* la maestra Jenny Moyano manifiesta total acuerdo con los ítems propuestos, aunque menciona comentarios específicos para cada uno. En cuanto a las temáticas presentadas denota que sí son totalmente oportunas y adecuadas para el desarrollo del proyecto de grado, así mismo, permiten la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos. Para la fundamentación teórica afirma que fue oportuno, sin embargo, es necesario revisar el nivel de formación de cada docente en Ciencias Naturales, para generar especializaciones de terminología dependiendo la disciplina de cada maestro. El paso a paso descrito dentro del taller sí fue apropiado para la implementación por parte de la maestra, en donde ella menciona que los talleres se direccionan hacia los protocolos de las prácticas de laboratorio, por lo que manifiesta este proceso como muy valioso, ya que afianza el proceso de experimentación, que de acuerdo a lo que menciona Medellín, Vargas y Ojeda (2016) acerca de la enseñanza de la biología a través de trabajos prácticos, es que es posible tener un aprendizaje de forma evidenciable para los estudiantes, en donde el conocimiento adquirido se interioriza y es posible aplicarlo en el contexto de cada sujeto (p.

19). Finalmente menciona que la bibliografía proporcionada sí fue de ayuda y complementó teóricamente el taller, pero que en algunos talleres es escasa en contraste al contenido presentado.

Finalidad:

Criterio	Si	No	Observaciones
Los conceptos planteados a lo largo del taller contribuyen a un desarrollo entendible de la temática.	x		Este criterio se cumple satisfactoriamente.
El paso a paso descrito dentro del taller conlleva a cumplir los objetivos propuestos en el mismo.	x		Este criterio se cumple satisfactoriamente.
El taller propuesto posibilita la apropiación del recurso hídrico.	x		Este criterio se cumple satisfactoriamente.

Para el criterio de *Finalidad* los conceptos planteados en los talleres sí contribuyeron al desarrollo entendible de la temática, así como el paso a paso descrito en el taller sí llevo a cumplir los objetivos propuestos, y finalmente el conjunto de talleres HAFIT sí posibilito satisfactoriamente la apropiación del recurso hídrico.

Observaciones generales adicionales:

Es importante aclarar para qué tipo de población está diseñado es taller y su relación con los lineamientos, estándares de competencias y los derechos básicos de competencias, esto ayudaría a situar un poco más la retroalimentación del material en relación a la población a la que está dirigida.

Es importante pensar en aquellos colegios que no cuentan con instrumentos o equipos de laboratorio descritos en algunos apartados, sería oportuno pensar en alguno apoyo visual adicional Sin embargo el material es muy bueno, está muy bien construido y se puede convertir en un recurso de gran importancia para los maestros del área de ciencias naturales de cualquier institución.

En las *Observaciones generales* la maestra Jenny Moyano hace pertinente aclarar la población a quién va dirigidos los talleres, así como poner en contexto con la normatividad expresada por el Ministerio de Educación, con el fin de orientar el material hacia la población trabajada. Igualmente, la maestra menciona que es importante tener en cuenta a los colegios que no tienen los recursos económicos o laboratorios para desarrollar los apartados que se encuentran en los talleres, sin embargo, cabe resaltar que este material educativo está orientado para que pueda ser elaborado con pocos fondos económicos siendo sencillo y práctico de implementar. Finalmente, destaca la importancia que tiene el material educativo para los maestros de Ciencias Naturales y la utilidad que puede tener al momento de la enseñanza de la Ecología.

De igual manera, la construcción del Humedal Artificial (parte del protocolo de la actividad del taller N° 1) no sería trascendental sino se tuviera en cuenta el conjunto de talleres *HAFIT*, puesto que es allí donde se constituye el proceso de enseñanza-aprendizaje, en una relación de maestro-alumno. Así, como lo menciona Ausubel, el estudiante es un procesador activo de información, que construye, refuerza, modifica o altera su propio conocimiento, esto con la orientación de un sujeto maestro y sus estrategias o materiales de aprendizaje (Ausubel, 1963). Al igual que el maestro debe desempeñar su labor fundamentándola en la acertada elección de nuevas estrategias y material de enseñanza para así promover un aprendizaje significativo. (Ausubel, 1983). Además, se propone que el maestro haga uso de procesos y estrategias meta-cognitivas, como los talleres teórico-prácticos siendo el material educativo, para conocer la configuración de la estructura cognitiva y así orientar adecuadamente su labor docente en relación directa con la didáctica.

Conclusiones

- Aunque en la exposición de *Eichhornia. c.* a nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) del medio BBM y medio natural, se evidenció una reducción progresiva de ambos compuestos en los dos medios, el nitrato resultó ser el compuesto mejor asimilado por la planta, debido a que el nitrato es absorbido de manera natural por esta para utilizarlo en procesos fundamentales como lo son el crecimiento, el desarrollo y la reproducción. Por otro lado, nutrientes como el nitrógeno de los cuales se deriva los nitritos y nitratos que posteriormente son absorbidos por la planta, es un factor esencial para mantener procesos celulares como la síntesis de proteínas, vitaminas, hormonas, procesos estructurales, entre otros; que, de un modo u otro, al final determinarán el estado de las estructuras morfológicas de la planta.
- Construir talleres en torno al humedal artificial permite articular y adaptar las temáticas desarrolladas en cada uno con las necesidades que hacen parte del contexto de las instituciones educativas, en donde laboran los maestros de Bogotá actualmente, en relación a los humedales como recursos hídricos, tema necesario de abordar en el aula de tal manera que se puedan generar en conjunto soluciones y reflexiones frente a ello.
- La planta tiene diferentes formas de absorber los nitritos y por otro lado los nitratos del medio donde se encuentra, ya que mientras usa los nitratos para procesos vitales y los concentra en estructuras tales como hojas, raíces y peciolos, los nitritos solo los hiperacumula y concentra en las zonas de las raíces ya que este es un compuesto tóxico en la mayoría de ocasiones. En la raíz es donde este compuesto es estabilizado químicamente y devuelto al medio natural en una forma menos tóxica.
- A partir de los distintos modos de validación con los maestros de biología del distrito, es posible concluir que el humedal artificial, el HAFIT y el maestro de manera independientemente no alcanzan el mismo propósito, sino que es su

articulación en conjunto lo que permite que se cree un verdadero aprender-haciendo. Esta unión entre la teoría y la práctica permiten la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos desde temáticas como la Fitorremediación, entendiendo esta como un eje central para la reflexión del uso e importancia de los recursos hídricos en Bogotá.

- El humedal artificial como material educativo para la enseñanza de la fitorremediación con *Eichhornia c.* en sistemas acuáticos funciona, siempre y cuando este sea considerado como una parte del proceso para el afianzamiento de conocimientos frente a las temáticas en el HAFIT que se elaboraron al rededor del mismo. Entendiendo que se necesita una verdadera articulación durante el proceso para que se obtengan los resultados que se desean en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Es decir que el proceso que se lleve a cabo con el material educativo en conjunto determinará los resultados de la enseñanza y lo aprendido.
- En la formación como futuras maestras en biología, diseñar y construir el humedal artificial y que a partir de allí emergieran los talleres teórico-prácticos (HAFIT), fue una forma enriquecedora de reconocer las dinámicas de un humedal natural y a su vez generar una postura crítica mucho más cercana frente a la situación actual de los recursos hídricos en Bogotá. Por otra parte, el material educativo se convierte en un elemento significativo y útil que podrá ser incluido en el proceso de enseñanza como futuras licenciadas en biología.
- Finalmente, en cuanto al Buchón de agua, ninguna planta puede categorizarse como “mala” ya que todas las plantas juegan un papel particular y específica en el equilibrio de un ecosistema. Es decir, que todas son necesarias siempre y cuando estén en su hábitat correcto y su manejo se haga consiente de los impactos que puede generar su manipulación e introducción en los sistemas acuáticos.

A. Anexo: Formato de validación virtual

Caja de Herramientas Educativas: Agua Cachaca

Formato de validación del material educativo

Con el fin de validar el material educativo producido en el marco dentro del proyecto de Investigación titulado "Diseño de una caja de herramientas educativas para la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos, que contribuya a la apropiación del recurso hídrico como derecho y deber de los bogotanos", el presente formato tiene como finalidad, recoger sus apreciaciones acerca de dicho material educativo, por lo que esperamos que una vez revisados cada uno de los talleres enviados, pueda expresar su concepto a través de los criterios agrupados en 3 categorías: Diseño, Contenido y Finalidad.

En este caso, el material educativo que le fue enviado, hace parte del trabajo de grado titulado: **"El humedal artificial como material educativo para la enseñanza de la Fitorremediación con buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) en sistemas acuáticos dirigido a los maestros de biología del distrito"** realizado por Seidy Katherine Novoa Pardo y Cindy Vanesa Muñoz Trujillo, el cual tiene como objetivo "Diseñar un humedal artificial como material educativo para los maestros de biología de Bogotá, que permita la enseñanza de la Fitorremediación con Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*)". Dicho material está constituido por 5 talleres dirigidos a los docentes de Bogotá para que los puedan adecuar y apropiar de acuerdo con sus prácticas, modelos y metodologías particulares que conlleven a su implementación.

De antemano agradecemos su colaboración y todas aquellas observaciones que nos permitan mejorar el material educativo y articularlo con la Caja de Herramientas Educativas: Agua Cachaca.

Diseño:

Criterio	Si	No	Observaciones
El tipo de letra, y estética que se maneja en el taller es pertinente.	X		
La organización del contenido en el taller resulta adecuada para el desarrollo de este.	X		
El material gráfico (fotografías, videos, colores, ilustraciones y decoración) le resulta acorde para el tema que se está tratando.	X		
La narrativa visual es pertinente al contexto educativo.	X		
El taller se encuentra libre de errores ortográficos y gramaticales.		X	

Contenido:

Criterio	Si	No	Observaciones
Las temáticas del taller permiten la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos.	X		
La fundamentación teórica le permitió entender la temática planteada.	X		
El paso a paso descrito dentro del taller es apropiado para su	X		

implementación por el docente.			
La bibliografía proporcionada es de ayuda y complementa teóricamente el taller.	X		

Finalidad:

Criterio	Si	No	Observaciones
Los conceptos planteados a lo largo del taller contribuyen a un desarrollo entendible de la temática.	X		
El paso a paso descrito dentro del taller conlleva a cumplir los objetivos propuestos en el mismo.	X		
El taller propuesto posibilita la apropiación del recurso hídrico.	X		

Observaciones generales adicionales:

Se sugiere poder desarrollar e implementar un taller escrito con el grupo de estudiantes para de alguna manera, poner a prueba la apropiación del conocimiento y poder evidenciar un cambio actitud y medir el proceso de concienciación frente a la valoración del agua y ver este recurso como vulnerable, para así, poder implementar acciones claras en la comunidad y en el entorno educativo, lo cual permita contribuir a su conservación.

B.Anexo: Formato de validación Colegio Agustiniiano Tagaste

Caja de Herramientas Educativas: Agua Cachaca

Formato de validación del material educativo

Con el fin de validar el material educativo producido en el marco dentro del proyecto de investigación titulado "Diseño de una caja de herramientas educativas para la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos, que contribuya a la apropiación del recurso hídrico como derecho y deber de los bogotanos", el presente formato tiene como finalidad, recoger sus apreciaciones acerca de dicho material educativo, por lo que esperamos que una vez revisados cada uno de los talleres enviados, pueda expresar su concepto a través de los criterios agrupados en 3 categorías: Diseño, Contenido y Finalidad.

En este caso, el material educativo que le fue enviado, hace parte del trabajo de grado titulado: "El humedal artificial como material educativo para la enseñanza de la fitorremediación con buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) en sistemas acuáticos dirigido a los maestros de biología del distrito" realizado por Seidy Katherine Novoa Pardo y Cindy Vanesa Muñoz Trujillo, el cual tiene como objetivo "Diseñar un humedal artificial como material educativo para los maestros de biología de Bogotá que permita la enseñanza de la fitorremediación con Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*)". Dicho material está constituido por 5 talleres dirigidos a los docentes de Bogotá para que los puedan adecuar y apropiar de acuerdo con sus prácticas, modelos y metodologías particulares que conlleven a su implementación.

De antemano agradecemos su colaboración y todas aquellas observaciones que nos permitan mejorar el material educativo y articularlo con la Caja de Herramientas Educativas: Agua Cachaca.

Diseño:

Criterio	Si	No	Observaciones
El tipo de letra y estética que se maneja en el taller es	X		El tipo de letra es pertinente, hace amena la lectura y motiva al lector a

1

Activar Wir
Ir a Configurac

pertinencia.			seguir leyendo
La organización del contenido en el taller resulta adecuada para el desarrollo de este.	X		La incorporación de colores para diferencias las actividades me parecen adecuada, rompe con la homogeneidad y la monotonía
El material gráfico (fotografías, videos, colores, ilustraciones y decoración) le resulta acorde para el tema que se está tratando.	X		Las imágenes son muy buenas, no obstante, la calidad y resolución de algunas tomadas al estereoscopio podrían ser un poco más claras.
La narrativa visual es pertinente al contexto educativo.	X		Este criterio se cumple satisfactoriamente.
El taller se encuentra libre de errores ortográficos y gramaticales.	X		Sería pertinente revisar nuevamente algunos textos, en momentos sobran palabras, y los párrafos son muy largos por lo que sería pertinente apoyarse en puntuación para hacer más amena su lectura.

Contenido:

Criterio	Si	No	Observaciones
Las temáticas del taller permiten la enseñanza de la dinámica de los sistemas acuáticos.	X		Las temáticas son muy oportunas e ideales para la ejecución del proyecto a desarrollar.
La fundamentación teórica le permitió entender la temática planteada.	X		El apoyo teórico en cada apartado es muy oportuna, se recomienda tener en cuenta el nivel de formación del docente de Ciencias Naturales, en caso de que sea licenciado en Química, parte del vocabulario es especializado y puede generar inconvenientes para el maestro.

El paso a paso descrito dentro del taller es apropiado para su implementación por el docente.	X		Parte de la cartilla esta direccionada a protocolos de practicas de laboratorio por lo que es oportuno para afianzar la experimentación en la clase, por lo que me parece oportuno y muy valioso.
La bibliografía proporcionada es de ayuda y complementa teóricamente el taller.	X		La bibliografía como material complementario es ideal aunque considero que en algunos apartados escasa.

Finalidad:

Criterio	Si	No	Observaciones
Los conceptos planteados a lo largo del taller contribuyen a un desarrollo entendible de la temática.	x		Este criterio se cumple satisfactoriamente.
El paso a paso descrito dentro del taller conlleva a cumplir los objetivos propuestos en el mismo.	x		Este criterio se cumple satisfactoriamente.
El taller propuesto posibilita la apropiación del recurso hídrico.	x		Este criterio se cumple satisfactoriamente.

Observaciones generales adicionales:

Es importante aclarar para que tipo de población está diseñado es taller y su relación con los lineamientos, estándares de competencias y los derechos básicos de competencias, esto ayudaría a situar un poco más la retroalimentación del material en relación a la población a la que está dirigida.

Es importante pensar en aquellos colegios que no cuentan con instrumentos o equipos de laboratorio descritos en algunos apartados, sería oportuno pensar en

algún apoyo visual adicional. Sin embargo el material es muy bueno, está muy bien construido y se puede convertir en un recurso de gran importancia para los maestros del área de ciencias naturales de cualquier institución.

Anexo C. Formato de contextualización

Contexto Colegio Agustiniano Tagaste

10/9/2018	Sistematización de visitas de contexto
<h3>Sistematización de visitas de contexto</h3>	
<p>El siguiente formato tiene como objetivo la sistematización y organización de la información recopilada en las visitas de contexto realizadas en las diferentes instituciones educativas.</p>	
Dirección de correo electrónico *	
kathanova@gmail.com	
1. Nombre completo docente *	
Jenny Marcela Moyano Acevedo	
2. Nombre de la institución educativa *	
Colegio Agustiniano Tagaste	
3. Fecha de la visita *	
DD MM AAAA	
12 / 06 / 2018	
4. Confirmación de datos del maestro *	
<input checked="" type="checkbox"/> Teléfono de contacto	
<input checked="" type="checkbox"/> Correo electrónico	
<input checked="" type="checkbox"/> Dirección de la institución	

5. ¿Cuál es el interés que tiene para participar en el proyecto? *

Fortalecer el vínculo con el grupo de investigación, el semillero ECO y la UPN, ya que es muy gratificante sentir que sigue siendo parte de ella y del aporte a la investigación en proyectos como este. Otro de su interés, parte de poder participar en investigaciones relacionadas con la enseñanza de las ciencias naturales en la institución, para buscar soluciones y respuestas al daño ambiental que actualmente los ciudadanos provocan. Aledaño a esto, la docente planea exponer este proyecto y específicamente la tesis con macrofitas en humedales artificiales en un encuentro ambiental que se realizara en su institución a mediados de octubre. Por esto desea ser participe de la aplicación de esta tesis y de la caja de herramientas en general.

6. Niveles académicos de la institución *

Preescolar

Primaria

Bachillerato

Otro:

7. Jornada académica de la institución (en otra escriba el horario) *

Mañana

Tarde

Nocturna

Única

Otro: 6:45 am. hasta 3:00 pm.

8. ¿Cómo es la planta física de la institución? *

- 1 edificio
 2 edificios
 3 o más edificios
 Megacolegio
 Otro:

9. ¿Con qué recursos cuenta la institución? *

	Sí tiene y es de fácil acceso	Sí tiene, pero es difícil el acceso	Sí tiene, pero se encuentran en mal estado o son insuficientes	No tiene
Laboratorio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Microscopios	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estereoscopios	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistemas acuáticos cercanos	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zonas verdes dentro de la IE	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Canchas deportivas	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de proyección	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. ¿Qué cursos y asignaturas tiene a cargo el docente?

.....
 Tercero a quinto de primaria en el área de ciencias naturales (Biología, Química y Física)

11. ¿Con qué tipo de material educativo cuenta el docente? *

Recursos audio visuales, vídeos, software educativo, multimedia y aplicaciones que potencialicen la enseñanza de las ciencias.

12. ¿Ha participado en algún proyecto relacionado con agua, ecología, material educativo o cajas de herramientas? *

Dentro de la institución a trabajado proyectos de crecimiento y desarrollo de mariposas y dentro del macroproyecto ONDAS de la UPN, ha sido asesora de proyectos encaminados a las ciencias naturales, la huerta escolar, seguridad alimentaria, reciclaje, UD...entre otras.

13. ¿Cómo se puede articular la caja de herramientas al currículo? *

Se puede articular desde la apropiación de los tres humedales cercanos al colegio, desde las salidas de campo que se proponen para el reconocimiento de estos cuerpos de agua y la reflexión acerca del recurso hídrico. Por otro lado, generando u aportando soluciones al ambiente desde el espacio que abre la institución de Proyectos Ambientales Escolares, teniendo en cuenta que este permea todas las asignaturas y que los educadores en general son responsables de contribuir a la reflexión constante acerca del daño ambiental que provocamos. Finalmente desde la incorporación de conceptos como la ecología, la fauna y la flora, adaptaciones, las redes tróficas; entre otras, que se están viendo en las clases.

14. Dirección e indicaciones para la llegada a la institución (medio de transporte, alternativas y puntos claves) *

Desde la Universidad Pedagógica Nacional en la 11 se toma un SITP 265 el cual en un lapso de media hora los traslada hasta la Av. Cali a pocas cuadras de la institución.

15. Describa brevemente la actitud que muestra el docente frente al proyecto y los requerimientos del mismo

La docente se muestra muy interesada en ser participe, mantiene un dialogo abierto, nos muestra toda la institución académica y cada una de sus instalaciones. Esta de acuerdo con los parámetros establecidos en el proyecto y desea participar como cocreadora en los talleres de reflexión. También se encuentran interesados otros tres docentes del área de ciencias. Su principal interés es poder trabajar con macrofitas en humedales artificiales y de este modo, continuar fortaleciendo la institución desde la investigación, además de mantener un constante contacto con la UPN. Cuenta con horarios disponibles para trabajar en el proyecto y la institución la apoya enormemente en todo lo que se necesite.

16. Observaciones adicionales *

Ninguna.

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Contexto Gimnasio El Lago

10/9/2018	Sistematización de visitas de contexto
-----------	--

Sistematización de visitas de contexto

El siguiente formato tiene como objetivo la sistematización y organización de la información recopilada en las visitas de contexto realizadas en las diferentes instituciones educativas.

Dirección de correo electrónico *

dmclopez87@gmail.com

1. Nombre completo docente *

Diana María Castaño López

2. Nombre de la institución educativa *

Gimnasio el Lago

3. Fecha de la visita *

DD MM AAAA

14 / 06 / 2018

4. Confirmación de datos del maestro *

Teléfono de contacto

Correo electrónico

Dirección de la institución

Otro: _____

5. ¿Cuál es el interés que tiene para participar en el proyecto? *

mantener vinculación y relación con la universidad, así como continuar con la formación investigativa.

6. Niveles académicos de la institución *

Preescolar

Primaria

Bachillerato

Otro: -----

7. Jornada académica de la institución (en otra escriba el horario) *

Mañana

Tarde

Nocturna

Única

Otro: -----

8. ¿Cómo es la planta física de la institución? *

1 edificio

2 edificios

3 o más edificios

Megacolegio

Otro: -----

9. ¿Con qué recursos cuenta la institución? *

	Si tiene y es de fácil acceso	Si tiene, pero es difícil el acceso	Si tiene, pero se encuentran en mal estado o son insuficientes	No tiene
Laboratorio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Microscopios	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estereoscopios	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistemas acuáticos cercanos	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zonas verdes dentro de la IE	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Canchas deportivas	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de proyección	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. ¿Qué cursos y asignaturas tiene a cargo el docente?

séptimo, octavo y noveno

11. ¿Con qué tipo de material educativo cuenta el docente? *

módulos (creados por el profesor), videos y imágenes.

12. ¿Ha participado en algún proyecto relacionado con agua, ecología, material educativo o cajas de herramientas? *

proyectos en quebrada la vieja (durante la carrera universitaria)

13. ¿Cómo se puede articular la caja de herramientas al currículo? *

por medio del P.R.A.E.

14. Dirección e indicaciones para la llegada a la institución (medio de transporte, alternativas y puntos claves) *

Ubicado en la Avenida Boyacá en el sentido norte-sur calle 75 (ubicar el Dominos Pizza), bajar hacia el occidente dos cuadras (contra vía), luego girar dos cuadras hacia la izquierda (ubicar la iglesia del lago) y posteriormente girar hacia la derecha.

15. Describa brevemente la actitud que muestra el docente frente al proyecto y los requerimientos del mismo

muy interesada por el desarrollo del proyecto, manifiesta un total apoyo frente los requerimientos.

16. Observaciones adicionales *

interés hacia

Contexto Colegio La Candelaria Integrada

10/9/2018 Sistematización de visitas de contexto

Sistematización de visitas de contexto

El siguiente formato tiene como objetivo la sistematización y organización de la información recopilada en las visitas de contexto realizadas en las diferentes instituciones educativas.

Dirección de correo electrónico *

Nayibecita@gmail.com

1. Nombre completo docente *

Nayibe Andrea Velandia Ibagué

2. Nombre de la institución educativa *

I.E.D. La Candelaria

3. Fecha de la visita *

DD MM AAAA

12 / 06 / 2018

4. Confirmación de datos del maestro *

Teléfono de contacto

Correo electrónico

Dirección de la institución

Otro: _____

5. ¿Cuál es el interés que tiene para participar en el proyecto? *

interés hacia los roles validador y cocreador.

innovación en las formas de enseñanza y actualización de la información

6. Niveles académicos de la institución *

Preescolar

Primaria

Bachillerato

Otro: _____

7. Jornada académica de la institución (en otra escriba el horario) *

Mañana

Tarde

Nocturna

Única

Otro: _____

8. ¿Cómo es la planta física de la institución? *

1 edificio

2 edificios

3 o más edificios

Megacolegio

Otro: _____

9. ¿Con qué recursos cuenta la institución? *

	Sí tiene y es de fácil acceso	Sí tiene, pero es difícil el acceso	Sí tiene, pero se encuentran en mal estado o son insuficientes	No tiene
Laboratorio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Microscopios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Estereoscopios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sistemas acuáticos cercanos	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zonas verdes dentro de la IE	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Canchas deportivas	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de proyección	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. ¿Qué cursos y asignaturas tiene a cargo el docente?

sexto-séptimo y octavo-noveno

11. ¿Con qué tipo de material educativo cuenta el docente? *

material de internet como videos y imágenes

12. ¿Ha participado en algún proyecto relacionado con agua, ecología, material educativo o cajas de herramientas? *

cartilla para el fomento de habilidades científicas y material didáctico en torno a los coleópteros

13. ¿Cómo se puede articular la caja de herramientas al currículo? *

por medio del PRAE, algunos proyectos y clases

14. Dirección e indicaciones para la llegada a la institución (medio de transporte, alternativas y puntos claves) *

ubicado en la esquina de la biblioteca Luis Ángel Arango y el museo Botero subir tres cuabras sentido oriental.

15. Describa brevemente la actitud que muestra el docente frente al proyecto y los requerimientos del mismo

dispuesta y muy interesada ante el desarrollo y los requerimientos

16. Observaciones adicionales *

docente de biología y química

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Bibliografía

- Agudelo, L. M., Macías, K., & Suárez, A. (2005). *Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos*. Revista Lasallista de Investigación, 57-60.
- Aguirre, I. (2012). *Los procesos indagatorios como estrategia pedagógica para fomentar actitudes científicas en estudiantes de secundaria mediante la técnica de Fitorremediación de zinc y níquel*. Bogotá: Trabajo de grado.
- Álzate Ríos, H. F. (2010). *Diseño y creación de un material educativo computarizado (Yaku 1.0) referente a la temática del agua y su gestión integral*. Revista de investigaciones, 89-98.
- Andersen, Ra. [ed.] 2005. *Técnicas de cultivo de algas*. Elsevier, Amsterdam, 578 pp.
- Arias, S., Ferney, B., Gómez, G., Salazar, J., & Hernández, M. (2010). *Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas*. Revista Sena, 12-22.
- Alvarado, L. y García, M. (2008) *Características más relevantes del paradigma socio-critico: su aplicación en investigaciones de educación ambiental y de enseñanza de las ciencias realizadas en el Doctorado de Educación del Instituto Pedagógico de Caracas*. Sapiens. Revista Universitaria de Investigación, No. 2 Año 9.
- Ausubel, Novak y Hanesian. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Editorial trillas.
- Ausubel, D. (1963), *Teoría del Aprendizaje Significativo*. Recuperado de http://delegacion233.bligoo.com.mx/media/users/20/1002571/files/240726/Aprendizaje_significativo.pdf
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2008). *Fisiología Vegetal*. Barcelona: Mc GrawHill.

- Badillo, L., Carvajal, C., Plata, D., & Fernández, D. (2016). *Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque*. *Revista de Tecnología | Journal of Technology*, 161-170.
- Begon, M., Harper, J., & Townsend, C. (1999). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Omega.
- Berdugo M., Betancourt A., Maldonado A. y Garzón J. (2003). *Evaluación y dinámica de uso del recurso hídrico en el corregimiento de Barú (Cartagena, Bolívar, Colombia)*. Universidad Nacional de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, Vol. 9 No 1. Bibliografía de la matriz de revisión documental CIUP
- Bravo, N. (2018) *El concepto del taller*. Acreditación Unillanos. Consultado el 22 de junio del 2018 de:
http://acreditacion.unillanos.edu.co/CapDocentes/contenidos/NESTOR%20BRAVO/Segunda%20Sesion/Concepto_taller.pdf
- Bécares, E. (2004) *Ecología de lagunas y humedales*. *Asociación Española de Ecología terrestre*. Ecosistemas, *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. Recuperado de:
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=184>
- Beltrán, M. & Borrero, L. (2012) *Tratamiento de lixiviados mediante humedales artificiales: revisión del estado del arte*. *CIENCIAS – QUÍMICA*. *Revista Tumbaga* 2012 | 7 | 73-99
- Buitrago, N. (2011). *El humedal madre vieja, un laboratorio para el aprendizaje significativo y el desarrollo de habilidades de pensamiento*. Arauca.
- Cárdenas, J., Coronel, E., Mezarina, C., & Ñaupari, F. (s.f.). *Boletín N° 5. Medios y Materiales Educativos en el Aula*. Huancayo: Universidad Continental.
- Carreño, U., & Granada, C. A. (2015). *Diseño, desarrollo y evaluación de una tecnología de fitorremediación a escala de laboratorio utilizando la Eichhornia crassipes para el tratamiento aguas contaminadas con cromo*. Bogotá.
- Castillo, F. (2005). *Biotecnología ambiental*. Madrid: Tebar.

- Castiblanco, A., Vargas, C., Moyano, E., Medellín, F., Ojeda, G., Jiménez, H., Gómez, S. (2016) *Encuentro de experiencias: Relatos sobre enseñanza de la biología a través de trabajos prácticos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Centro Nacional de Conservación y Restauración. (2014). *Prueba de Difenilamina a la Gota para detectar Nitrato de Celulosa en los Objetos de Museo*. Notas del ICC, 1-2.
- Celis, G. (2013). *Diseño e implementación de una estrategia didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de la Biotecnología aplicada a temas ambientales: un estudio de caso con alumnos de grado décimo de la Institución Educativa Sol de Oriente*. Medellín.
- Cerdeira, S., Saenz, L., & Haim, L. (2018). *Proyecto de fitorremediación en el laboratorio escolar*. Buenos Aires.
- Contreras, R. (2012). *Ontología y epistemología cyborg: representaciones emergentes del vínculo orgánico entre el hombre y la naturaleza*. Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad, 131-141.
- Contreras, E. (2013). *El concepto de estrategia como fundamento de la planeación estratégica*. Pensamiento y Gestión, 152-181.
- Combariza, D. (2015) *Territorialidad, Apropiación e Integración desde los Espacios Hídricos*. Colombia. Revista *Aportes*.
- Cubillo, J. (2011). *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos*. Pereira.
- del Carmen, L. 2011. *El lugar de los trabajos prácticos en la construcción del conocimiento científico en la enseñanza de la biología y la geología*. En Camaño, A. (coord.). 2011. *Didáctica de la Biología y la Geología. Formación del profesorado. Educación secundaria*. 2 Vol. II. Barcelona: Grao.
- Delgadillo, I. (2014) *Respuestas biológicas de Scenedesmus ovalternus y Chlorella vulgaris inmovilizadas en alginato de calcio, ante diferentes concentraciones de nutrientes en*

condiciones de laboratorio. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Delgadillo, I. (2017). *Presentación de propuestas de formación en investigación para semilleros, grupos de estudio y/o colectivos académicos*. Bogotá.

Delgadillo, A. González, C. Prieto, F. Villagómez, J. Acevedo, O. (2011) *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 597- 612. Sitio web: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>

Departamento Nacional de Planeación. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo*. Bogotá: Norma Beatriz Solís Cárdenas.

Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. (2010) *Manual básico de piscicultura en estanques*. Departamento de Acuicultura. Montevideo, Uruguay. MGAP-DINARA-FAO, 2 Recuperado de: http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1959_manual.pdf

El Espectador. (11 de agosto del 2015). *El Espectador: Más de 200 toneladas de mercurio son vertidas en suelo y agua de ríos: ENA*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/mas-de-200-toneladas-de-mercurio-son-vertidas-suelo-y-a-articulo-578403>

El Espectador. (22 de marzo de 2017). *El Espectador*. Obtenido de <https://www.elespectador.com>

Escuela de Bonsai (2015). *Jacintos de agua - Eichhornia crassipes*. España. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=XRTdOU0BjUw>

Exiquim (2018). *Analítica de aguas y alimentos. Kit de pruebas instrumentos y accesorios*. FEA, Catálogos. MERK. Recuperado de: <http://www.exiquim.com/descargas/Analisis%20de%20aguas/Analisis%20de%20aguas.pdf>

Franco, R., & Suárez, J. (2015). *La Fitorremediación: una alternativa de educación en Química para la sustentabilidad ambiental*. Bogotá.

Gallego, J., Sánchez, J., Peláez, A., Garcia, M., Ortiz, J., & Torres, T. y. (2003). *La biorremediación, frente al vertido del "Prestige"*. Medio Ambiente, 30 - 38.

- García, J. (2004). *Investigaciones en Educación Ambiental. De la conservación de la biodiversidad a la participación para la sostenibilidad*. Valencia: Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- García, J. (2012). *La Fitorremediación de Mercurio como estrategia CTSA para el Desarrollo de habilidades argumentativas*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Gerba C.P., Thurston J.A., Falabi J.A., Watt P.M. y Karpiscak M.M. (1999). *Optimization of artificial wetlands design for removal of indicator microorganisms and pathogenic protozoa*. Wat. Sci. Tech. 40, 363-368.
- Gidahatari. (Octubre de 2018). *Gestión Sostenible del Agua*. Obtenido de Gestión integrada de recursos hídricos en cuencas: <http://gidahatari.com/se-es/consultoria>
- González, Á., & Perilla, L. (2015). *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*. Bogotá.
- Guerrero, E., Sánchez, H., Álvarez, R. y Escobar, E. (1998). *Una Aproximación a los humedales en Colombia*. Fondo FEN Colombia. UICN. Bibliografía de la matriz de revisión documental CIUP.
- Guevara, M., & Ramírez Cando, L. (2015). *Eichhornia crassipes*, Su invasividad y potencial fitorremediador. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, 22 (2), 5-11.
- Gúzman, J. (2009). *Modulo el agua, (Material educativo para la educación de los adultos) como parte del esquema curricular del modelo de educación para la vida y el trabajo (MEVYT) del Instituto Nacional de Educación para los Adultos*. México.
- Granada, C., & Carreño, U. (2015). *Diseño de un sistema de tratamiento a través de un filtro biológico y Biorremediación para las aguas contaminadas con metales pesados*. Revista Virtual Pro.

- Hernández, M. (2004) *La Biotecnología desde la perspectiva de la Educación Ambiental: análisis de las preconcepciones y creencias en la enseñanza secundaria*. Diploma de Estudios Avanzados del Programa de Doctorado Interuniversitario de Educación Ambiental.
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo.
- Ingraham, L.J. y A.C. Ingraham. 1998. *Introducción a la microbiología*. Vol. 1. Trad. al español por J.J. Nieto, E. Quesada y A. Ventosa. Reverté. Barcelona, España.
- Jaramillo, M. D., & Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. Ecuador.
- Jiménez C. y Padilla C. (2010). *Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales industriales con Eichhornia crassipes o Jacinto de agua*. (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
- Jiménez, R. (2009). *Medios y materiales: Concepto de Material Educativo*. Visitado el 22 de junio del 2018 del sitio web: <http://rociomarilynjimenez.blogspot.com/2009/09/concepto-de-material-educativo.html>
- Knight, B. (2016) *Eichhornia crassipes*, la peligrosa flor invasora de la naturaleza. *HipanTv*. España. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=r71D73sJKMs>
- Lancheros, A., y Vera G. (2011). *La Fitorremediación en el tratamiento de Aguas Residuales para la Remoción de Cr VI: Aporte del trabajo experimental para la Apropiación del Lenguaje Científico*. Tesis de licenciatura no publicada. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- López, J., Vásquez, V., Gómez, L. y Priego, A. (2009). *Humedales*. Veracruz
- Exxon Valdez. *Revista Escuela de Minas de Madrid*, publicación tecnológica y docente de la Escuela de Minas de Madrid, 2004 Vol. 1, pp. 72-76. Consultado el 24 de marzo del 2017 de: http://oa.upm.es/3432/2/TORRES_ART_2003_05.pdf
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte*. *Ingeniería y Ciencia*, 221-243.

- Martínez, A. (s.f). *Lecciones para diferenciar: Conceptos, Historias y Debates*. Bogotá: Catedra doctoral.
- Martínez, A. y Ríos, F. (2006). *Los Conceptos de Conocimiento, Epistemología y Paradigma, como Base Diferencial en la Orientación Metodológica del Trabajo de Grado Facultad de Ciencias Sociales*, Universidad de Chile. Cinta moebio 25: 111-12. <http://www.facso.uchile.cl/publicaciones/moebio/25/martinez.htm>
- Magnetti, R. (s.f.). *Trabajos Prácticos de Química*. Ediciones Personales.
- Manzanal, F. y Jiménez, C. (1995) La enseñanza de la ecología. un objetivo de la educación ambiental. Departamento de Ecología de la Universidad de Santiago de Compostela. La Coruña. Investigación y Enseñanza de las Ciencias.
- Maldonado, J. (2013) Capítulo 15: Asimilación del Nitrógeno y Azufre. Fisiología Vegetal. P. 287-303.
- Malacarne, F. (2008). *Biotecnología, educación y desarrollo sostenible*. Ciência-Tecnologia-Sociedade no Ensino das Ciências – Educação Científica e Desenvolvimento Sustentável (Aveiro), 117,122, 3810-193.
- Martín, L. (2000). *Los trabajos prácticos*. En J. Perales, & P. De León, *Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (págs. 267-288). España: Marfil.
- Marqués, P. (2011) *Los medios didácticos*. Recuperado de: <http://peremarques.pangea.org/medios2.htm#inicio>
- Maya, D. et al. (2009). *Conflictos socioambientales y recurso hídrico: una aproximación para su identificación y análisis*. Pontificia Universidad Javeriana. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Banco Mundial.
- Melo, G. (2015). *Evaluación fitodepurante de un sistema biológico artificial en aguas de riego como alternativa para la sostenibilidad del recurso hídrico*. Chía.

- Medellín, F. Vargas, C. & Ojeda, G. (2016). *Encuentro de experiencias. Relatos sobre enseñanza de la Biología a través de trabajos prácticos*. Universidad Pedagógica Nacional: Bogotá.
- Mendoza, Y. (2016). *Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia)*. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 39-41.
- Ministerio de Educación Nacional. (7 de junio de 1998). Obtenido de http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-339975_recurso_5.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (octubre de 2018). MINAMBIENTE. Obtenido de Administración del recurso hídrico: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo . (2002). *Decreto No..1729 DE 2002 – Cuencas Hidrográficas*. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo .
- Minchola, J., & Gonzáles, F. (2013). *Humedales Artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick*. Revista del Museo de Historia Natural y Cultural ARNALDOA. Universidad Privada Antenor Orrego, 433 - 444.
- Montoya, D. (2016). *Los acueductos y sistemas de distribución de agua comunitarios en el área rural de Bogotá y la gobernanza del agua en la ciudad*. Universidad Nacional de Colombia. Bibliografía de la matriz de revisión documental CIUP.
- Moreno, F. (2012). *Diseño de un manual guía del docente para el estudio limnológico de ecosistemas acuáticos para el fortalecimiento de conceptos científicos en estudiantes de educación media*. Bogotá.
- Moreira, M. (1993), *Aprendizaje Significativo: Un Concepto Subyacente*, Instituto de Física (UFRGS), Porto Alegre, Brasil. Recuperado el 29 de septiembre de <http://www.if.ufrgs.br/~Moreira/apsigsubesp.pdf>,
- Naranjo, L. (2012). *Principios de Ecología de los Humedales*. WWF, Colombia.
- Ospina, D. (2017). UDEA. Obtenido de Los Materiales Educativos: <http://aprendeonline.udea.edu.co>

- Paredes, J. (2015) *Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes Jacinto de agua*. Tingo María.
- Pérez, J., Molano, C., Flórez, D., Rendón, A., & Flórez, G. (2010). *Diseño de material educativo para la enseñanza de la conservación del Cóndor de los Andes (Vultur gryphus)*. Revista Luna Azul, 197-203.
- Perdomo, M (2010). *Diseño participativo de un modelo de seguimiento, monitoreo y control social a los humedales urbanos de Bogotá. D.C. Estudio de caso humedal Tibanica*. Universidad Nacional de Colombia. Bibliografía de la matriz de revisión documental CIUP.
- Perdomo, A., Velasco, M., Cortés, M., Gallo, J., & Franco, R. (2016). *La Fitorremediación como estrategia para reducir impactos del mercurio en agua: un microproyecto de educación en química verde*. Bio-Grafía Escritos Sobre La Biología Y Su Enseñanza, 106.116. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.extra2016-6325>
- Pineda, 2009. *Revista EL TIEMPO*. Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-5258188>
- Quispe, L., Betsy, J., Martínez, C., & Cruz, M. (2017). *Eficiencia de la especie macrófita Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental*. Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 79-93.
- Randy, H., Verónica I., Leonardo, G. (1999). *Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano*. Revista Terra, 1999 Vol. 17, No. 2. Consultado el 24 de marzo del 2017 de: <https://chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art159-174.pdf>
- Raskin, I. y & Ensley, B. (2000). *Phytoremediation of Toxic Metals, Using Plants to Clean Up the Environment*. Wiley-Interscience. Scientific, Technical, and Medical Division. New York. 10158-0012.

- Rial, A. (2013). *Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos*. Biota colombiana, 70-91.
- Roa, R., Valbuena, E. (2013) *Incursión de la Biotecnología en la educación: Tendencias e Implicaciones*. Revista Colombiana de Biotecnología, (2013) Vol. 15(2):156. Consultado el 24 de marzo del 2017 de: <https://www.crossref.org/iPage?doi=10.15446%2Frev.colomb.biote.v15n2.41274>
- Rodríguez, J. (2004) *La Biorremediación frente al vertido del Exxon Valdez*. Universidad de Oviedo. Recuperado el 24 de marzo del 2017 de: http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/biorremediacion_exxon_valdes.pdf
- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). *Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales*. Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, 59-68.
- Romero, P., Camacho, T., Flórez, M., Gaibao, D., Aguirre, M., Pasive, Y. y Murcia, G. (2012) *Estrategias Pedagógicas en el Ámbito Educativo*. Colegio Mayor José Celestino Mutis. Bogotá, Colombia.
- Roldán P. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia
- Sánchez, J., & Gómez, D. (2017). *Diseño e implementación de un Proyecto de investigación en el aula sobre la fitorremediación de CR (VI) como una estrategia para el desarrollo de competencias científicas investigativas*. Bio-grafía.
- Salas, A. (2013) Fundación Humedales Bogotá. Recuperado de: <http://humedalesbogota.com/2013/11/12/el-ayer-y-el-hoy-de-los-humedales-de-bogota/>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *Manuales Ramsar: Uso racional de los humedales*. Gland: Ramsar.

Secretaría Distrital de Ambiente . (Octubre de 2018). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de http://www.ambientebogota.gov.co/c/journal/view_article_content?groupId=10157&articleId=14190&version=1.2

Secretaria Distrital de Ambiente. (2015). *Descripción y contexto de las cuencas hídricas del Distrito Capital (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo)*. Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente.

Sánchez García, J., & Torres Sabogal, L. (01 de febrero de 2012). Fitorremediación de Mercurio como estrategia CTSA para el Desarrollo de habilidades argumentativas. *Trabajo de grado*. Bogotá.

SENA (2011) Ambientes de aprendizaje en piscicultura. Recuperado de: <http://mujeresdegestion.blogspot.com/p/la-piscicultura-y-la-acuicultura.html>

Silva, A. y Zamora, H. (2005) Humedales Artificiales. Modalidad Monografía. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de ingeniería química, Universidad Nacional de Colombia.

Talero, D. (2016) Páramo de Chingaza y recurso hídrico: construcción de una propuesta didáctica para la enseñanza de la Geografía. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia.

T. Scheper, et.al. (2003) *Advances in biochemical engineering Biotechnology Vol. 78 Phytoremediation*. Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.

Tsao, D. (2003). *Overview of Phytotechnologies*. Springer.

Tunjo, L & Aguirre, I (2011). *Los procesos indagatorios como estrategia pedagógica para fomentar actitudes científicas en estudiantes de secundaria mediante la técnica de Fitorremediación de zinc y níquel*. Bogotá.

Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. Sitio web oficial (2018) <http://www.pedagogica.edu.co/>

Universidad de Antioquia (2010) *Hidrogeología para la gestión del recurso hídrico*.

Universidad de Antioquia. Bibliografía de la matriz de revisión documental Proyecto CIUP.