



**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRADO PARA CONTROL  
Y MINIMIZACIÓN DEL BUCHÓN DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)  
PRESENTE EN LA CHARCA DE GUARINOCITO-LA DORADA, CALDAS-  
COLOMBIA**

Anggie Daniela Bernal Vega  
Claudia Gutiérrez Castillo

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá  
2019

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRADO PARA CONTROL  
Y MINIMIZACIÓN DEL BUCHÓN DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)  
PRESENTE EN LA CHARCA DE GUARINOCITO-LA DORADA, CALDAS-  
COLOMBIA**

Anggie Daniela Bernal Vega  
Claudia Gutiérrez Castillo

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Ambiental**

Director (a):  
Carel Elizabeth Carvajal Arias

Línea de Investigación:  
Agua, Salud y Ambiente, Ingeniería para la salud y el desarrollo biológico

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia

2019

## **Acta de sustentación**

## **Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional**

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

**Dedicado a:**

*Pero también la vida nos sujeta porque precisamente no es como la esperábamos.*

*Jaime Gil De Biedma.*

*Dedicado a mi querido viejo, quien dejó grandes enseñanzas en mi vida, grandes valores, un sin fin de recuerdos, y quien ahora me guía desde el cielo y me llena de fortaleza día tras día, sueño tras sueño, y vida tras vida.*

*Gracias por ser mi inspiración y mi ejemplo a seguir hoy y siempre.*

*Daniela Bernal*

*El talento se educa en la calma y el carácter en la tempestad.*

*Johann Wolfgang Goethe*

*Dedicado a mis abuelitos Pedro y Claudina quienes han sido un ejemplo de amor, comprensión, apoyo y múltiples enseñanzas en mi vida quienes con esmero me cuidaron y guiaron en todo momento y con su ejemplo inculcaron en mí la importancia de la familia, a mi papi mi ángel guardián quien desde el cielo ha sido mi guía, mi fortaleza en mis momentos de tempestad, finalmente agradezco a mi mama por su perseverancia y dedicación. Mi motivación, fuerza y amor para cumplir mis metas y sueños.*

*Claudia Gutierrez*

## **Agradecimientos**

Agradezco a todas aquellas personas que colaboraron en el arduo camino para la elaboración de este proyecto y durante este proceso de formación. Principalmente a mi compañera y amiga Claudia, por ser un apoyo incondicional cada día, noche y madrugada; a mi directora Carel Carvajal por sus consejos los cuales fueron una guía durante todo el proceso, y por su confianza depositada en nosotras; a mi familia por su paciencia y comprensión; a mis amigos por su desbordante sentido del humor; a la Corporación Autónoma Regional de Caldas- CORPOCALDAS por facilitarnos información y por último, a la Corporación de pescadores de Guarinocito, quienes tuvieron excelente disposición para trabajar con nosotros y cooperaron en todo lo que estuviera a su alcance, siendo un ejemplo claro de sentido de pertenencia y amor por su territorio.

*Daniela Bernal*

Agradezco a *Dios* por todas las bendiciones dadas en esta etapa de nuestras vidas, agradezco a cada una de las personas que formaron parte de este proceso y culminación de este proyecto. Con todo mi cariño agradezco a mi amiga y compañera Daniela quien ha sido el más grande apoyo en cada alegría y tristeza, a mi directora Carel Carvajal quien es una mujer perseverante llena de sueños quien con sus consejos confió en nosotras y nos apoyó para que lográramos nuestros ideales; a mi familia por sus palabras de aliento y ánimo día a día, por su amor infinito; a mi motivación por sus cantaletas día tras día; finalmente agradezco a la Corporación de pescadores de Guarinocito quienes nos enseñaron el valor cultural de un ecosistema, quienes se esmeran día a día por cuidar nuestros recursos.

*Claudia Gutierrez*

## Tabla de Contenido

1.	Resumen .....	1
2.	Introducción .....	2
3.	Planteamiento del problema.....	3
3.1	Árbol de problemas .....	4
4.	Justificación.....	5
5.	Pregunta problema.....	6
6.	Objetivos.....	6
6.1	Objetivo general.....	6
6.2	Objetivos específicos .....	6
7.	Marcos de referencia.....	7
7.1	Antecedentes .....	7
7.1.1	<i>El buchón de agua como maleza.</i> .....	7
7.1.2	<i>El buchón y Guarinocito</i> .....	7
7.2	Estado del arte .....	9
7.2.1	<i>Organismos biocontroladores</i> .....	9
7.3	Marco teórico y Conceptual .....	10
7.3.1	<i>Eutrofización</i> .....	10
7.3.2	<i>Buchón de agua como especie invasora.</i> .....	11
7.3.3	<i>Generalidades Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)</i> .....	12
7.3.4	<i>Control biológico</i> .....	13
7.3.5	<i>Interacciones entre especies</i> .....	14
7.3.6	<i>Servicios Ecosistémicos</i> .....	14
7.3.7	<i>Humedales</i> .....	15
7.3.7.1	<i>Vegetación de humedales</i> .....	16
7.3.7.2	<i>Servicios ecosistémicos de los humedales.</i> .....	17
7.3.8	<i>Biofiltros</i> .....	17
7.3.8.1	<i>Tipos de biofiltros o humedales artificiales</i> .....	18
7.4	Marco Normativo.....	18
7.5	Marco geográfico .....	22
7.5.1	<i>Guarinocito</i> .....	22
8.	Metodología .....	25
8.1	Diseño metodológico .....	25
8.1.1	<i>Objetivo 1. Caracterizar el estado actual de la charca de Guarinocito</i> .....	27
8.1.2	<i>Objetivo 2. Determinar mediante revisión bibliográfica los biocontroladores y biofiltros más aptos, teniendo en cuenta las condiciones y variables ambientales de la charca.</i> .....	30
8.1.2.1	<i>Determinación de biocontroladores</i> .....	30
8.1.2.2	<i>Determinación de Biofiltros</i> .....	31
8.1.3	<i>Objetivo 3. Plantear el plan de manejo integrado.</i> .....	34

9. Plan de trabajo .....	35
9.1 Cronograma .....	35
9.2 Presupuesto .....	36
10. Resultados .....	37
10.1 Resultados Objetivo específico 1 .....	37
10.2 Resultados del objetivo específico 2. ....	51
10.2.1 Tratamiento de aguas a través de biofiltros. ....	51
10.2.2 Control biológico .....	54
10.3 Resultados del objetivo específico 3 .....	66
11. Análisis de resultados .....	72
12. Conclusiones .....	75
13. Recomendaciones.....	76
14. Referencias bibliográficas .....	78

### Listado de Tablas

Tabla 1. Características del buchón de agua. ....	13
Tabla 2. Perturbaciones externas de los ecosistemas humedales.....	16
Tabla 3. Comparación entre los sistemas FWS y VSB.....	18
Tabla 4. Marco normativo aplicado para el proyecto. ....	19
Tabla 5. Variables analizadas y método de análisis.....	29
Tabla 6. Cronograma.....	34
Tabla 7. Presupuesto.. ....	35
Tabla 8. Volumen de sedimentos Charca de Guarinocito.....	41
Tabla 9. Resultados obtenidos análisis de agua PM1 y PM2.....	42
Tabla 10. Porcentaje promedio de la composición química de las aguas dulces.....	46
Tabla 11. Humedal Artificial Flujo Sub-superficial SFS.....	48
Tabla 12. Calculo tiempo de retención Hidráulica .....	48
Tabla 13. Especificaciones biocontroladores <i>Neochetina</i> . ....	55
Tabla 14. Etapas del ciclo biológico de <i>Neochetina eichhorniae</i> . ....	56
Tabla 15. Valores mensuales promedios precipitación y radiación solar de Guarinocito .....	59
Tabla 16. Valor nutritivo de las especies macrófitas analizadas en las pruebas de preferencia <i>Neochetina eichhorniae</i> . L: Lignina; N: Nitrógeno; P: Fosforo. ....	60
Tabla 17. Potencial reproductivo de <i>Neochetina eichhorniae</i> .....	61
Tabla 18. Ficha de Manejo Ambiental, programa N° Tratamiento de aguas- Biofiltro .....	63
Tabla 19. Ficha de Manejo Ambiental, programa N° 2 Control de crecimiento Buchón de agua ( <i>Eichornia crassipes</i> ) .....	66

## Listado de Ecuaciones

Ecuación 1. Balance de masas .....	31
Ecuación 2. Carga hidráulica .....	31
Ecuación 3. Tiempo de retención hidráulica.....	31
Ecuación 4. Volumen de agua.....	32
Ecuación 5. Calculo del área superficial .....	32
Ecuación 6. Carga DBO (Demanda Biologica de Oxigeno).....	32
Ecuación 7. Área por unidad de Caudal.....	32
Ecuación 8. Cálculo nitrógeno orgánico.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> 4

## Listado de Gráficas

Grafica 1. Conductividad Charca de Guarinocito.....	47
Grafica 2. Concentración nitritos y nitratos en la Charca de Guarinocito .....	58
Grafica 3. Concentración fósforo total, soluble e inorgánico en la Charca de Guarinocito .....	58
Grafica 4. Temperatura promedio mensual Guarinocito. ....	58
Grafica 5. Precipitación y radiación solar promedio Guarinocito .....	58

## Listado de Figuras

Figura 1. Árbol de problemas .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 2 Pescador de Guarinocito.....	6
Figura 3. Ecosistema forzado acelera su velocidad de renovación, un lago eutrófico que migra su nitrógeno hacia la atmósfera y el nitrógeno hacia el sedimento. ....	11
Figura 4. Fotografía parche de buchón. ....	11
Figura 5. Factores que facilitan la invasión de una especie. ....	12
Figura 6. Clasificación servicios ecosistémicos.....	15
Figura 7. Servicios ecosistémicos de los humedales.....	17
Figura 8. Mapa ubicación geografica .....	23
Figura 9. Imagen satelital Charca de Guarinocito.....	24
Figura 10. Tecnicas e instrumentos.....	25
Figura 11. Diagrama de flujo de la metodología. ....	26
Figura 12. Toma de muestra dentro de la Charca de Guarinocito .....	27
Figura 13. Medida parámetros in situ Quebrada Las Burras. ....	28
Figura 14. Recipientes empleados para la toma de muestras.....	28
Figura 15. Proceso para la implementación del control biológico.....	29
Figura 16. Vertimientos identificados visita de campo. ....	36

Figura 17. Pequeños parches de buchón de agua en área empleada para recreación y turismo vs. Área invadida por una gran población de buchón de agua cerca a la desembocadura de la Quebrada Las Burras. ....	37
Figura 18. Zonas de vida área de estudio. ....	38
Figura 19. Cobertura uso del suelo. ....	39
Figura 20. Formaciones geológicas zona de estudio.....	40
Figura 21. Puntos de muestreo calidad del agua. ....	41
Figura 22. Dimensionamiento de Biofiltro de flujo sub-superficial .....	50
Figura 23. Proceso para la implementación del control biológico. ....	51
Figura 24. Estructura del Buchón de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) .....	53
Figura 25. Factores a definir análisis de adaptabilidad, riesgos e impactos .....	56
Figura 26. Biocontrolador <i>Neochitina eichhornae</i> .....	57
Figura 27. Modelo FPEIR (Fuerza, Presión, Estado, Impacto y Respuesta) .....	70

## 1. Resumen

La acelerada eutrofización de cuerpos lenticos ha facilitado el crecimiento de especies no nativas, convirtiéndose en especies invasoras dado su alta tasa de crecimiento y fácil adaptabilidad al medio, provocando impactos económicos, ecológicos y sociales. Dado esto se propone un plan de manejo integrado el cual busca minimizar y controlar el crecimiento de la especie invasora buchón de agua o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), a través de dos programas enfocados hacia la remoción del exceso de nutrientes, nitrógeno y fosforo; y el balance ecológico del ecosistema mediante control biológico del invasor, esto de acuerdo con el Manual para el manejo de malezas de la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura- FAO, a partir de la caracterización realizada, se seleccionaron las medidas más aptas para las condiciones de la zona, planteando como medidas correctivas, de mitigación y de control, el uso de un biofiltro de flujo subsuperficial para tratamiento terciario de aguas residuales y el control biológico mediante el gorgojo *Neochetina eichhorniae*, los cuales presentan alta probabilidad de adaptación, rendimiento y eficacia en pro del control y minimización del buchón de agua, cooperando a la conservación del humedal.

*Palabras clave: Eutrofización, buchón de agua, biofiltros, competencia, control y minimización*

## Abstract

The accelerated eutrophication of bodies at rest has facilitated the increase of endemic species, belonging in invasive species due to the growth rate and easy adaptability to the medium, causing economic, ecologic and social impacts. Due to this problematic is purposed a plan of integrated management which main objective is minimize and control the growth of the invasive species “water Buchon” or “water hyacinth” (*Eichhornia crassipes*), through two programs focused in removal of excess of nutrients like nitrogen and phosphor; and the ecologic balance of the ecosystem through biological control of the invader, according to the manual for weed management of ONU for feeding and agriculture FAO, starting with the characterization made, it selected the suitable measurements to zone conditions, raising as corrective actions of mitigation and control, the use of biofilters Sub-surface Flow Wetlands (SFS), to the tertiary treatment of sewage water and biological control of weevil *Neochetina eichhorniae*, wich present high probability of adaptation, efficiency in advantage of control an minimization in hyacinth water, cooperating to wetland conservation.

*Keywords: Eutrophication, water hyacinth, biofilters, competition, control and minimization.*

## **2. Introducción**

Los humedales, ecosistemas estratégicos, integradores y vitales para el desarrollo de diferentes intereses (Política Nacional de humedales, 2001), buscan el desarrollo sustentable, con el propósito de ser aprovechados racionalmente. Estos ecosistemas constituyen un valioso recurso, y son de gran valor ecológico, antrópico e hidrológico, al funcionar como: hábitat de especies, sustento económico, y por último su importante cooperación en el ciclo hidrológico (De Anda y Maniak, 2007).

La charca de Guarinocito es un humedal ubicado en el municipio de la Dorada, en el centro del poblado de Guarinocito, reconocida como el espejo del Magdalena Medio. Durante los últimos años se ha observado un rápido crecimiento del buchón de agua dentro de la charca, provocando la pérdida de una gran área superficial de su espejo de agua, esto al acelerar el proceso natural de eutrofización del cuerpo de agua, generando daños ambientales, sociales y económicos a la comunidad.

El buchón de agua es una planta invasiva, considerada como la peor hierba o maleza a nivel mundial, esto dada su alta tasa de crecimiento, su largo tiempo de vida y la fácil capacidad de supervivencia producto de sus pocos requerimientos para subsistir. Según la Universidad Nacional (2012) se ha comprobado el uso del buchón para tratamiento terciario de aguas contaminadas por metales pesados; pese a su gran utilidad el exceso de nutrientes presentes en el agua, principalmente el fósforo y el nitrógeno, lo convierten en una plaga al interactuar con otros ecosistemas como especie no endémica, generando desequilibrio dentro del sistema natural.

La calidad del agua del departamento de Caldas presenta problemas principalmente por el aumento de los niveles de nutrientes, nitrógeno y fosforo (nutrientes limitantes), la carga orgánica y los patógenos vertidos en las aguas residuales domésticas, afectando significativamente el recurso hídrico (Plan institucional de Caldas 2016- 2019). Las microcuencas abastecedoras de la Charca de Guarinocito, altamente intervenidas y contaminadas explican la excesiva concentración de buchón en el cuerpo de agua; estas aguas servidas provenientes de lavaderos de carros, del sistema de alcantarillado de Guarinocito, y otras actividades antrópicas (CORPOCALDAS y Corporación Aldea Global, 2008), generan la necesidad de reducir los aportes excesivos de nutrientes presentando propuestas basadas en estrategias de desarrollo, conservación y recuperación de la Charca.

### **3. Planteamiento del problema**

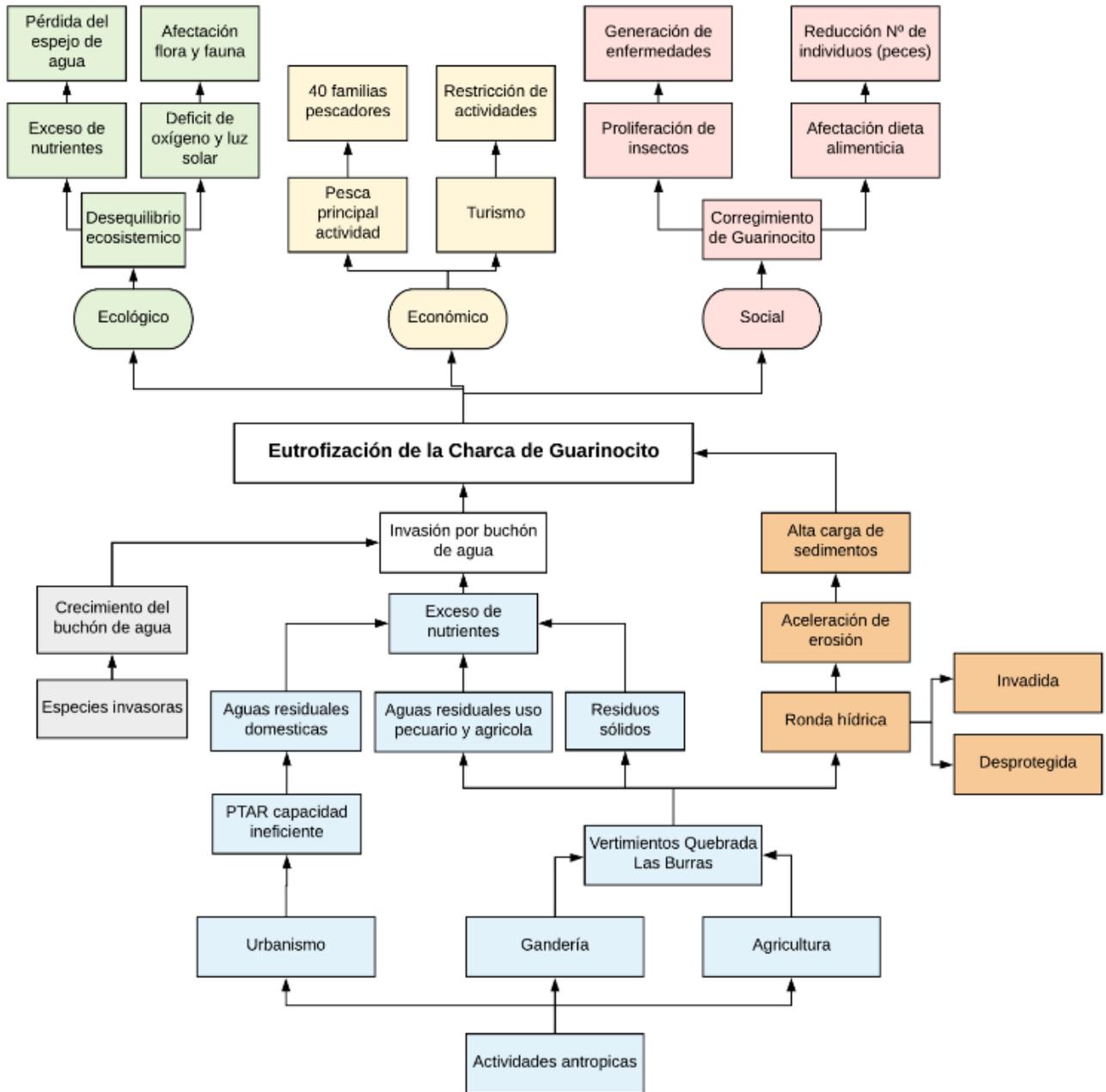
La charca de Guarinocito, interacciona con el río Magdalena al presentar relaciones de flujo y reflujo, con quebradas: las Burras, Mandingas y Guaduales, escorrentía y con aguas provenientes de actividades antrópicas. El sistema de saneamiento de aguas servidas (construido hace 10 años), presenta problemas de cobertura y captación, actualmente se encuentran conectados 500 usuarios y 100 no conectados, además de otros 70 que cuentan con pozos sépticos (Corpocaldas y Corporación Aldea Global, 2008). La contaminación hídrica es provocada principalmente por aguas residuales provenientes de diferentes actividades tales como: café, ganadería, lechería, piscicultura e incluso desechos sólidos; promoviendo la presencia de buchón de agua por exceso de nutrientes (alta carga orgánica) provenientes principalmente de las quebradas las Burras y Mandingas (Vela & Duque, 2012).

La eutrofización es un proceso natural de envejecimiento o de maduración irreversibles, que se da en cuerpos de agua lenticos (poca velocidad), ya sean lagos, lagunas, madre viejas y/o humedales; el concepto de maduración involucrada dentro del comportamiento de los cuerpos de agua significa la regresión de los procesos de estos; sin embargo, debido a las diferentes actividades antrópicas se ha acelerado el proceso natural, por la contaminación de sustancias en los cuerpos de aguas. La eutrofización, es sinónimo de “buena nutrición”, es decir, exceso de nutrientes (fósforo y nitrógeno), que por ende cooperan al rápido crecimiento de plantas flotantes, tales como lo es el buchón de agua. Esta planta flotante, es considerada una de las peores malezas en diferentes países, debido a su rápido crecimiento (exponencial) en buenas condiciones, generando la pérdida de espejos de agua, pérdida del recurso hídrico (colmatación), desequilibrio ecológico, extinción de especies y afectaciones económicas para las comunidades aledañas (Sierra, 2011), principalmente para la pesca en este caso.

De acuerdo con lo anterior es importante que la búsqueda de alternativas las cuales se enfoquen en el cuidado, conservación y preservación de los ecosistemas en Colombia, contribuyendo a la minimización de las afectaciones al ambiente generadas por la eutrofización.

### 3.1 Árbol de problemas

Figura 1. Árbol de problemas



Fuente: Autores, 2018

#### 4. Justificación

Los humedales definidos como:

“Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas 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 de seis metros”

(Convención de humedales- RAMSAR, 1971).

Son controladores del medio y de la diversidad animal y vegetal, cumplen la función de suplir la oferta hídrica, generan alimento, permiten el crecimiento y reproducción de gran cantidad de especies, y son lugares de paso de avifauna migratoria (Corpocaldas, 2010a). Estos espejos de aguas se ven principalmente amenazados por transformaciones y perturbaciones severas, tales como: desecación, eutrofización y contaminación de aguas (Corpocaldas, 2010b), afectando sus funciones, bienes y servicios ecosistémicos. Según la política de humedales interiores de Colombia, se deben implementar estrategias de manejo integral, con el fin de conservarlos, recuperarlos y garantizar un desarrollo sostenible y uso racional del ecosistema.

El mal manejo y la deficiente planificación de estos ecosistemas facilita la degradación y contaminación, generando el crecimiento de algunas especies invasoras tales como el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*). El buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) es una planta que presenta crecimiento modular (unidades o módulos); es considerado purificador de agua y se utiliza como tratamiento terciario de aguas residuales (Universidad Nacional de Colombia, 2013), sin embargo ha generado diferentes problemáticas debido a su rápido crecimiento por exceso de nutrientes y fácil adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales; puede duplicar el número de clones en una semana al absorber y captar nutrientes, principalmente fosforo y nitrógeno, facilitando la rápida dispersión en el medio (Bustamante, 2010).

Las especies invasoras empezaron a ser vistas como problema desde 1997 en Colombia, a través del informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad y en los listados e inventarios generales, sin embargo, para el 2008 el país no contaba con lineamientos para la construcción del Plan Nacional para la prevención, manejo y control de las especies introducidas, trasplantadas e invasoras en Colombia. Actualmente se cuenta con un documento denominado: Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia, desarrollado por el instituto Von Humboldt, en el cual se especifican el nivel de riesgo y la importancia de cada especie considerada invasora en nuestro país y a nivel mundial (Baptiste, Castaño, Cárdenas, Gutiérrez, Gil y Lasso, 2010). El buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) fue declarada en Colombia especie invasora con otras 4 especies de plantas exóticas por el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial mediante la Resolución N° 0848 de mayo 2008, teniendo en cuenta que las especies invasoras son el segundo motivo de extinción de otras especies (Baptiste, et al., 2010)

Figura 2. Pescador de Guarinocito



Fuente: Autores, 2018

## 5. Pregunta problema

¿Qué medidas preventivas y correctivas se pueden tomar para minimizar y reducir el crecimiento del buchón de agua y cooperar a la recuperación de la charca de Guarinocito?

## 6. Objetivos

### 6.1 Objetivo general

- Formular un plan de manejo integrado para control y minimización del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) presente en la charca de Guarinocito, con el fin de mejorar el estado actual del complejo hídrico.

### 6.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el estado actual de la Charca de Guarinocito.
- Determinar mediante revisión bibliográfica los organismos biocontroladores y biofiltros más aptos, teniendo en cuenta las condiciones y variables ambientales de la Charca de Guarinocito.
- Proponer el plan de manejo integrado.

## 7. Marcos de referencia

En este capítulo se presentan los marcos de referencia aplicables al proyecto, en el cual se destaca la importancia de la revisión bibliográfica para comprensión profunda de la problemática a tratar y su evolución en el tiempo como guía para la propuesta. Inicialmente, se presentan los antecedentes y el estado del arte relacionados con la invasión de buchón de agua y las diferentes medidas tomadas para su control y minimización; seguido del marco teórico y conceptual relacionados con las medidas, soluciones y conceptos de vital importancia para el proyecto; luego se presenta el marco normativo vigente relacionado con políticas y normativas que protegen y defienden la conservación y recuperación de este ecosistema; por último, se encuentra el marco geográfico en el cual se encuentran las características de la zona.

### 7.1 Antecedentes

#### 7.1.1 El buchón de agua como maleza.

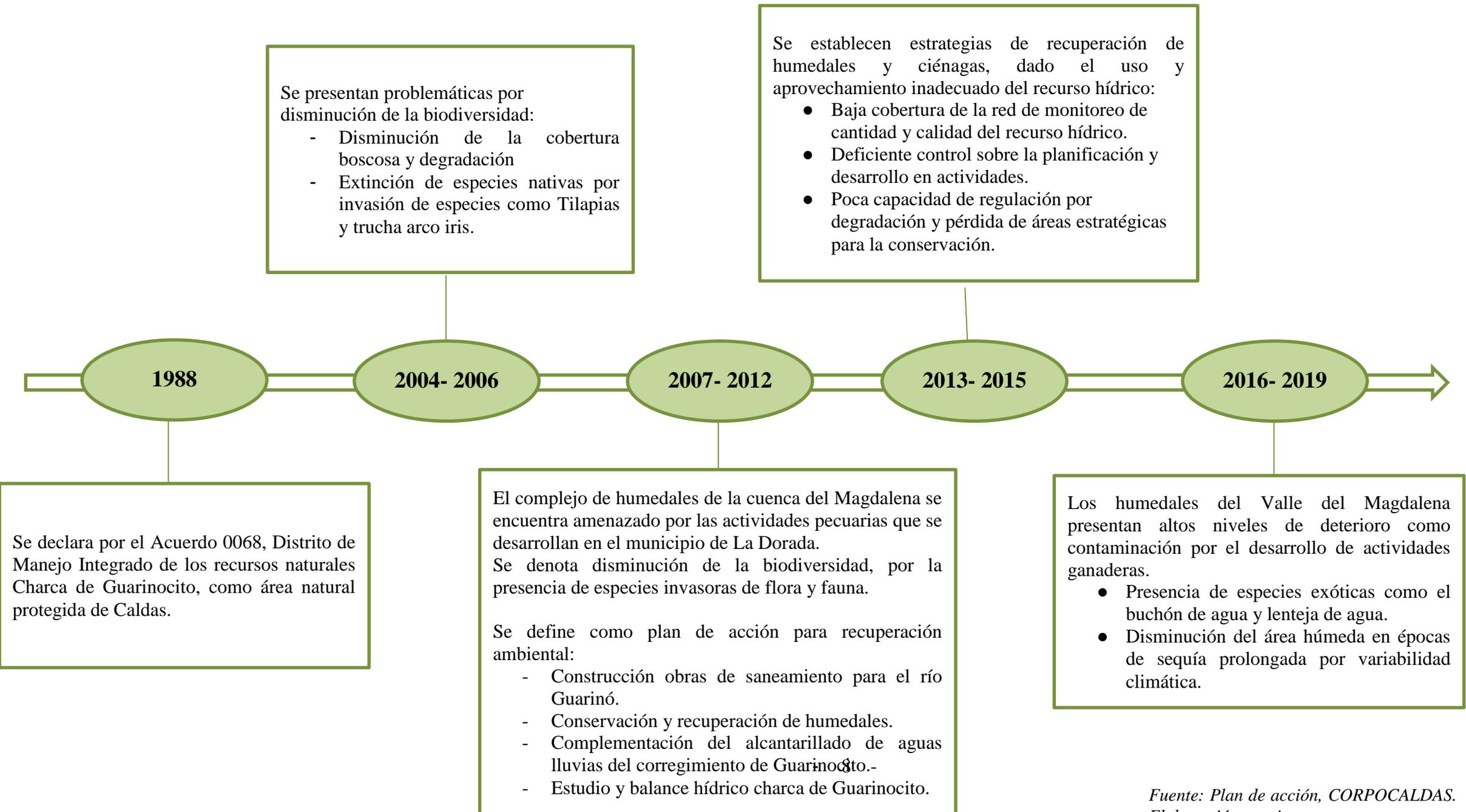
En 1780 la especie *Eichhornia Crassipes* fue introducida en el río Nilo invadiendo para el año 1950 cerca del 80% del cuerpo de agua; en 1950 invadió la cuenca del Congo evitando el paso de las embarcaciones; en 1970 se observó por primera vez en África occidental y finalmente para 1980 fue considerada y reconocida como un problema a nivel mundial.

#### 7.1.2 El buchón y Guarinocito

El “buchón de agua”, también conocido como “Jacinto o lirio de agua”, es una especie de difícil erradicación que se multiplica fácilmente en aguas quietas como lagos y embalses. A nivel mundial se han realizado grandes esfuerzos técnicos y económicos para erradicar las macrófitas exóticas (plantas acuáticas grandes) de las cuencas de origen. En Colombia, después de evaluar los efectos perjudiciales del buchón de agua sobre los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad nativa, fue considerada como especie invasora (Empresas Públicas de Medellín- EPM, 2011), causando la eutrofización de cuerpos hídricos, considerado un tipo de contaminación química por exceso de nutrientes (Torunos, 2012).

La Charca de Guarinocito es de vital importancia económica y social para el poblado, esto dado a que es el principal sustento económico de la población, la cual presenta un deterioro ecológico producto de los vertimientos los cuales presentan alta carga de materia orgánica provenientes de actividades pecuarias y agrícolas que se llevan a cabo en las microcuencas de su alrededor (Empresas Públicas de Medellín - EPM, 2011).

La corporación autónoma de Caldas y la alcaldía del municipio de La Dorada, han desarrollado diagnósticos y planes de acción para mejora de los problemas generados en el área, se han propuesto diferentes acciones para la conservación y recuperación de la charca. A continuación, se muestra un resumen de la evolución de la problemática y las medidas tomadas (Planes de acción inmediata).



## 7.2 Estado del arte

Considerando el deterioro de ecosistemas y cuerpos lenticos como los humedales a nivel nacional y regional, específicamente en Guarinocito, La Dorada-Caldas, se evidencia la importancia de elaborar o formular un Plan de Manejo Integrado, enfocado en la recuperación y conservación de ecosistemas que proveen servicios ecosistémicos y que son de gran importancia ecológica, se exponen algunos casos como referentes para tener información base en relación con la recuperación y conservación definiendo limitaciones y fortalezas, así como casos de estudio para el control de malezas con el fin de tenerlos en cuenta al momento de la implementación como solución a las problemáticas identificadas.

Colombia es uno de los países con mayor diversidad ecosistémica en el mundo, con una alta riqueza. Pese a los pocos estudios que se encuentran sobre estos y dada la amplia distribución del buchón y su problemática a nivel mundial, se han realizado investigaciones para encontrar usos y beneficios económicos a partir de su aprovechamiento (Vásquez Bernal, 2004).

El buchón puede ser utilizado como fertilizante en los sistemas agrarios, como comida animal, para producción de biogás, producción de papel, material de construcción o como carbón vegetal, puede ser usado para controlar la contaminación en cuerpos de agua, debido a su tasa de absorción de metales pesados, también ha sido utilizado para determinar modelos matemáticos de eutrofización aplicados a lagunas en la cual se incorporen todos los aspectos hidrológicos (Zouiten, 2012), permitiendo determinar el grado de eutrofización en abundancia que pueda causar la muerte de especies y ecosistemas (Balcorta & Arenas, 2001). A pesar de todos estos usos, las tecnologías para aprovechar el buchón no son económicamente competitivas y por esta razón no son un mecanismo eficiente de control y se opta por removerlos usando maquinaria. (Vásquez Bernal, 2004)

Según Pedraza (1994), el buchón de agua puede ser implementado como proceso terciario en plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) para potabilizarla logrando que sea apta para consumo humano economizando los altos costos que tienen los procesos convencionales de tratamiento de agua provenientes de sectores industriales, agrícolas y domésticos (Harker, 2016), en muchos casos estos son ineficientes sin lograr la remoción del 100% de los contaminantes presentes en aguas residuales, como es el caso de la planta de tratamiento de agua ubicada en el barrio la Dorada, Caldas (Garzón, 2012). La cual presenta daños en su infraestructura y se reportan ineficiencia en los procesos de tratamiento ocasionando fuertes descargas a la charca de Guarinocito, afectando a actividades económicas como la piscicultura, pesca libre y turismo. (Castañeda, 2012).

Los humedales construidos o artificiales (Biofiltros) son una alternativa estudiada cada dos años en la (International Water Association), para recuperar funciones ecológicas de los humedales naturales con el fin de conocer la importancia de los humedales para el tratamiento de aguas residuales (Harker, 2016). La contaminación de cuerpos de agua por vertimientos contaminados causa la proliferación y aumentan el crecimiento del buchón de agua como en nuestro caso, acelerando la eutrofización de cuerpos lenticos.

### 7.2.1 Organismos biocontroladores

Desde 1962 se ha realizado investigación y encuestas en diferentes países para uso de agentes de control biológico que combatieran el buchón de agua. Inicialmente, en Uruguay Silveria- Guido en 1962- 1965 se descubrieron dos especies de gorgojo (*Neochetina eichhorniae* y *Neochetina bruchi*), el ácaro

*Orthogalumna terebrantis*, el saltamontes *Cornops aquaticum* y la polilla *Xubida infusellus*, para combatir otros agentes en Buenos Aires, y hasta 1968 se enfocó en el Jacinto de agua.

En 1968 se realizaron diferentes encuestas en Guayana, Surinam y Brasil, se incluyeron otros enemigos naturales del buchón, tales como la polilla de túnel peciolo *Nipghograptia algiguttalis* y moscas perforadoras de peciolos *Thrypticus sp.*

En 1969 en Florida, Louisiana, Texas y Estados Unidos, se encontraron *O. Terebrantis* y *B. densa.*; en 1981 se encontraron en México por Bennet, el *X. infusellus*, *N. eichhorniae*, *C. aquaticum* y *O. terebrantis*; en 1989 Nesar recogió el *Ecciritarisus catarnensis* en Brasil; y en 1999 se realizaron encuestas en Perú, cerca al río Amazonas, de donde es procedente la planta teniendo en cuenta la hipótesis de que la planta flota debido a su evolución para poder sobrevivir al nivel del agua del río Amazonas

### 7.3 Marco teórico y Conceptual

En esta sección se exponen las teorías y conceptos relacionados con la problemática, las cuales permiten apalancar y fortalecer la investigación al establecer y definir los referentes teóricos y conceptuales que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la propuesta. Esta sección se divide en siete (7) subapartados.

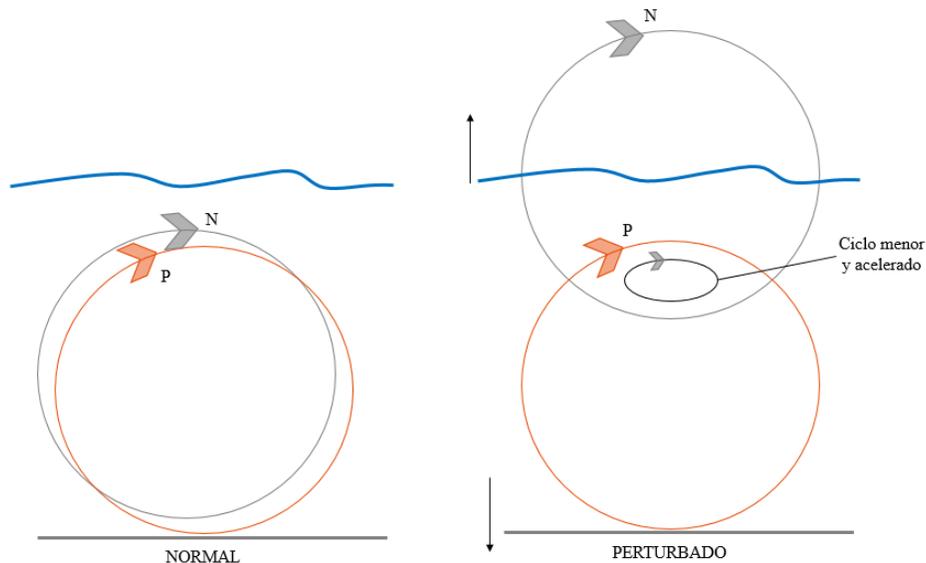
#### 7.3.1 Eutrofización

La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de nutrientes que trae como consecuencia una amplia cantidad de cambios sobre el cuerpo de agua, tales como el incremento en la producción de algas y macrófitas, y la degradación de la calidad del agua (Fontúrbel, 2005). En las últimas décadas se ha acelerado considerablemente el proceso producto de actividades de origen antrópicas, como el crecimiento urbano, el aumento en la producción de residuos sólidos y líquidos (Gallo, Flórez y Parra, 2014), el poco control sobre el uso de fertilizantes agrícolas y las descargas de aguas residuales domesticas (De Anda y Maniak, 2007).

Los nutrientes son parte de los componentes que llegan por escurrimiento a los lagos procedentes de la cuenca, ya que se encuentran en los sedimentos arrastrados (De Anda y Maniak, 2007), los cuales permiten analizar el funcionamiento de los sistemas acuáticos como sumideros de nutrientes (ciclo de nutrientes, nitrógeno y fosforo), la descomposición de materia orgánica y/o su respuesta a la remediación o recuperación natural del estrés antropogénico, estos al influir en el estado del sistema y sobre la misma biodiversidad (Gallo, Flórez y Parra, 2014).

Los cuerpos de agua de poca profundidad (someros) localizados en regiones tropicales y subtropicales, presentan una dinámica más rápida de resuspension de sedimentos y liberación de nutrientes (Nitrógeno y fósforo), encontrándose en una situación de vulnerabilidad, producto de las temperaturas cálidas y el mayor tiempo de exposición a la radiación solar, generando y facilitando la proliferación de cianobacterias y macrófitas, alterando el balance hídrico, la cadena alimenticia, alteración de los ciclos de fósforo y nitrógeno, y cooperando a la degradación del ecosistema (De Anda y Maniak, 2007).

Figura 3. Ecosistema forzado acelera su velocidad de renovación, un lago eutrófico que migra su nitrógeno hacia la atmósfera y el nitrógeno hacia el sedimento.



Fuente: Adaptado de Margalef, 1983

### 7.3.2 Buchón de agua como especie invasora.

El buchón de agua es una planta que presenta crecimiento modular (unidades o módulos), formando parches flotantes contruidos de varios clones; facilitando la reproducción de los individuos. Esta planta presenta una tasa de crecimiento exponencial y alta distribución, con gran capacidad de absorber y captar nutrientes del agua, considerado una plaga invasora con impactos económicos y ecológicos negativos (Sanín, 2010).

Figura 4. Fotografía parche de buchón.



Fuente: Arango, 2018

Es considerado especie invasora, teniendo en cuenta las siguientes condiciones y requerimientos: 1. Fase de transporte: Debe cruzar barreras geográficas y ocupar nuevas áreas como especie; 2. Adaptabilidad: Debe sobrevivir a las condiciones ambientales del nuevo medio; 3. Supervivencia: Establecer relaciones

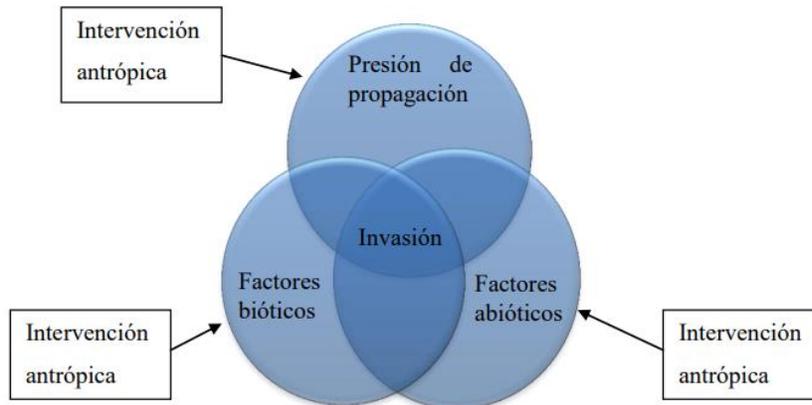
mutualistas y competir con enemigos naturales; y 4. Dispersión y reproducción: La frecuencia va más allá de los rangos naturales (Bustamante, 2010).

Las especies invasoras afectan las especies nativas y alteran la dinámica y equilibrio de los ecosistemas. La probabilidad de que una especie “nueva” introducida en un nuevo hábitat y que logre sobrevivir y competir con otras especies propias del medio es demasiado baja, aunque se debe tener en cuenta que pueden influir factores como:

- a. Cambio en las condiciones ambientales (recientemente).
- b. La especie invasora ocupe un nicho que no ha sido ocupado por ninguna otra (nichos vacíos)
- c. Supervivencia a predadores y patógenos.
- d. Interacción entre el organismo y el ambiente.

(Baptiste, Castaño, Cárdenas, Gutiérrez, Gil y Lasso, 2010)

Figura 5. Factores que facilitan la invasión de una especie.



Fuente: Bustamante, 2010.

El buchón de agua, fue categorizada con una especie de alto riesgo de invasión, por el instituto Von Humboldt haciendo uso de la herramienta I3N, esto debido a los impactos que puede generar, como: Aumento en la intensidad de incendios, pérdidas económicas, cambios significativos del hábitat, aumento de patógeno y parásitos, y la inhibición del crecimiento de otras especies (Baptiste, Castaño, Cárdenas, Gutiérrez, Gil y Lasso, 2010).

### 7.3.3 Generalidades Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

- Origen.

El Jacinto de agua, conocida como planta flotante originaria de la cuenca del Amazonas en Brasil (Koutika y Rainey, 2015), Reconocida como la peor hierba acuática del mundo, al producirse en lagos, ríos y pantanos. Desde hace más de un siglo fue centro de atención como planta ornamental, y fue empleada por primera vez a finales del siglo XIX por jardineros y horticultores (Koutika y Rainey, 2015).

Tabla 1. Características de buchón de agua.

Familia	PONTEDERIACEAE		Origen	Centro de Suramérica	
Nombre científico	Eichhornia crassipes		Nivel de riesgo	A	
Hábito	Hierba		Calificación	8,07	
pH	6-8	Temperatura	40 °C (25- 27.5 °C)	Nivel de salinidad	< 6- 8%

Fuente: Baptiste, Castaño, Cárdenas, Gutiérrez, Gil y Lasso, 2010.

- *Reproducción.*

Produce grandes cantidades de semilla (50 ton secas/Ha- año), y se expande rápidamente, es la principal alga flotante de los trópicos y subtropicos. Se reproduce sexualmente por semillas y asexualmente por brotación y producción robada (rápida expansión) (Koutika y Rainey, 2015).

La reproducción puede afectar la asignación de recursos y el apareamiento; la diferencia entre el tipo de reproducción sexual que se lleve a cabo interfiere en la persistencia de la población, esto teniendo en cuenta que el transporte a largas distancias se facilita con la formación de clones, generando “bancos de semillas flotantes”, las cuales son semillas y propágulos en el agua de larga vida, las cuales se dispersan generalmente en la dirección del flujo de agua que conduce río abajo. Las plantas clonales, tienen la capacidad de que cualquier fragmento sea una semilla potencial, aumentando el conjunto de unidades de dispersión, además de tener la capacidad de reproducir semillas clonales inactivas, que pueden sobrevivir por largos tiempos sumergidas (Eckert, Dorken, y Barrett; 2016).

- *Medidas de control.*

Se han identificado tres modos que limitan el crecimiento del Jacinto de agua:

1. Control biológico. Competencia entre especies y parasitismo.
2. Productos químicos. No son adecuados para control de grandes infestaciones y pueden llegar a ser peligrosos para el ambiente.
3. Control físico. Extracción manual o mecánica, costosa y muy poco efectiva.

(Koutika y Rainey, 2015)

### 7.3.4 Control biológico

Es el estudio de las relaciones entre las malezas, organismos asociados (depredadores, parasitoides y patógenos) (Sullivan, 2009) y el ambiente, en el que se manipulan especies seleccionadas (enemigos naturales) buscando reducir la población de otra a un nivel aceptable (De Nys & Ison, 2008), esto dado que la maleza (especie a combatir) no podría crecer, existir o tendría mínimo impacto ambiental en presencia de un huésped que regule su abundancia evitando que sea considerada maleza.

Este proceso ocurre en la superficie de las plantas de manera natural (Barkai- Goldan, 2001), teniendo en cuenta que los organismos controladores pueden existir y crecer en presencia de sus hospedadores y dentro de los límites del ambiente (Bellows & Fisher, 1999). Es considerada una alternativa para el

control de una especie invasora, dado que genera pocas afectaciones a nivel de contaminación ambiental, y no presenta efectos secundarios de resistencia como los herbicidas (Fan & Chen, 2007).

### 7.3.5 Interacciones entre especies

El hábitat y la función de unas poblaciones interactúan con los de otras, la acción recíproca de los controles y equilibrios conservan los niveles de población, con los que se estabiliza el sistema. Las interacciones entre especies surgen a partir de incidentes separados; un individuo de una especie interactúa con uno de otra especie en determinados momentos (Turk, Turk, Wittes y Wittes, 1981).

Cuando los individuos entran en contacto las interrelaciones son beneficiosas, dañinas o neutrales para uno o ambos, se pueden clasificar en ocho tipos:

- Neutralismo. No tienen relaciones directas entre sí.
- Amensalismo. Una especie inhibe el crecimiento de la otra, sin afectarse a ella misma.
- Depredación. Algunos organismos devoran a otros. En ecosistemas relativamente estables, se presenta un equilibrio entre la extinción y el crecimiento.
- Comensalismo. Una de las especies es beneficiada sin afectar a la otra.
- Protocooperación. Relación favorable para ambas especies.
- Mutualismo. Interacción benéfica y necesaria entre ambas partes.
- **Competencia.** Ganar control sobre un recurso limitado. La competencia es una fuerza dinámica hacia la diversidad de los ecosistemas naturales. Una especie sobrevive en virtud de su capacidad para adaptarse a una presión física extrema, la otra mediante su instinto de competición y su capacidad para sobrevivir en la depredación.

Generalmente, la competencia entre dos especies retarda el crecimiento de ambos rivales, esto a que al no eliminar sus rivales ninguna de ellas podrá alcanzar mejores condiciones.

- **Parasitismo:** Obtiene su alimento al consumir el tejido o el suministro de alimentos de un organismo vivo, huésped.

“Las interacciones entre especies diversas tienden a fomentar ecosistemas estables.”  
(Turk, Turk, Wittes y Wittes, 1981)

### 7.3.6 Servicios Ecosistémicos

En los años 60 frente a la crisis ambiental y los diferentes impactos generados, los cuales intervienen en la capacidad del planeta para mantenerse y producir suficientes bienes para la humanidad, y gracias a diferentes movimientos ambientales surge el concepto de “servicios”, como una medida y esfuerzo para comunicar y mostrar a la sociedad el estrecho vínculo entre el bienestar humano y el mantenimiento de las funciones básicas del planeta (Balvanera y Cotler, 2007).

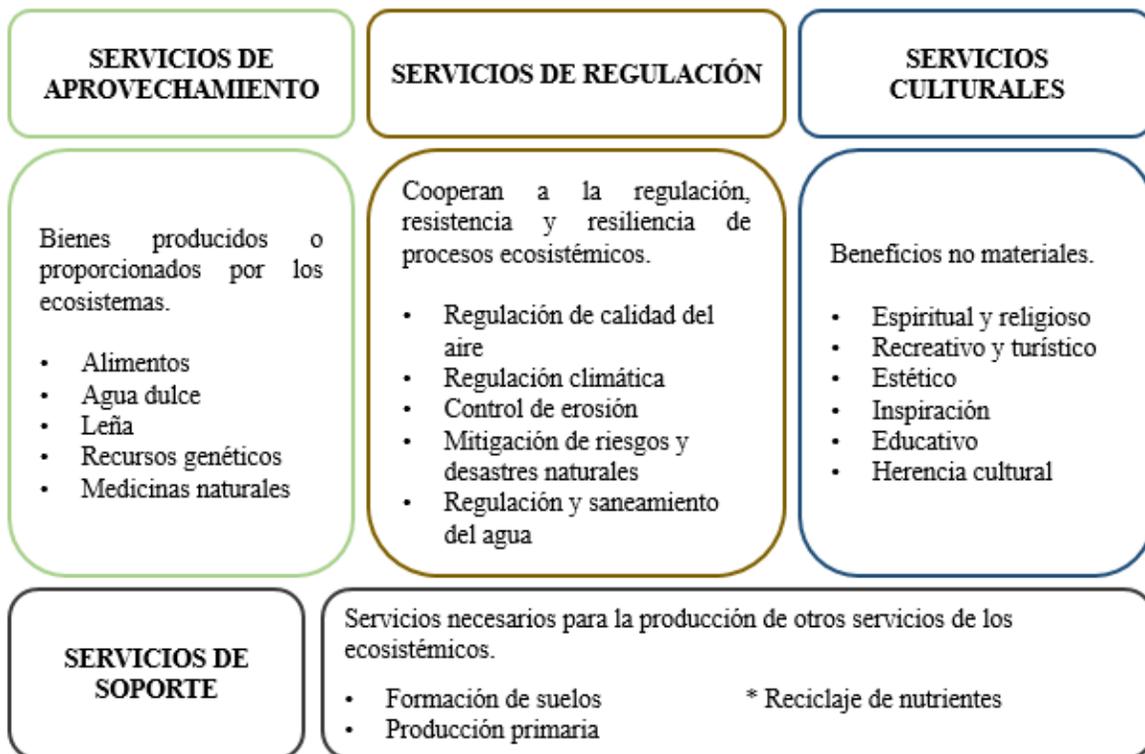
Dentro de los primeros conceptos, Gretchen Daily (1997) define como servicios las condiciones y procesos de los ecosistemas naturales, en los que diferentes especies conforman, sostienen y nutren la vida, refiriéndose a las condiciones e interacciones entre los componentes bióticos y abióticos que hacen parte del ecosistema, y que permiten satisfacer directa e indirectamente las necesidades de la especie humana, siendo consideradas como los beneficios que la especie humana obtiene de los ecosistemas y de los cuales depende. La calidad de estos servicios puede variar dependiendo las propiedades

ecosistémicos y su estado, además de las diferentes relaciones que pueden contribuir en la provisión de uno o varios servicios ecosistémicos (Casanoves, Pla y Di Rienzo, 2011).

Durante años el concepto de servicios ecosistémicos ha evolucionado y variado según diferentes autores, en las que algunos lo han definido como objetos y/o cosas netamente tangibles y otros como procesos y funciones de los ecosistemas, mas, sin embargo, cual sea la definición ambos convergen en el beneficio y provecho que la especie humana obtiene y requiere para su supervivencia.

A continuación, se muestra la clasificación de los servicios ecosistémicos según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA, 2003).

Figura 6. Clasificación servicios ecosistémicos



Fuente: Adaptado de Camacho- Valdez y Ruiz- Luna, 2012 y Casanoves, Pla y Di Rienzo, 2011.

### 7.3.7 Humedales

Los humedales, también llamados zonas húmedas o encharcables, son las zonas pantanosas, pantanos, aguas rasas, riberas, arenosas o canales abandonados, marismas y/o charcas. Tienen como característica principal el elevado contenido de agua en el suelo, pues están saturados hasta la superficie o muy cerca de ella. En general, un humedal tiene casi siempre sus aguas en condiciones lenticas, de forma que los factores ecológicos o de otros tipos que inciden en su funcionamiento vienen a estar a su vez influidos por biotopos específicos, aunque existen ciertos factores no biológicos (contaminación) que lo condicionan a todo momento (Calvo, 1999).

Los humedales, naturales o artificiales, son sistemas de tratamiento acuático en los cuales se usan plantas y animales para tratamiento de aguas residuales municipales, para tratamiento secundario, en el

tratamiento de aguas de irrigación. Son ecosistemas que cumplen con gran variedad de beneficios ambientales, el almacenamiento de agua y su biodiversidad son de gran importancia junto con los bienes y servicios ambientales que proporcionan. Son sistemas altamente complejos y vulnerables a los cambios que se generan en el ambiente (Olivares, 2009), tienen una capacidad auto depuradora aprovechada para tratar aguas residuales, al hacer variaciones de diseño se han utilizado en el tratamiento de aguas residuales domésticas, municipales, escorrentía agrícola, agua de drenajes de minas, tratamiento de aguas de irrigación para tratamiento lixiviados de rellenos sanitarios, tratamiento de residuos de tanques sépticos, reusó de agua, e incluso permite la recuperación de ciertos ecosistemas creando espacios de flora y fauna dándole un valor no solo sanitario sino ambiental (Calvo, 1999).

Según Calvo (1999), los humedales artificiales necesitan de una superficie de 2.5 a 9 m<sup>2</sup>/habitante, en cuanto a las necesidades de obra e instalación se requiere poca, y en cuanto a su mantenimiento es muy sencillo, pero para su frecuencia de control y debido a las condiciones es necesario realizar un seguimiento. A continuación, se estima el siguiente rendimiento en porcentaje (%) de los humedales frente al tratamiento por factor;

<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	55-80	<i>Nitrógeno (N)</i>	30-70
<i>Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)</i>	60-98	<i>Fosforo (P)</i>	20-60
<i>Solidos Suspendidos (SS)</i>	-	<i>Carbono (C)</i>	99-99.9

(Calvo, 1999)

Las perturbaciones externas más frecuentes de los ecosistemas son:

Tabla 2. *Perturbaciones externas de los ecosistemas*

<b>Modificaciones del medio</b>	<b>Dstrucción de biomasa</b>	<b>Sobreexplotación</b>	<b>Sobrecarga de nutrientes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosión</li> <li>- Sedimentación</li> <li>- Acidificación</li> <li>- Contaminación</li> <li>- Induración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cortas</li> <li>- Siegas</li> <li>- Incendio</li> <li>- Destrucción por intoxicación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobrepastoreo</li> <li>- Sobrecarga humana</li> <li>- Sobreexplotación por extracción</li> <li>- Sobreexplotación por ecosistemas adyacentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aportes excesivos de fertilizantes</li> <li>- Inundación con materia orgánica (riego o aporte intenso de purines)</li> </ul>

Fuente: Calvo, 1999

### 7.3.7.1 Vegetación de humedales

Las macrófitas de un humedal constituyen un gran depósito de carbono y de nutrientes, esta situación condiciona a su vez la existencia de: avifauna sedentaria, avifauna migratoria, producción pesquera, potencial genético, vegetación acuática, vegetación de riberas, y reserva biológica general. Estos se caracterizan por la participación de factores limitantes como la disponibilidad de alimento, la luz, el tipo de fondo que ocasionan que la fauna sea abundante o escasa y que el desarrollo de la vegetación dependa de ellos; los tipos de macrófitas más frecuentes de los humedales pueden ser:

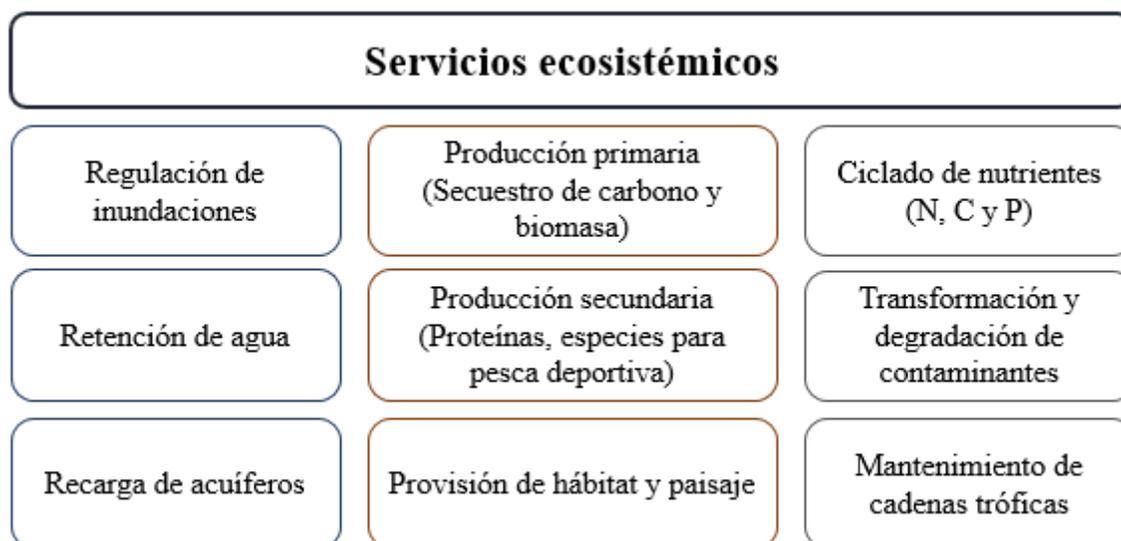
- Macrófitas flotantes (Jacinto de agua y lenteja de agua)
- Macrófitas sumergidas o macrófitas emergentes (halófilos o Juncos)

Debido a su particular fisiología y ecología, dichas plantas tienen la capacidad de depurar el agua mediante la asimilación directa de nutrientes, en especial nitrógeno (N), fósforo (P) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal (Higuera, 2009).

### 7.3.7.2 Servicios ecosistémicos de los humedales.

Según la política de humedales interiores de Colombia (2001), se definen algunas de las funciones, bienes y servicios ecosistémicos, esto dado que concentran una proporción significativa de biodiversidad al funcionar como hábitats claves para la fauna, tanto para peces de río, como lugares de paso para avifauna migratoria.

Figura 7. Servicios ecosistémicos de los humedales



Fuente: Adaptado de: Laterra, Jobbágy y Paruelo, 2011

### 7.3.8 Biofiltros

Los Biofiltros son un sistema compuesto por lechos filtrantes de grava de diferentes dimensiones, pueden ser anaerobios o aerobios, y se nutren de agua residual (Rodríguez, 2014); conocidos también como humedales artificiales en el cual se depura el agua por procesos naturales, sirviendo como lecho filtrante en el cual se degrada la materia orgánica contaminante, e introduciendo oxígeno al cuerpo hídrico a través de las plantas acuáticas (Higuera, 2009).

Los biofiltros tienen una alta capacidad de remoción de metales y materia orgánica, siendo una de las mejores opciones para el tratamiento terciario de aguas residuales, los biofiltros construidos consisten en el diseño correcto de una cubeta que contiene agua, sustrato, y la mayoría normalmente, plantas emergentes (Epa, 1998).

### 7.3.8.1 Tipos de biofiltros o humedales artificiales

Existen dos tipos de humedales artificiales o biofiltros específicos que se diferencian según sea el sistema de circulación de las aguas aplicadas:

- Biofiltro flujo superficial (en inglés, Surface Flow Wetlands o Free Water Surface wetlands, FWS)
- Biofiltro flujo sub-superficial (en inglés, Sub-surface Flow Wetlands o Vegetated Submerged Bed, VSB, o también Subsurface Flow, SFS)

Tabla 3. Comparación entre los sistemas FWS y VSB (SFS)

Free Water Surface	Vegetated Submerged Bed
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Superficies libres de agua</li> <li>- Flujo de circulación del agua en lámina libre sobre un lecho en el que enraízan los vegetales del humedal.</li> <li>- Son más frecuentes (USA 70 %)</li> <li>- Menos costo de instalación</li> <li>- Hidráulica sencilla</li> <li>- Tienen gran parte de las propiedades de los humedales naturales</li> <li>- Favorecen la vida animal</li> <li>- Las bajas temperaturas provocan descensos en el rendimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lecho vegetal sumergido</li> <li>- Flujo sumergido, a través de un medio granular</li> <li>- Hidráulica más complicada</li> <li>- Son menos frecuentes (USA el 20%)</li> <li>- Tratamiento más eficaz</li> <li>- Necesitan poco espacio</li> <li>- Flujo oculto</li> <li>- Sin olores</li> <li>- Soportan bien temperaturas bajas</li> <li>- Pocos problemas con la fauna</li> </ul>

Fuente: Adaptado de Calvo, 1999

## 7.4 Marco Normativo

En esta sección, es importante resaltar los actos normativos más relevantes y relacionados con el desarrollo de la investigación, siendo de utilidad para soportar el desarrollo y planteamiento de cada aspecto importante realizando una clasificación en grupos tales como; Recurso hídrico, vertimientos, biodiversidad y servicios ecosistémicos, ecosistemas estratégicos y una serie de documentos de interés los cuales permitan una asociación de las mismas.

Tabla 4. Marco normativo aplicado para el proyecto

ACTO NORMATIVO	EXPEDIDO POR	DESCRIPCIÓN
<b>Constitución Política de 1991</b>	<i>Congreso de la República</i>	“Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”

		<p><b>Artículo 79.</b> Consagra el derecho de todos los habitantes a gozar de un medio ambiente sano (Const., 1991, art. 79).</p> <p><b>Artículo 95.</b> Establece el deber de proteger los recursos naturales.</p>
<p><b>Ley 99 de 1993- Ley General Ambiental de Colombia</b></p>	<p><i>Congreso de Colombia</i></p>	<p>“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”.</p>
<p><b>Ley 9 de 1979 - Código Sanitario Nacional</b></p>	<p><i>Congreso de Colombia</i></p>	<p>Se establecen las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para la preservación, restauración y mejora de las condiciones sanitarias así como de los procedimientos y medidas que deben adoptar para la regulación, legalización y control de descargas de residuos o materiales que afecten las condiciones sanitarias de Ambiente, con el fin de asegurar el bienestar y la salud humana, considerando los usos de agua y descarga de vertimientos.</p>
<p><b>Decreto 2811 de 1974 - Código de los Recursos Naturales Renovables</b></p>	<p><i>Presidencia de la República de Colombia</i></p>	<p>Su objetivo es lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos.</p>
<p><b>Decreto 1753 de 1994.</b></p>	<p><i>Presidencia de la República de Colombia</i></p>	<p>“La licencia ambiental, es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, sujeta al cumplimiento por parte del beneficiario de la licencia de los requisitos que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada</p>
<p><b>Decreto 1076 de 2015 - Decreto único reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible</b></p>	<p><i>Presidencia de la República de Colombia</i></p>	<p>Es la recopilación en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes.</p>

<b>Decreto único reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>		
<b>Recurso Hídrico</b>		
<b>Política Nacional de Recurso Hídrico 2014</b>	<i>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</i>	Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.
<b>Decreto 1640 de 2012</b>	<i>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	Se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos.
<b>Decreto 3930 de 2010</b>		El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
<b>Vertimientos</b>		
<b>Resolución 1514 de 2012</b>	<i>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	Se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos – PGRMV.
<b>Resolución 1207 de 2014</b>		Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Secretaria jurídica distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Busca garantizar conservación, restauración y uso sostenible, cooperando con el uso eficiente del agua fortaleciendo procesos, estrategias de ahorro, y soluciones ambientalmente amigables relacionados con el uso del agua residual tratada.
<b>Resolución 0631 de 2015</b>		Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.
<b>Biodiversidad y Servicios Ecosistémico</b>		
<b>Política Nacional para la Gestión</b>	<i>Ministerio de Ambiente y</i>	Política de Estado está orientada a “Promover la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémico (GIBSE), de manera que se mantenga y mejore la resiliencia

<b>Integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos de 2012</b>	<i>Desarrollo Sostenible</i>	de los sistemas socio-ecológicos, a escalas nacional, regional, local y transfronteriza, considerando escenarios de cambio y a través de la acción conjunta, coordinada y concertada del Estado, el sector productivo y la sociedad civil...”
<b>Ley 165 de 1997</b>	<i>Congreso de Colombia</i>	Por medio de la cual se aprueba el convenio de biodiversidad biológica, realizado en Rio de Janeiro el 5 de junio de 1992. <b>Artículo 5, 8, 9, 10 y 14</b>
<b>Resolución 0848 de 2008</b>	<i>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	“Por la cual se declaran unas especies exóticas como invasoras y se señalan las especies introducidas irregularmente al país que pueden ser objeto de cría en ciclo cerrado y se adoptan otras determinaciones”
<b><i>Ecosistemas Estratégicos: Humedales</i></b>		
<b>Política Nacional de Humedales 2002</b>	<i>-República de Colombia -Ministerio del Medio Ambiente -Consejo Nacional Ambiental</i>	Propender por la conservación y el uso sostenible de los humedales interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales, como parte integral del desarrollo del País.
<b>Decreto 197 de 1988</b>	<i>Presidencia de la República de Colombia</i>	Declarar como Distrito de Manejo Integrado el Meandro o Madre Vieja de Guarinocito, ubicada en jurisdicción del Corregimiento de Guarinocito, Municipio de La Dorada, Departamento de Caldas, que corresponde a los sectores denominados: La Charca. La Rica, La Esperanza, La Charquita, La Caimanera, La Charca de Guarinocito y el caño que comunica al río Magdalena con la Madre Vieja.
<b>Decreto 224 de 1998</b>	<i>Presidencia de la República de Colombia</i>	“Por el cual se designa un humedal para ser incluido en la lista de humedales de importancia internacional, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 357 de 1997”.
<b>Decreto 2372 de 2010</b>	<i>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	Tiene como reglamentar el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y los procedimientos generales relacionados con éste.
<b><i>Plan de Manejo Ambiental</i></b>		
<b>Resolución 1402 de 2018</b>	<i>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	Adopta la metodología base para los: Estudios Ambientales, como un conjunto de instrucciones que se deben aplicar y entender integralmente con los términos de referencia sectoriales, así como ser instrumento de consulta y orientación a los usuarios de proyectos, obras o actividades a la obtención de licencia Ambiental, Plan de Manejo Ambiental (PMA),

		también está dirigido a estudios de: Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA), Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y Plan de Manejo Ambiental (PMA).
<b>Documentos de interés asociados</b>		
<b>Guía a la Convención sobre los Humedales</b>	<i>Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional</i>	Su principal objetivo es “la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo”
<b>Plan de Acción Inmediato Cuenca del río Guarino y charca de Guarinocito</b>	<i>Corporación Autónoma Regional de Caldas</i> – CORPOCALDAS -Alcaldía de la Dorada	Se enfocan en la mejora de los problemas generados en el área, se han propuesto diferentes acciones para la conservación y recuperación de la charca. A continuación, se muestra un resumen de la evolución de la problemática y las medidas tomadas.
<b>CONPES 3680 de 2010</b>	- <i>Consejo Nacional De Política Económica Y Social.</i> - <i>República De Colombia.</i> - <i>Departamento Nacional De Planeación.</i>	Establece los lineamientos para la Consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas que permitirá avanzar en el cumplimiento de los objetivos nacionales de conservación in situ de la diversidad biológica y en la consolidación de un Sistema Nacional de Áreas Protegidas, completo, ecológicamente representativo y efectivamente manejado, lo que sin duda cualifica y hace cada vez más rigurosa la toma de decisiones en materia de designación y gestión de nuestras áreas protegidas.

Fuente: Autores, 2019

Con base en el marco normativo (Tabla 4) es importante tener en cuenta que todos los Planes de Manejo o proyectos a realizar contemplen la normatividad específica, debido a que esto permitiría el desarrollo de proyectos solidificados, así como un trabajo más articulado entre entes privados y públicos para lograr una unificación debido a las fallas de normatividades esto con el fin de establecer la correcta formulación de proyectos enfocados en la conservación, restauración y preservación de ecosistemas.

## 7.5 Marco geográfico

En este apartado se presenta una caracterización de las condiciones generales de la zona de estudio, sus características y variables que intervienen en la problemática.

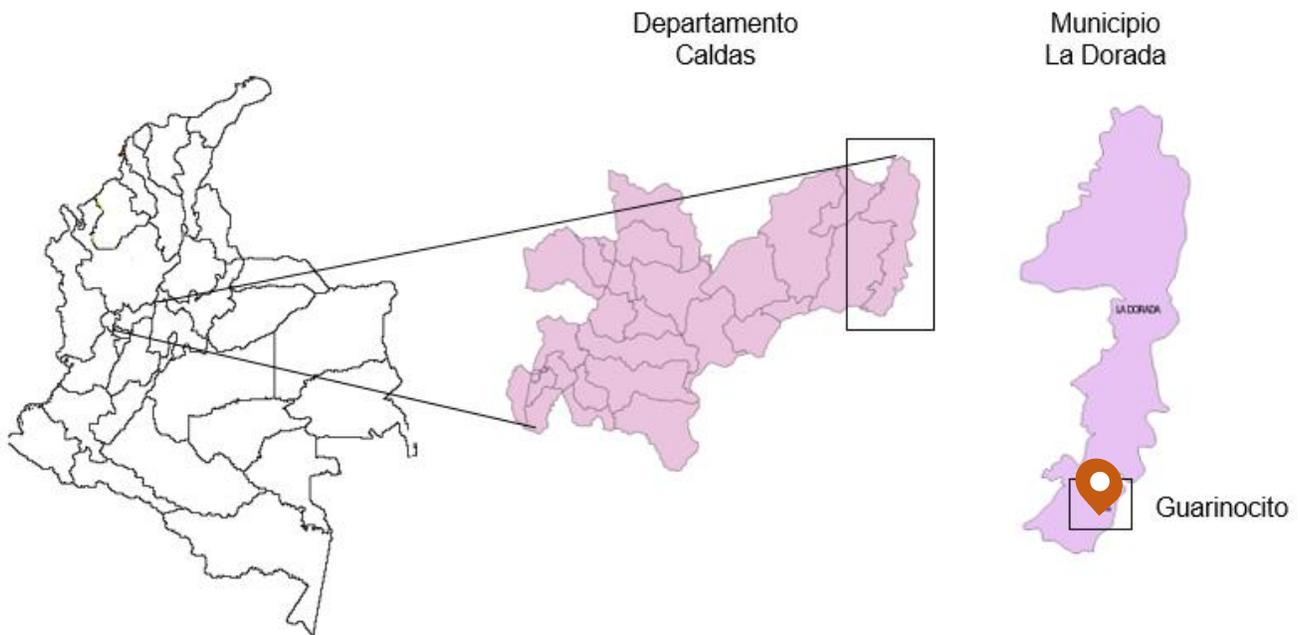
### 7.5.1. Guarinocito

El poblado de Guarinocito es uno de los 10 corregimientos del municipio de La Dorada (Extensión total de 500.8 km<sup>2</sup>), se encuentra ubicado a 13 km al sur de la cabecera municipal, cuenca baja del Río Guarinó (Corpocaldas, Diagnóstico socio ambiental cuenca del Río Guarinó, 2009), haciendo parte del área rural

con un área de 121 km<sup>2</sup>/ 471.50 km<sup>2</sup> (Alcaldía de La Dorada, 2016). La Dorada cuenta con una población de 76.474 habitantes, su composición es del 10% área rural y 90% el urbano, su pirámide poblacional predomina adultos entre 25 y 44 años con un 25,39%, y los adultos entre 45 y 64 años con el 20.47% (Sistema de Información IRMAC La Dorada). El corregimiento de Guarinocito tiene una población de 4.002 habitantes y 667 viviendas (Empocaldas).

- Zona rural: 240 hab/ 627 viviendas
- Zona urbana: 3.762 hab/ 40 viviendas

Figura 8. Mapa ubicación geográfico.



Fuente: *Elaboración propia, 2018.*

El área rural del municipio de La Dorada ocupa los primeros puestos en producción pecuaria, seguido de agricultura, piscicultura y producción de ganado bovino. La ganadería ocupa cerca de 47.700 Ha, con propósitos convencionales y tecnificados (Corpocaldas, Diagnóstico socio ambiental cuenca del Río Guarinó, 2009).

En este poblado se encuentra ubicada la charca del mismo nombre, la cual es una madre vieja, antiguo cauce del río Magdalena; formado por la acción erosiva, siendo considerado el humedal más importante del municipio. Tiene un área total de 74 Ha en forma de herradura, con un largo de 3 Km, un ancho de 250 metros y profundidad media de 2.5 metros en verano y 4.5 m en invierno. Tiene capacidad para embalsar 150.464 metros cúbicos de agua y un volumen de descarga de 610 L/s, se encuentra rodeada de bosque seco tropical (Arango, 2018). Dentro de las principales actividades económicas se encuentra un alto potencial turístico (fines de semana y festivos), comercial, pecuario (porcinos de cría y ceba), y pesquero, allí se encuentran especies tales como: Bocachico, Tolomba y la mojarra (Corpocaldas y Corporación Aldea Global, 2008).

Desembocan agua de las quebradas Los Chorros, Cascabel, las Burras y el río Magdalena, transportando sedimentos y altas cargas de contaminantes, afectando el equilibrio ecosistémico y poniendo en riesgo la salud de los habitantes (Arango, 2018).

La Charca de Guarinocito fue declarada Distrito de Manejo Integrado y área de protección y conservación ambiental, por al Acuerdo 0068 de 1988 y la Resolución 197 del mismo año, en conjunto con otros espejos de agua pertenecientes al valle del río Magdalena (Corpocaldas, 2010), como La Charca, la Rica, La Esperanza, la Charquita, la Caimanera y el caño que comunica al río Magdalena, representando un área total de 1505 Ha (Quintero, 2015). Presenta relación con la quebrada las Burras, el acuífero río Grande de La Magdalena, provincia hidrogeológica del Valle medio del Magdalena, y el río Guarino, generando afectaciones sobre el ecosistema por procesos de deforestación, disposición de residuos a cielo abierto, vertimientos de agroquímicos, aguas residuales y solidos provenientes de actividades de mediana minería, provocando presiones en los flujos (IDEAM y Cormagdalena, 2001).

Este ecosistema regula inundaciones locales, retiene sedimentos y nutrientes, es fuente de proteína animal y se desarrollan actividades recreativas, además de representar el sustento de 40 familias pesqueras de la región, quienes se encuentran asociados en la Cooperativa de Pescadores de Guarinocito. Esta asociación realiza actividades de pesca y son quienes dirigen el turismo de la charca (Corporación autónoma regional de Caldas- Corpocaldas, 2009).

Figura 9. Imagen satelital Charca de Guarinocito



Fuente: Google earth, 2018

## 8. Metodología

Teniendo en cuenta los objetivos específicos del proyecto se planteó la metodología con el fin de alcanzar el objetivo general. La propuesta de formular un plan integrado para control y minimización de la población del buchón de agua presente en Guarinocito, consta del diseño de biofiltros o humedales artificiales y la selección de organismos biocontroladores como control biológico de la especie invasora.

Inicialmente se realiza una breve explicación de las características de la metodología de investigación conformada por: alcance, enfoque y método, así como de las técnicas e instrumentos (*Figura 10*), posteriormente se realiza un diagrama de flujo el cual permita conocer las fases principales que se llevaran a cabo (*Figura 11*) y finalmente se efectúa una descripción de las actividades a realizar para el cumplimiento de cada uno de los Objetivos específicos.

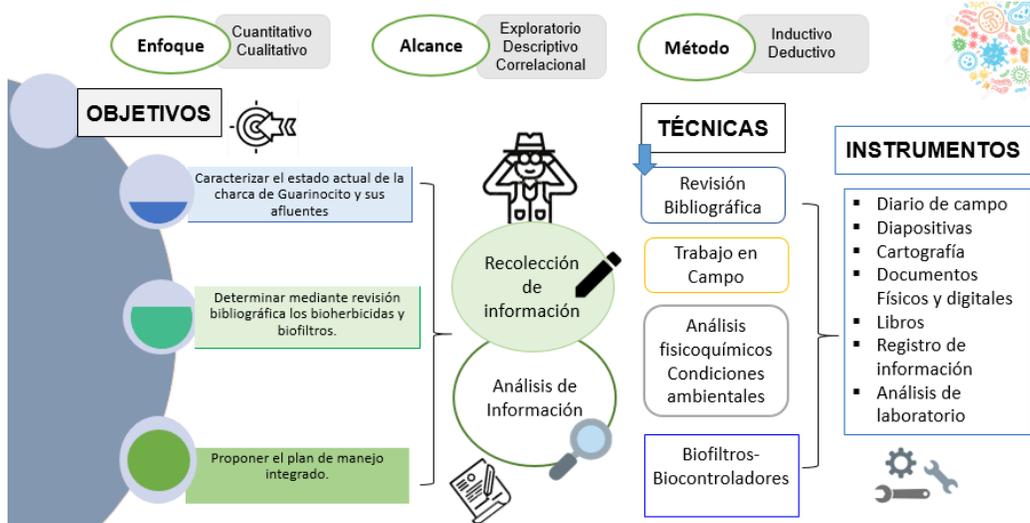
### 8.1 Diseño metodológico

Se definieron alcances de tipo **exploratorio, descriptivo y correlacional** para la investigación. Inicialmente se considera exploratorio al realizar un levantamiento de información básico del estado actual del área de estudio; se tomarán muestras de agua para ser analizadas (físicoquímico y microbiológico) permitiendo cuantificar el grado de contaminación que facilita el crecimiento de la especie invasora, siendo de esta manera descriptivo; y por último se habla de un alcance correlacional al asociar las características y variables asociadas al terreno, y los análisis físicoquímicos y microbiológicos del recurso hídrico para llevar a cabo el diseño de los biofiltros y la selección de biocontroladores, de manera que sean los más adecuados y de mayor viabilidad para la charca de Guarinocito y su población.

Se definieron variables de tipo mixto (cuantitativo y cualitativo). En primer lugar, se define de tipo **cualitativo** referida como investigación interpretativa (Hernández Sampieri, 2006), permitiendo incluir concepciones y percepciones de la comunidad en relación con la problemática frente a la invasión del buchón en la charca. A nivel **cuantitativo**, teniendo en cuenta que es un enfoque dedicado a la recolección de datos, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Hernández Sampieri, 2006), esto en relación a la toma y análisis de muestras de agua, y a la interpretación estadística de datos meteorológicos y climáticos, fundamentales para el diseño de biofiltros y selección de biocontroladores.

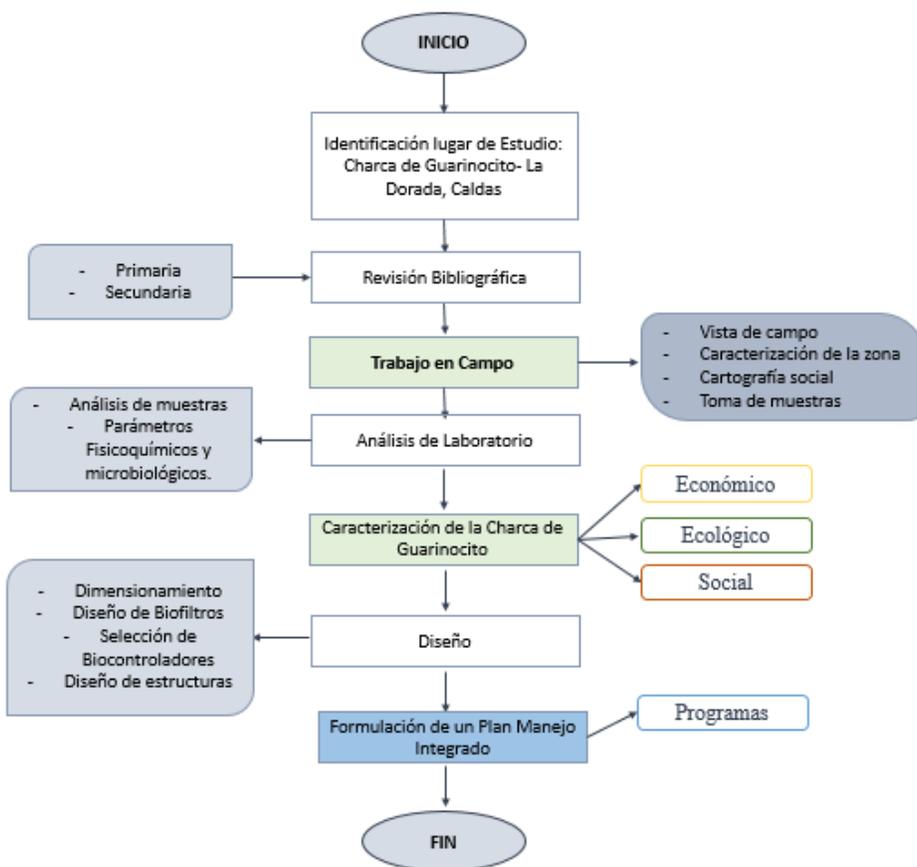
Se establece un cronograma para el cumplimiento de los objetivos planteados en 10 meses, iniciando en julio de 2018 hasta abril del 2019, desglosado en 4 fases en relación con los objetivos específicos definidos inicialmente. Se hará mención de la metodología correspondiente a cada objetivo, teniendo en cuenta los métodos inductivo y deductivo; a continuación, se especifican las técnicas e instrumentos empleados.

Figura 10. Técnicas e Instrumentos



Fuente. Autores, 2018

Figura 11. Diagrama de flujo de la metodología



Fuente. Autores, 2018

A continuación, se describe la metodología específica utilizada para cada objetivo:

### 8.1.1 **Objetivo 1.** Caracterizar el estado actual de la charca de Guarinocito

#### 1. Trabajo de campo.

Como parte del método inductivo se llevó a cabo una visita de campo al corregimiento de Guarinocito, con el fin de ratificar información para la construcción de cartografía social, esto con el acompañamiento de un guía conocedor de la zona; muestreo de afluentes para análisis fisicoquímicos y microbiológicos, identificación de otros afluentes que alimentan la charca y visita a la PTAR del corregimiento.

#### 2. Muestreo

Dentro de la bibliografía revisada se habla de 4 afluentes que alimentan la charca, 2 temporales y 2 permanentes, se tomaron muestras en la quebrada Las Burras (mayor impacto ambiental según información secundaria y primaria) y dentro de la Charca de Guarinocito.

*Figura 12. Toma de muestra dentro de la Charca de Guarinocito*



*Fuente. Autores, 2018*

Para el análisis físico-químico se determinaron algunos parámetros *in situ*, ya que los equipos lo permitieron; también se realizó una toma de muestras con las que se determinaron otros parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio, se tomaron dos muestras de agua superficial en recipientes de vidrio y plástico previamente esterilizados (INVEMAR, 2003).

## 2.1. Análisis fisicoquímico (Técnica en Campo)

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana ISO 5667-1 de calidad del agua en la que se establecen las directrices para el diseño de programas de muestreo, se identificó una zona de muestreo dentro de las afluentes de la charca de Guarinocito, en la que se tomaron las muestras y determinaron parámetros *in situ*.

### a. Parámetros *in situ*.

- PH, conductividad eléctrica y la temperatura: Para éste, se utilizó el multiparametro el cual debía calibrarse con ayuda del búfer. Antes de proceder a tomar las muestras se enjuagó el electrodo con agua destilada y una vez sumergido bajo el agua, se esperó aproximadamente un minuto para registrar los datos (Manual de técnicas analíticas INVEMAR, 2003).
- Oxígeno disuelto: Para éste, se utilizó el Oxímetro el cual debía ser calibrado con ayuda del búfer. Antes de proceder a tomar las muestras se enjuagó el electrodo con agua destilada y una vez sumergido bajo el agua, se esperó aproximadamente un minuto para registrar datos (Manual de Técnicas analíticas NVEMAR, 2003).

Figura 13. Medida parámetros *in situ* Quebrada Las Burras



Fuente. Autores, 2018

### b. Análisis de laboratorio.

El análisis de las muestras tomadas de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana ISO 5667-2 (Técnicas generales de muestreo), lo realizó el laboratorio Quimicontrol Ltda., acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM según la resolución de extensión de alcance de la acreditación N° 1503 de 2017.

El manejo y conservación de las muestras se llevó a cabo de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana ISO 5667-3 y bajo el protocolo de condiciones para el envío de muestras de agua proporcionada por Quimicontrol (**Anexo 4**), en el que se indicaba la temperatura de conservación menor a 6°C, el material del recipiente y volumen de muestra representativo. El laboratorio proporcionó los recipientes adecuados previamente preparados para la toma de las muestras (**Figura 14**) y una nevera para preservación de las muestras.

*Figura 14. Recipientes empleados para la toma de muestras*



**Fuente. Autores, 2018**

A continuación, se muestran los parámetros analizados y el método de análisis empleado por el laboratorio.

*Tabla 5. Variables analizadas y método de análisis.*

Variable	Método
Nitrógeno amoniacal N-NH <sub>3</sub>	SM 4500-NH <sub>3</sub> B,C, Destilación y volumétrico
Coliformes termotolerantes	SM 9221 E NMP
Demanda bioquímica de oxígeno DBO <sub>5</sub>	SM 5210 B, 4500- O C Incubación modificación de Azida
Fósforo total P	SM 4500-P B,C, Colorimétrico, Ácido vanadomolibdofosfórico
Nitrógeno Total N	SM 4500 Norg C, 4500 NH <sub>3</sub> B,C Semi- Micro Kjeldahl

*Fuente. Laboratorio Quimicontrol, 2018*

- c. Con los datos obtenidos en campo, el levantamiento de información secundaria adicional, y el análisis de calidad del agua realizada, se compiló la información y se realizó caracterización del estado actual de la Charca de Guarinocito. Se realizaron mapas del territorio en relación con las variables relacionadas.

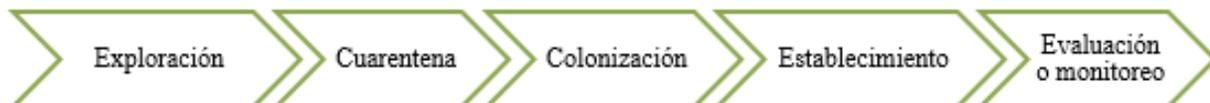
### 8.1.2 **Objetivo 2.** Determinar mediante revisión bibliográfica los biocontroladores y biofiltros más aptos, teniendo en cuenta las condiciones y variables ambientales de la charca.

Para determinar los biocontroladores y biofiltros aptos se identificaron y establecieron diferentes variables, procedentes del levantamiento de información primaria y secundaria.

#### 8.1.2.1 Determinación de biocontroladores

- En la selección de los Biocontroladores, se tuvo en cuenta como guía fitosanitaria el Manual para el manejo de malezas de la Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura- FAO, la cual define 5 fases para un adecuado inicio y seguimiento de este tratamiento definidas de la siguiente manera:

Figura 15. Proceso para la implementación del control biológico



Fuente: Cabello, 2006

1. Exploración. En la primera fase se realizó un levantamiento de información en relación con el organismo a elegir, se debe realizar un inventario de especies disponibles, relación con el área de estudio y su lugar de origen, y tener en cuenta el nivel de especificidad y efectividad como controlador del buchón (Evans y Reeder, 1996).
2. Cuarentena. Esta fase aplica solamente sí el biocontrolador debe ser importado, por lo que en caso tal se deben tener en cuenta los permisos del país de origen y el país de destino y ciertos cuidados en el transporte, el tamaño de la población, y la prevención frente a la contaminación de otros parásitos y huéspedes sobre el biocontrolador.
3. Colonización. Se relaciona con la manipulación y liberación en el área, se debe tener en cuenta el número de individuos a liberar, los tiempos y la población del buchón.
4. Establecimiento. Se deben establecer los porcentajes de establecimiento en relación con el número de insectos liberados, ya que pueden verse afectados por las condiciones del área o del buchón.
5. Evaluación. Por último, se debe establecer un plan de seguimiento a corto y largo plazo, con el fin de evaluar su efectividad y éxito de control.

En caso de que el organismo sea importado se debe tener en cuenta el documento de Directrices para la exportación, envío, importación y liberación de agentes de control biológico y otros organismos benéficos de la FAO.

### 8.1.2.2 Determinación de Biofiltros

En la selección del biofiltro se tuvo en cuenta la metodología de Mariano Seoáñez Calvo en su libro Aguas residuales. Tratamiento por Humedales Artificiales (Fundamentos Científicos, tecnologías y diseño) (Calvo, 1999).

1. Para la selección del tipo de Biofiltro se tuvo en cuenta las características hídricas de la Charca de Guarinocito, así como de la cantidad de contaminantes presentes en el cuerpo hídrico.
2. Para el diseño del biofiltro o humedal artificial, se tuvo en cuenta variables tales como: caudal (máximo, medios y mínimos), carga de sedimentos y profundidad, estos datos fueron extraídos del Balance hídrico y batimétrico realizado en el año 2016 de la Charca de Guarinocito, y fueron verificados con bases de datos del IDEAM e información de estaciones solicitada a la Corporación Autónoma Regional de Caldas- CORPOCALDAS, así como la adecuada selección de plantas acuáticas aptas que contribuyan en la mejora de la calidad del espejo de agua.
3. Se realiza el cálculo de los parámetros básicos de diseño:

#### 3.1 Carga Hidráulica

- Para el cálculo de la carga hidráulica se debe tener en cuenta que los humedales artificiales o biofiltros tiene material de entrada (Inputs) y material de salida (Outputs).

##### **Inputs**

- Precipitaciones **P**
- Afluente **A**
- Producto recirculado **R**

##### **Outputs**

- Evaporación **Ev**
- Efluente **E**
- Evapotranspiración **ET**
- Consumo propio en la constitución de tejidos de las biocenosis **C**
- Infiltración **I**

- Por otra parte, se debe tener en cuenta la acumulación de los inputs que admita el ecosistema denominado (AL)
- Se verifica en general el balance de masas. (Ecuación 1)

$$\text{Almacenamiento} = \text{Input (In)} - \text{Outputs (Out)}$$

- En nuestro caso será:
- $\text{In} = \text{P} + \text{A} + \text{R}$
- $\text{Out} = \text{E} + \text{Ev} + \text{ET} + \text{C} + \text{I}$

Por lo tanto, la formula será

$$AL = (P + A + R) - (E + ET + Ev + C + I)$$

Ecuación 1. Balance de masas Almacenamiento

Fuente: Calvo, 1999

- La carga hidráulica total se puede obtener con una formula conseguida mediante datos experimentales, en la que se relaciona la carga hidráulica con la DBO del afluente y la DBO del efluente del humedal artificial.

$$Ch = \frac{DE - 0.192 * DA}{0.097}$$

Ecuación 2. Carga Hidráulica

Fuente: Calvo, 1999

Siendo,

Ch: Carga hidráulica (cm/día)

DA: DBO5 del afluente (mg/L)

DE: DBO5 del efluente (mg/L)

### 3.2 Tiempo de retención Hidráulica

- El tiempo de retención hidráulica depende fundamentalmente de las características de las aguas residuales afluentes de la DBO5, que se exija en los vertidos de los efluentes.
- Para calcular los tiempos de retención hidráulica en sistemas FWS y similares, se calculó a partir de la siguiente formula:

$$t = \frac{7.481 * L * W * d * n}{\frac{Q1 + Q2}{2}}$$

Ecuación 3. Tiempo de retención hidráulica

Fuente: Calvo, 1999

Siendo,

t= tiempo promedio de retención hidráulica en días

L= longitud en pies

W= anchura en pies

d= Profundidad en pies

n= Porosidad (oscila entre 30 y 90%)

Q1= Flujo del afluente en galones/día

Q2= Flujo del efluente en galones/día

### 3.3 Profundidad del Biofiltro

- Para sistemas SFS (Subsurface Flow) se recomiendan profundidades de 0.30 a 0.60 m, y no más teniendo en cuenta que si hay pendiente, en la zona más profunda debe haber 0.60 m y en la menos profunda 0.30.
- Para sistemas FWS (Free Water Surface), se recomienda profundidades de 0 a 0.45 m, siendo muy útiles y eficaces las instalaciones de 0 a 0.20m de profundidad.

### 3.4 Cálculo de Volumen de retención

$$Vret(m3) = \frac{Q}{t}$$

Ecuación 4. Volumen de retención

Fuente: Romero, 1999

Siendo,

Q= Caudal (m3/día)

t=tiempo de retención (días)

### 3.5 Cálculo del Área Superficial

$$As(m2) = \frac{Vret}{Prof}$$

Ecuación 5. Calculo del área

Fuente: Romero, 1999

Siendo,

Vret=Volumen de retención (m3)

Prof= Profundidad (m)

### 3.6 Carga de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)

$$\text{Carga de DBO (Kg)} = \frac{DBO * Q * 10^{-3}}{As * 10^{-4}}$$

Ecuación 6. Carga de DBO

Fuente: Romero, 1999

Siendo,

As=Área superficial (m2)

DBO= Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L)

### 3.7 Área por unidad de caudal

$$\text{Área por unidad de Caudal (m}^2\text{/ (m}^3\text{/día))} = \frac{As}{Q}$$

Ecuación 7. *Área por unidad de caudal*

*Fuente: Romero, 1999*

Siendo,

As=Área superficial (m<sup>2</sup>)

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/día)

#### 8.1.3 **Objetivo 3.** *Plantear el plan de manejo integrado.*

Se estableció el Plan de manejo integrado para el control y minimización del buchón de agua, en relación con la racionalidad de intervención con la estrategia adecuada en el momento justo; se definió el plan de trabajo (cronograma) y presupuesto mediante fichas de procedimientos y manejo ambiental.



## 9.2 Presupuesto

Se presenta el presupuesto para el desarrollo de la propuesta del plan integrado, el cual tuvo un costo total de \$12.860.000, incluyendo pago a los investigadores.

Tabla 7. Presupuesto

Rubros	Cantidad	Costo unidad	Total (\$)
<b>1. Personal</b>			<b>12.088.000</b>
Investigadores	440 horas	13.600	11.968.000
Guía	4 días	30.000	120.000
<b>2. Viáticos salida de campo</b>			<b>424.000</b>
Pasajes	4 pasajes	40.000	160.000
Hospedaje	3 noches	40.000	120.000
Alimentación	4 días	8.000	144.000
<b>3. Análisis</b>			<b>347.500</b>
Análisis fisicoquímicos muestras de agua			347.500
<b>TOTAL PROYECTO</b>			<b>12.859.500</b>
<b>TOTAL A PAGAR</b>			<b>891.500</b>

Fuente: Autores, 2018

## 10. Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en relación a cada objetivo específico definido y en concordancia con la metodología establecida.

### 10.1 Resultados Objetivo específico 1.

#### *Objetivo 1. Caracterizar el estado actual de la Charca de Guarinocito.*

En la salida de campo realizada a Guarinocito en diciembre del 2018, se realizó un recorrido a la zona de estudio con acompañamiento de un pescador de la zona, perteneciente a la Asociación de pescadores de Guarinocito. En este recorrido se identificaron actividades alrededor de la charca (sobre la ronda hídrica), encontrando principalmente establecimientos turísticos pequeños, como restaurantes y piscinas; en algunos lugares más apartados de la entrada principal se visualizaron algunas actividades pecuarias de pequeña envergadura, dos o tres cabezas de ganado y uno o dos caballos.

En el recorrido se identificaron y georreferenciaron las vertientes que llegaban al cuerpo de agua. Como se puede observar en la (figura 16), se encuentran las quebradas los Chorros y Las Piscinas, provenientes de las piscinas naturales; la quebrada las Terrazas y Cascabel provenientes de los alcantarillados de hogares cercanos a la zona; la Quebrada las Burras, una microcuenca en la que se realizan actividades pecuarias y agrícolas; y el Caño, el cual lleva las aguas servidas de una finca cercana. También se identifica la PTAR de Guarinocito la cual no es una vertiente directa a la charca, pero si presenta problemas de dimensionamiento lo que provoca que en temporada de lluvia su capacidad no sea suficiente.

Figura 16. Vertimientos identificados visita de campo.



Fuente: Autores, 2018

Se observaron pequeños y medianos parches de buchón de agua en varias áreas de la charca, principalmente en las orillas; sin embargo, es importante recalcar que, en el punto de vertimiento de la Quebrada las Burras, la cantidad de buchón es exageradamente masivo (*Figura 17*), los pobladores colocaron una cerca de palos de bambú horizontal de lado a lado, esto con el fin de evitar que esta gran población de buchón pueda invadir el resto del área que ellos utilizan para desarrollar sus actividades pesqueras y recreativas. Según las vivencias de los pescadores allí y del guía, esta área esta sellada y no se realizan mantenimientos ni extracción manual de buchón, dado que los turistas no suelen ir hasta allá, esta área abandonada corresponde a 17 Ha/ 74 Ha.

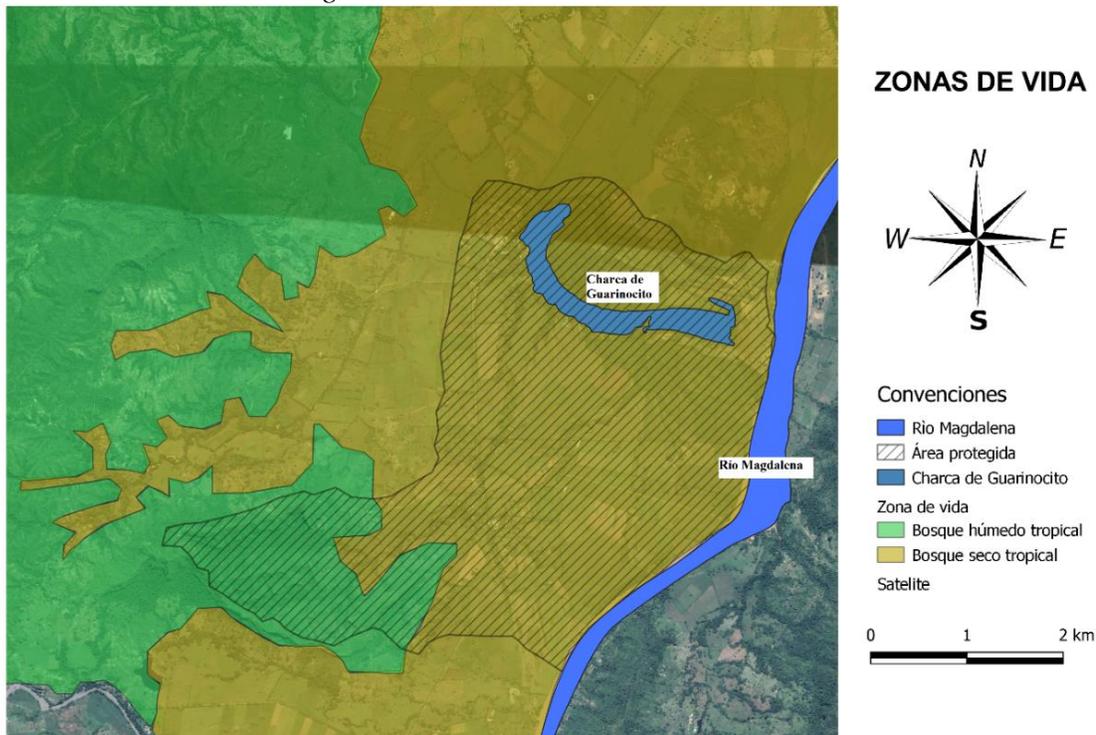
*Figura 17. Pequeños parches de buchón de agua en área empleada para recreación y turismo vs. Área invadida por una gran población de buchón de agua cerca a la desembocadura de la Quebrada Las Burras.*



*Fuente. Autores, 2018.*

Con los datos y las observaciones obtenidas en la salida de campo y una base de datos de Corpocaldas, se construyó la *Figura 18*, en la que se identifican las zonas de vida correspondientes a bosque seco tropical y un área menor correspondiente a bosque húmedo tropical, se delimita el área declarada Distrito de Manejo Integrado la Charca de Guarinocito, Decreto 197 de 1988 (Ministerio de agricultura) como área de protección del suelo rural, con otros espejos de agua representado un área total protegida aproximada de 1505 Ha; y por último se observa la Charca de Guarinocito, clasificada como un Humedal natural Palustre emergente, de la categoría Pantanos y ciénagas permanentes (Corpocaldas, 2000)(Política Nacional de humedales de Colombia, 2001).

Figura 18. Zonas de vida área de estudio.

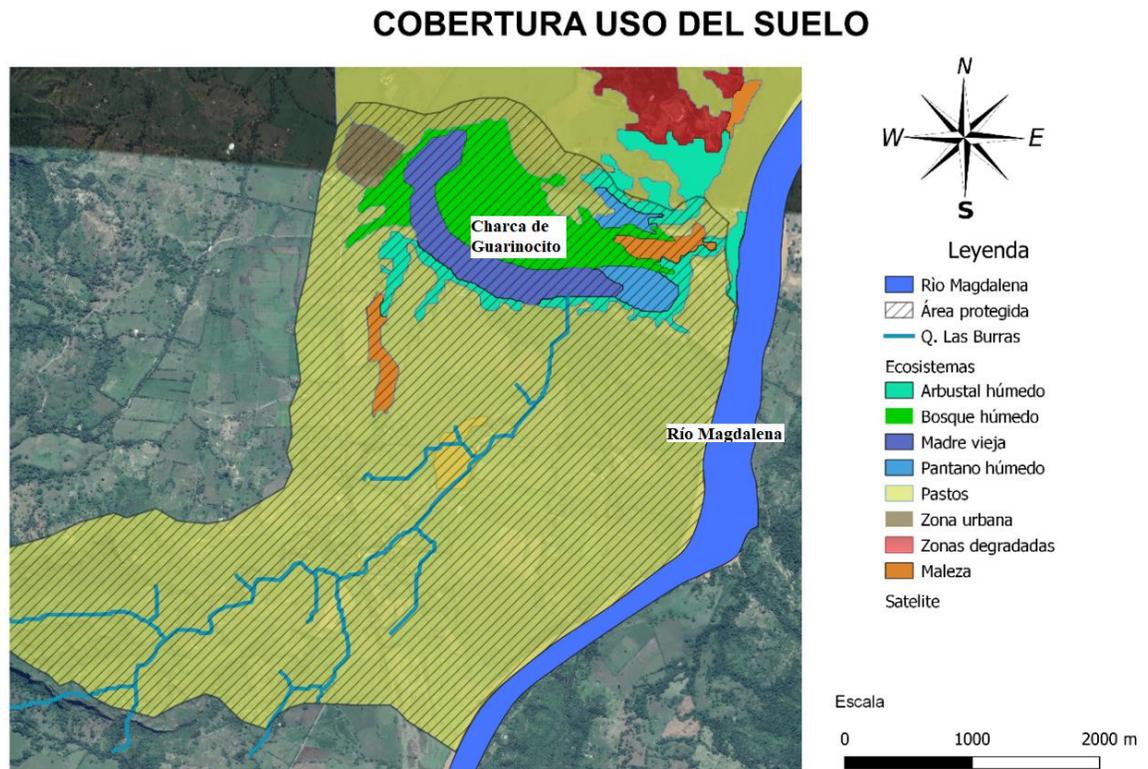


Fuente: Datos CORPOCALDAS. Elaboración propia.

Según el Acuerdo 068 de 1997 y el Decreto 197 del mismo año, se establecen áreas de protección y conservación, con el objetivo de ser áreas de especial protección ambiental, en la que su uso principal sean actividades aptas, productivas y sostenibles.

En la figura 19 se observan diferentes coberturas correspondientes a los diferentes usos del suelo y la identificación de la quebrada Las Burras, longitud de 6680 m. Dentro del área se identifican coberturas de bosque característico del bosque húmedo con un área de 84 Ha; el cuerpo de agua y sus pantanos húmedos, área de 78 Ha; el corregimiento de Guarinocito con un área de 20 Ha; y el resto de las 1505 Ha totales corresponden a coberturas de pastos y maleza (pastos degradados).

Figura 19. Cobertura uso del suelo.



El municipio de La Dorada es reconocido como la “reina ganadera”, al ser esta su principal actividad económica dentro de otras tales como: la pesca, el comercio, la agricultura y la minería (Quintero, 2015). Dentro de la zona se identificaron zonas de cultivo, pesca y de ganadería específicamente, estas actividades se llevan a cabo dentro de las rondas hídricas de los afluentes, tales como la Quebrada las Burras, las cuales son receptoras de las aguas residuales de aguas de uso doméstico, estiércol de animales; y por escorrentía excesos de fertilizantes y pesticidas empleados en los cultivos.

Los residuos producto de las actividades antrópicas que llegan al cuerpo de agua dulce, aumentan las cargas de nutrientes, generando una perturbación (contaminación) y excediendo la capacidad de resistencia (Fontúrbel y Castaño, 2011), la producción, el aporte y la descomposición de la materia orgánica en el agua y en el sedimento influyen en la composición química de la columna de agua, en la distribución de fauna y flora y en las características geoquímicas del fondo (Gallo, Flórez y Parra, 2014). Teniendo en cuenta lo anterior se realizó un análisis de las muestras de agua tomadas en campo de la Quebrada Las Burras, con el fin de evaluar la calidad del agua, además de realizar un análisis en relación con la cantidad de sedimentos que llegan a la charca.

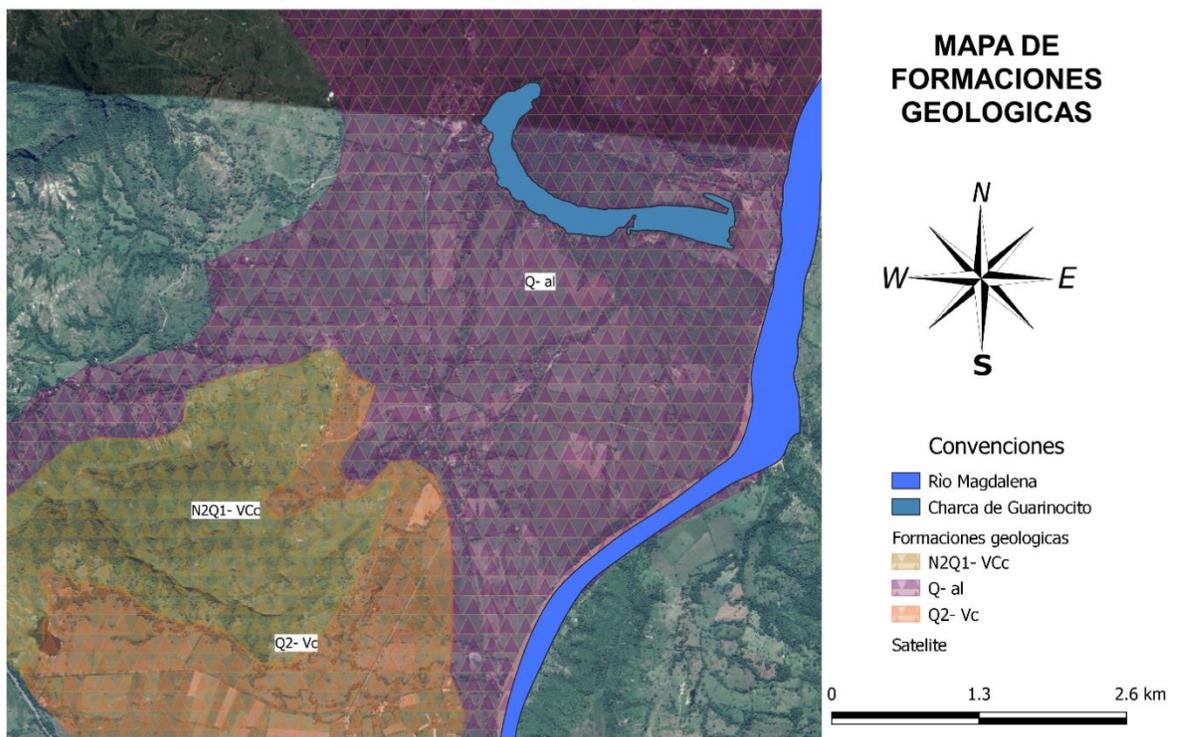
#### 10.1.1. Sedimentación.

El área de estudio, Charca de Guarinocito, pertenece al Helobioma del Magdalena, siendo un área de inundación, según el portal geológico colombiano se identificaron formaciones geológicas (figura 20) correspondientes a:

- Q-al. Depósitos aluviales y de llanuras aluviales.
- Q2- vc. Flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica y dacítica.
- N2Q1-VCc. Arenitas feldespáticas y líticas; arcillolitas, y conglomerados con abundantes líticos de andesitas y dacitas.

Siendo esta un deposito aluvial del rio Magdalena, formado por un lecho de arenas y gravas sueltas disponibles para transportar (SIÉ Ingeniería, 2016).

Figura 20. Formaciones geológicas zona de estudio



Fuente: Datos CORPOCALDAS y Portal geológico colombiano. Elaboración propia.

Los sedimentos como compartimentos de información que permiten estudiar la calidad del material degradado, la respuesta del ecosistema frente a la presión y estrés generado por actividades antrópicas, y su influencia en el estado trófico del cuerpo de agua, esto gracias al intercambio de iones con el cuerpo de agua (Gallo, Flórez y Parra, 2014). La gran producción natural de sedimentos de la quebrada Las Burras (Formaciones geológicas) genera pérdidas de capacidad de la Charca; sin embargo, las actividades antrópicas generan una aceleración del proceso de sedimentación y cambios bruscos sobre el ecosistema, según Hernández (1995) la tasa de sedimentación ha aumentado 25 veces más a nivel global. Para el caso de la Charca, después de 1980 se aumentaron los procesos de sedimentación incrementando la tasa de sedimentación en un 563%, pasando de una tasa de 0.016 m (1.6 cm) a 0.089 m (26.7 cm) en 10 años, para el primer periodo (SIÉ Ingeniería, 2016).

Según el estudio Hidrológico e hidráulico de la Charca realizado en 2016, se registran depósitos de material aluvial, procesos erosivos y faja forestal protectora mínima. SIÉ Ingeniería, estimo la cantidad

de sedimentos que se depositan a la charca, mediante la metodología de Engelund- Hasen, aproximada a las tasas reales de transporte, obteniendo una tasa anual de **8.556 m<sup>3</sup>/año**; este dato se verifico con los volúmenes obtenidos del estudio batimétrico de la quebrada Las Burras, obteniendo tasas de **8.225-10.194,2 m<sup>3</sup> /año** (Método de Einstein- Brown). Se compararon superficies a partir de imágenes satelitales de 1985 y 2015, denotando porcentajes de pérdida de capacidad de la charca del 19.35% (tabla 8), estableciendo así que la sedimentación promedio de la charca es de 0.267 m con máximos de 0.921 m en Las Burras. La distribución del sedimento total de la charca se da en un 67% sobre el fondo del cuerpo hídrico, el 21% en orillas y el 12% en la desembocadura de la quebrada Las Burras, estimando un área aproximada sedimentada de 2.2. Ha (Figura 20).

Tabla 8. Volumen de sedimentos Charca de Guarinocito

Perdida de orillas total	34,095.93 m3
Sedimentación total	255,805.93 m3

Fuente. SIÉ Ingeniería, 2016

### 10.1.2. Análisis calidad del agua.

Para la caracterización de la calidad hídrica de la Charca, se tuvo en cuenta el laboratorio de aguas realizado por CORPOCALDAS en julio del 2015, en la que se evaluaron diferentes parámetros fisicoquímicos en 20 puntos diferentes (Anexo 3), alrededor de la charca de Guarinocito. Adicionalmente se tomaron dos muestras (Figura 21) durante la salida de campo realizada en diciembre, la primera- PM1 en la quebrada Las Burras, con coordenadas 5°20'3" N y 74°43'23,6" W; y la segunda- PM2 dentro de la Charca de Guarinocito con coordenadas 5°20'4" N y 74°43'24.0" W; estos dos puntos fueron seleccionados teniendo en cuenta el grado de afectación por invasión de buchón de agua presente en la charca y su relación con la quebrada las Burras.

Figura 21. Puntos de muestreo calidad del agua.



Fuente: Autores, 2018.

Se evaluaron diferentes parámetros fisicoquímicos tales como: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), nitritos, nitratos, fósforo total, fósforo soluble y fósforo inorgánico, dentro de los parámetros evaluados se presentan como buenos indicadores de proceso de eutrofización la concentración de nitrógeno (principalmente nitratos) y el fósforo, los cuales son los principales macronutrientes que presentan gran significancia frente a la alteración de los ciclo biogeoquímicos naturales del cuerpo de agua, además de establecer una relación con la presión generada por actividades antrópicas (Gallo, Flórez y Parra, 2014).

A partir de los resultados proporcionados por la corporación y los resultados obtenidos de las muestras se realizó el análisis general de los resultados en el que se encontraron datos que se encontraban dentro del rango apto- no apto referentes a la buena o mala calidad de agua, esto en relación con los parámetros adecuados para cuerpos de aguas naturales y tropicales.

Tabla 9. Resultados obtenidos análisis de agua PM1 y PM2

Parámetro	Resultado PM1	Resultado PM2	Valor óptimo
Temperatura (°C)	28.7	33.3	0.50
pH	7.21	6.55	6.0- 9.0
Conductividad (µS/cm)	3	4.1	1.0
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.37	5.1	7.0- 8.0
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	1.38	2.8	0.5
DBO5 (mg/L O2)	<10.3	<10.3	5- 50
Fósforo total- P (mg/L)	<3.53	<3.53	0.5
Nitrógeno total- N (mg/L)	10.1	4.5	0.5

Fuente: Laboratorio Quimicontrol, 2018. Elaboración propia.

- *Temperatura.*

La temperatura es un parámetro físico de la calidad del agua, este influye en factores tales como: el retardo o aceleración en la actividad biológica, absorción de oxígeno, formación de depósitos, precipitación de compuestos, y procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Este parámetro puede variar continuamente por factores ambientales, principalmente la radiación solar (cantidad de energía calórica), esta determina la calidad y cantidad de luz del agua; en zonas tropicales suele mantenerse relativamente constante.

El rango admisible de este parámetro oscila entre 0°C- 50°C, encontrándose ambos puntos dentro del rango normal a 28.7 °C y 33,3 °C, las descargas a temperaturas superiores a los 50°C pueden causar daños al intervenir con la reproducción de especies, el crecimiento de bacterias y otros organismos. La

temperatura presenta relación directa con el oxígeno disuelto, de esta manera a mayor temperatura menor solubilidad; si la concentración de oxígeno disuelto es muy pequeña puede producir la muerte de peces o anaerobios que pueden descomponer la biomasa y cooperar en la liberación de gases, tales como, metano o sulfuro de hidrógeno (Romero, 1999).

- *pH.*

El pH es el encargado de dar la acidez al agua en una escala de 1 a 14, y representa el intervalo de la concentración de hidrogeniones (H<sup>+</sup>) adecuado para el desarrollo de la vida acuática oscila entre 6.5 a 8.0, fuera del rango puede generar estrés fisiológico; sin embargo, el pH general de las aguas naturales no contaminadas se encuentra entre 6.5 a 8.5, considerándose neutral un pH de 7 (Romero, 1999). Los valores obtenidos para los puntos de muestreo fueron de 7,21 (PM1) y de 6.55 (PM2), considerándose óptimos para el desarrollo de la vida acuática. El pH depende principalmente de la producción vegetal y de las aguas residuales, el aumento del pH genera la producción de amoníaco, siendo este un fuerte veneno que afecta el metabolismo de plantas y peces (Lenntech, 2018).

- *Oxígeno disuelto.*

Es un importante indicador de la calidad del agua, normalmente varían los valores óptimos para las aguas naturales entre 7,0 y 8,0 mg/L; el valor obtenido para los puntos de muestreo fue de 5.37 mg/L (PM1) y 5.1 mg/L (PM2) estando por debajo de los valores óptimos, ocasionando una afectación y disminución de las especies en este cuerpo de agua (Stevens Institute Of Tecnology, 2006).

- *Conductividad electrica.*

La conductividad eléctrica permite evaluar la pureza del agua, esta depende de la concentración de iones y la más mínima impureza hace que el valor aumente, estos valores muestran la carga de sal en el agua que proviene de residuos y/o escurrimiento de abonos, presentando información acerca de la productividad primaria y descomposición de materia orgánica, además de contribuir a la detección de fuentes de contaminación (Faña, 2002).

El valor común y óptimo para cuerpos de agua naturales y limpios es de 1.0 MS/cm, el valor obtenido para los puntos fueron de 3 µS/cm para el PM1 y de 4.1 µS/cm para el PM2 (Lenntech, 2018).

- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).*

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), permite medir la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos, este es un importante parámetro que permite determinar su grado de contaminación, mide la concentración de contaminantes orgánicos. La cantidad de oxígeno que se consume depende de la temperatura, tiempo y agente oxidante (Freire, 2009).

$$\begin{aligned} DBO_{Total} &= 1,5 DBO_5 \\ DBO_{Total} &= 1,5 (10,3 \text{ mg } O_2/L) \\ DBO_{Total} &= 15,45 \text{ mg } O_2/L \end{aligned}$$

El valor obtenido para la DBO Total en el PM1 fue de 10,3 mg/L y para el PM2 fue de 15,45 mg/L O<sub>2</sub>, los cuales se encuentra por fuera de los valores típicos de DBO para agua potable, la cual oscila entre 0,75- 1,5 mg/L O<sub>2</sub>, considerándose no apta para consumo humano; sin embargo, dentro de los valores para aguas poco contaminadas se encuentra dentro del rango el cual oscila desde 5- 50 mg/L O<sub>2</sub>, considerándose de esta manera como agua poco contaminada (Freire, 2009).

- *Fósforo.*

Es un nutriente esencial para la vida de los organismos, en cualquier forma o especie, es considerado un parámetro crítico dada su importancia en el crecimiento vegetal y animal, presentando alta influencia en el proceso de eutrofización al facilitar la proliferación de algas y plantas acuáticas. Existen diferentes fuentes de fósforo, de origen natural: depósitos y roca fosfórica, en forma de ortofosfato; fuentes antropogénicas: aguas servidas domésticas y/o industriales; fuentes no puntuales: escorrentía de cultivos agrícolas y domésticas, y aguas lluvias que varían en el tiempo y el espacio (IDEAM, 2006).

La concentración de fósforo total mide la cantidad de fósforo disponible en forma orgánica e inorgánica, disuelta y particulado. Según la resolución 2115 de 2007, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y del Ministerio de la Protección Social, establece que la concentración óptima de fósforo total debe ser menor a 0,5 mg/L, esto debido a que puede generar afectaciones a nivel económico, a la salud humana y ecosistémica. Los resultados obtenidos para ambos puntos fueron valores máximos hasta de 3.53 mg/L de fósforo total, estando por encima del valor óptimo por 3.03 mg/L. Según Sawyer, C. et al. la concentración de fósforo total para cuerpos de agua eutrofizados oscila entre 0.03- 1.5 mg/l, y los valores de concentración para cuerpos de agua lenticos no contaminados oscilan entre 0.01- 0.04 mg/L de fósforo total.

- *Nitrógeno total (Orgánico y amoniacal)*

Es un nutriente esencial para las formas de vida y las alteraciones mínimas pueden desestabilizar los ecosistemas acuáticos, generando impactos en la salud humana y ecológica (eutrofización y aumento de acidez). Las fuentes de este nutriente pueden ser producto de causas naturales como: la presencia de depósitos geológicos, escorrentía; y causas antropogénicas como: actividades domésticas y/o industriales, afectando el funcionamiento normal del ciclo de nitrógeno. Las formas de nitrógeno de mayor interés son el nitrógeno amoniacal y el total. La concentración de nitrógeno amoniacal y orgánico permiten determinar si las aguas contienen suficiente nitrógeno para nutrir organismos (Lenntech, 2018). El nitrógeno total es la sumatoria de nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico (nitratos, nitritos y amonio).

$$NT = NA + NO$$

$$NO = NT - NA$$

*Ecuación 8. Cálculo nitrógeno orgánico.*

NT. Nitrógeno total    NA. Nitrógeno amoniacal    NO. Nitrógeno orgánico

NT= 4.5 mg/L

NA= 2.8 mg/L

**(PM1)**

NO= 10.1 mg/L- 1.38 mg/L

**NO= 8.72 mg/L**

**(PM2)**

NO= 4.5 mg/L- 2.8 mg/L

**NO= 1.7 mg/L**

Según Sardiñas y Pérez (2004), la concentración máxima apta de nitrógeno amoniacal y nitrógeno total es de 0,5 mg/L para agua de consumo humano, y el máximo apto para aguas residuales es de 5 mg/L (ambos parámetros); los resultados obtenidos para las muestras fueron de 10.1 mg/L PM1, sobrepasando los valores máximos aptos para aguas residuales; y la concentración obtenida en el PM2 fue de 4.5 mg/L, estando al límite del máximo de concentración apta para aguas residuales.

La concentración de nitrógeno amoniacal para el PM1 y PM2 fue de 1.38 mg/L y de 2.8 mg/L respectivamente, el nitrógeno orgánico calculado fue de 8.72 mg/L y de 1.7 mg/L, sobrepasando el valor óptimo de agua para consumo humano.

Las descargas de aguas residuales y domésticas aumentan la concentración de nitrógeno amoniacal, provocando la disminución de la concentración de oxígeno disuelto, producto de la degradación bacteriana del nitrógeno amoniacal, construyendo ambientes anóxicos. El amoníaco es un componente transitorio en el agua, que hace parte del ciclo del nitrógeno, es un producto natural de la descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados, generalmente las aguas superficiales no deben contener amoníaco, y la presencia del ion amonio se considera contaminación química peligrosa y reciente (González, 2013).

### *10.1.3. Correlación parámetros fisicoquímicos y microbiológicos frente a la calidad del agua.*

Según Maskew, Geyer y Okun (2013), se debe tener en cuenta el riesgo frente a impurezas de calidad del agua para las aguas destinadas a actividades pesqueras, ya que pueden presentar condiciones peligrosas para la biodiversidad del ecosistema, entre las que se encuentran:

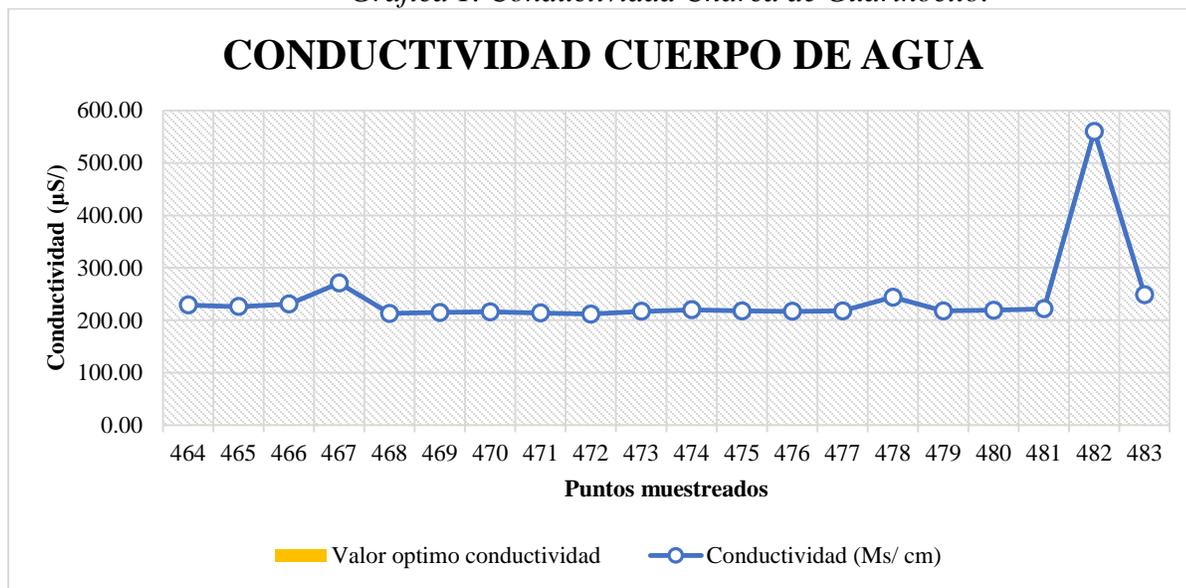
1. Material sedimentado. Priva a los peces de los alimentos naturales, al depositarse en el fondo de los cuerpos de agua, formando una capa contaminadora.
2. Sustancias tóxicas o que disminuyan la concentración de oxígeno disuelto (consumo exagerado de oxígeno), evitando que los peces lleven a cabo sus actividades de desove y alimentación, llevando los ecosistemas a la fermentación anaerobia y generando la pérdida del ecosistema
3. Compuestos que elevan el pH sobre 8,4 o lo disminuyan de 6,8, pueden ser directamente letales y los cambios de pH pueden desequilibrar las tolerancias de los peces a las altas temperaturas y disminuir las concentraciones de oxígeno disuelto.

De acuerdo con los resultados obtenidos y la importancia de los parámetros analizados, se encontraron algunos parámetros alterados y otros en estado normal, para este tipo de aguas se encontró alteración del oxígeno disuelto, presentando concentraciones más bajas (valores menores de 7,00 y 8,00 mg/L O<sub>2</sub>); la conductividad con valores más altos (mayores a 1,00 µS/cm); concentración de macronutrientes altas, específicamente de fósforo y nitrógeno en el cuerpo hídrico.

Para empezar, el oxígeno disuelto es un importante indicador de la calidad del agua, su baja concentración de oxígeno genera afectación y disminución de la población de especies presentes en el cuerpo de agua, dado que el consumo de oxígeno ocurre por respiración de plantas y animales (Stevens Institute of Technology, 2006). Este parámetro depende de la precipitación pluvial, difusión del aire en el agua, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación, el principal factor de consumo de oxígeno libre es la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos. Este parámetro puede verse afectado o

alterado por contaminación del cuerpo de agua provocando una reducción en la concentración, esto debido a que a mayor contaminación menor solubilidad de oxígeno disuelto, ya que la contaminación agrega sustancias adicionales que llenan el espacio que debería ser ocupado por las moléculas de oxígeno; sin embargo, en los cuerpos de agua tropicales la concentración de oxígeno disponible a altas temperaturas (>15°C) dada la solubilidad del oxígeno, la rápida descomposición de la materia orgánica (4- 5 veces más rápida en relación con cuerpos de agua templados) y su mayor demanda generada por el aumento de la tasa de oxidación biológica, provoca que se presente un déficit de oxígeno de manera natural, causando que la concentración tienda a ser muy baja. Dado esto el déficit de concentración de oxígeno disuelto no puede emplearse como indicador o referente del estado o evolución del proceso de eutrofización del cuerpo de agua (Roldán y Ramírez, 2008).

Grafica 1. Conductividad Charca de Guarinocito.



Fuente. Laboratorio Corpocaldas, 2015 y muestras Quimicontrol, 2019.  
Elaboración propia

<b>Punto</b>	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473
<b>Nombre</b>	Cuartos orilla Charca	Isla centro Charca	Montaña Charca	Burras centro	Chacaron Orilla	Chacaron centro	La Mana	Los mangos centro	Los Mangos orilla	La Moya
<b>Punto</b>	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483
<b>Nombre</b>	La Cuchilla lado opuesto	Las Terrazas centro	Las Terrazas orilla	Puerto centro	Los chorros entrega	Boca caño	Caimanera centro	Caimanera orilla	Descole planta	Los chorros

Otro de los parámetros alterados según el análisis de laboratorio, es la conductividad presentando valores excesivos de 3 y 4,1 µS/cm sobre 1 µS/cm para el PM1 y PM2 respectivamente y valores excesivos para los 20 puntos evaluados por Corpocaldas. Este parámetro puede presentar variación de acuerdo a la naturaleza del terreno, y de la época de lluvia o sequía. La conductividad permite conocer el metabolismo del ecosistema y la magnitud de la concentración iónica (Tabla 10) relacionada directamente con los macronutrientes (Faña, 2002), la naturaleza de los iones mayores varía según la solución que contiene,

por lo que en aguas acidas con pH menor a 7.0 predomina el ion  $H^+$ , mientras que en aguas básicas con pH mayor a 7.0 predomina el ion  $OH^-$ ; teniendo en cuenta el pH determinado se denota mayor magnitud de concentración del ion  $OH^-$  en el PM1 (pH= 7.21), en comparación con el PM2 (pH= 6.55) en la que se denota menor magnitud de concentración del ion  $H^+$  (Roldán y Ramírez, 2008), en relación con el valor optimo y los valores obtenidos para conductividad electrica se puede hablar del aumento de concentración de iones del 300% y 410% para cada punto de muestreo, esto provocado por exceso de sustancias, convirtiéndose en contaminación.

Tabla 10. Porcentaje promedio de la composición química de las aguas dulces

Aniones	% Porcentaje	Cationes	% Porcentaje	Otros	% Porcentaje
$CO_3^{-2}$	33,40	$Ca^{+2}$	19,36	$(Fe, Al)_2O_3$	0,64
$SO_4^{-2}$	15,31	$Mg^{+2}$	4,76	$SiO_2$	8,60
$Cl^-$	7,44	$Na^+$	7,46		
$NO_3^-$	1,15	$K^+$	1,77		
$PO_4^{-3}$	<0,10				

Fuente: Roldán y Ramirez, 2008

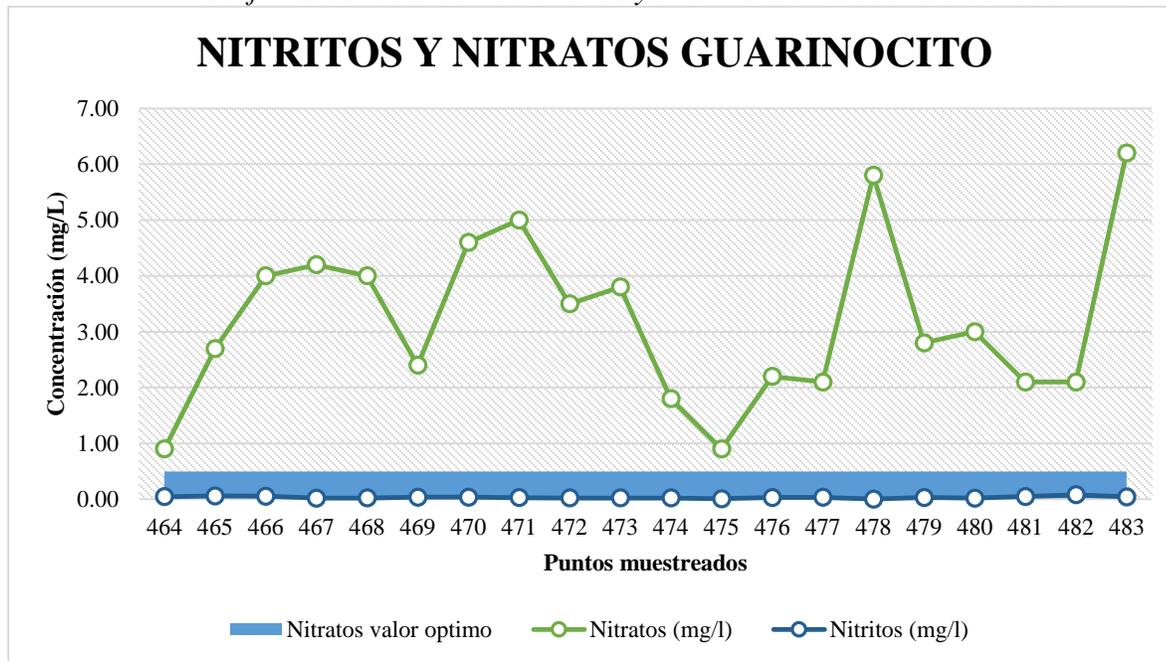
La presencia de macronutrientes como el nitrógeno y fósforo son de vital importancia para la productividad primaria en los ecosistemas, al ser considerados factores limitantes.

El nitrógeno es más abundante en los cuerpos de agua en comparación con el fósforo (relación 1: 10), y principalmente la concentración aumenta producto de la erosión de suelos y la contaminación orgánica, industrial y/o agrícola. El nitrógeno en general es inofensivo para los organismos acuáticos, exceptuando el nitrógeno amoniacal el cual puede ser tóxico para los peces, los nitritos no generan afectación significativa dentro de los cuerpos de agua, sin embargo la presencia de nitratos coopera al crecimiento de plantas, al ser una forma de nitrógeno fácil de absorber y de utilizar por las plantas para su crecimiento (Universidad de Florida, 2005), además de ser un importante indicador para relacionar el origen de las aguas servidas, ya que generalmente se utilizan fertilizantes con nitrógeno e cultivos, los cuales pueden llegar por escorrentía a los cuerpos de agua.

El nitrógeno también es liberado en los ecosistemas acuáticos por animales en forma de amoníaco y urea, y en ecosistemas terrestres por ácido úrico, presentando amplia relación con los residuos de aguas residuales domésticas, de acuerdo con los valores microbiológicos obtenidos en relación con los coliformes termotolerantes relacionados directamente con contaminación por heces fecales (Díaz, 2003), los valores para ambos puntos muestran contaminación del agua de la charca por heces fecales.

En la Gráfica 1 se muestran las concentraciones de nitritos y nitratos evaluados alrededor del cuerpo de agua, en la que se observan excesos de concentración de nitratos hasta de 6,00 mg/L excediendo el valor óptimo de concentración para cuerpos de agua naturales equivalente a 0,05 mg/L.

Grafica 2. Concentración nitritos y nitratos en la Charca de Guarinocito.



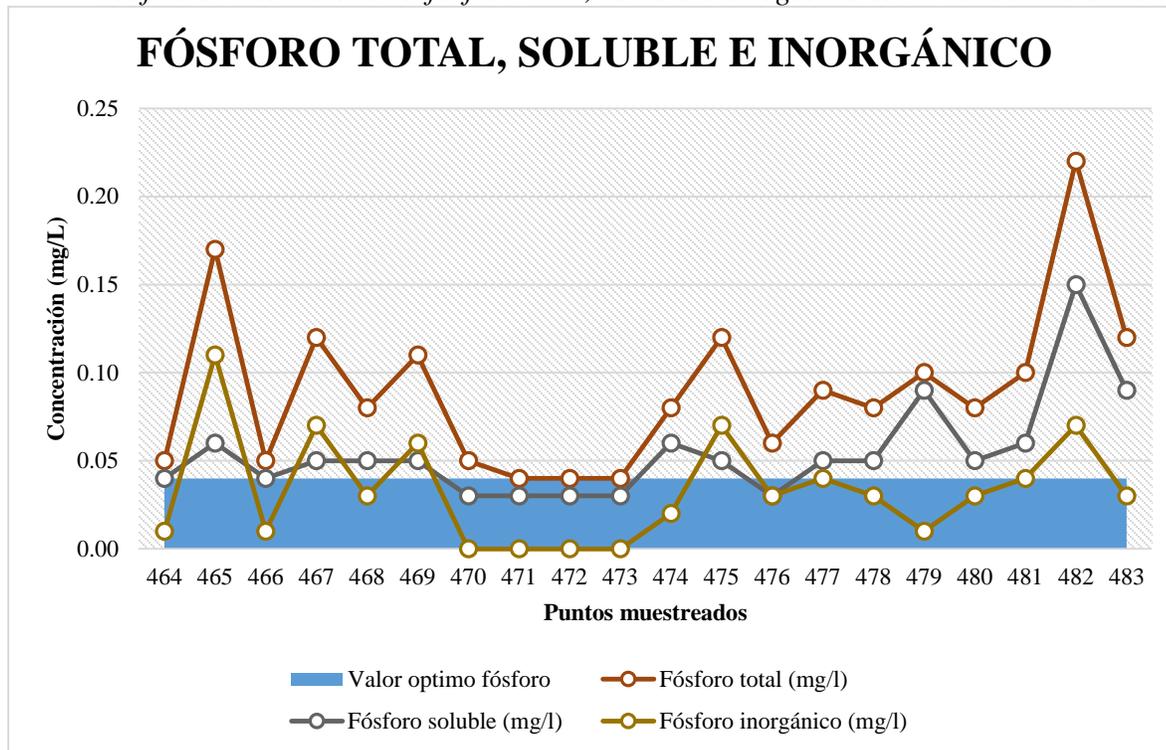
Fuente. Laboratorio Corpocaldas, 2015 y muestras Quimicontrol, 2019.  
Elaboración propia

<b>Punto</b>	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473
<b>Nombre</b>	Cuartos orilla Charca	Isla centro Charca	Montaña Charca	Burras centro	Chacaron Orilla	Chacaron centro	La Mana	Los mangos centro	Los Mangos orilla	La Moya
<b>Punto</b>	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483
<b>Nombre</b>	La Cuchilla lado opuesto	Las Terrazas centro	Las Terrazas orilla	Puerto centro	Los chorros entrega	Boca caño	Caimanera centro	Caimanera orilla	Descole planta	Los chorros

Se evaluo tambien la concntración del fósforo, principal factor limitante para la producción primaria dada su importancia para el metabolismo biológico, sin embargo, su absorción depende de la concentración de estos en la célula (específica para cada planta), siendo menor cuanto mayor sea su concentración en ellas (Roldán y Ramírez, 2008). En los trópicos se ve influenciado por las altas temperaturas aumentando el metabolismo de las plantas, siendo consumido más rápidamente, por lo que los valores de concentración de fosforo deben ser muy bajos, oscilan entre 0,01- 0,02 mg/L, mayores concentraciones de este nutriente son reflejo de contaminación y eutrofización del cuerpo de agua, el exceso de fosforo puede ser producto de aguas residuales, de las cuales el 50% proviene de detergentes y de fertilizantes y/o plaguicidas (Dickson, 1980).

En la siguiente grafica se muestran las concentraciones de fósforo total y sus diferentes formas, en relacion con el valor optimo relacionado anteriormente de 0,01- 0,02 mg/L, se pueden observar excesos en la mayoría de los puntos para el fosoforo total y el fosoforo soluble.

Grafica 3. Concentración fósforo total, soluble e inorgánico en la Charca de Guarinocito.



Fuente. Laboratorio Corpocaldas, 2015 y muestras Quimicontrol, 2019.  
Elaboración propia

<b>Punto</b>	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473
<b>Nombre</b>	Cuartos orilla Charca	Isla centro Charca	Montaña Charca	Burras centro	Chacaron Orilla	Chacaron centro	La Mana	Los mangos centro	Los Mangos orilla	La Moya
<b>Punto</b>	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483
<b>Nombre</b>	La Cuchilla lado opuesto	Las Terrazas centro	Las Terrazas orilla	Puerto centro	Los chorros entrega	Boca caño	Caimanera centro	Caimanera orilla	Descole planta	Los chorros

Finalmente, de acuerdo con el análisis realizado, se considera que el exceso de concentración del fósforo y el nitrógeno (macronutrientes) y la conductividad, son muestra del estado de contaminación del cuerpo de agua, procedentes de residuos con alta carga orgánica, tales como aguas residuales domésticas (heces fecales y detergentes), estiércol de animales y escorrentía de fertilizantes y abonos, siendo estas las principales fuentes contaminación de nutrientes, los cuales aceleran el proceso natural de eutrofización generando aumento de biomasa, disminución de especies y presencia de macrofitas a gran escala (Roldán y Ramírez, 2008).

La proliferación del buchón de agua está determinada por: 1. el exceso de nutrientes, nitrógeno y fosforo, y 2. un desbalance ecológico en el ecosistema frente a la ausencia de un depredador o enemigo natural del productor (Harley, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO y Conley, Paerl, Howarth, Boesch, Seitzinger, Havens y Likens, 2009).

## 10.2 Resultados del objetivo específico 2.

**Objetivo 2.** *Determinar mediante revisión bibliográfica los organismos biocontroladores y biofiltros más aptos, teniendo en cuenta las condiciones y variables ambientales de la charca.*

La proliferación del buchón de agua está determinada por: 1. el exceso de nutrientes y 2. La ausencia de enemigos naturales de la maleza (Harley, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO). Los excesos de nutrientes tales como el nitrógeno (N) y el fósforo (P), generados principalmente por el uso de fertilizantes, el estiércol de animales y las aguas residuales domésticas, requieren del planteamiento e implementación de estrategias que mejoren y cooperen a la recuperación del ecosistema. De acuerdo con la Política Nacional de Humedales interiores de Colombia (2001), se definen estrategias con enfoque ecosistémico en pro de la conservación, restauración y recuperación de los sistemas naturales, sus funciones y valores, restringiendo pérdidas futuras y promoviendo el uso sostenible, integrando factores ecológicos, económicos y sociales.

Con el fin de combatir uno de los factores que atentan contra estos ecosistemas, la introducción y trasplante de especies invasoras, se definieron las siguientes estrategias:

Depuración de aguas residuales y Control biológico, combinadas con las condiciones ambientales e implementadas de manera integrada y controlada, dada la infestación severa de 17 Ha (22%) en un área de la Charca, sin incluir las orillas (Martínez, 2004).

Teniendo en cuenta que es esencial implementar y desarrollar medidas duales para control de la eutrofización, evitando el desplazamiento de los efectos de eutrofización sobre otros cuerpos de agua abajo (Conley, Paerl, Howarth, Boesch, Seitzinger, Havens, y Gene, 2009).

### 10.2.1 Tratamiento de aguas a través de biofiltros.

En base en la revisión bibliográfica realizada, se escogió el tipo de biofiltro o humedal artificial adecuado para el tratamiento de aguas en la charca de Guarinocito provenientes de la Quebrada las Burras. Utilizando las (Ecuaciones 1,2,3,4,5,6,7 ) se procede a hacer el dimensionamiento del Biofiltro de flujo Sub- superficial.

#### *Humedales artificiales de flujo subsuperficial*

Un humedal artificial de flujo subsuperficial (FS, subsurface flow wetlands) está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento, y está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado y el nivel del agua, por diseño, debe estar por debajo de la superficie del medio (Torres & Sanabria, 2012).

Las principales ventajas de los sistemas de flujo subsuperficial en comparación con los superficiales son: mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), bajo riesgo de contacto del agua con

las personas y de aparición de insectos, y menor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la falta de lámina de agua accesible (García y Corzo, 2009).

Tabla 11. Humedal Artificial Flujo Sub-superficial SFS

DATOS DE ENTRADA		
DBO Afluyente (Dato de laboratorio)	10.3	mg/L
Profundidad	0.60	m
Tiempo de Retención	13	días
Caudal	10212.48	m <sup>3</sup> /d
Cálculos de Humedal Artificial		
Volumen del agua (Q*tretención)	132762.24	m <sup>3</sup>
Área ( Vol/Profundidad)	221270.4	m <sup>2</sup>
Carga de DBO (DBO*Q*10-3)/As*10-4)	4.7538	kg
Carga Hidráulica Superficial (Q/As)	0.046154	m/d
Área por unidad de Caudal (As/Q)	21.67	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> /d)

Fuente: Autores, 2018

- El cálculo de tiempo de retención hidráulico fue realizado utilizando la Ecuación 3.

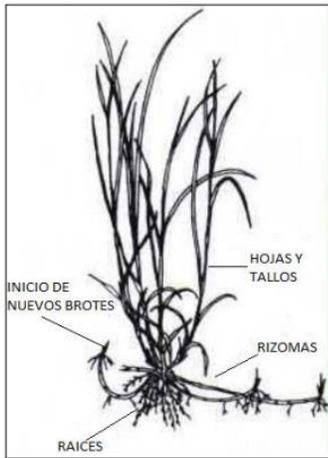
Tabla 12. Calculo tiempo de retención Hidráulica

<b>tiempo de retención</b>	L (pies)	2905.89	pies	11
	W(pies)	1849.2	pies	5
	d (pies)	1.9685	pies	60 cm
	n Porosidad	45	%	
	Q1 afluyente	2697725	galones/dia	
	Q2 efluente	2697725	galones/dia	
<b>t= 13.19997067</b>				

Fuente: Autores, 2018

Los tiempos de retención de los biofiltros o humedales artificiales generalmente varían según el tipo y las características de vertimiento, para nuestro caso de estudio solo se toma un vertimiento la Quebrada las Burras, teniendo una carga de contaminante, este tipo de biofiltros se encargan se encargan principalmente de degradar dicho contaminante. Este sistema cuenta con un lecho inerte que sirve como soporte para los vegetales, además de servir como material filtrante. De un espesor de 0.20 m de grava gruesa 1/2” y 0.05 m de arena (Torres & Sanabria, 2012) así como de plantas acuáticas las cuales las especies macrofitas sirven como biofiltro en la purificación de aguas contaminadas, con un área total de 88m<sup>2</sup>.

Con base en la revisión bibliográfica se evidencio el alto potencial de absorción de contaminantes del Junco (*Scirpus americanus* o *Scirpus californicus*) quien tiene la capacidad de absorber en gran medida el CO<sub>2</sub>. Las plantas acuáticas de los humedales cumplen un importante papel para el ecosistema, colaboran con la producción primaria, regulación de la calidad del agua, aportan detritus al sistema, absorben y liberan nutrientes, compiten entre ellas mismas, facilitan la diversificación de hábitats y alimento faunístico. (Fundación Humedales Bogotá, 2012).

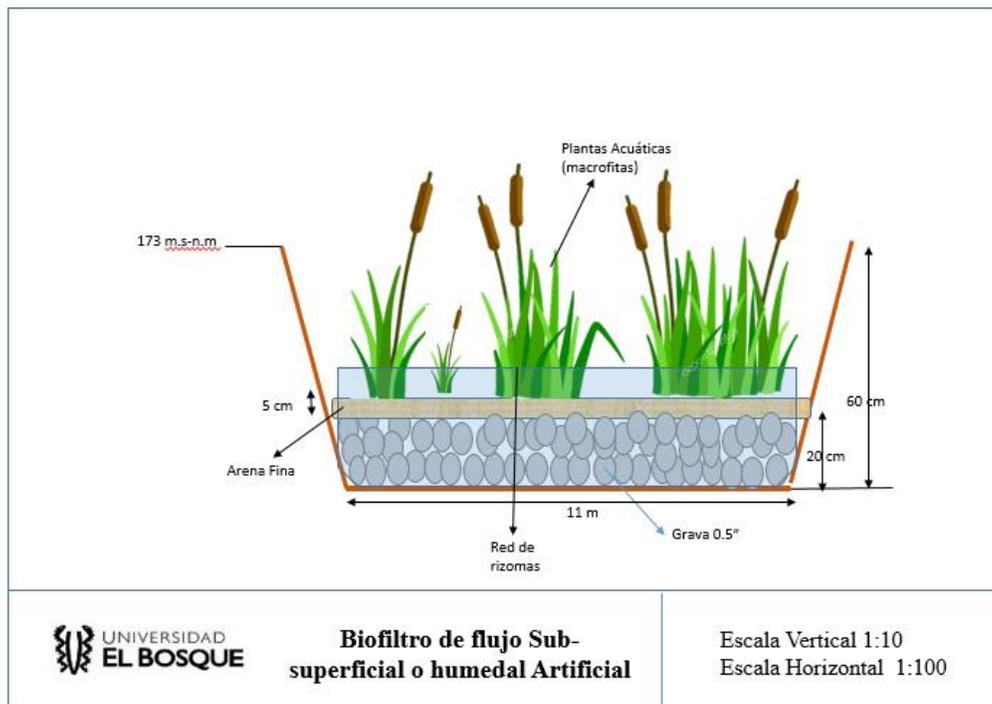


La planta de Junco es una planta herbácea monocotiledónea de la familia de las juncáceas con ramas aéreas provistas y una medula esponjosa, flores hermafroditas, capsulas como fruto y tallos flexibles. (Ubillús, 2009)

Fuente: Martelo y Lara, 2011

Para establecer el número de individuos necesarios para el humedal artificial o biofiltro de flujo sub-superficial, es necesario conocer las siguientes dimensiones 5 pulgadas de diámetro (12.70 cm) y 8 pulgadas de alto (20.32 cms) para un total de 440 individuos de (*Junco Scirpus americanus* o *Scirpus californicus*) (Ubillús, 2009),

Figura 22. Dimensionamiento de Biofiltro de flujo sub-superficial



Fuente: Autores, 2019

### 10.2.2 Control biológico

El control biológico implica la introducción de agentes bióticos específicos y selectivos (Manual para el manejo de malezas- FAO) en un área definida con la expectativa de ejercer un control continuo al incidir sobre el hábitat de la maleza o el invasor (Acosta y Agüero), se han utilizado uno o más agentes de control en alrededor de 22 países, mostrando resultados frente a:

- Control de población de la maleza (100%- 80%)
- Reducción de la infestación (90%)
- Reducción de la biomasa del buchón (80%)
- Reducción de la tasa de proliferación del buchón

(Charudattan, 2011)

Según el Manual para el manejo de malezas de la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO, en sus diferentes ediciones presenta el proceso adecuado para la implementación de este tratamiento (*figura 23*) en este apartado se seleccionará el biocontrolador más apto para el área de estudio, por lo que se estudiará únicamente la fase de exploración.

*Figura 23. Proceso para la implementación del control biológico.*



*Fuente: Cabello, 2006*

#### **1. Exploración.**

Se debe realizar una identificación de las especies disponibles, en relación con su ciclo de vida y área de origen (Cabello, 2006). Inicialmente se realizó un inventario de las diferentes especies estudiadas e identificadas en diferentes investigaciones.

Se han descubierto agentes de control biológico en áreas nativas del buchón, con el fin de incrementar el estrés biótico y reducir el resurgimiento de la población. Las diferentes investigaciones han mostrado que estos agentes no pueden sobrevivir sobre ninguna otra planta que no sea el buchón de agua, ya que son específicos del huésped (Martínez, 2004), los agentes utilizados muestran que se pueden introducir en diferentes regiones, sin riesgos para cultivos, plantas nativas o animales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO). Se pueden emplear combinaciones de biocontroladores para aumentar el estrés biótico, el nivel de daño y mejorar la efectividad (Charudattan, 2011), son de fácil propagación y ellos mismos se diseminan y auto mantienen (Martínez, 2004).

### 1.1 Inventario de microorganismos.

Se realizó un inventario de organismos asociados al buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), a partir de diferentes encuestas realizadas en la cuenca alta del Amazonas (lugar de origen del buchón) y otros países en donde se han realizado estudios para control del buchón de agua. Se han identificado 60 controladores potenciales e informados, de los cuales 54 son de países en los que el buchón de agua es una especie invasora exótica, 36 de estos son nativos del continente Europeo, 18 de los Estados Unidos, 3 del Caribe o América central, y solo 2 de origen Sudamericano. Se han realizado diferentes investigaciones sobre el uso de artrópodos y patógenos como agentes controladores del buchón de agua, y se han evidenciado mayores resultados al combinarlos, las siguientes especies han sido de mayor interés:

A continuación, se presenta una lista de diferentes especies identificadas por varios autores como controladores del buchón de agua:

<b>Identificación</b>	<b>País</b>	<b>Identificación</b>	<b>País</b>
<i>Acremoniella sp.</i>	Perú	<i>Acremonium sp.</i>	Perú
<i>Asteroma sp.</i>	Perú	<i>Bipolaris sp.</i>	USA y Brasil
<i>Cephalosporiopsis sp.</i>	Perú	<i>Cercospora piaropi</i>	América del Sur
<i>Cephalosporium sp.</i>	Ecuador	<i>Chaetophoma sp.</i>	Ecuador
<i>Cochilobolus lunatus</i>	Perú	<i>Cochilobolus pallescens</i>	Perú
<i>Coniothyrium sp.</i>	Ecuador	<i>Curvularia sp.</i>	Ecuador
<i>Fusarium sp.</i>	Perú- Ecuador	<i>Cylindrocladium sp.</i>	Perú
<i>Fusarium poae</i> y <i>Fusarium sacchari</i>	Perú	<i>Gliocladium roseum</i>	Ecuador
<i>Gliocladium sp.</i>	Perú	<i>Glomerella congulata</i>	Brasil- Ecuador- Perú
<i>Gloerella sp.</i>	Perú	<i>Hyphomycete sp.</i>	Ecuador y Perú
<i>Idriella sp.</i>	Perú	<i>Leptosphaeria sp.</i>	Brasil, Perú, República Dominicana y Panamá
<i>Mycosphaerulina sp.</i>	Perú	<i>Myrothecium sp.*</i>	Perú y Brasil
<i>Neochettina bruchi</i>	América del Sur	<i>N. eichhorniae</i>	América del Sur
<i>Phaeoseptoria sp.</i>	Perú	<i>Phoma chrysanthemicola</i>	Perú

<i>Phoma sp.</i>	Brasil, Perú y Ecuador	<i>Pseudocercospora sp.</i>	Perú
<i>Sarocladium sp.</i>	Perú	<i>Stagonospora sp.</i>	Perú
<i>Stauronema sp.</i>	Perú	<i>Basidiomycete sp.</i>	Perú
<i>Rhizoctonia sp.</i>	Perú y Ecuador	<i>Thanetophorus sp.</i>	Perú
<i>Uredo Eichhorniae</i>	Argentina, Brasil y Republica Dominicana	<i>Sameodes albiguttalis</i>	Polilla

\*Capacidad de dispersión restringida

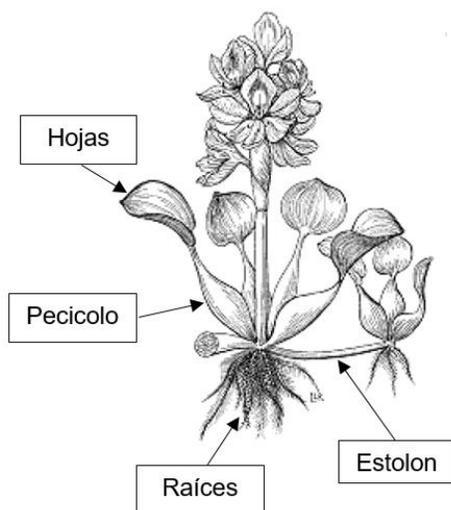
(Charudattan, 2011)  
(Evans y Reeder, 1996)  
(Guzzy, 1989)

De los organismos presentados ( artrópodos y hongos) algunos han sido empleados en planes integrados teniendo buenos resultados frente al control del buchón de agua.

### 1.2 Patógenos vegetales:

Dentro de los hongos y bacterias registrados para control del buchón de agua, se han confirmado algunos como patógenos naturales altamente virulentos (Charudattan, 2011), los cuales actúan como:

Figura 24. Estructura del Buchón de agua



*Stauronema.*

- Hongos biotróficos. Afectan el tejido de hoja verde colonizante, sin síntomas visibles, estos hongos viven dentro del huésped sin interrumpir seriamente su fisiología. *Ejemplo: Didymella y Mycosphaerella.*
- Hongos necrotróficos. Causan lesiones foliares o manchas en las hojas, sin embargo, la incidencia de la enfermedad se determina en los pecíolos. *Ejemplo: Leptosphaeria, Colletotrichum, Myrothecium, Phaeoseptoria y Stagonospora*
- Hongos asociados y aislados de pecíolos, invadidos previamente por insectos, al invadir fácilmente los tejidos dañados. *Ejemplo: Taosa, Thrypticus spp., Acremonium, Cephalosporiospsis, Cylindrocarpon, Cylindrocladium y*

Fuente: Adaptado de Martelo y Lara,

De los hongos identificados los de mayor uso han sido:

- *Cercospora piaropi* y *C. rodmanii*)

*Cercospora C. piaropi* y *C. rodmanii*, son las dos especies identificadas como enfermedades del buchón de agua, originarias de América del Sur, este controlador causa manchas pequeñas (2-4 mm diámetro) en las láminas, las manchas pueden fusionarse a medida que la hoja madura, acelerando la enfermedad y provocando que grandes invasiones de buchón se vuelven marrones. Frente a infecciones severas del microorganismo, la planta puede estresarse, no regenerarse, hundirse o desintegrarse.

En el 2001, Tessmann comparó 60 aislamientos de *Cercospora*, de diferentes países (EE.UU, México, Venezuela, Brasil, Sudáfrica y Zambia), en el que encontraron que la manifestación de virulencia del cultivo en la planta es variable a nivel de la morfología de las esporas y la virulencia.

- *Acremonium zonatum*

Genera manchas diseminadas con formación de hongos blancos (micelios) principalmente en la superficie laminar superior, también se encuentran en la superficie inferior en menor cantidad esto por la protección de la luz solar.

- *Alternaria eichhorniae*

*Alternaria, A. eichhorniae* y *A. alternata* son dos especies que han sido estudiadas, reportadas en Australia, Bangladesh, Egipto, India, Indonesia y Sudáfrica. *Alternata eichhorniae* es un patógeno directo del buchón de agua, produce compuestos diferentes de color rojo (*bostrycin* y *deoxybostrycin*) los cuales son fitotóxicos que se esparcen sobre las hojas del buchón, sin embargo, el grado de variabilidad natural en la virulencia de este patógeno no está definido aún.

- *Uredo eichhorniae*.

Denominado hongo de la roya, la cual se encuentra al sur de Brasil, Argentina y Uruguay, este hongo es considerado controlador clásico, característico de las regiones subtropicales a templadas en el sur de América, sin embargo, no se tienen estudios claros del ciclo de vida y de la enfermedad, actualmente es empleado como fungicida y control biológico del Jacinto de agua a largo plazo.

Actualmente, se llevan a cabo diferentes pruebas bajo condiciones controladas de microorganismos con el fin de crear bioherbicidas, enfocados a la reducción de masa del buchón de agua.

(Charudattan, 2011)

*Artrópodos:*

- El ácaro *Orthogalumna terebrantis* Wallwork.
- Las polillas *Acigona infusella* Walker y *Samoedes albiguttalis*
- El miridio *Eccritotarsus catarinensis* Carvalho

- Los gorgojos *Neochetina eichhorniae* y *Neochetina bruchi*

Las dos últimas especies nombradas fueron los agentes que mejores resultados han generado (Martínez, 2004 y Labrada, s.f.), estas se alimentan del follaje y de los pecicolos (figura 24) (Harley, s.f.).

Según Sutton, Compton, & Coetzee (2016), determinaron que la combinación de insectos con hongos patógenos para control biológico aumenta las tasas de mortalidad de las plantas hasta en un 45%, al facilitar la infección de los hongos gracias a la eliminación de biomasa de la planta por parte de los insectos. Sin embargo, algunos hongos como *Cercospora piaropi* y *Alternaria eichhorniae*, han sido estudiados por su biología, control biológico y especificidad del hospedante además de haber sido probadas en condiciones experimentales (Martínez, 2004), mostrando la capacidad de diseminarse por el mundo junto con el buchón de agua, por lo que se recomienda no ser utilizados como agentes de control (Harley, s.f.).

A partir del inventario y de acuerdo con la metodología propuesta en las Normas Internacionales para medidas fitosanitarias- NMF N° 11 de la FAO, se debe realizar una evaluación de su aplicabilidad, especificidad e identificación de riesgos e impactos para los organismos de *Neochetina eichhorniae* y *Neochetina bruchi*, seleccionados por su alta aplicabilidad y buenos resultados obtenidos en otros planes manejo para control de plagas. Según Martínez (2005), en el Manual para la cría masiva de *Neochetina spp.* Utilizado en el control biológico del lirio acuático o buchón de agua, y Muñoz y Ante (2017) definen requerimientos para el crecimiento y establecimiento exitoso de los biocontroladores según las especificaciones de cada uno, principalmente se debe tener en cuenta la temperatura la calidad de las plantas de buchón.

Tabla 13. Especificaciones biocontroladores *Neochetina*.

		
	<i>Neochetina eichhorniae</i>	<i>Neochetina bruchi</i>
N° de veces utilizado para control biológico	27 países	30 países
Lugar de origen	Argentina	Argentina
Temperatura apta (°C)	24- 28	18- 22
Resistencia a temperatura	Altas temperaturas	Bajas temperaturas (13°C)

Ciclo biológico	96- 120 días	69- 75 días
Preferencia alimentaria	Plantas jóvenes y pequeñas	Plantas maduras y grandes

Fuente: Muñoz y Ante, 2017 y Martínez, 2005

Estos biocontroladores del genero *Neochetina*, ambas especies originarias de la parte sur y central del continente americano, son especies semiacuáticas y depredadoras específicas de la familia de plantas *Ponderiaceae*, algunas de ellas pueden alimentarse de otras especies, pero no pueden cumplir su ciclo biológico (Martínez, 2014).

## 2. Análisis de adaptabilidad, riesgos e impactos *Neochetina eichhorniae*.

El análisis de adaptabilidad (establecimiento y desarrollo), riesgos e impactos para el biocontrolador seleccionado se llevó acabo de acuerdo a la Normas Internacional para medidas fitosanitarias NMF N° 11 de la FAO, las cuales son distribuidas por las Organizaciones de Protección fitosanitaria, en este caso Comunidad Andina según jurisdicción. Según la norma antes de cualquier liberación se deben analizar diferentes factores que determinen si el biocontrolador es apto y si representa algún riesgo o impacto.

Figura 25. Factores a definir análisis de adaptabilidad, riesgos e impactos



Fuente: Adaptado de Norma para medidas fitosanitarias NMF N° 11. Elaboración propia.

### 2.1 Probabilidad de establecimiento

#### a) Ciclo biológico *Neochetina eichhorniae*.

El ciclo biológico se refiere al círculo imaginario que traza un organismo, desde las estructuras reproductivas con las que inicia hasta el momento en que forma sus propias estructuras reproductivas, similares a las primeras (González, s.f.). Es importante estimar la población tanto del controlador como del enemigo, esto permitiendo identificar factores que puedan afectar la eficacia y eficiencia de control biológico; generalmente el organismo invasor (Buchón de agua) tienen ciclos biológicos más cortos que el organismo controlador (Charudattan, 2011), por lo que debe tenerse en cuenta la población a liberar del controlador, sus ciclo biológico y tiempo de duplicación (Red de especialistas en agricultura, 2016).

Ciclo biológico del buchón de agua: 7- 10 días

Ciclo biológico *Neochetina eichhorniae*: 96- 120 días

(Muñoz y Ante, 2017)

b) *Etapas del ciclo biológico.*

El ciclo biológico puede presentar variaciones dado adaptación climática, principalmente por la temperatura (Muñoz y Ante, 2017). Los promedios de tiempos a mostrar a continuación fueron tomados del Manual para la cría masiva de *Neochetina spp.* de Martínez (2005) y del estudio de condiciones realizado por Muñoz y Ante en el 2017.

Tabla 14. *Etapas del ciclo biológico de Neochetina eichhorniae.*

<b>Incubación</b>			
Duración: 7- 12 días		Temperatura promedio apta de 25°C	
Oviposición: 1- 7,3 huevos/ día			
<b>Desarrollo larval (52- 60 días)</b>			
	<b>1 Instar</b>	<b>2 Instar</b>	<b>3 Instar</b>
Duración (Días)	17	25	14
Promedio de huevos: 8,2 huevos/ Hembra- día			
<b>Etapa pupal</b>			
22 a 30 días		Temperatura apta de 25- 27 °C	
<b>Longevidad adulta</b>			
Duración promedio 112 días.			
Tienen de dos a tres generaciones por año.			

Fuente: Adaptado de Muñoz y Ante, 2017.

El crecimiento y desarrollo de *Neochetina eichhorniae*, inicia y termina en su huésped, es decir, en todo su ciclo biológico la especie se alimenta y vive del buchón. Inicialmente los huevos son dejados dentro de los pecicolas y durante los primeros 15 días de su etapa larval forma túneles en los pecicolas; en el segundo y tercer instar de su etapa larval se trasladan hacia la corona alimentándose de hojas nuevas, evitando la producción de nuevos brotes; cuando llegan a la etapa pupal se dirigen hacia la raíz; y finalmente se alimentan de las hojas y pecicolas por el resto de su vida adulta (Martínez, 2005).

2.2 *Análisis potencial de adaptabilidad y desarrollo.*

El biocontrolador más apto es el gorgojo de género *Neochetina eichhorniae*, se debe tener en cuenta diferentes condiciones como lo es la temperatura, precipitación, radiación solar y la altitud, esto ya que pueden influir en el desarrollo y establecimiento del organismo en el ambiente.

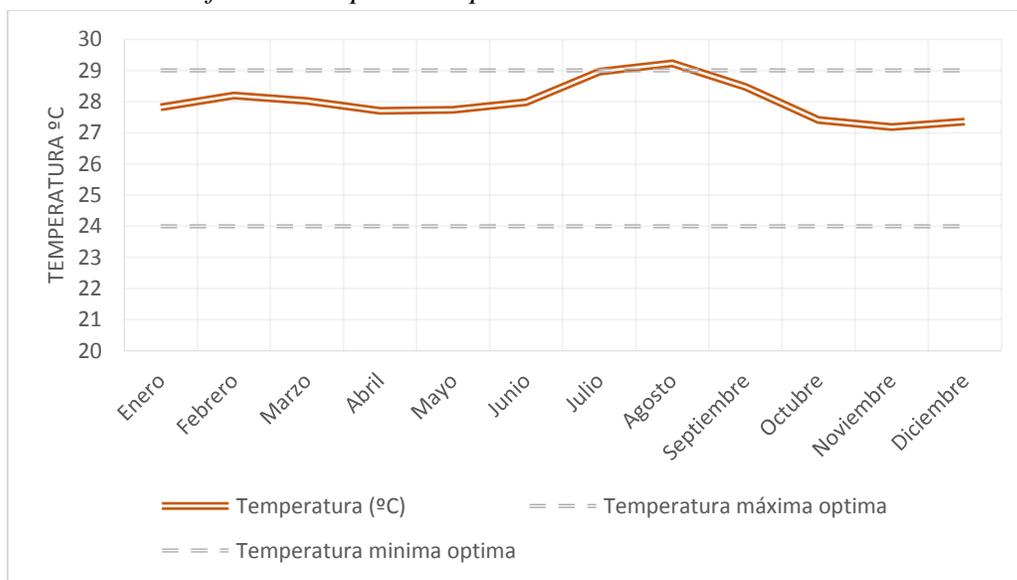
Figura 26. Biocontrolador Neochitina eichhorniae



Fuente: Getty, 2009

La temperatura, principal condición de adaptabilidad es lo suficientemente apta para este organismo, según resultados registrados por las estaciones climatológicas cercanas a la zona de estudio el área presenta una temperatura promedio de 28°C, con temperaturas máximas y mínimas registradas iguales a 27.19 °C y 29,23 °C respectivamente; el área de estudio presenta una altitud media de 176 m.s.n.m., también apto al evitar elevaciones altas y por ende temperaturas invernales más frías (Reddy, Pratt, Hopper, Cibils-Stewart, Walsh & Mc Kay, 2019).

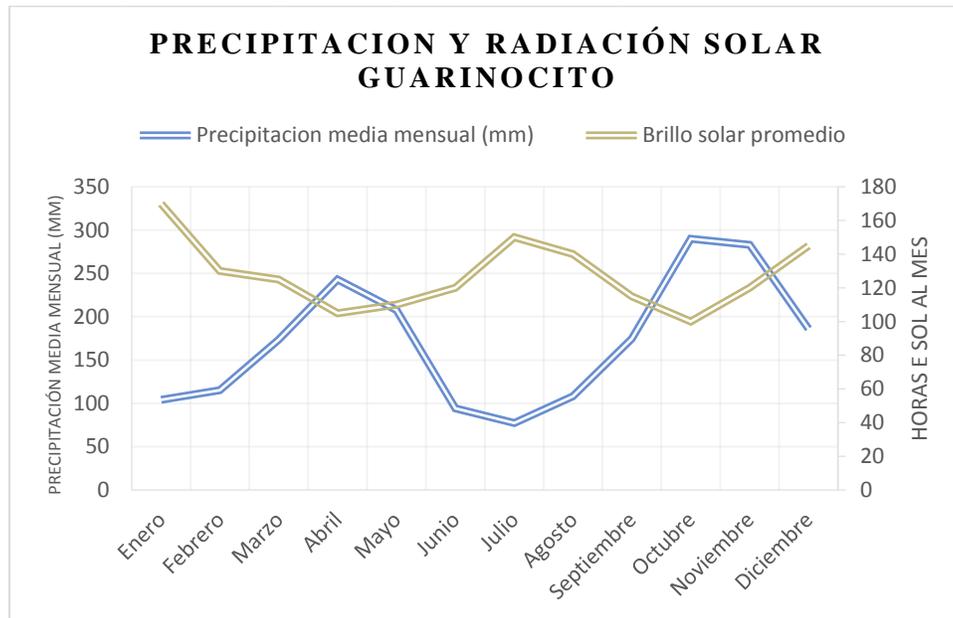
Grafica 4. Temperatura promedio mensual Guarinocito.



Fuente: Datos estaciones climatológicas Departamento de Caldas. Elaboración propia.

Condiciones como la falta de luz y el exceso de lluvias (temporadas de invierno) cooperan a la reducción de las tasas de crecimiento y reproducción del buchón, permitiendo aumentar el efecto de medidas de control y erradicación en condiciones favorables (Williams, Hecky, & Duthie, 2007) relacionadas con las variables de precipitación y radiación solar.

Grafica 5. Precipitación y radiación solar promedio Guarinocito



Fuente: Estaciones climáticas y datos Atlas climático del IDEAM, 2014. Elaboración propia

Guarinocito presenta una precipitación anual de 2000 mm/ 7000 mm (zonas con mayor precipitación anual) con registros de precipitación mínimos de 77,4 mm en el mes de julio, sin presentarse tiempos secos o sequías. Estas temporadas de sequía pueden generar deterioro sobre el buchón de agua (perdida del huésped) y reducir la población del buchón provocándoles la muerte, sin embargo, tras el tiempo seco el buchón va a buscar recuperarse de nuevo (Williams, Hecky, & Duthie, 2007) haciendo ineficiente el control biológico. La radiación solar presenta un promedio de exposición de 4- 5 horas/ 7- 8 horas (Tiempos máximos de radiación solar en el país). En la (gráfica 3) se observa la relación inversamente proporcional entre las dos variables, radiación solar y precipitación, favoreciendo el desarrollo y establecimiento de los organismos en los meses de: febrero, marzo, abril, mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre, 8 meses de 12 en los cuales se presenta mayor precipitación (máx. 290 mm/ mes) y menor radiación solar (min. 3 horas al día).

Tabla 15. Valores mensuales promedios precipitación y radiación solar de Guarinocito

	En.	Feb.	Mzo.	Abr.	My.	Jun.	Jul.	Agt.	Sept	Oct.	Nov	Dic
Precipitación (mm/ día)	3,5	3,8	5,8	8,1	6,9	3,1	2,6	3,6	5,8	9,7	9,4	6,2
Radiación solar (horas/día)	6	4	4	4	4	4	5	5	4	3	4	5

Fuente. Estaciones climatológicas IDEAM y Atlas climático IDEAM. Elaboración propia

### 3 Riesgo

Se deben identificar factores que pueden afectar el control biológico, tales como enfermedades que puede portar o adquirir antes y después de su liberación el biocontrolador (Martínez, 2004).

- *Enfermedades de Neochetina.*

En el Manual para la cría masiva de organismos de genero *Neochetina spp.* (2005), se definen y evalúan las principales enfermedades y su afectación. Los organismos pueden ser huéspedes de virus, rickettsias, hongos, bacterias y/o nematodos que causen enfermedades y reduzcan su reproducción, presentando síntomas como: mala alimentación, desarrollo larval retardado y baja fecundidad. Los principales enemigos del controlador identificados son:

<b>Microorganismo</b>	<b>Afectación evaluada por Martínez, 2005</b>
Nematodo <i>Steinernema</i>	Mortalidad del 60- 70%
Bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i>	No presento mortalidad
Hongos <i>Metarhizium anisopliae</i> y <i>Beauveria bassiana</i>	Mortalidad relevante (50%)

- *Descontaminación de biocontrolador.*

Antes de la liberación se debe realizar el proceso de cuarentena, en el que los organismos a utilizar inician un proceso de descontaminación en el que se erradican patógenos o microorganismos que puedan traer de su anterior hábitat, y que representen un riesgo para el organismo como para el entorno en el que se va a incluir, con el fin de evitar este tipo de sucesos la población que se opta por liberar es la segunda generación de los organismos en cuarentena, esta medida es definida en el documento de Directrices para la exportación, envío, importación y liberación de agentes de control biológico y otros organismos benéficos de la FAO.

### 4 Impacto

El nivel de riesgo y aceptabilidad del mismo, es de vital importancia para analizar y evaluar el posible impacto que puede generarse sobre el área a manejar, principalmente de tipo económico por perdida de cultivos, o ambiental por alteración y/o afectación del entrono o de otros individuos que habitan en la misma área (Norma internacional de medidas fitosanitarias NMF N° 11).

- Perdida de cultivos.

En el área a tratar, se identificaron zonas boscosas y grandes extensiones de pasto, más sin embargo no se han identificado cultivos cercanos de ningún tipo que pueda ser afectado. Según la comunidad aledaña y la Asociación de pescadores de Guarinocito, están prohibidas estas actividades alrededor de la charca.

- Especificidad del controlador

Analizar la especificidad y preferencia alimentaria de *Neochetina eichhorniae* permite identificar posibles hospedantes opcionales que puedan verse afectados; *Neochetina eichhorniae* presenta preferencia alimentaria según el contenido de: nitrógeno, fosforo y lignina de su huésped, presentando especificidad por las plantas de la familia *Ponderiaceae* (Martínez, 2014).

En un estudio realizado por Martínez, Franceschini & Poi (2013), acerca de la preferencia alimentaria de *Neochetina eichhorniae* en plantas acuáticas de diferente valor nutritivo, se realizaron pruebas de opción múltiple permitiendo establecer predicciones sobre la preferencia y comportamiento, cuando la abundancia y cobertura de las plantas disminuyen, encontrando alta especificidad hacia las especies de genero *Eichhornia crassipes*, la especificidad depende tanto del valor nutritivo para las plantas como de la forma o arquitectura de las hojas que proporcionen refugio a los organismos.

Tabla 16. Valor nutritivo de las especies macrófitas analizadas en las pruebas de preferencia *Neochetina eichhorniae*. L: Lignina; N: Nitrógeno; P: Fosforo.

Especies de plantas	Componentes químicos de las plantas		
	L (%)	N (%)	P (%)
<i>Eichhornia crassipes</i>	2,76	3,48	0,36
<i>Eichhornia azurea</i>	3,20	3,70	0,38
<i>Oxycaryum cubense</i>	2,14	1,79	0,20
<i>Thalia multiflora</i>	19,17	2,26	0,33
<i>Pistia stratiotes</i>	9,07	2,09	0,23
<i>Salvinia bloba</i>	15,47	1,31	0,22
<i>Ludwigia peploides</i>	2,87	3,68	0,34
<i>Nymphaea prolifera</i>	4,38	3,13	0,23

Fuente: Adaptado de Martínez, Franceschini & Poi, 2013

Según los resultados obtenidos por Martinez et. al (2013), *Neochetina eichhorniae* presenta preferencia por plantas de la familia *Ponderiaceae* que tengan buena concentración de nitrógeno, la menor cantidad de lignina y pecicolos en los que puedan colocar sus huevos. Algunas especies de plantas identificadas de la familia *Ponderiaceae* fueron (ninguna de ellas fue observada en el área de estudio- Charca de Guarinocito):

*Heteranthera limosa*



Fuente: Keith Bradley

En Colombia se registra la presencia de esta especie en zonas cercanas al río Magdalena en el municipio de Plato, Magdalena (Alcaldía de Plato, Magdalena).

*Eichhornia azurea*



Fuente: Kurt Stüber

No se encontraron registros de distribución geográfica en el país.

Los programas de control biológico y la selección del controlador deben tener repercusiones mínimas, requieren un programa de cría y distribución que permitan acelerar los beneficios del control biológico, al aumentar la dispersión natural del controlador se reduce el crecimiento, tiempo de establecimiento y la reproducción de la especie invasora. La capacidad reproductiva es de vital importancia para establecer la cantidad de insectos a liberar (Martínez, 2004), el modo de liberación de los controladores puede realizarse de manera individual o en series de lanzamientos, se pueden liberar adultos o se pueden liberar plantas cargadas de huevos (Goode, Minter, Tipping, Knowles, Valmonte, Foley y Gettys, 2019). Cualquier medida debe aplicarse en la superficie mínima necesaria para la protección eficaz del área.

Tabla 17. Potencial reproductivo de *Neochetina eichhorniae*.

<b>Potencial reproductivo</b>	
<b>Período reproductivo</b>	84,5 días
<b>Nº Huevos por hija viva</b>	83 ± 4,3 huevos/ generación
<b>Tiempo de duplicación</b>	18,6 ± 1,84 días
<b>Individuos promedio/ planta (para generar daño significativo)</b>	5,6- 7,4 individuos

Adaptado de Martínez, 2005 y Muñoz y Ante, 2017.

Los insectos con tiempo de generación más corto producen más larvas y adultos de varias generaciones en un año. La alta capacidad de puesta de huevos maximiza la población, de lo contrario se mantendrá en condiciones desfavorables (Firehun, Struik, Lantinga yTaye, 2015).

### 10.3 Resultados del objetivo específico 3

#### Objetivo 3. Plantear el plan de manejo integrado.

En este apartado se presentan los diferentes programas definidos en el Plan de Manejo Integrado para el control y minimización del buchón de agua en la Charca de Guarinocito. Los programas definidos se determinaron de acuerdo a la problemática que presenta la charca, inicialmente se debe remover el exceso de nutrientes provenientes de la Quebrada Las Burras; por consiguiente, se debe realizar remoción manual del buchón de agua en toda la charca; y finalmente se establece un programa de control biológico como medida a largo plazo para controlar la reproducción de la especie invasora mediante relaciones de competencia y parasitismo (Soto, 2012).

En los diferentes Planes de acción inmediata, la Alcaldía de La Dorada y Corpocaldas han definido presupuesto de alrededor \$4.000 millones, con el fin de desarrollar medidas relacionadas con:

- La recuperación de la base ecosistémica de la charca y su entorno
- El desarrollo del potencial aprovechable de la oferta ambiental de la charca.

Tabla 18. Ficha de Manejo Ambiental, programa N° 1 Tratamiento de aguas- Biofiltro



Objetivo	Metas
Reducir la concentración de macronutrientes vertidos por la Quebrada las Burras hacia la Charca de Guarinocito.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remover el 85% de macronutrientes</li> <li>• Disminuir la concentración de DBO, N y P</li> </ul>
Impacto a manejar	Justificación
Contaminación por carga de macronutrientes	<p>Aunque existen varios tipos de humedales construidos, los que más se adaptan a las condiciones del trópico son los de flujo subsuperficial, debido a que estos cumplen con condiciones de luz todo el año, temperaturas constantes que inciden directamente sobre la actividad microbiológica y además no padecen largas heladas ni estaciones que puedan afectar los flujos del agua y el ciclo de vida de las plantas acogidas en ellos.</p> <p>Los bifiltros de flujo sub-superficial están constituidos de un lecho vegetal filtrante el cual contribuye con la disminución de la</p>

<b>Tipo de manejo</b>	concentración de contaminantes provenientes de la Quebrada las Burras mejorando la calidad del recurso hídrico, así como su contribución en la minimización del crecimiento del buchón de agua, el biofiltro cuenta con un área de 88m2.			
Control y mitigación				
<b>ACCIONES A DESARROLLAR</b>				
Actividades y subactividades	Tiempo de ejecución	Valor unitario	Cantidad	Costo total (\$)
Remoción de masa 60 cm excavación	1 semana	18.000 m3	52.4 m3	943.200
Adquisición de grava gruesa 1/2"	1 semana	53.000 m3	52.4 m3	2.777.200
Remoción de suelo	1 semana	7.000 m3	52.4 m3	366.800
Arena	1 semana	32.000 m3	52.4 m3	1.676.800
Control y seguimiento	Primeros 6 meses	10.000.000	0	10.000.000
Monitoreo y evaluación de rendimiento del programa	Continuo 1 vez/mes			
Compra de plantas acuáticas (440 unidades)	1 mes	6.000	440	2.640.000
<b>TOTAL (\$)</b>			<b>18.404.000</b>	
<b>INDICADORES</b>				
<b>Remoción de DBO</b>	$As = \frac{Q \ln \frac{Co}{Ce}}{Kt(y)(n)}$ <p>Co=Concentración de DBO, N, P y SST en el afluente (mg/l)                      Ce=Ce: Concentración de DBO, N, P y SST en el efluente (mg/l)                      Q: Caudal (m3/d)                      n: Porosidad promedio del sistema. 0,65 a 0,75 (valores menores para vegetación densa y madura)                      y : Profundidad promedio del sistema (m)                      Kt: K20(1,06)(T-20) (Para remoción de DBO)                      As: Área superficial del humedal (m2)</p>			

<p><b>Remoción de Nitrógeno</b></p>	$As = \frac{Q \ln \frac{Co}{Ce}}{Kt(y)(n)}$ <p>Co=Concentración de DBO, N, P y SST en el afluente (mg/l)                  Ce=Ce: Concentración de DBO, N, P y SST en el efluente (mg/l)                  Q: Caudal (m3/d)                  n: Porosidad promedio del sistema. 0,65 a 0,75 (valores menores para vegetación densa y madura)                  y : Profundidad promedio del sistema (m)                  Kt: KNH (1,048) (T-20) (Para remoción de Nitrógeno)                  As: Área superficial del humedal (m2)</p>
<p><b>Remoción de Fósforo</b></p>	$As = \frac{(b)(Q) \ln \frac{Co}{Ce}}{Kp}$ <p>Co=Concentración de DBO, N, P y SST en el afluente (mg/l)                  Ce=Ce: Concentración de DBO, N, P y SST en el efluente (mg/l)                  Q: Caudal (m3/d)                  b: Factor de conversión 100 cm/m                  Kp: Constante de primer orden (2,74 cm/d)                  As: Área superficial del humedal (m2)</p>
<p><b>Remoción de Solidos Totales</b></p>	$Ce = Co(0.1085 + 0.0014 * (CH))$ <p>Co=Concentración de DBO, N, P y SST en el afluente (mg/l)                  Ce=Ce: Concentración de DBO, N, P y SST en el efluente (mg/l)                  CH: Carga Hidráulica (cm/d)                  As: Área superficial del humedal (m2)</p>
<p><b>Parámetros Fisicoquímicos</b></p>	$\frac{\text{Número de parámetros aceptables}}{\text{Número total de parámetros medidos}} * 100 = \% \text{ parámetros aceptables}$

Recursos		Área de ejecución
Equipos	Personal	88 m2
Excavadora	1 Ingeniero	<b>Periodo de ejecución</b>
Herramientas de construcción (Palas, picas)	2 Maestro de obras y 6 obreros	
Carretillas		1 año

Fuente: Autores, 2019

Tabla 19. Ficha de Manejo Ambiental, programa N° 2 Control de crecimiento Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*)



Objetivo	Metas
Reducir y controlar el crecimiento del buchón de agua mediante relaciones de competencia y parasitismo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remover manualmente el 85% del buchón de agua.</li> <li>• Controlar el crecimiento del buchón de agua del 22% del área con mayor infestación.</li> </ul>
Impacto a manejar	Justificación
Crecimiento invasivo y descontrolado del buchón de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> )	<p>El buchón de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) como especie invasora en la Charca de Guarinocito presenta crecimiento excesivo y descontrolado, al no tener relaciones de competencia por recursos con otras plantas acuáticas, ni tener ningún tipo de depredador natural que controle y reduzca su crecimiento.</p> <p>Actualmente, de las 74 Ha de espejo de agua se encuentra un área de 17 Ha (22%) con infestación severa. Antes de iniciar el control biológico se debe remover el buchón de agua, ya que los biocontroladores no eliminan la maleza hasta matarla, pero si controla e inhibe su crecimiento al ser depredadas y parasitadas. El control biológico es una medida de largo plazo, por lo menos se deben realizar programas de 3 años, y se debe iniciar en áreas donde la población de buchón de agua no se disperse en por lo menos dos meses, no se empleen herbicidas o utilicen maquinaria tales como cosechadoras o</p>

<b>Tipo de manejo</b>	trituradoras (Martínez, 2005); en este caso las condiciones son aptas para control biológico con el gorgojo <i>Neochetina eichhorniae</i> , (objetivo 2); adicional al biocontrolador se deben sembrar plantas acuáticas características de humedales, diversificando el hábitat, creando relaciones de competencia entre ellas y el mismo buchón (Ortega, 2019), colaborando con la producción primaria y regulación de la calidad del agua (Humedales Bogotá), algunas de las plantas a sembrar son: Junco ( <i>Eleocharis palustris</i> ) y sombrilla de agua ( <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> ). El buchón de agua removido será dispuesto como materia orgánica para generar compostaje y abonar las plantas o el suelo.				
Control y mitigación					
<b>ACCIONES A DESARROLLAR</b>					
Actividades y subactividades	Tiempo de ejecución	1 año	2 año	3 año	Costo total (\$)
Remoción manual del buchón de agua y disposición	1 mes	8.000.000	0	0	8.000.000
Laboratorio de cuarentena y cría masiva	3 meses	89.912.000	1.500.000	1.800.000	93.212.000
Transporte de biocontrolador	1 semana	300.000	0	0	300.000
Cría y liberación de biocontroladores	7 meses	51.800.000	88.800.000	102.000.000	242.600.000
Control y seguimiento de establecimiento de biocontrolador	Primeros 3 meses				
Monitoreo y evaluación de rendimiento del programa	Continuo 1 vez/mes				
Compra de plantas acuáticas (350 unidades)	1 mes	2.500.000	0	0	2.500.000
<b>TOTAL (\$)</b>			<b>346.612.000</b>		

<b>INDICADORES</b>		
<b>Porcentaje de establecimiento</b>	$= \frac{NIPn}{NIPo} * 100$ <p>NIPn: Número de insectos encontrados por planta. NIPo: Número de insectos proyectados por planta.</p> <p>En promedio se deben proyectar de 5 a 7 insectos por planta.</p> $= \frac{N^{\circ} \text{ de insectos}}{\text{Parcela (m}^2\text{)}}$	
<b>Evaluación de biomasa y densidad de las plantas</b>	<p>- Porcentaje reducción de biomasa</p> $= \frac{PPn(\text{kg}) - PPO(\text{kg})}{PPO(\text{kg})} * 100$ <p>PPo: Peso plantas inicial/ parcela PPn: Peso plantas final/ parcela</p> <p>- Densidad de maleza</p> $= \frac{N^{\circ} \text{ de plantas}}{\text{Área (m}^2\text{)}}$ <p>El área corresponderá a la definida para las parcelas.</p> <p>- Crecimiento de planta y reproducción</p> <p>Nº de hojas/ plantas Tamaño de la planta (altura en cm)</p>	
<b>Evaluación de cobertura</b>	$= \frac{\text{Área invadida actual (Ha)}}{\text{Área invadida inicial (Ha)}} * 100$	
<b>Recursos</b>		<b>Área de ejecución</b>
<b>Equipos</b>	<b>Personal</b>	17 Ha
Laboratorio de cuarentena 2 Trampa de luz 1 Autoclave o incinerador Tinas de plástico	1 Ecólogo o biólogo 1 Ingeniero 1 Auxiliar de laboratorio 1 Maestro de obras y 6 obreros	<b>Periodo de ejecución</b>
		3 años

Fuente: Autores, 2019

## 11. Análisis de resultados

En el presente capítulo se desarrolla el análisis de resultados relacionado e integrado con cada uno de los objetivos y su metodología, mostrando su complemento para desarrollar el objetivo general de proponer un Plan de manejo integrado para reducción y control del crecimiento de buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), a través de programas definidos a partir de las condiciones del área a intervenir, en este caso la Charca de Guarinocito.

Inicialmente se realizó el levantamiento de información primaria y secundaria, en la que se encontraron varias divergencias, esto dado que mucha de la información secundaria encontrada era la misma y estaba desactualizada, sin embargo, en la salida de campo realizada y gracias a la cooperación de los habitantes, principalmente de los pescadores de Guarinocito, pudimos realizar un levantamiento de información primaria mediante un recorrido a la zona de estudio y la toma de muestras de agua para posterior análisis, logrando generar una caracterización actual del sitio. Durante la visita de campo se ubicaron y referenciaron los diferentes vertimientos identificando como principal vertimiento la Quebrada Las Burras; en la zona más alejada a la quebrada hasta el caño de conexión con el Río Magdalena, se encontró una infestación excesiva de buchón de agua, el área afectada corresponde a 17 hectáreas, equivalentes al 22% de la charca, esto sin adicionar las orillas de la charca las cuales también son invadidas. Actualmente los pescadores con ayuda de la Corporación Autónoma Regional de Caldas- CORPOCALDAS, realizan mantenimiento (remoción manual del buchón) únicamente a las 57 hectáreas más cercanas a las zonas recreativas, mientras que las otras 17 hectáreas son aisladas por una “barrera” de bambú, evitando que la excesiva infestación se proliferara de manera rápida hacia la zona productiva, destinada al turismo y a la pesca.

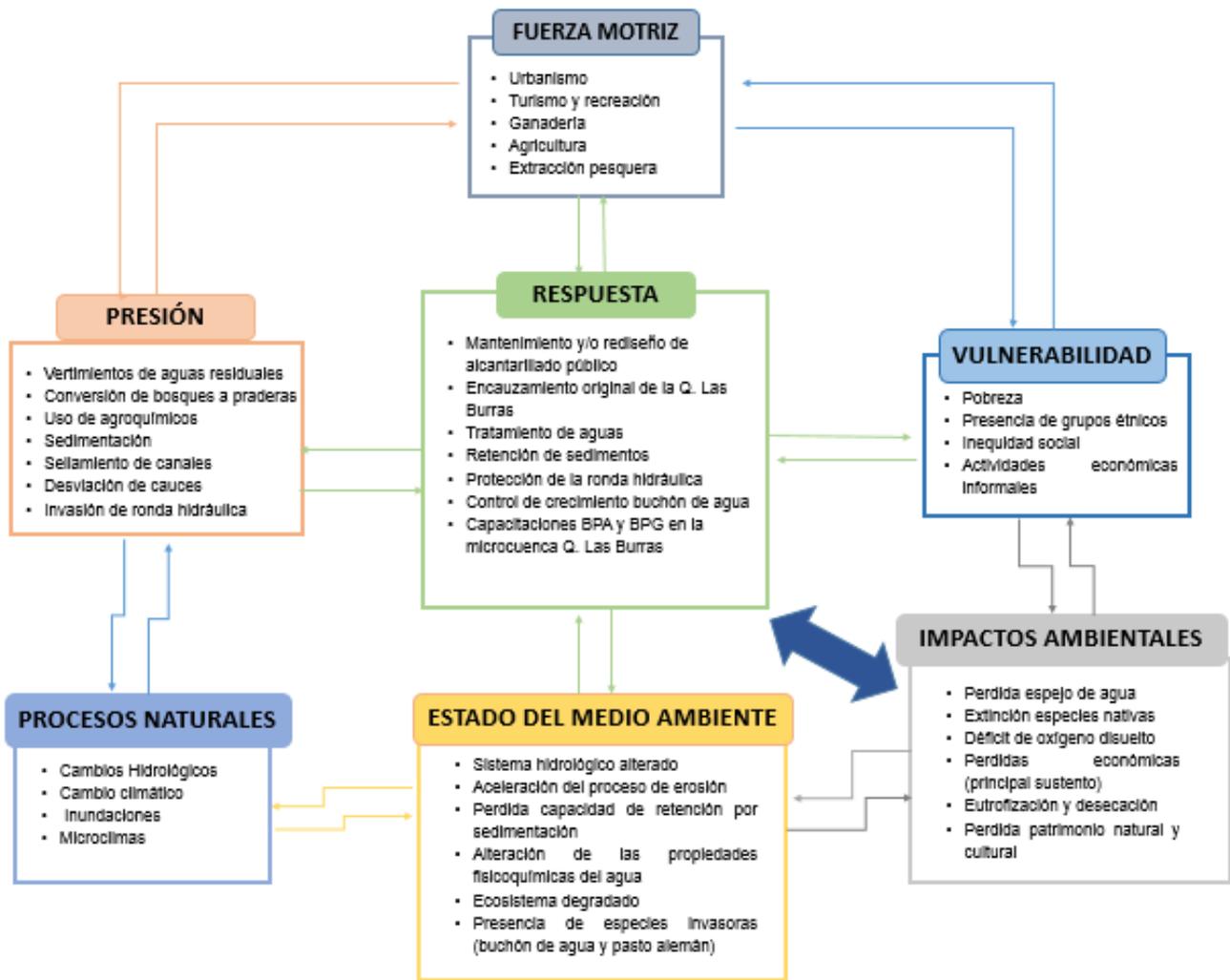
Frente a la problemática no se presentan pérdidas económicas para el turismo ya que según pescadores de la zona los turistas no realizan recorridos hasta el otro lado de la charca (área invadida) por la lejanía; más sin embargo para los pescadores si se generan pérdidas económicas dada que las 17 hectáreas invadidas, son innavegables y los peces no cuentan con un hábitat apto para su crecimiento y reproducción.

Pese a que únicamente se identificaron actividades de turismo y pesca alrededor de la Charca (ronda hídrica), la quebrada Las Burras, durante todo su trayecto transporta contaminantes producto de agricultura, ganadería y aguas residuales domésticas, transportando excesiva carga orgánica a la charca, principalmente fósforo y nitrógeno, adicionándose a la alta carga de sedimentos que llega al cuerpo de agua producto de su suelo y geología, al ser un depósito aluvial con presencia de gravas y arenas principalmente.

La charca de Guarinocito es un cuerpo de agua eutrófico, excesiva carga de materia orgánica de manera natural (Roldán y Ramírez, 2008), más sin embargo se ha acelerado el proceso de eutrofización producto de las diferentes actividades antrópicas; de acuerdo a la Política Nacional para Humedales interiores de Colombia (2001), se busca la conservación de humedales, como ecosistemas estratégicos dados los servicios ecosistémicos que brinda a diferentes especies, entre ellas la especie humana.

A continuación, se muestra el Modelo de FPEIR (Fuerza, Presión, Estado, Impacto y Respuesta) en la que se resume y relacionan las medidas tomadas a partir del diagnóstico y caracterización realizada inicialmente.

Figura 27. Modelo FPEIR (Fuerza, Presión, Estado, Impacto y Respuesta)



Fuente: Autores, 2019

Teniendo en cuenta el modelo FPEIR, se seleccionaron como respuestas a desarrollar en pro de reducir y controlar el buchón de agua, el tratamiento de aguas residuales y control biológico del buchón de agua, presentados en dos programas; la selección de estas iniciativas se da de manera conjunta ya que aumenta la eficacia del plan integrado, básicamente la una depende de la otra.

Inicialmente, se debe reducir el exceso de nitrógeno y fósforo presente en el cuerpo de agua evitando que estos queden libres, permitiendo que durante la etapa de crecimiento de la planta sean tomados, absorbidos e incorporados en su estructura a través de las raíces facilitando su crecimiento (Martelo y Borrero, 2012), por lo que se presenta el *Programa N° 1 Tratamiento de aguas Biofiltro*, planteando el diseño de un biofiltro en el que se emplean sistemas acuáticos buscando remover cerca del 80% de macronutrientes.

Por consiguiente, se presenta el *Programa N° 2. Control de crecimiento buchón de agua (Eichhornia crassipes)*, como medida de largo plazo (3 años). El buchón de agua presente en Guarinocito no presenta ningún tipo de depredador y o competencia que limite y reduzca su crecimiento (Martínez, 2005), el control biológico a realizar con el gorgojo *Neochetina eichhorniae*, mostro según el objetivo 2 alto potencial establecimiento y adaptación en el ambiente, esto teniendo en cuenta las condiciones ambientales y climáticas, además del impacto que se pueda generar al provocar afectaciones sobre otras plantas. Adicionalmente se busca insertar otras especies de plantas que generen competencia entre ellas por los recursos, estas plantas fueron seleccionadas teniendo en cuenta que no deben tener morfología apta (pecicolos), ni que tengan altos índices de especificidad, evitando la invasión de estas por parte del biocontrolador.

La charca cuenta con un caño de conexión con el Río Magdalena, actualmente se encuentra abierto permitiendo el intercambio de aguas entre ambos cuerpos, los encargados de realizar el mantenimiento del caño son los pescadores, quienes se encargan de limpiar y despejar el paso del agua el cual es interrumpido por ramas, otros residuos y sedimentos producto de la alta carga orgánica del Río Magdalena; la Corporación Autónoma Regional de Caldas- CORPOCALDAS no tiene ningún tipo de participación frente a esta actividad.

## 12. Conclusiones

Es importante concluir el cumplimiento del objetivo general al realizar la caracterización, formulación y evaluación de la charca de Guarinocito así como de la formulación de dos programas los cuales están enfocados en el control y minimización del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*).

Lo propuesto en el presente documento es un aporte como punto de partida para la formulación, establecimiento o inicio de nuevas propuestas así como de la continuación con los establecidos en el documento por los autores, con el fin de restaurar, conservar y recuperar el ecosistema y las actividades económicas enfocados en mejorar la calidad de vida de la población que considera este ecosistema como patrimonio cultural y de gran importancia.

Inicialmente en la caracterización del estado de la charca de Guarinocito se evidencio una alteración del proceso de eutrofización en la charca de Guarinocito, esto relacionado por las actividades antrópicas las cuales causan una presión sobre el ecosistema generando impactos económicos, ecológicos y sociales tales como: afectación a la actividad pesquera, pérdida de hábitat para especies de flora y fauna, extinción de especies nativas y afectación a la comunidad por pérdida de actividad pesquera.

A partir de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados se determinó que la afectación o la contaminación de la charca de Guarinocito es producto de la concentración excesiva de macronutrientes nitrógeno (N) y fósforo (P), los cuales intervienen en otros parámetros como la conductividad eléctrica, pH y la DBO, así como contribuyen al crecimiento de macrófitas tales como el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), considerada especie invasoras, adicionalmente a estos parámetros fisicoquímicos cabe resaltar que la naturaleza del terreno al corresponder a una formación de planicie aluvial presenta alta carga de sedimentos ocasionando pérdida de capacidad a la charca de Guarinocito. Pese a que la charca de Guarinocito es declarada un área de manejo integrado se presenta diferentes afectaciones sobre el territorio principalmente sobre las microcuencas que lo rodean, dentro de la ronda hídrica de la charca se identificaron actividades económicas como pesca y turismo, sin embargo de manera adicional a estas actividades, en el municipio se llevan a cabo también la agricultura y ganadería alrededor del área de estudio las cuales no presentan control de vertimientos, lo que genera vertimientos en la charca de Guarinocito aumentando la concentración de macronutrientes y por consiguiente afectando la calidad del agua, alterando diferentes funciones propias del ecosistema.

Por ultimo las medidas propuestas para la mitigación y control de crecimiento del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), en la charca de Guarinocito, van enfocadas a prevenir, mitigar, controlar y corregir las principales causas que afectan calidad del agua y el desbalance ecológico; ambas propuestas fueron presentadas de acuerdo a la política nacional de humedales en pro de conservar, recuperar y restaurar estos ecosistemas los cuales proveen importantes servicios ecosistémicos.

Finalmente los biofiltros y los biocontroladores fueron seleccionados de acuerdo a las condiciones ambientales y climatológicas de la zona, buscando asegurar el rendimiento la eficiencia, eficacia y funcionamiento de estas dos alternativas con el fin de minimizar y controlar el buchón de agua

(*Eichhornia crassipes*), así como de mejorar la calidad del recurso hídrico, buscando evitar impactos o modificaciones significativas en el ecosistemas y sus componentes.

### 13. Recomendaciones

Las recomendaciones están dirigidas a entidades públicas como: corporación autónoma de caldas, alcaldía de la dorada caldas y la gobernación así como otras instituciones a nivel nacional, entidades privadas, así como a instituciones las cuales muestren interés en preservar y conservar los ecosistemas estratégicos del país.

- Se recomienda la realización de capacitaciones o asesorías enfocadas a buenas prácticas agrícolas y ganaderas, dadas las actividades económicas del municipio, programas de reforestación y protección de las rondas hídricas de las microcuencas, evitando la excesiva erosión de suelos y el aumento de carga de sedimentos.
- Dado los niveles de sedimentación expuestos en el estudio barométrico es recomendable realizar una revisión y propuesta de estructuras, taludes, desarenadores entre otras, las cuales contribuyan a la disminución de arrastre de sedimentación de la Quebrada las Burras hasta el cuerpo de agua, lo cual evite la pérdida de profundidad en el ecosistema.
- Es importante realizar un análisis fisicoquímico y microbiológico periódicamente una vez sea implementado el proyecto debido a que esto permitirá tener una visión más clara frente a las concentraciones de cada uno de los macronutrientes, realizando un análisis luego de ser implementado el Plan de Manejo Integrado para conocer y calcular los porcentajes de remoción de cada contaminante y a su vez realizar una estimación de la eficiencia y eficacia del biofiltro y los biocontroladores.
- Se recomienda que al momento de la implementación del biofiltro se realice una caracterización base para la determinación y verificación de los cálculos así como de las dimensiones establecidas para el biofiltro.
- Es pertinente buscar la participación de entidades gubernamentales y privadas para la conservación, preservación y restauración de la charca de Guarinocito siendo actividad económica para el corregimiento de Guarinocito, esto con el fin de generar trabajos más estructurados y la unificación de normatividad, revisión de un rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR debido a la falta de capacidad observada y deficiencia en los tratamientos.
- Es importante la búsqueda de técnicas de aprovechamiento para el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), esto con el fin de aprovechar sus capacidades para producción de nuevas materias o como alternativas para la absorción de metales pesados o derrames o su tasa de crecimiento exponencial entre otras.
- Finalmente se recomienda un estudio en campo sobre el cierre por diferencias de altura del Caño de conexión fluvial entre la Charca de Guarinocito y el Rio Magdalena esto con el fin de evaluar las condiciones de flujo de agua como la calidad de las mismas, teniendo una actualización de

**información la cual permita una mejor toma de decisiones así como la propuesta de proyectos en pro del cuidado, restauración y conservación de los ecosistemas.**

## 14. Referencias bibliográficas

- Acosta- Arce, Luis y Agüero- Alvarado, Renan. Información técnica. Malezas acuáticas como componente del ecosistema. Agronomía mesoamericana ISSN: 1027- 744
- Alcaldía de Plato Magdalena, Ecología. Tomado de: <http://www.platomagdalena.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Ecologia.aspx>
- Aponte Ubillús, H. (2009). El junco: clasificación, biología y gestión.
- Arango, F. (11 de enero de 2018). La Charca de Guarinocito, espejo del Magdalena Medio. La patria.
- Arturo, L. H. (1988). Diseño Básico de Acueductos y Alcantarillados. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Atlas de Histología Vegetal y Animal. (2018). Órganos Vegetales. Raíz. Departamento de biología Funcional y Ciencias de la Salud. Facultad de biología. Universidad de Vigo, España. Recuperado de: <https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/o-imagenes-grandes/raiz-primaria-m.php>
- Balcorta, C. C., & Arenas, R. G. (2001). Eutrofización abundancia que mata. México: Colegio de Ingenieros Ambientales. Obtenido de <http://www.ciceana.org.mx/>
- Balvanera, P. y Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. Gaceta Ecológica. Fecha de consulta: 18 de abril de 2019. Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908502>> ISSN 1405-2849
- Baptiste M.P., Castaño N., Cárdenas D., Gutiérrez F. P., Gil D.L. y Lasso C.A. (eds). 2010. Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 200 p.
- Bustamante, S. 2010. Modelado de especies invasoras, caso de estudio: pérdida del espejo de agua en la laguna de Fúquene por invasión del buchón (*Eichhornia crassipes*). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería. Bogota D.C., Colombia.
- Cabello, T. 2006. Tema 11. Exploración e importación de agentes de control biológico. EPS/ Universidad de Almeria- UAL. Almeria, España.
- Calvo, M. S. (1999). Aguas Residuales: Tratamiento por humedales artificiales. Ediciones Mundi-prensa.
- Camacho-Valdez, V. E. R. A., & Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. Revista Bio Ciencias, 1(4).

- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Serie técnica, Informe técnico, 384.
- Castañeda, G. P. (2012). Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque la florida, por fitorremediación usando buchón de agua. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Charudattan, R. 2011. Biological Control of Water Hyacinth by Using Pathogens: Opportunities, Challenges, and Recent Developments. Center for Aquatic and Invasive Plants, Plant Pathology Department, University of Florida, Gainesville, FL 32611- 0680, USA.
- Conley, D. J., Paerl, H. W., Howarth, R. W., Boesch, D. F., Seitzinger, S. P., Havens, K. E., ... & Likens, G. E. (2009). Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus.
- Corpocaldas y Corporación Aldea Global. (2008). Plan de acción inmediato: Cuenca del río Guarinó y Charca de Guarinocito. Manizales.
- Corpocaldas, C. a. (2009). Diagnóstico socio ambiental cuenca del Río Guarinó. Manizales: Dimensión Socioeconómica POMA Cuenca del río Guarinó.
- Corpocaldas, C. a. (2010). Ecosistemas de humedales. La Dorada, Caldas, Colombia.
- Corporación autónoma regional de Caldas- CORPOCALDAS y Corporación Autónoma regional de Tolima- CORTOLIMA. (2009). Plan de acción inmediato- PAI: Cuenca de río Guarinó y Charca de Guarinocito- Avances 2009. Programa de desarrollo para la Paz del Magdalena Centro-PDMC. Consultado el 03 de Febrero de 2019, tomado de: <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/962/5%20-%20Plegable%20-%20PAI%20-%20Cuenca%20Rio%20Guarino%20y%20Charca%20Guarinocito.pdf>
- Corporación autónoma regional de Caldas- CORPOCALDAS. (2004). Plan de acción trienal- PAT 2004-2006. Manizales, Colombia.
- Corporación autónoma regional de Caldas- Corpocaldas. (2009). Plan de ordenación y manejo ambiental cuenca del Río Guarinó. Manizales.
- Corporación autónoma regional de Caldas- CORPOCALDAS. (2011). Plan de acción 2007- 2012. Manizales, Colombia.
- Corporación autónoma regional de Caldas- CORPOCALDAS. (S.f.). Plan de acción 2013- 2015. Corporación autónoma regional de Caldas. Gestión ambiental para el desarrollo sostenible. Consultado el 02 de Febrero, 2019, tomado de: <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/331/PlanAccion2013-2015-VerDef-Web.pdf>

- Corporación autónoma regional de Caldas- CORPOCALDAS. (S.f.). Plan de acción institucional 2016-2019. Actualización del diagnóstico ambiental de Caldas. Corporación autónoma regional de Caldas. Consultado el 02 de Febrero, 2019, tomado de: <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/331/2016-2019/06-16/ActualizacionDiagnosticoPA-Web.pdf>
- Corporación autónoma regional de Caldas- CORPOCALDAS. (S.f.). Plan de acción institucional 2016-2019. Acciones operativas. Corporación autónoma regional de Caldas. Consultado el 02 de febrero, 2019, tomado de: <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/331/2016-2019/06-16/AccionesOperativasPA-Web.pdf>
- De Anda, José, y Maniak, Ulrich. (2007). Alteraciones del régimen hidrológico y sus efectos en el fósforo y los fosfatos en el lago de Chapala, México. *Interciencia*, 32 (2), 100-107. Consultado el 27 de enero de 2019, de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007000200007&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200007&lng=en&tlng=en).
- Díaz, Carlos. (2003). Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas Capítulo 20: Indicadores de contaminación fecal en aguas. Red iberoamericana de Potabilización y Depuración del agua. RIPDA- CYTED.
- Dickson. (1980). *Química enfoque ecologico*. México: LIMUSA S.A.
- Doña, C., Caselles, V., Sánchez, J., Ferril, A., & Camacho, A. (2011). *Herramienta para el estudio del estado de Eutrofización*. Valencia: Asociación Española de Teledetección.
- Dorada Estéreo. (25 de mayo de 2016). La charca de Guarinocito amenazada por una serie de algas y caracoles. La Dorada, Caldas, Colombia
- Eckert, Cristopher; Dorken, Marcel y Barrett, Spencer. 2016. Ecological and evolutionary consequences of sexual and clonal reproduction in aquatic plants. *Aquatic Botany*. Volumen 135. Pages: 46-61.
- Empresa Pública de Medellín- EPM. (2011). Control del Buchón de agua. *Epimestamos aqui*, 1-2.
- Epa, R. B. (1998). *Handbook of constructed wetlands*.
- Evans, H.C. y Reeder, R.H. 1996. Fungi associated with *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) in the upper Amazon Basin and prospects for their use in biological control. Australian Centre for International Agricultural Research Canberra 2001. ISBN. 1 86320 320 6.

- FAO,2004. Análisis de riesgo de plagas para plagas cuarentenarias, incluido el análisis de riesgos ambientales y organismos vivos modificados. Normas Internacionales para medidas fitosanitarias- NMF N° 11.
- Firehun, Y., Struik, P. C., Lantinga, E. A., & Taye, T. (2015). Adaptability of two weevils (*Neochetina bruchi* and *Neochetina eichhorniae*) with potential to control water hyacinth in the Rift Valley of Ethiopia. *Crop Protection*, 76, 75-82.
- Fontúrbel Rada, Francisco. (2005). Physicochemical and biological indicators of the eutrophication process at Titikaka Lake (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1-2), 135-141. Retrieved February 02, 2019, from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162005000100018&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162005000100018&lng=en&tlng=en).
- Fontúrbel, Francisco E., & Castaño-Villa, Gabriel J. (2011). Relationships between nutrient enrichment and the phytoplankton community at an andean oligotrophic lake: a multivariate assessment. *Ecología Aplicada*, 10(2), 75-81. Retrieved February 02, 2019, from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162011000200003&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162011000200003&lng=en&tlng=en).
- Freire Moran, Ninoschka Denisse. (2009). Demanda bioquímica de oxígeno. Proyecto de investigación Calidad del agua. Consultado el 11 de febrero de 2019, tomado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6165>
- Fundación del agua- AQUAE. (S.f.). Madre vieja. Madrid, España.
- Fundación Humedales Bogotá. (2012). Humedales Bogotá. Obtenido de <http://humedalesbogota.com/2012/08/01/plantas-acuaticas-en-loshumedales-de-bogota/>
- Gallo-Sánchez, Lina Juliana, Flórez-Molina, María Teresa, y Parra-Sánchez, Luis Norberto. (2014). Reconstrucción de las concentraciones de materia orgánica y nutrientes mediante espectrometría y análisis de diatomeas en tres reservorios en Antioquia, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38 (149), 409-417. Consultado el 26 de enero de 2019, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082014000400007&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082014000400007&lng=en&tlng=en).
- Garcia, J. y Corzo, A. (2009). Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Cataluña.
- Garzón, Y. A. (2012). Planta de tratamiento de aguas residuales de Guarinocito. Caldas.

- González, Carlos. Diversos ciclos biológicos. Laboratorio de botánica del Colegio Nacional de Buenos Aires- CNBA. Argentina, Buenos Aires.
- González, D. P., Fonseca, F. A., Niño, G. R., & Ruiz., L. C. (2006). Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames. Bogotá: ingeniería e investigación.
- González, Lourdes. (2013). Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. Consultado el 16 de febrero de 2018.
- Goode, A. B., Minter, C. R., Tipping, P. W., Knowles, B. K., Valmonte, R. J., Foley, J. R., & Gettys, L. A. (2019). Small-scale dispersal of a biological control agent—Implications for more effective releases. *Biological Control*.
- Guzzy, Teresa. 1989. Técnicas para el control de las malezas acuáticas. Dirección general de prevención y control de la contaminación ambiental. México.
- Harker, M. A. (2016). Humedales construidos: Una alternativa para recuperar funciones ecológicas de los humedales naturales de Bogotá. Bogotá: Universidad Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Harley, K.L.S. Capítulo 6: Malezas acuáticas- *Eichhornia crassipes*. FAO. Tomado de : <http://www.fao.org/3/T1147S/t1147s0a.htm>
- Hernández, Sampieri; Fernández Collado y Baptista Lucio. (2006). Metodología de la investigación. Ed. Mc- Graw Hill. México. ISBN. 970- 10- 5753-8
- Hernández, Santiago. 1995. Ecología para ingenieros. El impacto ambiental. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. ISBN: 84- 380-0098-3.
- Higueta, F. B. (2009). Humedales Artificiales y su potencial aplicación en el contexto regional. Editorial universitaria de la costa
- IDEAM Y Cormagdalena. 2001. Estudio ambiental de la Cuenca Magdalena- Cauca y elementos para su Ordenamiento Territorial. Convenio 003 de 1999 Acuerdo IDEAM- Cormagdalena.
- IDEAM. (2006). Fósforo total en agua por digestión acida, método del ácido ascórbico.
- Jennings, Terry. 1985. Vida acuática en agua dulce. Oxford University Press. ISBN. 84- 348- 2240- 7
- Johnston, C. 1991. Sediment and nutrient retention by freshwater wetlands: effects on surface water quality. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 21:491-565

- Julien, M.H., Hill, M.P., Center, T.D. and Ding Jianqing, ed. 2001. Biological and Integrated Control of Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*. Proceedings of the Second Meeting of the Global Working Group for the Biological and Integrated Control of Water Hyacinth, Beijing, China, 9–12 October 2000. ACIAR Proceedings No. 102, 152p. ISBN 1 86320 320 6 (electronic).
- Koutika, L.; Rainey, H.J. (2015). A review of the invasive, biological and beneficial characteristics of aquatic species *Eichhornia Crassipes* and *Salvinia Molesta*. Applied ecology and environmental research. ISSN 1785 0037 DOI: 10.15666/aer/1301\_263275 2015, ALÖKI Kft., Budapest, Hungary
- Lara, J. (1999). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales. Cataluña
- Lattera, P., Jobbágy, E. G., & Paruelo, J. M. (2011). Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Capítulo 11. Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. (No. P01 INTA 18477). INTA.
- Lenntech European Head Office. (2018). Parámetros Físicoquímicos. Obtenido de Lenntech: <https://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.html>
- Maier, R.; Pepper, I. Y Gerba, C. 2000. Environmental microbiology. Academic Press. California, Estados Unidos. ISBN. 0-12- 497570-4
- Manual para el manejo de malezas. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura- FAO.
- Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. ISBN. 978- 84- 282- 0714-0.
- Martelo, J., & Borrero, J. A. L. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. Ingeniería y ciencia, 8(15), 221-243.
- Martelo, Jorge y Lara Jaime. 2012. Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revision del estado del arte. Ingeniería y ciencia. ISSN 1794- 9163. Vol 8, pp. 225
- Martínez, F. S., Franceschini, M. C., & Poi, A. S. G. (2013). Preferencia alimentaria de *Neochetina eichhorniae* (Coleoptera: Curculionidae) en plantas acuáticas de diferente valor nutritivo.
- Martínez, Maricela. 2005. Manual para la cría masiva de *Neochetina* spp. Utilizado en el control biológico del lirio acuático. Coordinación de tratamiento y calidad del agua. México. ISBN. 968-5536- 45-7

- Martínez, Mariela. 2004. Progresos en el manejo del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO.Roma, Italia.
- Martínez-Morales, Oscar, Estrada-Venegas, Edith G., Equihua-Martínez, Armando, & Valdez-Carrasco, Jorge. (2014). Morfología de *Neochetina eichhorniae* (Warner) (Coleoptera: Curculionidae). Acta zoológica mexicana, 30(2), 247-267. Recuperado en 24 de marzo de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0065-17372014000200001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372014000200001&lng=es&tlng=es).
- Maskew, G., Geyer, j., & Okun, D. (2013). Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. México: LIMUSA
- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá: MPS y MAVDT, 2007. (Resolución 2115 de 2007).
- Miranda, R., pablo, G. J., Laura, G., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. Bogotá: Universidad Manuela Beltrán.
- Muñoz, A. P. (2012). Uso del Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) por la comunidad aviar de humedales del valle geográfico del río Cauca, Colombia. Santiago de Cali: Universidad del valle.
- Muñoz, Diana y Ante, Liceth. 2017. Estandarización de un protocolo in vitro para el control biológico de *Eichhornia crassipes* con *Neochetina* (Coleoptera)
- Norma Técnica Colombiana ISO 5667-1. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo, Colombia, 10 de mayo de 1995.
- Norma Técnica Colombiana ISO 5667-2. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo, Colombia, 21 de junio de 1995.
- Norma Técnica Colombiana ISO 5667-3. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras, Colombia, 03 de noviembre de 2004.
- Normas internacionales para medidas fitosanitarias 2009 NMF N° 5. Producido por la secretaria de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria.
- Olivares, V. (2009). Gestión Sostenible de humedales. Revista de Geografía Norte Grande, 2.

- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable. Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- Ortega, Darwin. (2019). Director proyecto ECO Parque de la Sabana de Jaime Duque. Ocancipá, Colombia.
- Pedraza, G. X. (1994). Reciclaje del efluente de origen animal con tres especies de plantas acuáticas. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) AA20591 Cali, Colombia.
- Pérez, J. (8 de 10 de 2014). Tratamiento de aguas. Obtenido de [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/6/45\\_-\\_5\\_Capi\\_4.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/6/45_-_5_Capi_4.pdf)
- Pérez, J.; García, G. y Esparza, F. (2002). Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Cinvestav. Avance y perspectiva vol.21.
- Programa desarrollo para la paz del Magdalena Centro. IRMAC La Dorada, Caldas. Tomado de: <http://pdpmagdalenacentro.org/pagina2017/sistema-de-informacion-irmac-la-dorada/>
- Quintero Ricardo. 2015. Revista del Grupo de Investigación en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Corpocaldas (GIRNMAC). IX Concurso de fotografía ambiental. Categoría Fauna. Corpocaldas. Pp. 37. ra: Curculionidae). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. ISSN. 1909- 9959. Pp. 40- 48
- Ramsar. (2013). Manual de la Convención, Guía a la Convención sobre los Humedales
- Red de especialistas en agricultura, 2016. Biocontroladores.
- Reddy, A. M., Pratt, P. D., Hopper, J. V., Cibils-Stewart, X., Walsh, G. C., & Mc Kay, F. (2019). Variation in cool temperature performance between populations of *Neochetina eichhorniae* (Coleoptera: Curculionidae) and implications for the biological control of water hyacinth, *Eichhornia crassipes*, in a temperate climate. *Biological Control*, 128, 85-93.
- Ricardo Labrada. Principales malezas acuaticas en zonas tropicales y subtropicales.
- Rodríguez, T. (5 de 10 de 2014). Biofiltros, una opción para mejorar las características 65 de las aguas residuales provenientes de tratamientos convencionales. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/rodri.pdf>
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

- Romero, J. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales, teoría y principios del diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sampieri, R. (2010). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill. 6ta Edición.
- Sánchez, Judith. (2001). El fósforo, parámetro crítico de la calidad de agua. Técnicas analíticas y de muestreo. Ingeniería química. Universidad Central de Venezuela.
- Sanint, S. B. (2010). Modelado de especies invasoras, caso de estudio: pérdida del espejo de agua en la laguna de. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Sardiñas Peña, Olivia, & Pérez Cabrera, Adisbel. (2004). Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 42(2) Recuperado en 12 de febrero de 2019, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-0032004000200002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-0032004000200002&lng=es&tlng=es).
- Sawyer, C., et al. Chemistry for Environmental Engineering. Fourth Ed. McGraw Hill 1994. p. 552- 566.
- Secretaria de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. (2017). Directrices para la exportación, envío, la importación y liberación de agentes de control biológico y otros organismos benéficos- NIMF 3. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO y Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. Adoptado en 2005, publicado en 2017.
- Seoáez Calvo, M. (1999). Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales, fundamentos científicos, tecnologías y diseño. Madrid: MUNDI-PRENSA.
- SIÉ Ingeniería. (2016). Diagnóstico Hidrológico e Hidráulico DEL Estado Actual de la Cuenca de La Quebrada Las Burras – Dorada, Caldas
- Silva Garavito, L. F. (1982). Diseño de Acueductos y Alcantarillados. Bogotá: Universidad Santo Tomas.
- Sistema de documentación e información municipal. (s.f.). Inventario turístico La Dorada. Colombia.
- Smith. T. y Smith R. (2006). Ecología. Pearson Educación S.A. Sexta edición. Madrid, España. ISBN. 978- 84- 7829- 084-0.
- Soto, Adolfo. (2012). Bioherbicidas. Tomado de: Uso de bioherbicidas, Nueva herramienta en el Manejo de Arvenses (2). Pdf

- Sutton, G. F., Compton, S. G., & Coetzee, J. A. (2016). Naturally occurring phytopathogens enhance biological control of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) by *Megamelus scutellaris* (Hemiptera: Delphacidae), even in eutrophic water. *Biological control*, 103, 261-268.
- Tesoro ambiental para Colombia. Centro de referencia y documentación. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. República de Colombia.
- Torinos, R. A. (2012). Eutrofización: causas y efectos. Obtenido de Triplenlace: <https://triplenlace.com/2012/09/27/eutrofizacion-causas-y-efectos/>.
- Torres , E., & Sanabria , A. (2012). Optimización del humedal artificial subperifical para el tratamiento de aguas residuales. *Ingenio Libre*, 10.
- Turk, A.; Turk, J.; Wittes, J. y Wittes R. 1981. Tratado de ecología. Nueva editorial Interamericana S.A., México D.F., México. ISBN. 968-25- 0719-7
- UNESCO. Tesoro de la Unesco. URL: <http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/>
- Universidad de Florida (2005). Plant Management in Florida Waters, Estados Unidos. Citado por DANE. Manual de Estadísticas Ambientales. Santa Cruz de la Sierra, pp. 31-45.
- Universidad Nacional de Colombia (2013). Buchón de agua recuperar tierras degradadas. Agencia de noticias UN. Bogotá D.C., Colombia.
- Vasquez Bernal, C. I. (2004). Tratamiento de los residuos líquidos del área de tinturados en flores de exportación con *Eichhornia crassipes* (Buchón de Agua). Bogotá: Universidad de la Salle.
- Vela, N., & Duque, G. y. (2012). Sistematización de la estrategia de los Planes de Acción Inmediato PAI: Estrategia de articulación entre ambiente y cultura. Caso: Cuenca del Río Guarinó y Charca de Guarinocito. Manizales: Corporación Aldea.
- Williams, A. E., Hecky, R. E., & Duthie, H. C. (2007). Water hyacinth decline across Lake Victoria— Was it caused by climatic perturbation or biological control? A reply. *Aquatic Botany*, 87(1), 94-96.
- Zouiten, H. (2012). Análisis Mediante Modelado. Santander, España: Universidad de Cantabria.