

**EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR EL  
VERTIMIENTO DE AGUAS TERMO-MINERALES EN LA CUENCA ALTA DEL  
RIO CHICAMOCHA**

**DIVER ZULEIBER VELANDIA MONTAÑEZ**

**FABIAN ANDRES PARDO RUIZ**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**TUNJA**

**2017**

**EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR EL  
VERTIMIENTO DE AGUAS TERMO-MINERALES EN LA CUENCA ALTA DEL  
RIO CHICAMOCHA**

**DIVER ZULEIBER VELANDIA MONTAÑEZ**

**FABIAN ANDRES PARDO RUIZ**

**Director:**

**CAMILO LESMES FABIAN**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**TUNJA**

**2017**

## **AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS**

A Dios por darnos cada una de las capacidades con las cuales pudimos cumplir las nuestras metas y sueños propuestos.

A nuestras familias, que nos han apoyado en todo momento, en todas las decisiones tomadas, por el amor y consejo en dificultades y alegrías.

Al Doctor Camilo Lesmes Fabian por la paciencia, disponibilidad, dedicación y enseñanza en todo este proyecto.

A nuestros amigos y compañeros que nos brindaron apoyo dentro y fuera del proceso de formación.

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

---

**JURADO**

---

---

**JURADO**

---

---

**TUNJA, \_\_\_\_\_ DE 2017**

## TABLA CONTENIDO

1.	Resumen .....	10
2.	Abstract.....	11
3.	Introducción .....	12
4.	Problema de investigación .....	14
4.1.	Descripción de la problemática .....	14
4.2.	Preguntas de investigación .....	15
4.3.	Justificación .....	15
4.4.	Objetivos .....	17
5.	Estado del arte.....	19
5.1.	Referencia de análisis físico, químico y microbiológico .....	19
5.2.	Diagnóstico del nivel de contaminación .....	20
5.3.	Diagnóstico de impacto ambiental .....	21
5.4.	Propuestas alternativas de tratamiento de la contaminación. ....	23
6.	Materiales y Métodos .....	27
6.1.	Evaluar el nivel de contaminación.....	27
6.2.	Evaluar normas nacionales e internacionales.....	27
6.3.	Evaluar la sostenibilidad desde el punto de vista ambiental. ....	27
6.4.	Proponer un sistema de tratamiento In situ .....	27
7.	Resultados y discusión .....	28
7.1.	Evaluación el nivel de contaminación .....	28

7.2. Evaluación de normas nacionales e internacionales .....	32
7.3. Evaluación de la sostenibilidad desde el punto de vista ambiental.....	37
7.4. Proponer un sistema de tratamiento In situ .....	47
8. Conclusiones y recomendaciones .....	55
9. Glosario .....	56
10. Referencias bibliográficas.....	63
11. Anexos.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Tabla 1 Datos pruebas In situ. ....	31
2. Tabla 2. Datos pruebas en laboratorio .....	32
3. Tabla 3. Clasificación y características de aguas termo-minerales .....	34
4. Tabla 4. Comparación normativa ambiental de vertimiento .....	35
5. Tabla 5. Comparación normativa ambiental de vertimiento .....	36
6. Tabla 6. Parámetros y su afectación en la salud humana y medio ambiente .....	46
7. Tabla 7. Parámetros eco toxicológicos .....	50
8. Tabla 8. Procesos que contribuyen la depuración de aguas termo-minerales.....	54
9. Tabla 9. Parámetros de diseños para el tratamiento con humedales .....	55
10. Tabla 10. Evaluación de parámetros según la resolución 0631 de 2015.....	60
11. Tabla 11. Reducción con la propuesta de tratamiento en las muestras tomadas .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. Figura 1. Humedales artificiales de flujo vertical .....	25
2. Figura 2. Columna de Winogradsky vista frontal.....	52
3. Figura 3. Columna de Winogradsky vista lateral.....	53
4. Figura 4. Humedal artificial .....	56
5. Figura 5. Biodigestor vista frontal .....	58
6. Figura 6. Biodigestor vista lateral .....	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

1. Anexo 1. Municipios que integran la cuenca alta del rio Chicamocha .....	72
2. Anexo 2. Información población nucleada DANE .....	72
3. Anexo 3. Formulario único para la elaboración de inventarios turísticos .....	73
4. Anexo 4. Formulario único para la elaboración de inventarios turísticos .....	74
5. Anexo 5. Mapa de erosión actual de la cuenca del rio Chicamocha.....	75

## 1. RESUMEN

Una de las actividades económicas más importantes en Boyacá es el turismo en especial la explotación de las fuentes de aguas termo-minerales en el municipio de Paipa. Estudios han demostrado que estas aguas debido a la explotación del ser humano al ser vertidas en las aguas superficiales, ocasionan un problema ambiental al tener altos contenidos de sales y compuestos contaminantes. Este proyecto de investigación plantea realizar un diagnóstico del nivel de contaminación causado por los vertimientos de aguas termo-minerales como también realizar un análisis sobre la normatividad colombiana e internacional sobre los vertimientos y diseñar un sistema de tratamiento In situ de estas aguas con el fin de reducir eficientemente los parámetros de calidad de agua a niveles permisibles según la normatividad ambiental sobre vertimiento de aguas en la Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015. Los resultados de este proyecto tienen un alto impacto en la región al evaluar el impacto ambiental producido por la sobreexplotación del recurso termo-mineral del municipio de Paipa. Este proyecto de tesis hace parte del proyecto: “Evaluación de la Sostenibilidad de los Actuales Sistemas Productivos en la Cuenca del Lago de Tota financiado por la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

## **2. ABSTRACT**

One of the most important economic activities in Boyacá is the tourism, especially the exploitation of thermal mineral waters in the city of Paipa. Previous studies have demonstrated that this natural resource is overexploited and discharged in the rivers which cause an environmental problem because of the high contents of salts and other substances. This research project has as a goal to make an evaluation of the level of contamination caused by the discharge of thermal mineral waters and to make an environmental policy analysis about the Colombian and International policies that regulate the discharge of wastewater from the thermal mineral water. In addition, a design is proposed for the in situ wastewater treatment with the purpose of reducing the water quality parameters to the levels established by the Colombian environmental policy about the water discharge “Resolution 0631 of 17 March 2015”. The results of this project have a high impact in the region because an environmental impact assessment and the environmental policy analysis. This thesis belongs to the project “Sustainability Assessment of Production Systems in the Region of Boyacá, Colombia” funded by the Faculty of Civil Engineering of the Saint Thomas Aquinas University.

### 3. INTRODUCCIÓN

La acción del hombre y la sobreexplotación de los recursos naturales y la afectación natural en especial a los cuerpos de agua dulce como recurso vital para subsistencia del ser humano y todos los organismos en general, este recurso vital ha sido contaminado en los últimos años y esto ha sido parte de una gran problemática a nivel mundial según el PAE(Plan de Acción Estratégico sobre Agua Residuales Municipales) en coordinación con la oficina PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), ya que los ecosistemas han sido afectados y en muchas ocasiones han desaparecido especies nativas por la falta de control, por esta situación hay instituciones que regulan y promueven la utilización de soluciones alternativas incluyendo tecnologías de bajo costo y solidez ambiental para proveer sanidad y tratamiento de aguas como ejemplo tratamientos In situ. La UNESCO-IHE (Institute for Water Education), (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura) ha sido creada desde el 2003 para enfocar la educación a temas relacionados con el tratamiento de aguas entre ellos se encuentran cursos sobre la utilización de humedales para tratamiento de aguas residuales según sus características.

Se enfocará el nivel de contaminación del vertimiento de las aguas usadas termo-minerales del municipio de Paipa, las cuales causan un impacto ambiental negativo en cuanto al ser humano y al ecosistema. Teniendo como base la normativa colombiana según el ministerio de ambiente con el proyecto de ley 65 de 2004, regula y controla las actividades propias de balnearios turísticos de la termales en cuanto tipo e concesión, calidad, autorización permisos, manejo y monitoreo de vertimientos, el control de vertimiento en la presente resolución 0631 del año 2015 donde regula a nivel nacional los vertimientos a cuerpos de agua, y la normativa internacional en los cuales se dictan los valores admisibles para su vertimiento, se requiere un tratamiento de aguas termo-minerales de la región de Paipa, Boyacá, ya que por su sobreexplotación se ha dado un impacto ambiental

negativo. En la utilización de tecnologías eficientes para el tratamiento de aguas procedentes de las termas de Paipa se debe comprender aspectos como: la seguridad al medio ambiente, apropiada para la situación local, aplicable y eficiente en el contexto de tratamiento y alcanzable económicamente, ya que la sobreexplotación de las aguas termo-minerales ha llevado a la saturación del ecosistema y ha generado un impacto ambiental negativo.

Este impacto negativo contribuye a la problemática de contaminación del río Chicamocha, río de gran importancia de los departamentos de Boyacá y Santander, utilizado para cultivo, riego y afectando directamente a la población de la región, por esta razón se requiere la evaluación de la contaminación sobre el medio ambiente, su impacto hacia el ecosistema y el planteamiento de un tratamiento In situ. A todo esto, es necesaria la investigación y la información que se presenta a continuación es resultado de evaluación de información regional, nacional e internacional como publicaciones, proyectos de investigación, de visitas realizadas al área de estudio con el fin de evaluar, diagnosticar y proponer un tratamiento In situ para aguas termo-minerales para la región de Paipa Boyacá.

## 4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Dentro de las actividades económicas más importante de la región de Boyacá y más específicamente de Paipa es la explotación de las aguas termo-minerales que desde el año 1938 existen conjuntos con los servicios hoteleros en alrededores del lago Sochagota. Las aguas termo-minerales residuales provenientes de las piscinas de Paipa, Boyacá, generan un impacto negativo producido por su sobreexplotación en el ecosistema desde que se potencializó la actividad económica y eso logra problemas de contaminación en los cuerpos receptores como el Rio Chicamocha. “De acuerdo a las propiedades químicas de las aguas termo-minerales se clasifican en el grupo de las alcalinas, sulfatadas, cloruradas, bicarbonatadas”<sup>1</sup>.

Debido a las deficiencias en el uso adecuado y la sobreexplotación de esta fuente hídrica y el inadecuado manejo de vertimiento visto en la zona de estudio, los vertimientos están contaminando los cuerpos de agua como el rio Chicamocha el cual es de vital importancia para el riego y cultivo, y afecta negativamente la biodiversidad del cuerpo de agua. La problemática radica en la importancia de los cuerpos receptores en donde la sobreexplotación del recurso ha tenido un impacto negativo sobre el cauce del rio Chicamocha. “Se estima que 68.198 personas se ven afectadas por la contaminación”<sup>2</sup>.(Anexo 1 y 2).

-----  
*1. Barco, L. y. (2010). Identificación de las características Hidrológicas y Sanitarias del lago Sochagota y Fuentes de Agua Termo-mineral. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.p.14*

*2. Osorio, L. C., & Ramírez Zorro, F. (2006). Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Tunja: Corpoboyacá, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.p.14.*

La sobreexplotación del recurso de agua termo mineral ha retrasado el proceso de descontaminación natural

La naturaleza es adaptable a entornos propios, ya que las aguas termo-minerales han existido a través de la historia y el ecosistema es adaptable a este tipo de características de estas aguas, pero la falta de planeación, control y explotación del recurso ha llevado la saturación de elementos ha retrasado el proceso de descontaminación natural, generando malos olores y afectando la fauna y flora que allí reside.

Por esta razón se evaluará el nivel de contaminación de las aguas superficiales afectada por el vertimiento de las aguas termo-mineral.

delmunicipio de Paipa desde el punto de vista ambiental y de la normatividad colombiana e internacional para así, evaluar la sostenibilidad de la actividad económica del turismo dependiente del uso de las aguas termo-mineral en el municipio de Paipa y proponer una unidad de tratamiento de aguas In situ.

## **4.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuál es el nivel de contaminación del río Chicamocha causado por los vertimientos de aguas naturales y residuales provenientes de piscinas de aguas termo-minerales de Paipa?
- ¿Qué tipo de tratamiento de aguas es el más adecuado para reducir los niveles de contaminación a niveles permisibles según la normatividad?

## **4.3. JUSTIFICACIÓN**

La justificación del proyecto se puede resumir en tres aspectos: a) El diagnóstico del nivel de contaminación de las aguas superficiales afectadas por los vertimientos de las aguas usadas termo-minerales desde el punto de vista ambiental y de normas Internacionales; b) Evaluación de la sostenibilidad de la actividad económica del turismo derivada del uso de agua termal en la región de Paipa, Boyacá; c) Propuesta alternativa de tratamiento de la contaminación mediante el diseño de una unidad de tratamiento de aguas In situ. Estas se explican a continuación:

### **A. Diagnóstico del Nivel de Contaminación:**

Se han realizado estudios sobre la cantidad de agentes contaminantes que se vierten en las aguas superficiales sean de manera natural o usadas y su impacto en el medio ambiente, teniendo en cuenta normas nacionales e internacionales más rigurosas, por lo que las evaluaciones del impacto ambiental en Colombia podrían ser subestimadas. De esta manera, este proyecto busca hacer un diagnóstico de los parámetros de calidad del agua para compararlos con dicha normatividad e identificar los más críticos cuando estos entran en interacción con el medio ambiente.

## **B. Evaluación de la Sostenibilidad de la Actividad Económica:**

El turismo es una actividad económica en la región de Paipa, que sobre explota las aguas termo-minerales y vierte las aguas residuales en aguas superficiales. Debido a que esta actividad genera beneficios económicos, el sistema de explotación de este recurso puede ser ajustado de manera que se puedan mitigar los impactos ambientales generados por esta actividad.

## **C. Propuesta Alternativa de Mitigación del Impacto Ambiental**

Observando el diagnóstico de los niveles de contaminación del agua, se plantea como último objetivo el diseño de una unidad de tratamiento de aguas que se adecúe a las condiciones de la región de Paipa y a las características del agua que son vertidas en las aguas superficiales como el río Chicamocha. El proyecto propone una unidad de tratamiento In situ, la cual puede contener diferentes subunidades de tratamiento de manera que se pueda implementar en diferentes puntos de explotación del agua termo mineral.

#### **4.4. OBJETIVOS**

**Objetivo General:** Realizar una evaluación del impacto ambiental generado por las aguas termales residuales a la cuenta alta del Rio Chicamocha.

**Objetivos Específicos:**

**A. Objetivo específico 1:** Evaluar bases de datos sobre el nivel de contaminación de las aguas superficiales causado por el vertimiento de agua Natural y Usada de las piscinas termo-minerales de la región de Paipa Boyacá.

**B. Objetivo específico 2:** Evaluar la normatividad ambiental nacional e internacional con respecto a los vertimientos.

**C. Objetivo específico 3:** Evaluar la sostenibilidad del sistema de producción desde el punto de vista ambiental.

**D. Objetivo específico 4:** Proponer un sistema de tratamiento In situ de aguas residuales termo-minerales que permita reducir los niveles de los agentes contaminantes vertidos al rio Chicamocha.

## 5. ESTADO DEL ARTE

A continuación se presenta la recopilación bibliográfica según los cuatro objetivos planteados: a) Referencias o base de datos con respecto a los análisis físico, químicos y microbiológicos de aguas naturales y residuales del recurso termal en Colombia; b) Revisión bibliográfica con respecto a las normas de vertimientos nacionales e internacionales; c) Diagnósticos previos de impacto ambiental generado por los vertimientos de aguas residuales dadas por el turismo en la región de Paipa; d) Propuestas alternativas de tratamiento de aguas residuales en la contaminación de diferentes afluentes.

### **5.1. Referencias o base de datos con respecto a los análisis físicos, químicos y microbiológicos de aguas naturales y residuales del recurso termal en Colombia.**

En Colombia tenemos más de 300 fuentes de aguas minerales, muchas por su temperatura son relacionadas al origen volcánico regional del sistema montañoso del país, se ha despertado un interés por conocer sus características geológicas, biológicas y medicinales, además de su importancia en los ecosistemas que las circundan y su aprovechamiento terapéutico, con el fin de promover el desarrollo del ecoturismo en las zonas donde se presentan. Un ejemplo a mencionar son los municipios de Becerril y Ciénaga donde por sus condiciones geológicas se originan depósitos y afloramientos de este tipo de aguas. Se analizaron características mineralógicas y su composición donde se obtuvieron los siguientes resultados;

- a) las fuentes de aguas termales de estos dos municipios son de origen geotérmico, las de Ciénaga son hipertermales y las de Becerril son aguas hipotermas;
- b) Las aguas termales del municipio de Becerril son principalmente sulfuradas con altas concentraciones de cloruros (1mg/L de azufre bivalente);
- c) Posee un olor poco aceptable debido a elementos de algas y bacterias;
- d) Los depósitos de Ciénaga contienen aguas termales cloruradas con altas concentraciones de sulfuros, con predominio del anión cloruro;
- e) Los

caciones sobresalientes suelen ser el sodio, el calcio o el magnesio; d) Los afloramientos de agua son aptos para la hidrología médica, baños, lodo terapia, inhalación y calefacción debido a que ayudan al sistema de defensa de la piel frente a todo tipo de agresiones<sup>3</sup>.

Entre los estudios revisados se encontró un proyecto de grado de la Universidad Industrial de Santander en el cual resalta el estudio del grado de contaminación en el que se encuentran las aguas termo-minerales y el lago Sochagota los cuales desembocan en el río Chicamocha dados en la región de Paipa Boyacá. Debido a su grado de mineralización las aguas termales son excelentes para la aplicación de tratamientos balneológicos con criterio terapéutico, dicho esto se evaluó información secundaria, en la cual se encontraron valores preocupantes acerca de la contaminación de años anteriores en los recursos hídricos de la región de Paipa y en segundo lugar se tomaron muestras puntuales con el fin de realizar algunos análisis fisicoquímicos In situ, su vertimiento en el río Chicamocha da lugar a la contaminación química y térmica de dicho afluente. Los principales hallazgos fueron:

a) Es necesaria la continuidad de acciones de recuperación en la cuenca de la quebrada Salitre y del mismo modo no debe ser usadas como agua potable sin previo tratamiento; b) El agua termo-mineral estudiada en el municipio de Paipa resulta ser nociva para aplicaciones, como riego y uso doméstico, pero por su grado de mineralización es excelente para la aplicación de tratamientos balneológicos con criterio terapéutico; c) Las aguas del río Chicamocha muestran un alto grado de contaminación en su punto de unión con las corrientes residuales de Paipa, representado principalmente en los bajos valores de saturación de oxígeno, a su alta conductividad y sólidos disueltos; motivo por el cual no deberían ser utilizadas aguas abajo sin antes hacer un tratamiento<sup>4</sup>.

-----

3. *pavajeau, R. (2014). Determinación del origen y composición de las aguas termales ubicadas en los municipios de becerril (cesar) y ciénaga (magdalena), Colombia Ingenium 8 (21), 35-42. Colciencias tipo 2. artículo de reflexión, 35-42. p.20*

4. *Barco, op. Cit. P. 20*

## **5.2. Revisión bibliográfica con respecto a las normas de vertimientos nacionales e internacionales.**

Para evaluar las normas nacionales e internacionales de vertimientos, se realizó una búsqueda bibliográfica donde se relacionaban estas normas y generabancuadros de los principales parámetros fisicoquímicos presentes en el agua residual. Como resultado se halló un trabajo realizado en la Universidad de Los Andes en el cual se hacía una descripción detallada de la normatividad de vertimientos a redes de alcantarillado y superficies hídricas. Se tomaron en cuenta países que tenían programas de uso sostenible y reúso del agua por lo tanto, la mayoría de ellos tienen altos estándares de calidad. Los países relacionados en esta investigación fueron Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Estados Unidos, México, Japón, Australia, Nueva Zelanda, Alemania, España, Francia, Holanda y Reino Unido. Se llevaron a cabo tablas comparativas y descriptivas de los principales elementos y valores atípicos entre normas, como también algunos parámetros con efectos en la salud humana y en el ecosistema. El estudio hizo la comparación de la norma colombiana frente a las normas internacionales y se halló que en algunos casos es más estricta y reticulada 5.

Durante la revisión bibliográfica se vio importante resaltar esta investigación debido a que recopila información sobre la importancia que tiene el sector turístico en la ciudad de Paipa, como factor importante para el desarrollo económico, social y ambiental de la ciudad. Además, se dio a conocer los impactos ambientales que ha generado el aprovechamiento del turismo, en la interacción hombre naturaleza, también se plantea la metodología para la recolección y análisis de la información del estudio.

-----

5. Universidad de los Andes 2009, *Concentraciones de Referencia para los Vertimientos Industriales Realizados a la Red de Alcantarillado y de los Vertimientos Industriales y Domésticos Efectuados a Cuerpos de Agua de la Ciudad de Bogotá. Primer Informe Bogotá*

“Se determina la problemática ambiental de la ciudad y la evaluación de impactos causados por el turismo; finalmente se dan a conocer estrategias de acción para el posicionamiento de la ciudad como un destino turístico ecológicamente sostenible”<sup>6</sup>.

### **5.3. Diagnósticos previos de impacto ambiental generado por los vertimientos de aguas residuales dadas por el turismo en la región de Paipa.**

Un estudio realizado en Paipa por la Universidad de Manizales recopiló información sobre la importancia que tiene el sector turístico en la ciudad de Paipa como factor importante para el desarrollo económico, social y ambiental de la ciudad. También dio a conocer los impactos ambientales que ha generado el aprovechamiento del recurso de agua termo-mineral<sup>7</sup>.

Los impactos más relevantes que se analizaron en la investigación fueron la contaminación del lago Sochagota, el vertimiento de las aguas salinas al río Chicamocha, el inadecuado aprovechamiento del recurso termal, el incremento de los residuos sólidos, la deforestación por construcción de infraestructura, el vertimiento de aguas termales con componentes salinos en las cuencas, el desabastecimiento de agua en la población local, la pérdida de fauna y flora en la región. También se evaluó un impacto que es ajeno al turismo en lo que concierne al material particulado causado por la generación de energía eléctrica.

Los resultados evidenciaron mayor importancia en el sector hídrico y contaminación ambiental de la cuenca como; a). La sobreexplotación del recurso termal y el vertimiento de las aguas al río Chicamocha, causa contaminación química y térmica en la cuenca y pérdida de biodiversidad del ecosistema.

-----

<sup>6</sup>Díaz, A. E. (2013). *Determinación de los impactos ambientales del turismo en la ciudad de Paipa (Boyacá)*. Duitama, Boyacá: Universidad de Manizales.p.22

b). La actividad turística ha causado otros impactos en el municipio como la construcción de infraestructura en zonas ricas en biodiversidad, agotamiento del recurso hídrico de la Reserva de Ranchería y generación de residuos en altas temporadas, migración de especies, salinización de suelos, contaminación acuática y contaminación auditiva.

En consecuencia se realizaron estrategias de mitigación del impacto ambiental generado como; a) Acciones estratégicas a desarrollar en el municipio; el proyecto de recirculación de aguas y la protección de la recarga hídrica termal; establecer convenios con la UPTC, Sena y el ICONTEC para certificación de establecimientos turísticos de acuerdo con las normas técnicas sectoriales en turismo; b) En el análisis de los factores externos más importantes son las amenazas, esto se debe a la poca voluntad política que tiene las autoridades en la explotación desmesurada del recurso termal, aun cuando el recurso hídrico es un bien finito no renovable. Otro factor importante que incide en las amenazas, es la consecuencia económica ambiental y social que se pueden crear con la contaminación del lago Sochagota.

La presente investigación considera que “el producto turístico más importante que tiene el municipio de Paipa es el de bienestar y de salud; seguido del producto cultural con segmentos importantes de turismo histórico, ferias y fiestas”<sup>7</sup>.

#### **5.4. Propuestas alternativas de tratamiento de aguas residuales en la contaminación de diferentes afluentes.**

En similitud a la problemática abordada y solución a la contaminación por los vertimientos de las aguas termo-minerales usadas de la región de Paipa con tecnologías de bajo costo y mantenimiento, se encuentra un trabajo de maestría de la Universidad de Manizales la cual resalta la contaminación hídrica que presenta la Quebrada La Nutria de los cerros Orientales de Bogotá.

-----  
<sup>7</sup>. *Ibíd.*, p. 23

En este trabajo se propone realizar en el Parque Ecológico Distrital de Montaña Entre Nubes, la construcción de 6 pozos de contención en forma de humedales artificiales sub superficial vertical, que por su topográfica facilitará no solo su incorporación con el ecosistema natural sino también la entrada y salida natural del agua a los pozos. Esto reduce los costos de inversión y funcionamiento para descontaminar las aguas, en la cual se utiliza principalmente el Buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) como depuradora, también es considerada como una de las macrófitas más invasoras. Debido a esto es necesario usarla como material para compost que garantizará su desempeño. En verificación de las características de la contaminación hídrica de La quebrada La Nutria y otros factores como la topográfica de la zona se observó que los humedales artificiales son una tecnología viable para la depuración de aguas residuales especialmente si estas son de origen urbano.

En su fase de diseño y construcción, debido a la presencia de residuos sólidos en las aguas de la quebrada La Nutria, es necesario hacer un pretratamiento de la contaminación, instalando filtros de retención de sólidos. En relación a la implementación de las macrófitas, las que fueron eficientes en este proyecto son el buchón de agua al trabajarlos conjuntamente con la oreja de ratón quienes redujeron los parámetros de materia orgánica en (98%), sólidos totales (12%) y grasas y aceites en (47%), también llevando el pH de 13,6 a 4,5 lo que permitió nivelar la conductividad y la Demanda Química de Oxígeno. Esta efectividad se dio debido a la acción de los microorganismos presentes en las plantas, y a mecanismos de degradación microbiana aerobia y degradación microbiana anaerobia como también a los procesos de filtración que tiene lugar entre el sustrato y su eliminación en las raíces de este modo permitiendo devolver parcialmente la calidad al agua de la quebrada La Nutria 8.

-----  
8. Zapata, A. (2014). *Humedales Artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la Nutria, de los cerros orientales de Bogotá D.C. Bogotá D.C.*

En el propósito de desarrollar nuevas tecnologías en beneficio del medio ambiente y la sostenibilidad se encontró una investigación que consistió en evaluar la capacidad de reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos en un humedal artificial de flujo vertical a escala de laboratorio, este prototipo fue alimentado con agua del río Bogotá tomada a la altura del campus universitario “Río Grande” en Cajicá y con esto se pudo determinar la viabilidad de emplear este tipo de tecnología en el control de la contaminación hídrica.

El prototipo se diseñó y construyó basado en las recomendaciones de autores como Arias L., 9. y (Cooper, 1990) Se utilizó el Papiro decorativo (*Cyperus papyrus*) como planta depuradora y como sustrato diferentes tipos de arena.

Luego de la fase constructiva se obtuvieron los siguientes resultados con mayores reducciones de materia orgánica, inorgánica y microorganismos con la operación del sistema de vegetación, los datos obtenidos de las pruebas son: a) Se determinaron reducciones de  $DBO_5=37\%$ ,  $D_{10}=10\%$ ,  $CT=49\%$ ,  $ST=16\%$ ,  $SST=27\%$ ,  $NO_2=83\%$ ,  $NO_3=30\%$ ; b) Se encontró una capacidad de reducción aceptable de fósforo cuando el sistema operó sin vegetación esto debido principalmente a la composición química del sustrato y la influencia de este en el proceso de adsorción.

Los resultados obtenidos indican que este tipo de sistemas podrían ser utilizados para mejorar la calidad del agua y de esta forma contribuir a la descontaminación del recurso hídrico o inclusive para tratar aguas residuales.

---

9. Arias L., C. A., & Brix, H. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Bogotá D.C.: universidad militar Nueva Granada.

Figura 1. Humedal Artificial de Flujo Vertical, (Rodríguez, 2005)



Fuente: T. Rodríguez Chaparro, I. M. (2005). *Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua en el río Bogotá*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

En alternativas de tratamiento de agua residual provenientes de las piscinas termales se encontró un proyecto que se orientó hacia la evaluación de remoción y acumulación de cloruros y sulfatos en la planta *Eichhorniacrassipes* mejor conocida como Buchón de agua, utilizando como afluente las aguas servidas termo-minerales. Con esto se ha identificado el comportamiento de crecimiento de la planta, la acumulación de sales, capacidad de remoción y tiempo de cosecha. En coordinación con la Universidad de Boyacá y Corpoboyacá se realizó un sistema de laguna de macrófitas alimentada por un afluente con una dilución 1:3 agua residual cruda y agua termo-mineral y con un tiempo de retención de 8 días.

La siguiente etapa consistió en el proceso relacionado con el estado fenológico de la planta, donde se observaron las características cualitativas respectivas de *Eichhorniacrassipes* y se dieron las siguientes conclusiones según Parra Sandra: a) La macrófita acuática *Eichhornia crassipes* es eficiente en la remoción de sustancias tóxicas en aguas residuales y aguas termo-minerales; b) Los cambios

físicos que sufrieron las plantas son evidentes al observarse la pérdida de masa y la aparición de necrosis, plasmólisis y clorosis que se hacen notorias y recurrentes a partir del día 15 del tratamiento; c) El sistema de tratamiento para agua termomineral que se recomienda implementar en el municipio de Paipa debe tener las siguientes características: dilución de 1:3 de agua residual cruda y agua termomineral; densidad de siembra de  $7,4 \text{ kg/m}^2$ ; tiempo de retención de 5 a 8 días; frecuencia de siembra de 15 días; d) Se obtuvo la remoción de 69 % para cloruros y 58% para sulfatos: e). Con los resultados en los ensayos de remoción de metales pesados y materia orgánica se demostró la reducción de contaminantes de 69,1 % de sólidos suspendidos totales y 71,7 % de color, lo que lo hace óptimo para el tratamiento de estas aguas 10.

-----  
12. *Estudio de cloruros y sulfatos en diferentes estados fenológicos de Eichhornia crassipes (MArt Solms) en tratamiento de agua termo mineral servida en el municipio de Paipa Boyacá*

## **6. MATERIALES Y METODOS**

### **6.1. Evaluación de estudios previos del nivel de contaminación causado por el vertimiento de las aguas residuales y naturales termo-minerales de la región de Paipa Boyacá.**

Dentro de la evaluación del nivel de contaminación causado por la sobreexplotación del recurso de agua termo-mineral del municipio de Paipa, Boyacá y su posterior vertimiento al río Chicamocha, se llevará a cabo un estudio de bases de datos de caracterización física, química y biológica en la captación y vertimiento de dos balnearios de la región. Estos datos se darán en pruebas In situ y en el laboratorio, los cuales demostrarán la clasificación de estas aguas y su nivel de contaminación a los cuerpos de agua.

### **6.2. Evaluación de las normas de vertimientos nacionales e internacionales.**

Dentro de esta evaluación se determinarán los valores máximos admisibles de la norma colombiana y las principales normas internacionales con el fin de hacer una comparación y determinar el estado de la norma nacional, sus alcances y control ante los vertimientos de agua termo-minerales a las fuentes hídricas.

### **6.3. Evaluación del impacto ambiental generado por los vertimientos.**

Dentro de la evaluación ambiental, se analizará mediante la metodología de listas de control simples, identificando la sobreexplotación del recurso hídrico y la problemática ambiental bajo el punto de vista del ecosistema, la afectación del ser humano y la afectación eco toxicológico.

### **6.4. Propuesta para el tratamiento In situ de aguas termo-mineral residual.**

Considerando la evaluación de los niveles de contaminación del vertimiento de las aguas termo-minerales del municipio de Paipa, Boyacá, se generará una propuesta de un sistema de tratamiento In situ que incluya diferentes unidades

que permita reducir los agentes contaminantes presentes en el agua a niveles permisibles según la norma colombiana.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 7.1. Evaluación el nivel de contaminación de las aguas superficiales causado por el vertimiento de agua natural y residual.

La cuenca alta del río Chicamocha tiene una superficie de 2.126,6  $km^2$ , distribuida en 23 municipios, “entre los que se destacan Sotaquirá, Paipa, Toca, Pesca, Duitama, Sogamoso, Siachoque y Firabitoba los cuales tienen el 64% del total de la superficie de la cuenca”<sup>11</sup> (Figura 2).

La zona de estudio corresponde al municipio de Paipa, ubicado en el departamento de Boyacá, el cual ocupa el 8,3% del total de la superficie de la cuenca del río Chicamocha con gran relevancia respecto a los demás 22 municipios que tienen influencia en la cuenca alta del río Chicamocha<sup>12</sup> (Tabla 6).

La siguiente (Tabla 1), revela un estudio de análisis físico, químico y biológico de las fuentes de captación de La piscina el delfín, del vertimiento en el instituto de turismo de Paipa, vertimiento piscina el delfín, en la recolección de agua termo mineral y en la zona de los humedales.

-----

11. Osorio, L. C., & Ramírez Zorro, F. (2006). *Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha*. Tunja: Corpoboyacá, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. p.30

12. *Ibíd.*, p. 30

Tabla 1. Datos de la zona de estudio, pruebas In situ realizadas en las fuentes de agua termo-mineral

Lugar muestreo	INSTITUTO DETURISMO DE PAIPA	ENTRADA PISCINA EL DELFIN	SALIDA PISCINA EL DELFIN	RECOLECCION DE AGUAS TERMO- MINERALES	HUMEDAL TERMO- MINERAL
<b>Coordenadas planas</b>	E 1107260 N 1128476	E 1106754 N 1125402	E 1106737 N 1125298	E 1107050 N 1129411	E 1107353 N 1128599
<b>Temperatura (°C)</b>	50	38	36	24	25
<b>PH</b>	7.2	7.8	7.6	8.2	7.2
<b>Dureza (mgCaCo3/L)</b>	515	178.5	129	211	352.5
<b>Alcalinidad (mmol CaCo3/L)</b>	48	16	56	96	80
<b>Acidez (mmolÁcidos/L)</b>	NM*	NM	NM	NM	NM
<b>Oxigeno (mgO2/L)</b>	1.9	3.1	3.6	2.5	1.3
<b>Caudal (Rev./min)</b>	NO MEDIBLE	NO MEDIBLE	217	NO MEDIBLE	NO MEDIBLE
<b>Olor (aceptable- no aceptable)</b>	A	A	A	NA	NA

\*(NM) No medible.

*Fuente laboratorio PSL Pro Análisis Ltda, Barco, L. y. (2010). Identificación de las características Hidrológicas y Sanitarias del lago Sochagota y Fuentes de Agua Termo-mineral. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.*

Basado en un estudio realizado por estudiantes de la Universidad Industrial de Santander en el cual se toman datos de pruebas In situ y pruebas de laboratorio de las fuentes de agua termal y en las salidas después de su uso, se determina incrementos porcentuales de consideración en los parámetros analizados como se enuncia a continuación: a) Los resultados obtenidos por las pruebas In situ se encuentra que las muestras tomadas en las zonas de captación son aguas no aptas para consumo humano; b) Debido a su composición mineralógicabrinda una óptima calidad para ser utilizada de manera recreativa o balneario, por otro

lado, realizando un análisis de los resultados de entrada y salida (Humedal) del Instituto de Turismo de Paipa, se encuentra que el olor es un parámetro que da razón de la materia orgánica presente en el agua tiene una calificación de no aceptable en su vertimiento.

En una segunda toma de muestras (Tabla 2), los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander mostraron una tabla de algunos parámetros que fueron analizados en un laboratorio especializado, aquí se muestran los resultados.

Tabla 2. Datos de pruebas en laboratorio realizadas en las fuentes de agua termo-mineral.

Lugar Muestreo	INSTITUTO DE TURISMO DE PAIPA	ENTRADA PISCINA EL DELFÍN	SALIDA PISCINA EL DELFÍN	RECOLECCION DE AGUAS TERMO-MINERALES	HUMEDAL TERMO-MINERAL
<b>solidos Suspendidos (mg/L)</b>	5600	3200	7400	62100	56200
<b>Solidos Totales (mg/L)</b>	13400	8800	16300	92200	82000
<b>Solido Disuelto</b>	7800	5600	8900	30100	25800
<b>DQO (mgO<sub>2</sub>/L)</b>	15	19	15	416	365
<b>DBO<sub>5</sub> (mgO<sub>2</sub>/L)</b>	8.6	11	8.6	301	278
<b>Grasas y Aceites (mgG&amp;A/L)</b>	0.89	0.96	0.78	62	56
<b>Color (mgPt/co)</b>	21	32	26	623	562
<b>Turbiedad (NTU)*</b>	18	19	31	1814	1420
<b>Conductividad (µs/cm)**</b>	10200	8700	10300	51200	43600
<b>Coliformes Totales (NMP/100ml)***</b>	54	24	44	10140	17210
<b>Coliformes Fecales (NMP/100mL)***</b>	23	16	21	8146	10150

\*NepHelometricTurbidityUnit

\*\*Microsiemens/centímetro

\*\*\*Numero Más Probable/100 mililitros

Fuente: laboratorio PSL Pro Análisis Ltda Barco, L. y. (2010). Identificación de las características Hidrológicas y Sanitarias del lago Sochagota y Fuentes de Agua Termo-mineral. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Realizando el análisis de aguas en las muestras tomadas en la entrada del Instituto de Turismo de Paipa y la recolección de aguas termo-mineral donde se realiza el vertimiento, se encuentra que todos los parámetros analizados tienen un crecimiento en sus valores como se evidencian en los Coliformes Totales con (187%) y Coliformes Fecales con (354%). Esto indica una contaminación de materia orgánica muy peligrosa en los afluentes que aguas abajo las poblaciones rivereñas utilizan como alimento y riego de cultivos.

En un segundo estudio dentro de la determinación del nivel de contaminación por parte de los vertimientos de aguas termo-minerales, se encuentra una caracterización físico-química preliminar de un conjunto de muestras tomadas por especialistas cubanos pertenecientes al Centro Nacional de Termalismo en Diciembre de 1999, los cuales procesan datos de muestras tomadas en fuentes ubicadas en Villa termal de Paipa (Pozo azul) el cual abastece al Instituto de Turismo de Paipa. Las muestras fueron analizadas según las normas ISO, y los métodos estandarizados para el Análisis de Aguas potables y Residuales, los valores de concentración están dados en miliequivalente por litro (meq/l): a) La fuente de agua Pozo azul es clasificada como Hipertermal (Tabla 3), sulfatada, sódica, pH 7.7, cloruro 0,5 (meq/l), sulfato 8,58 (meq/l), compuesto de sodio y potasio (NaK) 9,84 (meq/l) y Magnesio 0,04 (meq/l).

Los parámetros como sólidos solubles totales, el arsénico, el cloruro, sulfato, boro, Potasio, litio, Boro, el ácido sulfhídrico, Sodio, son parámetros que superan el mínimo establecido para ser un agua clasificada como agua mineral<sup>13</sup>.

-----

13. Sánchez R, L., Dr Fagundo C, J., Romero S, J., msC Moreno C, A., & Cervantes González, P. (s.f.). *Caracterización físico-química preliminar de fuentes de agua minerales de Colombia*. Colombia.p.33.

14. *Ibíd.*, p. 33.

Estos datos demuestran que las aguas termo-minerales por si solas son fuente de contaminación cuando son vertidas a cuerpos de agua, muchas sustancias físico químicas o biológicas no se degradan con facilidad aguas abajo, lo que genera que los cultivos y las personas que se abastecen del recurso hídrico se vean afectadas en su salud.

Tabla 3. Clasificación y características de aguas termo-minerales.

PARÁMETRO	CLASIFICACION
Temperatura	Frías: Menor a 20°C
	Hipotermiales: De 20° a 35°C
	Hipertermiales: De 45°C a 100°C
	Supertermiales: De 100°C a 150°C
Origen geológico	Magmáticas: Aguas cuyo origen es de carácter eruptivo y el caudal constante en composición y temperatura.
	Telúricas: Su caudal varía dependiendo de la época del año ya que proviene de la infiltración de las lluvias.
pH	Ácidas: pH menor de 7
	Neutras: pH igual a 7
	Alcalinas: pH mayor de 7
Composición mineral	Aguas Bicarbonatadas: Aguas de baja mineralización, alcalinas y frías donde predomina el anión bicarbonato y su mineralización global es superior a 1g/L. Este tipo de aguas pueden compartir su composición con otro tipo de minerales que van a variar sus acciones y formar aguas bicarbonatadas sódicas, cálcicas, mixtas, sulfatadas y cloruradas.
	Aguas Cloruradas: Aguas en cuya composición predomina el anión cloruro y los cationes predominantes suelen ser el sodio, el calcio o el magnesio. La mineralización total debe superar un g/L. Pueden ser de baja mineralización, dando lugar a aguas termales o de alta mineralización (más de 50 g/L), que serán aguas frías.
	Aguas Ferruginosas: Agua en cuya composición se encuentra principalmente hierro bivalente, aunque suelen acompañarse de bicarbonatos o sulfatos. La bio- disponibilidad del hierro en estas aguas es muy alta por la presencia, generalmente, de otros oligoelementos.
	Aguas Sulfurosas: Agua hipertermal, cuyo PH es de 6,5 y mineralización media sulfatada-sulfurosa. Se encuentra en suelos fangosos.
	Aguas Sulfatadas: Predominan los aniones sulfato con diferentes cationes. La mineralización total debe superar un g/L. Este tipo de aguas se caracteriza por que su temperatura y mineralización varían. Se pueden subclasificar en sódicas y magnésicas, sulfatadas cálcicas y sulfatadas cloruradas.
	Aguas Radioactivas: Aguas en cuyo contenido se encuentra radón-gas radioactivo de origen natural, en concentraciones superiores a 67,3 Bq/L.

	Aguas Sulfuradas: Contienen más de un mg/L de azufre bivalente, de ordinario bajo las formas de ácido sulfhídrico y ácidos polisulfhídricos. Su olor es característico a huevos podridos. Suelen tener materia orgánica que supone una fuente adicional de azufre elemento: Algas (baregina), y bacterias (sulfobacterias o sulfuraría).
	Aguas Oligometálicas o de débil mineralización: Son aquellas que tienen una mineralización total entre 50 y 500 mg/L.
	Aguas Carbogaseosas: Carbónico libre. Contienen una concentración mayor de 250 mg/L

Fuente: Barco, L. y. (2010). *Identificación de las características Hidrológicas y Sanitarias del lago Sochagota y Fuentes de Agua Termo-mineral. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.*

## 7.2. Evaluación la sostenibilidad desde el punto de vista de normas nacionales e internacionales para vertimientos.

Dentro de la evaluación de la sostenibilidad de normas nacionales e internacionales se encuentra los valores máximos admisibles de los parámetros que consideran los países de Argentina, Brasil, Chile, México, EE. UU, Alemania, Reino Unido, España y Colombia.

Tabla 4. Comparación normativa ambiental de vertimiento

ARGENTINA	BRASIL	CHILE	MEXICO	EEUU	ALEMANIA	REINO UNIDO	ESPAÑA	COLOMBIA
Decreto Nacional 674/1989 – Obras Sanitarias de la Nación del 6 de junio de 1989, Busca conseguir y mantener un nivel adecuado de calidad de las aguas subterráneas y superficiales. Evitar cualquier acción que cause la degradación de los recursos hídricos.	El Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil [Conselho Nacional Do Meio Ambiente –CONAMA], establece los parámetros de vertimientos que deben cumplir fuentes contaminadoras que viertan sus residuos líquidos directa o indirectamente a cuerpos de	La Comisión Nacional del Medio Ambiente es quien regula la normatividad ambiental en este país. Esta institución tiene como misión velar por un medio ambiente libre de contaminación, proteger el medio ambiente, preservar la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental.	Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	La EPA [Environmental Protection Agency]. Es responsable de investigar y establecer estándares nacionales para vertimientos, además delega a los estados las responsabilidades para otorgar permisos, supervisar y hacer cumplir las regulaciones.	Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, es el encargado de generar las políticas de protección del recurso hídrico.	Los responsables de las políticas y legislación para la conservación del medio ambiente son el Scottish Executive para Escocia y The Department of Environment, Food and Rural Affairs para Inglaterra y Gales.	ley de aguas 1/2001 de 20 de julio derogando la ley 29/1985 de aguas d 2 de agosto	regida por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible regula mediante la resolución 0631 del 17 de marzo de 2015

La Disposición 79179/90 - Establece los valores límites permisibles para los vertimientos de los establecimientos industriales y especiales	Resolución CONAMA n° 357 de 2005, se regulan los vertimientos a cuerpos de agua. Así mismo en la norma se establecen los objetivos de calidad para los cuerpos de agua según su uso	La Superintendencia de Servicios Sanitarios es el ente encargado de fiscalizar el cumplimiento de las normas referentes a vertimientos de aguas residuales.	El objetivo de esta norma es proteger la calidad del agua y posibilitar sus usos. Los límites máximos permitidos de vertimientos realizados a ríos varían según el uso del agua	El CleanWaterAct exige que todas las descargas de fuentes puntuales en los cuerpos de agua obtengan un permiso bajo el NationalPollutantDischargeEliminationSystem, con el fin de regular el vertimiento de contaminantes y proteger la salud pública y el medio acuático.	El objetivo de estas políticas es prevenir la contaminación de aguas subterráneas y superficiales con sustancias peligrosas, principalmente sustancias orgánicas persistentes y metales pesados.	Las agencias reguladoras son Scottish Environment Protection Agency en Escocia y Environment Agency en Inglaterra y Gales. Estas son responsables de proveer un sistema de protección ambiental y controlar la contaminación para mejorar la calidad del medio ambiente y contribuir a un desarrollo	la legislación establece límites a los parámetros indicadores de contaminación en el agua, adjunto el número la naturaleza y el valor límite depende de su uso. Aguas superficiales determinadas a su uso. Vertidos son los que realicen de forma directa o indirecta a los cauces	mediante el cual establece los valores límites permisibles de vertimiento en cuerpos de agua superficial, mediante vertimiento puntual
---	---	---	---	--	--	--	--	--

Fuente: Autores.

Tabla 5. Comparación de normativa por cada parámetro.

Parámetro	Argentina	Brasil	Chile		México		EEUU	Alemania	U.K	España	Colombia
			Embalse	Río	Río	Embalse					
T (°C)	45	40	30	35	40	40		40		40	
PH	5.5-10	5.0-9	6-8.5	5.0-10		5.5-11.6		5.5-9.5		7-8	6-9
Sulfuro(mg/L)	1		1	1							
Sólidos Sedimentable (mg/L)	0.5	1	5		2	2					1
Sólidos suspendidos (mg/L)			80	80	125	60	300			35	50
Cloro libre (mg/L)	0.5									0.2-3	
Cianuro (mg/L)	0.1	0.2	0.5	0.2	2	2	0.5			0.05	0.1
Hidrocarburo (mg/L)	50		5	10			10	20			10
Cadmio (mg/L)	0.1	0.2	0.02	0.1	0.2	0.2	0.12			0.2	0.01
Plomo (mg/L)	0.5	0.5	0.2	0.05	0.4	0.4	0.3			0.5	0.1

Mercurio (mg/L)	0005	0.01	0.005	0.001	0.01	0.01	0.0005	0.05		0.05	0.002
Azufre (mg/L)		1									
Bario (mg/L)	2	5						0.1		0.1	1
Boro (mg/L)	2	5		0.75						1	
Fosforo(mg/L)			2	10	30	10		1		2	
Arsénico(mg/L)	0.5	0.5	0.1	0.5	0.2	0.2	0.06	0.05		0.05	0.1
Coliformes fecal (NMP/100mL)	2000		1000	1000	2000					2000	
Coliformes total (NMP/100mL)	5000									10000	
DBO5 (mgO2/L)	50	40	35	35	150	60	250	5		3	50
DQO (mgO2/L)	700						550	150		125	150
Sulfato (mg/L)	1000		1000	1000						250	250
Hierro (mg/L)	10	15	2	5						0.3	1
Manganeso (mg/L)	10	1	0.5	0.3						0.05	
Aluminio (mg/L)	5										
Aceites vegetal y animal.		50									10
Grasas y aceites (mgG&A/L)		20	20	20	25	25					
Sólidos suspendidos										20	
Sulfuro carbono		1					2			0.6	1

Fuente: Autores.

- a) Temperatura: los rangos aceptados en los diferentes países a analizar son similares entre un rango de 30° a 40° a los vertimientos a cuerpos de agua.

- b) Sulfuro:** Los sulfuros son concentraciones de minerales de origen hidrotermal. Los rangos de sulfuro de mg/L están incluidas dentro de las políticas de Argentina y Chile con un valor máximo admisible de 1 mg/L.
- c) Sólidos sedimentables:** ml/L son cantidad de material en el agua que se puede sedimentar en un periodo de tiempo. En la legislación de Chile es donde se muestra el valor más alto de valor admisible para este parámetro y en Argentina el valor admisible mínimo comparativo.
- d) Sólidos suspendidos totales:** Este parámetro las partículas suspendidas ayudan a la adhesión de metales pesados y a compuestos orgánicos con un grado tóxico y pesticidas que ocasionan un riesgo a toxicidad del entorno, en EE.UU. muestra un valor máximo admisible flexible.
- e) Cloro libre:** Se registra que el parámetro de cloro máximo admisible en Argentina y seguidamente en Colombia para fuente de vertimiento en aguas puntuales.
- f) Cianuro:** Es un compuesto altamente tóxico, y su presencia indica contaminación, los valores de México son muy altos en comparación a la de otros países, siendo muy flexible a un elemento tóxico.
- g) Hidrocarburo:** Se encuentran valores máximos admisibles con una diferencia notable en la región de Argentina, explotación del sub suelo generan este contaminante.
- h) Cadmio:** Es un metal blanco plateado dúctil, es absorbido por las plantas y pueden causar serios riesgos para la salud humana. Se ajusta los valores aceptables máximos en un rango de 0,01 a 0,2 mg/L.

- i)** Plomo: Es un metal pesado, se funde con facilidad, su liberación al ambiente tiene un largo tiempo de residencia, se mantiene los valores máximos admisibles en las normativas a analizar entre un rango máximo de 0,5 mg/L y un rango mínimo de 0.05 mg/L.
- j)** Mercurio: Muy presente en el entorno donde los seres vivos se han adaptados, los valores máximos admisibles son mínimos ya que son extremadamente tóxicos, es un contaminante a nivel mundial, los valores máximos admisibles se encuentran flexibles en la Unión Europea (0,05 mg/L) en comparación a la normatividad de las naciones de América como EE.UU. (0.005 mg/L), Brasil (0,01 mg/L).
- k)** Bario: Es un elemento limitado en el medio hídrico, el valor máximo admisible presenta un pico en Brasil y el mínimo en la unión europea con 0,1 mg/L.
- l)** Boro: Presente en los medios hídricos, es un elemento esencial para el manejo de las plantas, su toxicidad aparece contenido en el agua para riego de cultivo. Valor máximo admisible presenta su pico en Brasil y su mínimo en Chile con 0,75 mg/L.
- m)** Fosforo: Un elemento esencial cuyo valor demuestra un pico alto en México con un valor máximo admisible de 30 mg/L comparado con el mínimo que es la normativa colombiana y chilena con 2 mg/L.
- n)** Arsénico: Mineral de origen hidrotermal es un metaloide, tóxico y un importante contaminador de cultivos, aunque es absorbido por las plantas en concentraciones menores a la de sus suelos (o" Neill, 1990), concentraciones máximas admisibles está en 0,5 mg/L.

- o)** Coliformes fecales: Son de origen microbiológico medidos en NMP/ 100 ML, contaminantes propios de desechos de animales y seres humanos. Valores oscilan de 1000 a 2000 según normativa referenciada.
  
- p)** Coliformes total: Su unidad corresponde a NMP/100 ML sus valores encontrados fue en Colombia presentando su valor máximo admisible de 10.000 NMP/100 ML y en la republica de argentina representa un valor de 5000 NMP/100 ml.
  
- q)** DBO<sub>5</sub>: Representa la demanda biológica de oxígeno, es la medición de la cantidad de oxigeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra liquida, el valor máximo admisible en los Estados Unidos de América con 250, y México con 150, los valores en los diferentes países oscilan en un rango de 35 a 60 mg/L.
  
- r)** DQO: El valor máximo admisible se encuentra dentro de la normativa de la republica de la Argentina con 700 mg/L seguido con 550 de Estados Unidos y los valores más estrictos están en España y Colombia.
  
- s)** Sulfato: Presencia abundante en las fuentes hídricas, su valor máximo admisible oscila en el rango de 1000 mg/L y la normativa colombiana y española muestra un valor máximo admisible de 250 mg/L.
  
- t)** Hierro: Es un elemento metálico, puede generar olores, los valores máximos admisibles de este parámetro da libertad de 15 mg/L en Brasil y un mínimo en España de 0,3 mg/L.
  
- u)** Manganeseo: Un pico de valores máximos admisibles se encuentra en la republica de la Argentina con 10 mg/Ly el mínimo en Colombia en la resolución 0631 de 2015 con 0,05mg/L.

### 7.3. Evaluación la sostenibilidad del sistema de producción desde el punto de vista ambiental.

Dentro de la evaluación de la sostenibilidad se encuentra la afectación debido a la sobreexplotación del recurso natural termo-mineral en el municipio de Paipa, Boyacá. Se toma un registro fotográfico en el cual se muestra el lugar de afloramiento, captación y vertimiento de las aguas residuales termo-minerales.

imágenes 1-4. Registro fotográfico del lugar de afloramiento, captación, vertimiento y contaminación de la quebrada el salitre.



Imagen 1: Se muestra una sobreexplotación del recurso no renovable de aguas termales, con captación de este pozo en tubería de 6 pulgadas. Fuente Autores, 2017.



Imagen 2: Represamiento de las aguas termales, se evidencia notable deterioro del recurso en olor y color. Fuente Autores, 2017.



Imagen 3: Se muestra una canalización en varios sectores en la parte posterior del Instituto de Turismo de Paipa(termal) hacia el humedal. Fuente Autores, 2017.



Imagen 4: Se muestra la subcuenta del río Salitre con notable deterioro y contaminación ambiental, donde solo sobrevive una especie de planta y sin presencia de animales acuáticos. Fuente Autores, 2017

imágenes 5-10. Registro fotográfico del lugar de afloramiento, captación, vertimiento y contaminación de la quebrada el salitre.



Imagen 5: Evidencia la gran contaminación debido al vertimiento de aguas salinas, sin presencia de animales acuáticos y ningún tipo de alga. Fuente Autores 2017.



Imagen 6: Canalización de salida de agua termal. Fuente Autores 2017.



Imagen 7: La imagen muestra el represamiento del río debido a tuberías que atraviesan la subcuenca y llegan hasta el humedal, también la gran cantidad de materia vegetal en descomposición. Fuente Autores 2017.



Imagen 8: Se muestra pozo 2 de captación de agua termal. Este sitio genera gran cantidad de agua, con poco material suspendido. Fuente Autores 2017.



Imagen 9: Se muestra una canalización desde el centro del humedal hasta la entrada al establecimiento de piscinas. Fuente Autores 2017.



Imagen 10: Muestra pozo 3 rectangular de captación en total abandono, pues sus aguas muestran olor y color no aceptable. Fuente Autores 2017.

imágenes 11-16. Registro fotográfico del lugar de afloramiento, captación, vertimiento y contaminación de la quebrada el salitre.



Imagen 11: Se muestra un pozo de inspección en la parte posterior del establecimiento de piscinas. Fuente Autores 2017.



Imagen 12: Agua superficial, quebrada Salitre. Fuente Autores 2017.



Imagen 13: La imagen muestra notable deterioro ambiental del recurso hídrico de la subcuenca del río Salitre, se evidencia represamiento de las aguas, muerte y descomposición de material vegetal. Fuente Autores 2017.



Imagen 14: Alrededor del pozo se encuentra contaminación de plásticos, muerte del material vegetal. Esto debido a que el lugar es visitado por turistas o personas de la región. Fuente Autores 2017.



Imagen 15: Se muestra un pozo circular en el cual turistas y personas de la región llegan a bañarse. Fuente Autores 2017.



Imagen 16: Pozo 4 de salida o afloramiento de agua termal natural sin captación. Fuente Autores 2017.

imágenes 17-20. Registro fotográfico del lugar de afloramiento, captación, vertimiento y contaminación de la quebrada el salitre.



Imagen 17: El pozo 4 de agua termal, presenta color y olor no aceptable y con notoria cantidad de espuma. Fuente Autores 2017.



Imagen 18: La imagen muestra la parte posterior del Instituto de Turismo de Paipa(termal) piscinas. Fuente Autores 2017.



Imagen 19: Se muestra la única vegetación que crece en las condiciones del humedal, alrededor de los pozos y en la orilla del río Salitre. Fuente Autores 2017.



Imagen 20: Vegetación que sobrevive a la orilla de las canalizaciones que llegan al humedal. Fuente Autores 2017.

Estos balnearios son visitados anualmente por miles de personas que de manera directa o indirecta contribuyen a la contaminación, esto se ve reflejado en residuos plásticos flotando en las fuentes y en los cuerpos de agua. Es importante resaltar que no hay plan maestro de acueducto y alcantarillado en el municipio de Paipa para concentrar en un solo punto los vertimientos que se generan. La contraloría general de la república en delegación del medio ambiente recalca que

CORPOBOYACÁ hace falta en el ejercicio de sus funciones de autoridad ambiental visto que determino que el Instituto de Turismo de Paipa, hacienda el Salitre, y hotel Panorama, sitios de influencia del rio Chicamocha no cuentan con permisos de vertimientos o de captación de agua termo mineral, lo que genera un deterioro del ecosistema, sobreexplotación del recurso no renovable y por ende una reducción en economía en la zona de estudio.

Los sitios que no afloran después de un determinado tiempo son abandonados, dejando obras de infraestructura sin ningún tipo de recuperación o mantenimiento. También es notable que en el lugar del vertimiento en la quebrada el salitre y humedal termo mineral contiguo al Instituto de Turismo de Paipa, se encuentra poca vegetación, no hay presencia de fauna o vida acuática como se evidencia en el registro fotográfico.

Se tiene conocimiento que estos sitios turísticos no realizan ningún tipo de tratamiento luego del uso de las aguas termo-mineral. Esto trae un vertimiento sin ningún control o regulación.

Es necesario que los entes gubernamentales, las Corporaciones autónomas regionales o municipales tengan un control del uso, tratamiento y vertimiento de este recurso. Con todo esto hacer del turismo un mecanismo sostenible que beneficie a todas las partes sin deteriorar el medio ambiente o la salud humana.

En la siguiente *Tabla 6*, demostramos algunos parámetros encontrados en aguas termo-minerales y sus efectos en la salud humana o medio ambiente, con esto dimensionamos el peligro que trae si se utiliza de manera irresponsable o sin ningún tipo de control.

Tabla 6. Parámetros analizados y su afectación en la salud humana y medio ambiente

Parámetro	Característica	Efectos en la salud humana	Efectos en el medio ambiente	Concentraciones peligrosas para la salud humana
Aluminio	Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso industrial.	Causa daño en el sistema nervioso central, demencia, pérdida de la memoria, apatía, temblores severos y problemas en los riñones.	Los efectos son principalmente debido a los problemas de acidificación lo que produce muerte de peces y anfibios y daño a la raíces de los árboles.	
Arsénico	Se encuentra natural como mineral de cobalto. Se emplea en materiales laser gas, como agente acelerador en la manufactura de varios aparatos, la elaboración de vidrio, como pigmentos, en juegos pirotécnicos y en medicina.	La exposición puede causar irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones, puede generar daños en el ADN y puede ser cancerígeno.	Aumenta las posibilidades de alterar el material genético de los peces debido a la gran absorción de este elemento por parte de las plantas	60000 ppb en agua. 0,1 mg/L
Bario	Se emplea en la manufactura de Colorantes brillantes, en pirotecnia, señales luminosas, lubricante para taladros	Puede causar parálisis, dificultad al respirar, incremento de la presión sanguínea, arritmia, debilidad de los músculos, inflamación del cerebro y el hígado.	Presenta bioacumulacion.	0,7 mg/L
Cianuro	Utilizadas en la metalurgia para galvanización, limpieza de metales, recuperación de oro.	Efectos en la tiroides y sistema nervioso.	Produce muerte de peces, algas, destruye el ADN.	12 µg/kg
Cloro	Se usa en la producción de disolventes clorinados, resinas de cloruro de polivinilo (PVC), clorofluorocarbonos (CFCs) y oxido de propileno, para blanquear el papel y reducir los niveles de microorganismos en el agua.	El cloro no permanece en el cuero debido a su reactividad afecta el sistema respiratorio, produce dolor pectoral, retención de agua en los pulmones, irritación de la piel y los ojos.	Las plantas y los animales no suelen almacenar cloro, ero la exposición repetida a cloro en el aire puede afectar al sistema inmunitario, la sangre, el corazón y el sistema respiratorio.	900 ppm, 2mg/cm <sup>3</sup> Gas (0,5 ppm) 150 µg/kg
Cloruro	El ion cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas naturales y residuales y es un indicador de contaminación mas no un contaminante.	No es perjudicial para la salud humana.	Un contenido de cloruro elevado en el agua, interfiere en el desarrollo y crecimiento vegetal.	250 mg /L
Cobre	Material más utilizado para fabricar cables eléctricos y otros componentes eléctricos y electrónicos.	Irritación de la nariz, la boca y los ojos, causa dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarrea, daño en el hígado en los	En suelos ricos en cobre disminuye la cantidad de plantas y organismos, también se presenta bioacumulacion.	

		riñones e incluso la muerte.		
<b>Color</b>	Es debido a la materia orgánica proveniente de vegetales muertos, sustancias inorgánicas, desechos industriales y productos de corrosión	La importancia principal es de naturaleza estética y no objetable desde el punto de vista sanitario.	Evita el contacto de los rayos del sol y causa muerte en organismos acuáticos.	
<b>Detergentes</b>	No se debe permitir concentraciones elevadas debido a que puede generar espumas o problemas de olor y sabor.	Afecciones digestivas y alteran el olor y sabor de las aguas potables	Alteración de la transferencia y disolución del oxígeno en el agua, perturban la sedimentación, alteran la permeabilidad del suelo facilitando la penetración de microorganismos en las aguas subterráneas.	
<b>Fluoruro</b>	Sustancia química usada en la producción de aluminio, la fabricación de químicos para refrigeración y en productos para higiene dental.	Cantidades excesivas de fluoruros pueden provocar fluorosis, aumentar la densidad de los huesos y producir fracturas.	Contribuyen a la formación de lluvia acida lo que genera daño en cultivos y plantas. En animales produce disminución de la fertilidad.	
<b>Fosforo</b>	Base de numerosos compuestos como los fosfatos, también se utilizan como fertilizantes, alimento para animales, ablandadores de agua, aditivos de petróleo.	Generan daño en los riñones y osteoporosis, es altamente toxico y generalmente causa muerte inminente cuando se ingiere en forma de veneno para ratas.	Genera dependencia de organismo que vivan en el agua y genera eutrofización.	
<b>Hierro</b>	Se usa en la fabricación de aceros estructurales, hierro fundido, hierro forjado, imanes, tintes, pigmentos pulidores y abrasivos	Provoca conjuntivitis y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos, puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón	Presenta bioacumulacion, disminuye el óxido disuelto en el agua afectando el ecosistema.	
<b>Manganeso</b>	Se utiliza como agente desecante, catalizador, blanqueador para decoloración de aceites, en pinturas, barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio.	Toxico en elevadas concentraciones, afecta el sistema respiratorio, el cerebro ocasionando olvidos y daños en los nervios, esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza e insomnio y causa Parkinson.	En animales causa afecciones en los pulmones e hígado, fallos en el desarrollo de fetos y daños cerebrales. En plantas puede ser toxico, causa inflamación de las paredes celulares y untos marrones en las hojas.	0,06 mg/kg
<b>Mercurio</b>	Se usa en interruptores eléctricos, termómetros, barómetros, tacómetros, termostatos, en la manufactura de lámparas de vapor de mercurio.	Irritación de los pulmones y ojos, reacciones en la piel, vómito, diarrea, daño al ADN y cromosomas, reacciones alérgicas, defectos de nacimientos y abortos. El daño a las funciones del cerebro causa la degradación de la habilidad para aprender, cambios en	En animales causa daño en el sistema nervioso, riñones, intestino y reproducción.  Altera la capacidad de supervivencia de los organismos afectando el ecosistema.	0,025 ppm  0,2 µg/kg

		la personalidad, temblores, cambios en la visión, sordera, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria.		
<b>Nitrato</b>	Parte esencial de abonos, también usados como transformadores de carbón y azufre.	Causa metahemoglobinemia y aumenta el riesgo de cáncer de estómago. En bebés genera cianosis y la muerte.	Genera procesos de eutrofización en embalses, lagos y estuarios. En las plantas de lugar al aumento del follaje con menos rendimiento de los frutos.	50 mg/L
<b>Nitrito</b>	Se usa en sales para carnes y como antídoto en caso de envenenamiento por cianuro	Causan mutaciones en los genes y deformación en los fetos.		0,2 – 0,3 mg/L
<b>PH</b>	Concentración de iones hidrogeno en el agua.  Determina el contenido de ácidos.	Alteración de las funciones de los órganos, acné, dolor muscular, mareo, hiperactividad, llenura, acidez, cólicos, esquizofrenia, leucemia y otras formas de cáncer.	Incrementa la solubilidad de contaminantes tóxicos y afecta la vida animal directamente.	
<b>Plomo</b>	Su uso común es en la aleación de metales	Producen envenenamiento por la exposición excesiva, perturbación de la biosíntesis de hemoglobina, anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos, perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro.	Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbadas afectando el ecosistema.	25 µg/kg
<b>Sólidos totales disueltos (TDS)</b>	Comprende sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica.	El efecto es sobre el sabor desagradable del agua que puede presentarse con concentraciones muy elevadas, o insípido a niveles bajos.	No se tiene indicios de efectos negativos sobre los orgánicos.	
<b>Sulfato</b>	Se utiliza en la fabricación de vidrio, como aditivo en detergentes, en la fabricación de radiografías.	Genera diarrea y deshidratación.	Genera efectos laxativos y es un indicador de punto de vertido cerca.	
<b>Sulfuro</b>	Es empleado en la metalurgia para la obtención de hierro, plomo, estaño o manganeso, entre otros muchos metales.	Genera efectos neurológicos y cambios en comportamientos, alteración de la circulación sanguínea, daños cardiacos, desordenes estomacales y gastrointestinales, daños en las funciones del hígado y los riñones, defectos en la audición, alteraciones del metabolismo hormonal.	Puede provocar irritaciones en los ojos y garganta de los animales, daños cerebrales, atrofia el sistema nervioso, daños vasculares en las venas del cerebro, corazón y riñones, daños fetales y defectos congénitos.	

<b>Temperatura</b>	La más deseable en el agua es aquella que consideremos fresca. Esta fluctúa según la época del año.	Quemaduras de primero, segundo, tercero y cuarto grado.	Puede causar daños a la flora y fauna al interferir en la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de las bacterias y otros organismos.	
<b>Tetracloruro de carbono</b>	Debido a sus efectos perjudiciales, para muchas industrias su uso está prohibido.	Puede causar daño del hígado, los riñones, el sistema nervioso central, intoxicación dolores de cabeza, mareo, somnolencia, náusea, vómitos y puede llevar desde un coma hasta la muerte.	Forma sustancias químicas que pueden destruir la capa de ozono. No existe bioacumulación en animales.	2 vol. %
<b>Turbidez</b>	Producto de la presencia de arcillas, limo materia orgánica, plancton y otros materiales inorgánicos en suspensión.	Generalmente no afecta la salud humana. Es de simple carácter estético.	Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, reduciendo así la concentración de oxígeno.	
<b>Grasas y aceites</b>	Presentes en: usos domésticos, talleres automotrices, industria del petróleo, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética.	Vegetales y animales no existen registros de efectos en la salud.  Afecta el sistema digestivo, causa dolor de cabeza, náuseas, vómito, inflamación del tracto respiratorio e intoxicación.	Ocasionalmente perturbaciones en la vida acuática al formar películas sobre la superficie, obstaculizando la fotosíntesis al disminuir la aeración y paso de la luz, además de interrumpir en la reproducción de las especies.	

*Fuente: Prieto Castañeda, A., & Grajales Garcia, N. (2012). Análisis de la normatividad aplicada al vertimiento de aguas de producción en la explotación de recursos de hidrocarburos en Colombia. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.*

Como se evalúa en el cuadro los principales parámetros que se encuentran en las aguas termo-minerales generan un efecto en la salud humana desde simples reacciones alérgicas hasta la muerte teniendo concentraciones muy bajas (miligramos/litro, partes por millón (ppm) o miligramos/kilogramo).

El riesgo al que se está expuesto debido a los vertimientos no controlados debe ser de prioridad para los entes gubernamentales. Un control estricto y poco flexible a las empresas que hacen uso de estas aguas es necesario y primordial.

Las sustancias al ser vertidas a cuerpos de agua reducen sus concentraciones, pero al ser utilizadas como riego de cultivos o consumo humano como ya se ha determinado, siguen produciendo efectos en la salud.

En los ecosistemas el riesgo es de igual magnitud, muchas especies animales o vegetales de entornos acuáticos llegan a morir debido a las altas concentraciones de metales pesados, debido a esto, representamos en la siguiente Tabla 7 algunos parámetros que los afectan de manera letal<sup>15</sup>.

Tabla 7. Parámetros eco toxicológicos

Compuesto	Especie animal (Nombre Común)	Especie Vegetal (Nombre Común)	Letal (µg/L)
Arsénico	Oncorhynchus kisutch – (Salmón coho o Plateado)		
Cloruro de Bario		ChlorellaVulgaris (Algas verdes)	>4000
	Oncorhynchus kisutch – (Salmón coho o Plateado)		282000
Cobre		Chlamydomonasreinhardtii (algas verdes)	
		Daphnia magna (Pulga de Agua)	>48,8
	Oncorhynchus mykiss– (Trucha arco iris)		>14367
Hierro	Cyprinus Carpio (Commoncarp)		3000
Manganeso	Oncorhynchus kisutch – (Salmón coho o Plateado)		100000
Mercurio		ChlorellaVulgaris (Algas verdes)	300
	Oncorhynchus kisutch – (Salmón coho o Plateado)		250
Plomo		ceriodaphniadubia (Pulga de Agua )	>99
	Oncorhynchus mykiss– (Trucha arco iris)		>14,6

Fuente: EPA-USA. (2016). U.S. Environmental Protection Agency. Obtenido de [cfpub.epa.gov/ecotox/](http://cfpub.epa.gov/ecotox/)

En la (tabla 7) se muestran algunos elementos y compuestos que llegan a ser letales para las especies animales o vegetales, las concentraciones que extinguen la vida son dadas en microgramos/litro.

-----  
<sup>15</sup>. EPA-USA. (2016). U.S. Environmental Protection Agency. Obtenido de [cfpub.epa.gov/ecotox/](http://cfpub.epa.gov/ecotox/). p.49

Realizando la inspección ocular del humedal termo mineral y la quebrada el Salitre donde se realiza los vertimientos, se evidencia que no hay presencia de peces o anfibios, o a un ecosistema sostenible, únicamente plorifera un tipo de herbácea. La vida acuática se reduce al estar sometida de manera directa a estos contaminantes. Todos ellos son provenientes de fuentes de agua termal como se muestran en el análisis físico-químico. Esto confirma lo mostrado en las imágenes del lugar del vertimiento donde no existe vida acuática. Cabe resaltar que la biodiversidad en cuanto a flora es mínima. Estas concentraciones de metales pesados en los organismos vivos pueden generar mutaciones, cambios en la estructura del ADN y de esta manera la extinción de la especie.

#### **7.4. Propuesta para el tratamiento In situ de aguas termo-mineral residual.**

Según el diagnóstico del nivel de contaminación y los análisis de agua, se propone un prototipo de tratamiento In situ de varias unidades que combine diferentes técnicas no convencionales las cuales optimicen el vertimiento hacia el río Chicamocha, buscando el mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas.

Para la optimización de la planta de tratamiento In situ de las aguas termo-minerales se plantean tres módulos: a) Un módulo de un Pretratamiento el cual está adaptado por tres secciones de columnas de Winogradsky; b). Dos módulos de humedales artificiales de flujo vertical; c) Un módulo de biodigestor para la reutilización de las macrófitas usadas en el humedal artificial de flujo vertical. Este sistema se explica a continuación.

##### **A. Pretratamiento**

Este proceso de pretratamiento se adaptó de las columnas de Winogradsky, conocido como biotecnología ambiental. Esta compuesto entre zonas aerobias y anaerobias entre donaciones de electrones, como compuestos orgánicos y aceptores electrones de sulfatos. Esta columna da la observación en la adaptación

de los microorganismos presentes en comunidades bacterianas. Este proceso produce bacterias anaerobias sulfato reductoras

El pretratamiento se dará con comunidades microbianas que se formarán por los compuestos orgánicos e inorgánicos expuestos a la luz natural. Estas columnas simulan un micro ecosistema donde los microorganismos ocupan espacios específicos dependiendo a las necesidades de carbono energía y oxígeno, se incubaba durante un periodo de 2, 3 y 4 semanas la cantidad de microorganismos, en especial en la zona anaerobia donde tendrá la ausencia de oxígenos para su correcta incubación de microorganismos sulfato reductores. Según Barco, L “la caracterización de aguas termales demuestra que el vertimiento de estas aguas no es apto como fuente de agua potable y de riego”<sup>16</sup>. Este estudio de agua desarrollo una cantidad mínima de oxígeno que está en un rango de 1,3 a 1,9 mgO<sub>2</sub>/L

Para el pretratamiento se tuvo en cuenta este valor de contenido de oxígeno ya que es necesario tener ausencia del mismo para la incubación de microorganismos sulfato reductor. Para este sistema se emplea tres estratos de arena, separadas cada 0,10 m como módulo de pretratamiento incluido en el sistema en serie de tres columnas de Winogradsky conectadas entre sí (Figura 2 y 3).

Figura 2. Columna de Winogradsky vista lateral

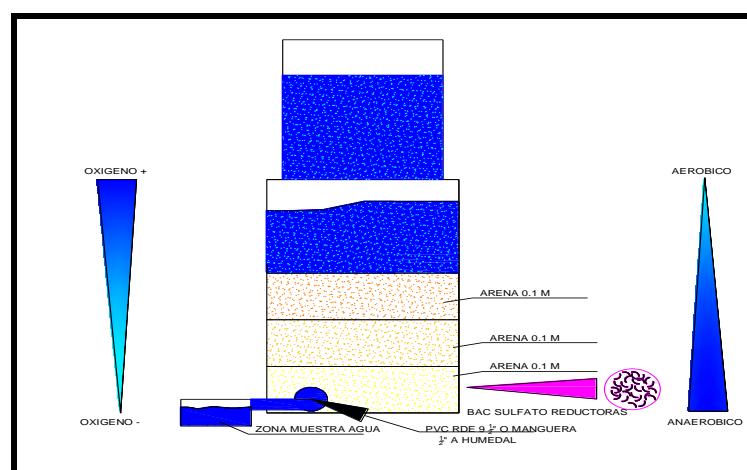
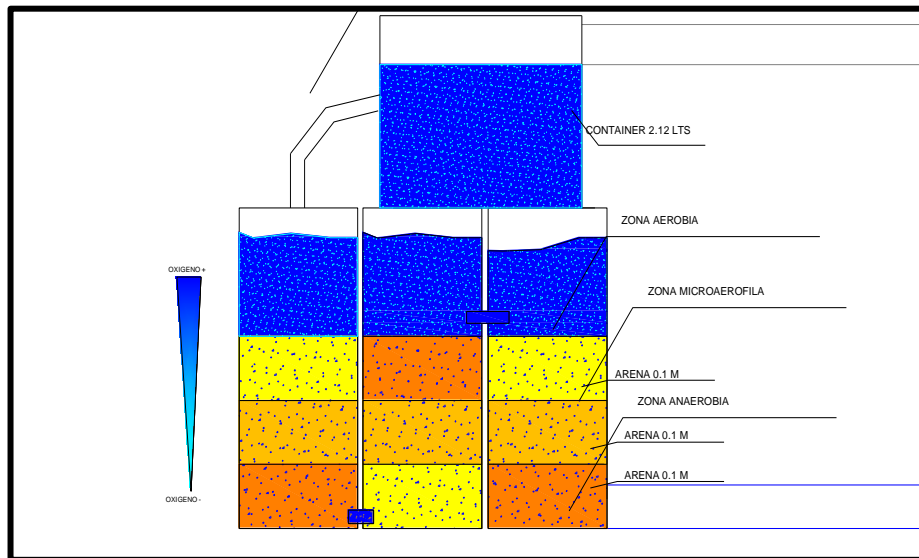


Figura 3. Columna de Winogradsky vista longitudinal



Fuente: Autores

Según Barco, L. estas aguas “tienen altos valores de dureza y alcalinidad, demuestra que estas aguas están clasificadas como sulfatadas”<sup>17</sup>.

## B. Diseño de humedal artificial.

El diseño de humedal artificial vertical se empleó en el sistema ya que el agua circula verticalmente por los sustratos empleados en el diseño del tratamiento de agua termo-minerales<sup>18</sup>. En el diseño de laboratorio fue desarrollado por dos contenedores de dimensiones de 0,3 m x 0,40m x 0,5 m.

-----  
<sup>17</sup>. Barco, L. *op. cit*, p.53.

<sup>18</sup>. T. Rodríguez Chaparro, I. M. (2005). *Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua en el río Bogotá*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.p.53

Tabla 8. Procesos que contribuyen la depuración de aguas termo-minerales

	SPA	Humedal Flujo Superficial	Humedal Flujo Subsuperficial	Humedal Flujo Vertical
<b>Materia orgánica</b>	Conversión biológica por intervención de las bacterias aerobias, facultativas y anaerobias adheridas a las superficies de las plantas y a los detritos.	Reducción de la DBO soluble por conversión biológica por erecto de bacterias aerobias, facultativas y anaerobias que crecen en la superficie de las plantas y sobre los detritos. La DBO articulada se elimina por absorción, por filtración y sedimentación.	Reducción por conversión biológica por intervención de bacterias facultativas y anaerobias que crecen en la superficie de las plantas y los detritos del medio de relleno del humedal.	Reducción por conversión biológica por medio de bacterias facultativas y anaerobias adheridas a las superficies de las plantas y detritos.
<b>Materia en suspensión</b>	Sedimentación	Filtración y sedimentación	Filtración y sedimentación	Filtración
<b>Nitrógeno</b>	Procesos de nitrificación/desnitrificación,	Nitrificación/desnitrificación, asimilación por las plantas y vitalización.	Nitrificación/desnitrificación, asimilación por las plantas y vitalización.	Nitrificación/desnitrificación, asimilación por las plantas y vitalización.
<b>Fosforo</b>	Reducción por precipitación y por asimilación por plantas y microorganismos.	Reducción por sedimentación y por asimilación por medio de las plantas y microorganismos.	Por filtración, sedimentación, absorción, por asimilación por parte de las plantas	Filtración, sedimentación, absorción y asimilación por las plantas.
<b>Metales pesados</b>	Sedimentación, por absorción y absorción por plantas	Absorción a las plantas, superficie de detritos y por sedimentación	Absorción a las raíces de las plantas y los detritos, sedimentación	Absorción a las raíces de las plantas, sedimentación y filtración.
<b>Trazas de contaminantes orgánicos.</b>	Volatilización, absorción y biodegradación.	Volatilización, absorción, biodegradación.	Absorción, biodegradación.	Volatilización, absorción, biodegradación.
<b>Patógenos</b>	Muerte natural, radiación UV. Depredación por organismos.	Muerte natural, depredación, radiación UV. Sedimentación, secreción de antibióticos de las raíces de las plantas.	por muerte natural, por depredación, sedimentación, secreción de antibióticos desde las raíces de las plantas	Muerte natural, depredación, sedimentación, secreción de antibióticos de las raíces de las plantas.

Fuente: Arias L., C. A., & Brix, H. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Bogotá D.C.: universidad militar Nueva Granada.

Según Barco, I. 19, se determinó en el estudio de aguas con altos valores de dureza y alcalinidad indica que el agua contiene una cantidad de iones alcalinotérreos como calcio y magnesio, clasifica estas aguas como bicarbonatadas, cálcicas, sulfatadas. Para el tratamiento de metales pesados se emplea como sistema la absorción de plantas

Para la construcción In situ se determina los siguientes parámetros típicos de diseño para tratamiento con humedales según Arias L.,20.

Tabla 9. Parámetros típicos de diseños para el tratamiento con humedales

Tipo de flujo	Horizontal	Subsuperficial	Vertical
carga orgánica afluyente	<112 DBO <sub>5</sub> kg ha-1d-1	<a150 DBO <sub>5</sub> kg ha-1 d-1	< 112 DBO <sub>5</sub> kg ha-1d-1
Carga hidráulica	<5 cm d-1	< 5cm d-1	<5 cm d-1
Tiempo retención hidráulica	5- 15 DIAS	< 5 DIAS	1- 2 DIAS
Área específica por pe	De 5 m <sup>2</sup> a 20 m <sup>2</sup> PE	De 5 m <sup>2</sup> a 20 m <sup>2</sup> PE	De 1 m <sup>2</sup> a 5 m <sup>2</sup> PE
Profundidad	<0,60 cm	<0,60 m	> 1.0 m
Tipo relleno	NA	ARENA Y GRAVA	ARENA Y GRAVA
Vegetación <sub>5</sub>	VARIABLE	VARIABLE	VARIABLE

Fuente: Arias L., C. A., &Brix, H. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Bogotá D.C.: universidad militar Nueva Granada.

Se determina que los rellenos a utilizar son arenas medias que pasan de malla de 2mm y son retenidas por otra de 0,5 mm y gravas en capas de media pulgada y un cuarto de pulgada, los cuales se emplearon en el sistema de humedal tipo vertical propuesto en el diseño.

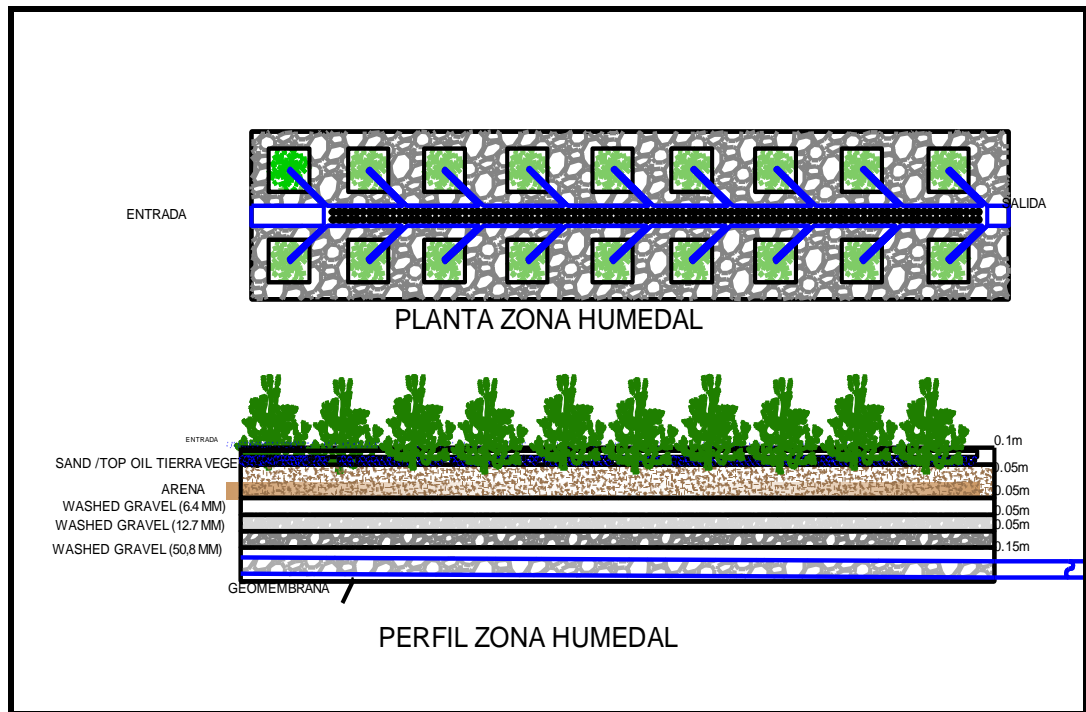
-----  
19. Barco, L. *op. cit*, p.55.

20. Arias, C.A., *op. cit*, p.55.

Se empleó con tubería perforada para la recolección de sus aguas en la parte inferior del sistema, en los cuales el primer estrato a utilizar es grava lavada de media pulgada con una altura de 15 cm y una pendiente en el fondo de 5% para su recolección.

Se empleó un siguiente estrato de gravilla de un cuarto de pulgada con una altura de 5 cm y otra capa de gravilla de un cuarto de pulgada con una altura de 5 cm, el siguiente estrato es de arena media, lavada con una altura de 5 cm y el ultimo estrato es con tierra negra o arena vegetal el cual estarán las plantas apoyadas con una altura de 5 cm, el diseño tendrá dos contenedores en serie y de flujo vertical conectados entre sí (Figura 4).

Figura 4. Humedal artificial de flujo vertical



Fuente: Autores

### **C. Biodigestor.**

Para la optimización del sistema de tratamiento In situ de agua residuales termo-minerales del municipio de Paipa en el departamento de Boyacá, se debe presentar cada aspecto contaminante generado por el mismo y dentro de los elementos que pueden generar agentes contaminantes es la planta de humedad residual, ya que estas plantas se reproducen de una manera acelerada, por este motivo se ha visto la posibilidad de la reutilización de estas plantas para la generación de abono orgánico y la generación de Biogás.

Para esta reutilización se hace necesario el diseño para el aprovechamiento de humedal para la generación de abono orgánico mediante la utilización de un biodigestor. Este biodigestor actúa con desechos orgánicos de origen vegetal y animal, este bio proceso genera una mezcla de gases en un alto contenido de gas metano un gas combustible que genera una concentración de nutrientes y residuo orgánico, ideal para fertilizantes, entre las características físico químicas para que se cumpla el proceso de biodigestion, se debe tener los siguientes parámetros según López Jerves: “Temperatura entre 20° y 60°, pH cercano a 7, Ausencia de oxígeno, Nivel de humedad alto, Materia orgánica presente del humedal, en trozo pequeño”<sup>21</sup>.

Existen varios sistemas de biodigestores empleados para generar bio gas y abono orgánico y así contribuir al impacto ambiental generado por plantas de humedales residuales y darle una reutilización a este. Los biodigestores se clasifican en Cúpula fija, Cúpula móvil y De salchicha, Taiwán.

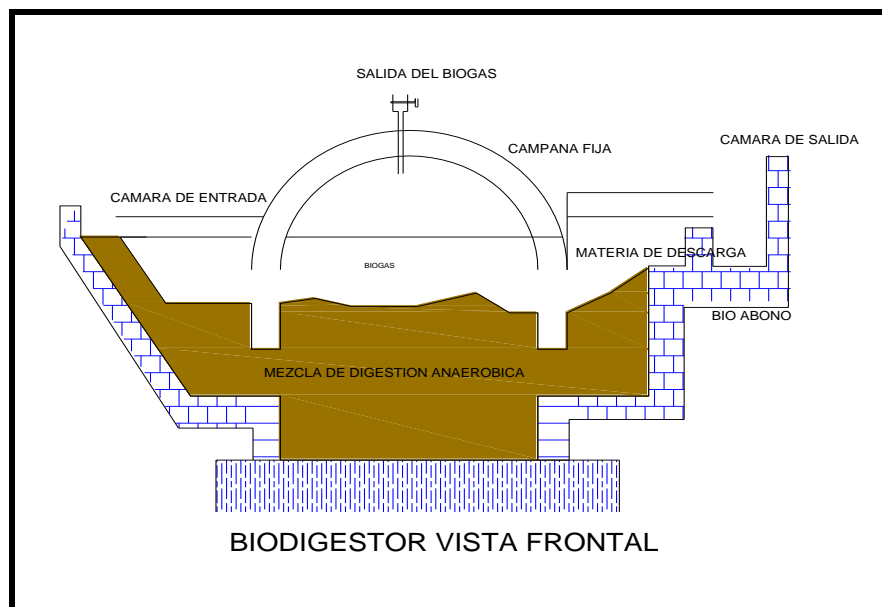
-----  
21. López Jerves, D. (2012). *Aprovechamiento del Eichhornia crassipes para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños de biodigestores*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede cuenca.p.57.

22. *Ibid.*, p.57.

Ante la implementación del biodigestor se empleó que la utilización de un biodigestor de cúpula fija para la extracción del biogás y de abonos. Este proceso es anaeróbico la digestión o biofermentación es un proceso por el que el grupo de microorganismos y en ausencia de oxígeno son capaces de degradar la materia orgánica en una serie de reacciones complejas que dan lugar a que una parte de la materia se oxide a  $\text{CO}_2$  y otra se reduzca a  $\text{CH}_4$ , produciendo biogás

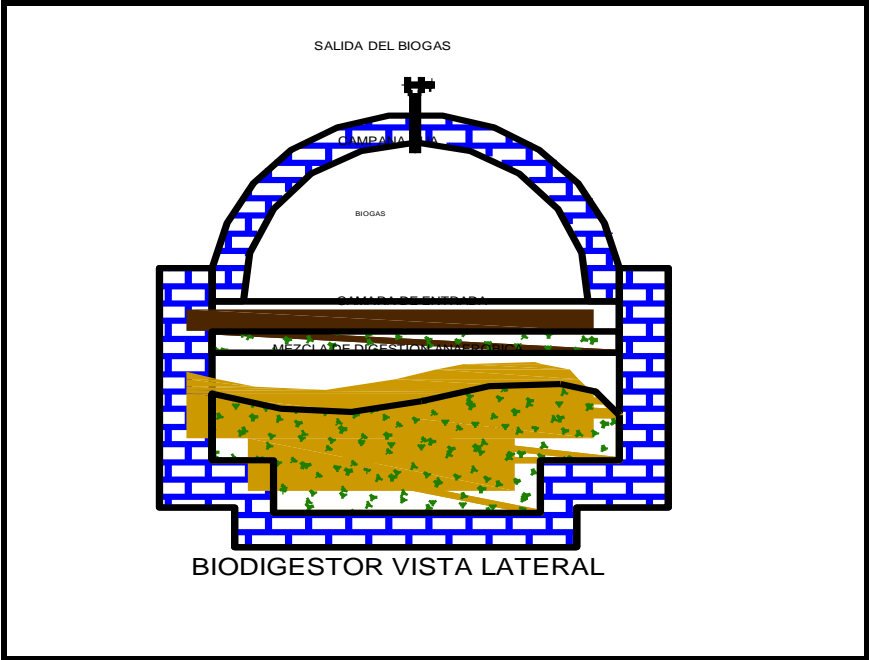
Este proceso de fermentación anaeróbica puede lograrse mediante la utilización de sistema hermético cerrado dentro de la cual se coloca el material orgánico a fermentar con agua. Los beneficios de la utilización del biodigestor radica en tres principales usos como lo son: a) La utilización del bio gas para actividades donde ese requiera energía, para cocinar, para iluminación, para calor y para fuerza motriz; b) Se obtiene el abono y puede ser utilizado en procesos cortos y largos de cultivos como fertilizante; c) Reducción de contaminantes por concepto a las plantas de humedales residuales (Figura 5).

Figura 5. Biodigestor vista frontal



Fuente: Autores

Figura 6. Biodigestor vista lateral



Fuente: Autores

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las aguas termo-minerales usadas por los balnearios aportan gran cantidad de contaminantes orgánicos, elevan la conductividad, bajan la saturación de oxígeno, sólidos suspendidos, al ser vertidas directamente y sin tratamiento alguno a las diferentes cuencas y subcuencas aledañas. Constantemente se deteriora y se pierde la biodiversidad del ecosistema nativo de la región. Es necesario hacer un uso responsable del recurso donde todas las partes involucradas obtengan provecho y sin daño colateral para la economía y el turismo.

La normatividad nacional e internacional se determina en valores máximos admisibles para los parámetros de vertimiento a cuerpos de agua superficial, tomando los análisis de los parámetros físico-químicos y biológicos se determina que parámetros cumplen con la resolución 0631 de 2015 y de las demás normas internacionales relacionadas en el presente proyecto.

Tabla 10. Evaluación de los valores máximos admisibles según la resolución 0631 de 2015 Colombia.

PARAMETRO	RESOLUCION 0631 DE 2015 COLOMBIA										
	VALORES MAXIMOS ADMISIBLES NORMA	AGUAS DE ITP		ENTRADA DELFIN		SALID DELFIN		RECOLECCION AGUA TERMOMINERAL		HUMEDAL	
T (C°)	40	50	NO CUMPLE	38	SI CUMPLE	36	SI CUMPLE	24	SI CUMPLE	25	SI CUMPLE
pH	6 a9	7,2	SI CUMPLE	7,8	SI CUMPLE	7,6	SI CUMPLE	8,2	SI CUMPLE	7,2	SI CUMPLE
Sólidos suspendidos totales	50	5600	NO CUMPLE	3200	NO CUMPLE	7400	NO CUMPLE	62100	NO CUMPLE	56200	NO CUMPLE
coliformes fecales NMP/100 MI	NO APLICA	23	NO APLICA	16	NO APLICA	21	NO APLICA	8146	NO APLICA	10150	NO APLICA
coliformes totales NMP/100 MI	NO APLICA	54	NO APLICA	24	NO APLICA	44	NO APLICA	10140	NO APLICA	17210	NO APLICA
DBO5	50	8,6	SI CUMPLE	11	SI CUMPLE	8,6	SI CUMPLE	301	NO CUMPLE	278	NO CUMPLE
DQO	150	15	SI CUMPLE	19	SI CUMPLE	15	SI CUMPLE	416	NO CUMPLE	365	NO CUMPLE
Dureza	ANALISIS Y REPORTE	515	ANALISIS Y REPORTE	178,5	ANALISIS Y REPORTE	129	ANALISIS Y REPORTE	211	ANALISIS Y REPORTE	352,5	ANALISIS Y REPORTE
Alcalinidad	ANALISIS Y REPORTE	48	ANALISIS Y REPORTE	16	ANALISIS Y REPORTE	56	ANALISIS Y REPORTE	96	ANALISIS Y REPORTE	80	ANALISIS Y REPORTE
Oxígeno (mgO2/L)		1,9	NO APLICA	3,1	NO APLICA	3,6	NO APLICA	2,5	NO APLICA	1,3	NO APLICA
Olor(Aceptable o no aceptable)	A	A	SI CUMPLE	A	SI CUMPLE	A	SI CUMPLE	NA	NO CUMPLE	NA	NO CUMPLE
Grasas y Aceites	10	0,89	SI CUMPLE	0,96	SI CUMPLE	0,78	SI CUMPLE	62	NO CUMPLE	56	NO CUMPLE
Color (UPC)	ANALISIS Y REPORTE	21	ANALISIS Y REPORTE	32	ANALISIS Y REPORTE	26	ANALISIS Y REPORTE	623	ANALISIS Y REPORTE	562	ANALISIS Y REPORTE
Turbiedad (NTU)	ANALISIS Y REPORTE	18	ANALISIS Y REPORTE	19	ANALISIS Y REPORTE	31	ANALISIS Y REPORTE	1814	ANALISIS Y REPORTE	1420	ANALISIS Y REPORTE
conductividad (µs/cm)	ANALISIS Y REPORTE	10200	ANALISIS Y REPORTE	8700	ANALISIS Y REPORTE	10300	ANALISIS Y REPORTE	51200	ANALISIS Y REPORTE	43600	ANALISIS Y REPORTE

Fuente: Propia

Según la resolución 0631 de 2015 de la normatividad colombiana, se determina que el parámetro Sólidos suspendidos totales no cumple en ninguna muestra ya que sus valores superan los valores máximos admisibles propuestas en el capítulo vii de la resolución 0631 de 2015. En la zona de recolección de las aguas termo mineral y en la zona del humedal no cumple en olor, grasas y aceites y en los parámetros de DBO<sub>5</sub> Y DQO.

La normatividad ambiental no especifica un control al vertimiento de las aguas usadas termo-minerales, por lo cual puede ser susceptible a erróneas interpretaciones y a la mala disposición o sobreexplotación del recurso, es necesario fortalecer las entidades o Corporaciones autónomas regionales para que sean ellas las que prevengan, autoricen, regulen y controlen este tipo de vertimientos y así no seguir afectando el medio que nos rodea.

Los resultados obtenidos indican que un tipo de sistema de tratamiento como el humedal podría ser utilizado para mejorar la calidad del agua y de esta forma contribuir a la descontaminación del recurso hídrico o inclusive para tratar aguas residuales.

La propuesta de tratamiento tiene ventaja ya que se ha demostrado que existe una reducción en la zona del humedal artificial de flujo vertical según López Jerves: “los valores de reducción en los parámetros son los siguientes: DBO=37%, DQO=10 %, Coliformes totales=49%. Sólidos suspendidos totales=27% sólidos totales=12%, grasas y aceites=47%. Dentro de la capacidad del biodigestor se encuentra una degradación entre el 70% y 80% a una temperatura no tan baja”<sup>23</sup>.

---

23. López Jerves. *op. cit*, P. 64.

Tabla 11. Reducción con la propuesta de tratamiento en las muestras tomadas

PARAMETRO	porcentaje de reduccion	MUESTRA DEL ITP	REDUCCIÓN	ENTRADA DELFIN	REDUCCIÓN	SALIDA DELFIN	REDUCCIÓN	RECOLECCION AGUA TERMOMINERAL	REDUCCIÓN	HUMEDAL	REDUCCIÓN
T (Cº)		50		38		36		24		25	
pH		7,2		7,8		7,6		8,2		7,2	
Solidos suspendidos totales	27%	5600	4088	3200	2336	7400	5402	62100	45333	56200	41026
coliformes fecales NMP/100 MI		23	23	16	16	21	21	8146	8146	10150	10150
coliformes totales NMP/100 MI	49%	54	27,54	24	12,24	44	22,44	10140	5171,4	17210	8777,1
DBO5	37%	8,6	5,418	11	6,93	8,6	5,418	301	189,63	278	175,14
DQO	10%	15	13,5	19	17,1	15	13,5	416	374,4	365	328,5
Dureza		515	515	178,5	178,5	129	129	211	211	352,5	352,5
Alcalinidad		48	48	16	16	56	56	96	96	80	80
Oxigeno (mgO2/L)		1,9	1,9	3,1	3,1	3,6	3,6	2,5	2,5	1,3	1,3
Olor(Aceptable o no aceptable)		A		A		A		NA		NA	
Grasas y Aceites	47%	0,89	0,4717	0,96	0,5088	0,78	0,4134	62	32,86	56	29,68
Color (UPC)		21	21	32	32	26	26	623	623	562	562
Turbiedad (NTU)		18	18	19	19	31	31	1814	1814	1420	1420
conductividad (µs/cm)		10200	10200	8700	8700	10300	10300	51200	51200	43600	43600

Fuente: Autores

## 7. GLOSARIO.

**TRATAMIENTO IN SITU:**designa un método técnico que se utiliza o tiene lugar en el mismo emplazamiento de la obra.

**AGUA RESIDUAL:**agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria. (RAS 2000, Título E). Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado. En general se consideran aguas residuales domesticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales los residuos líquidos transportado por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal y se llaman aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas e industrias de manufactura.

**CARACTERÍSTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES:**los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos, biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales son diseñadas para su remoción (Crites&Tchobanoglous. Op. Cit, 2001 Pág. 46). Toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud de los resultados.

**PLANTA MACRÓFITA:**plantas acuáticas consideradas unas de las alternativas biológicas para el tratamiento de aguas residuales, debido a la eficiencia en la remoción de contaminantes y su bajo costo.Se clasifican en flotantes y enraizados, estos últimos se clasifican en emergentes, sumergidas o flotantes.

HUMEDAL: los humedales contruidos son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, plantas, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer un mejoramiento ambiental (Osnaya, 2012).

Clasificación:

- HUMEDALES CONTRUIDOS:
- Humedales de flujo superficial
- Humedales de flujo sub superficial.
- Humedales de flujo sub superficial horizontal.
- Humedales de flujo sub superficial vertical.

AGUA TERMO-MINERAL: aguas minerales que emanan del suelo con más de 5°C que la temperatura superficial, estas aguas proceden de capas subterráneas de la tierra que se encuentran a mayor temperatura, generalmente a lo largo de las líneas de falla, estas se calientan al llegar a cierta profundidad aprovechando el calor del núcleo de la tierra y luego ascienden en forma de vapor que luego puede condensarse al llegar a la superficie. Estas aguas son ricas en diferentes componentes energéticos, mineralización, radiactividad, gases y variaciones de PH que permiten su utilización entre ellos balneología, cultivo de peces, calefacción, agricultura, procesos industriales, aplicaciones medicinales, generación de energía etc. Así mismo podemos clasificarlas según su temperatura, origen geológico, composición química y composición en minerales.

SUSTRATO: soporte de la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes. Sustrato (medio granular). En los humedales, el sustrato está formado por el suelo arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente

grava seleccionada con un diámetro de 5mm aproximadamente y con pocos finos (Andrade et al., 2010. Pág. 12).

**ABSORCIÓN:** es un proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase. Esta segunda fase puede ser líquida, gaseosa o sólida. Así pues, a diferencia de la adsorción, no es un proceso de superficie, sino de volumen.

**ADSORCIÓN:** es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. En química, la adsorción de una sustancia es su acumulación en una determinada superficie. El resultado es la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un cuerpo sólido o líquido. Considérese una superficie limpia expuesta a una atmósfera gaseosa. En el interior del material, todos los enlaces químicos (ya sean iónicos, covalentes o metálicos) de los átomos constituyentes están satisfechos, en cambio, por definición la superficie representa una discontinuidad de esos enlaces. Para esos enlaces incompletos, es energéticamente favorable el reaccionar con lo que se encuentre disponible, y por ello se produce de forma espontánea. La naturaleza exacta del enlace depende de las particularidades de los especímenes implicados.

**AEROBIOS:** se denomina aerobios a los organismos que necesitan del oxígeno diatómico para vivir o a los procesos que lo necesitan para poder desarrollarse. El adjetivo aerobio se aplica no sólo a organismos sino también a los procesos implicados (metabolismo aerobio) y a los ambientes donde se realizan. Un ambiente aerobio es aquel rico en oxígeno, a diferencia de uno anaerobio, donde el oxígeno está ausente, o uno microaerofílico, donde el oxígeno se encuentra a muy baja concentración.

**AFLUENTE:** aguas residuales crudas o brutas que proceden de la red de alcantarillado e ingresan a la planta de tratamiento.

**ANAEROBIOS:** se llama anaerobios a los organismos que no necesitan oxígeno (O<sub>2</sub>) para desarrollarse, a diferencia de los organismos aerobios. Los anteriores pueden dividirse en: los organismos anaerobios forzosos, que mueren en presencia de oxígeno; los organismos anaerobios facultativos, que pueden usar el oxígeno si está presente; y los organismos Aero tolerantes, los cuales pueden vivir en presencia de oxígeno pero no hacen uso de él en forma alguna. Los organismos anaerobios utilizan la respiración anaerobia, más comúnmente llamada fermentación, para obtener energía química. Se encuentran estos organismos en rellenos sanitarios cuando se confina el parte orgánico de los residuos sin ningún tratamiento. Por la compactación se establece un ambiente anóxico en el cual los organismos anaerobios transfieren los partes orgánicos en décadas a gases de efecto invernadero: metano y dióxido de carbono.

**BACTERIAS:** nombre que reciben los organismos unicelulares y microscópicos, que carecen de núcleo diferenciado y se reproducen por división celular sencilla.

**COAGULACIÓN:** proceso en que un sólido muy dividido que se encuentra en suspensión, o en dispersión coloidal, por adición de compuestos químicos pasa a estar formado por partículas de mayor tamaño.

**COLIFORMES FECALES:** grupo de bacterias que se encuentran en abundancia en el intestino del hombre. Se las utiliza como indicador de contaminación microbiológica de las aguas.

**DBO5:** demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días. Medida de la cantidad de oxígeno consumida en la oxidación del material carbonoso de una muestra de agua, por la población microbiana, a lo largo de cinco días de incubación y a una temperatura de 20°C.

**EFLUENTE:**aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.

**ELUÍDO:**es una sustancia absorbida desde un lecho poroso o columna de cromatografía disolvente adecuado. Esta solución que se recoge del cromatógrafo de gases para posterior su análisis.

**EUTROFIZACIÓN:**es el crecimiento desmesurado de algas y hierbas sobre la superficie del agua originando un excesivo consumo del oxígeno ocasionando que muchos otros microorganismos no puedan desarrollarse.

**FILTRACIÓN:**proceso de separación de un sólido suspendido en un líquido al hacerlo pasar a través de un medio poroso con un tamaño de poro adecuado.

**FLOCULACIÓN:**operación posterior a la coagulación, que consiste en dosificar compuestos químicos a las aguas residuales, para que los sólidos dispersos formen agregados más densos y más gruesos, llamados flóculos, que facilitan su separación del agua por decantación o filtración.

**FLOTACIÓN:**técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de la solución cuya densidad es mayor.

**INFILTRACIÓN:**flujo del agua o de otro fluido a través de los poros de un cuerpo sólido. Flujo del agua a través del suelo.

**LODO:**residuo de consistencia pastosa, más o menos cargado de agua que proviene de la depuración de aguas residuales. Se caracteriza por contener elevadas concentraciones de materia orgánica.

**MACRÓFITAS:**constituyen formas macroscópicas de vegetación acuática. Comprenden las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas. Presentan adaptaciones a este tipo de vida tales como: cutícula fina, estomas no funcionales, estructuras poco lignificadas.

**OXÍGENO DISUELTTO:**es la cantidad de oxígeno existente en el agua, se expresa en partes por millón o mg/L; este parámetro es muy importante para la respiración de las bacterias aerobias durante el proceso de depuración de aguas residuales.

**PATÓGENOS:**que originan una enfermedad.

**PRECIPITADO:**es el sólido que se produce en una disolución por efecto de una reacción química. A este proceso le llamamos precipitación. La precipitación puede ocurrir cuando una sustancia insoluble se forma en la disolución debido a una reacción química o a que la disolución ha sido sobresaturada por algún compuesto, esto es, que no acepta más soluto y que al no poder ser disuelto, dicho soluto forma el precipitado. En la mayoría de los casos, el precipitado (el sólido formado) cae al fondo de la disolución, aunque esto depende de la densidad del precipitado: si el precipitado es más denso que el resto de la disolución, cae, si es menos denso, flota, y si tiene una densidad similar, se queda en suspensión.

**RETENCIÓN:**relación entre el volumen del tanque y el caudal afluente, también se denomina tiempo de llenado.

**SEDIMENTACIÓN:**la sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión. El cambio de alguna de estas características de la corriente puede hacer que el

material transportado se sedimente; o el material existente en el fondo o márgenes del cauce sea erosionado. La sedimentación de sólidos en líquidos está gobernada por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan más fácilmente cuando mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuando menor es la viscosidad del líquido.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Arias L., C. A. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Bogota D.C.: UNIVDRSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Barco, L. y. (2010). *Identifiacion de las características Hidrológicas y Sanitarias del lago Sochagota y Fuentes de Agua Termomineral*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Díaz, A. E. (2013). *DETERMINACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DEL TURISMO EN LA CIUDAD DE PAIPA (BOYACÁ)*. DUITAMA, BOYACÁ: UNIVERSIDAD DE MANIZALES.
- EPA-USA. (2016). *U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*. Obtenido de [cfpub.epa.gov/ecotox/](http://cfpub.epa.gov/ecotox/)
- Lopez Jerves, N. D. (2012). *Aprovechamiento del EICHHORNIA CRASSIPES para la generacion de abono organico mediante la utilizacion de tres diseños de biodigestores*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana Sede cuenca.
- Lopez, D. (2012). *Aprovechamiento del EICHHORNIA CRASSIPES para la generacion de abono organico mediante la utilizacion de tres diseños de biodigestores*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana Sede cuenca.
- Osorio. (2006). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA*. TUNJA: CORPOBOYACA, UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA.
- Osorio, L. C., & Ramirez Zorro, F. (2006). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA*. TUNJA: CORPOBOYACA, UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA.
- Osorio, Z. L. (2006). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CHICAMOCHA*. TUNJA: CORPOBOYACA, UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA.
- Parra, S. (2015). ESTUDIO DE CLORURO Y SULFATOS EN DIFERENTES ESTADOS FENOLÓGICOS DE EICHHORNIA CRASSIPES EN TRATAMIENTO DE AGUA TERMO MINERAL SERVIDA EN EL MUNICIPIO DE PAIPA (BOYACÁ). *COLCIENCIAS* .
- Pavajeau, R. (2014). DETERMINACION DEL ORIGEN Y COMPOSICION DE LAS AGUAS TERMALES UBICADAS EN LOS MUNICIPIOS DE BECERRIL (CESAR) Y CIÉNAGA (MAGDALENA), COLOMBIA *INGENIUM 8 (21), 35-42. COLCIENCIAS TIPO 2.A RTICULO DE REFLEXION , 35-42.*

Prieto, A. (2012). *ANÁLISIS DE LA NORMATIVIDAD APLICADA AL VERTIMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN EN LA EXPLOTACION DE RECURSOS DE HIDROCARBUROS EN COLOMBIA*. Bucaramanga: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Rodriguez, I. M. (2005). *HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO BOGOTA*. BOGOTA: Universidad Militar Nueva Granada.

Sánchez. (1999). *CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA PRELIMINAR DE FUENTES DE AGUA MINERALES DE COLOMBIA*. Colombia.

T. Rodriguez Chaparro, I. M. (2005). *HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO BOGOTA*. BOGOTA: Universidad Militar Nueva Granada.

Universidad de los Andes 2009 *Concentraciones de Referencia para los Vertimientos Industriales Realizados a la Red de Alcantarillado y de los Vertimientos Industriales y Domésticos Efectuados a Cuerpos de Agua de la Ciudad de Bogotá. Primer Informe Bogotá*

Zapata, A. (2014). *Humedales Artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la nutria, de los cerros orientales de Bogotá D.C.* BOGOTA D.C.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Municipios que integran la cuenca alta del río Chicamocha

SUB CUENCAS O UNIDADES DE TRABAJO	MUNICIPIOS QUE LA INTEGRAN	AREA (KM2)
CAUCE RIO CHICAMOCHA	DUITAMA	16,8
	NOBSA	50,00
	PAIPA	109,5
	STA. ROSA DE VITERBO	26,6
	SOGAMOSO	20,4
	SOTAQUIRÁ	32,6
	TIBASOSA	85,3
	TUTA	22,7

Fuente: Osorio, L. C., & Ramírez Zorro, F. (2006). Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Tunja: Corpoboyacá, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

### Anexo 2. Información población nucleada DANE

SUBCUENCA O UNIDADES DE TRABAJO	# HAB.	% RESPECTO TOTAL NUCLEADA	#HAB .1973	% RESPECTO TOTAL NUCLEADA	#HAB .1985	% RESPECTO TOTAL NUCLEADA	#HAB .1993	% RESPECTO TOTAL NUCLEADA	#HAB 2005	% RESPECTO TOTAL NUCLEADA
CAUCE RIO CHICAMOCHA	19.233	15.5	29.483	17.5	37.389	15.6	47.703	16.4	68.198	17.9

Fuente: Osorio, L. C., & Ramírez Zorro, F. (2006). Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Tunja: Corpoboyacá, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

### Anexo 3. Formulario único para la elaboración de inventarios turísticos.

FORMULARIO L. SITIOS NATURALES									
GENERALIDADES									
NOMBRE					POZO AZUL				
1.2 DEPARTAMENTO					BOYACA		MUNICIPIO		PAIPA
1.3 CORREGIMIENTO, VEREDA O LOCALIDAD					ZONA TURISTICA				
1.4. ADMINISTRADOR O PROPIETARIO					MUNICIPIO DE PAIPA				
1.5 DIRECCION/ UBICACIÓN					KM 4 VIA PAIPA- PANTANO				
1.6 DISTANCIA ( MUNICIPIO MAS CERCANO)							TIPO DE ACCESO		
			TERRESTRE		X	ACUATICO		AEREO	
1.7. INDICACION DE ACCESO					Está ubicado a 3 km del centro de Paipa, pasando por la zona hotelera y el lago Sochagota se toma la vía al pantano				
CARACTERISTICA									
CODIGO ASIGNADO					2.11.2				
DESCRIPCION					AGUA SUBTERRANEA AGUA TERMAL				
<p>Pozo natural de aguas termales, fuente de abastecimiento para las piscinas de los hoteles y el parque acuático ITP, se encuentra en un costado del mencionado parque, en sus alrededores, hay jardines, para evitar que los visitantes se acerquen debido a su alta temperatura (74°C), EL AGUA VIENE DE UN LAGO SUBTERRANEO TIPO VOLCANICO</p>									
PUNTAJE DE VALORACION									
CALIDAD					PUNTAJE				
Sin contaminación aire					8				
Sin contaminación agua					8				
Sin contaminación visual					9				
Estado de conservación					7				
Sin contaminación sonora					8				
diversidad					8				
singularidad					9				
SUBTOTAL					59				
LOCAL (6) REGIONAL (12) NACIONAL (18) INTERNACIONAL (30)					18				
					77				



Fuente: Díaz, A. E. (2013). *Determinación de los impactos ambientales del turismo en la ciudad de Paipa (Boyacá)*. Duitama, Boyacá: Universidad de Manizales.

Anexo 4. Formulario único para la elaboración de inventarios turísticos formulario I.  
sitios naturales.

FORMULARIO L. SITIOS NATURALES			
GENERALIDADES			
NOMBRE	RIO CHICAMOCHA		
1.2 DEPARTAMENTO	BOYACA	MUNICIPIO	PAIPA
1.3 CORREGIMIENTO, VEREDA O LOCALIDAD	JURIDICCION PAIPA		
1.4. ADMINISTRADOR O PROPIETARIO	MUNICIPIO DE PAIPA		
1.5 DIRECCION/ UBICACIÓN	MUNICIPIO PAIPA		
1.6 DISTANCIA ( MUNICIPIO MAS CERCANO)			TIPO DE ACCESO
1.7. INDICACION DE ACCESO	Sin señalización, debe ir acompañado de un guía local para su ubicación		
CARACTERISTICA			
CODIGO ASIGNADO	2.5.5		
DESCRIPCION	Loticas-rio		
El rio Chicamocha tiene un área de 1536 km <sup>2</sup> , sus principales afluentes son el rio Sotaquirá, rio Surba, rio Chiquito, Chiticuy. Pesca entre otros. En una franja de 80 km, viven cerca de 550.000 habitantes que generan vertimiento de agua residual. Drena aproximadamente la tercera para en Boyacá, nace en la ciudad de Tunja y desemboca en el rio Suarez			
PUNTAJE DE VALORACION			
CALIDAD	PUNTAJE		
Sin contaminación aire	7		
Sin contaminación agua	2		
Sin contaminación visual	7		
Estado de conservación	5		
Sin contaminación sonora	7		
Diversidad	8		
Singularidad	8		
SUBTOTAL	44		
LOCAL (6) REGIONAL (12) NACIONAL (18) INTERNACIONAL (30)	12		
	56		



Fuente: Díaz, A. E. (2013). *Determinación de los impactos ambientales del turismo en la ciudad de Paipa (Boyacá)*. Duitama, Boyacá: Universidad de Manizales.



*Fuente: Osorio, L. C., & Ramírez Zorro, F. (2006). Plan de ordenación y manejo ambiental de la cuenca alta del río Chicamocha. Tunja: Corpoboyacá, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.*