

**EVALUACIÓN TÉCNICA, AMBIENTAL Y FINANCIERA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS VERDES COMO ALTERNATIVA DE
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
CASO DE ESTUDIO: PROYECTO GAIA- VILLA DE LEYVA**

Ángela Janeth Jaimes Rodríguez

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
Facultad de Ciencias Ambientales
Programa en Administración y Gestión Ambiental**

Bogotá D.C., Noviembre 2014

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

Facultad de Ciencias Ambientales

Programa de Administración y Gestión Ambiental

**EVALUACIÓN TÉCNICA, AMBIENTAL Y FINANCIERA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS VERDES COMO ALTERNATIVA DE
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
CASO DE ESTUDIO: *PROYECTO GAIA- VILLA DE LEYVA***

Ángela Janeth Jaimes Rodríguez

Director

Ing. William Antonio Lozano-Rivas, MSc, PhD.

Proyecto de grado presentado como requisito para la obtención del título de Profesional en
Administración y Gestión Ambiental

Bogotá D.C., Fecha Noviembre 2014

Universidad Piloto de Colombia

Facultad de Ciencias Ambientales – Programa en Administración y Gestión Ambiental

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Evaluación técnica, ambiental y financiera para la implementación de filtros verdes como alternativa de depuración de aguas residuales domésticas. Caso de estudio: Proyecto Gaia - Villa de Leyva

Ángela Janeth Jaimes Rodríguez

Nombre, Título académico

Director del proyecto de grado

Nombre, Título académico

Miembro del Jurado

Nombre, Título académico

Miembro del Jurado

Nombre, Título académico

Decano

Bogotá D.C., Noviembre 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad Piloto de Colombia (UPC) y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la UPC para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual.

Nombre: Ángela Janeth Jaimes Rodríguez

C. C.: 1.1018.425.468

Lugar: _____

Fecha: _____

DEDICATORIA

A Dios por fortalecer mi espíritu y brindarme fuerzas a través de mi familia para seguir adelante sin importar que el camino no siempre sea fácil.

A mi familia porque el camino recorrido hasta aquí es el resultado de toda una vida de amor, comprensión e infinito apoyo, por ser mi mayor fuerza y motivación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque aun desconociendo cual es plan para mí, solo puedo agradecerle por todas las cosas maravillosas que hacen parte de mi vida, sin importar los obstáculos que se puedan presentar encuentro en el, alivio para mi alma y fuerza para seguir en busca de los deseos de mi corazón.

A mi Madre, por ser una mujer valiente con un corazón lleno de amor, que me ha acompañado siempre, construyendo conmigo cada paso, cada ilusión, cada sueño, por cuidar de mí con su infinito amor, gracias Mamita.

A mi Padre, por apoyarme en cada decisión, por brindarme siempre su amor y sin importar que el tiempo pase siga viendo en mí la niña de sus ojos, mostrando siempre su orgullo por ser su hija. Gracias padre.

Juliana, más que mi hermana, mi amiga, mi mayor orgullo. Gracias por confiar en mí y apoyarme siempre, gracias por todos los momentos juntas, son espacios de risas y felicidad que conservaré como mi mayor tesoro. Gracias por ser la fuerza que siempre me impulsa a continuar. Dedico todo mi trabajo a ti, a todas las metas que tenemos juntas. Gracias.

Cesar Julián, mi hermano y mi cómplice, gracias por todo el apoyo, por darme ánimo y fuerza cuando no encuentro la salida, por mostrarme siempre la otra cara de la vida, por estar siempre ahí cuando es necesario, gracias.

Director William Lozano-Rivas, gracias por todas las orientaciones recibidas mucho antes de comenzar con este trabajo de grado, por todas y cada una de las sugerencias que permitieron la elaboración de este documento.

Gracias por retarme a ver más allá de lo obvio y por creer en mis capacidades, aunque este proceso no fue nada fácil, siempre estuvo ahí para despejar cualquier duda.

Gracias por ser más que un director corrigiendo un documento y ser un verdadero maestro transmitiendo su conocimiento sobre este bonito tema de manejo de aguas. Gracias.

Resumen

El agua quizá el más importante recurso natural del planeta, sin embargo, el notable deterioro de este preciado líquido ha generado impactos ambientales negativos en la población y en los ecosistemas, dando como resultado poblaciones en alto nivel de riesgo y vulnerabilidad a causa del mal manejo de las aguas residuales y la carencia de sistemas de depuración adecuados.

Como respuesta a estos problemas, se han generado alternativas para proveer un adecuado tratamiento de aguas residuales, ya sean de origen doméstico, industrial, agrícola entre otros. Existen diferentes tecnologías de bajo costo para el tratamiento de agua residual; sin embargo, el poco conocimiento que se tiene de estos sistemas blandos (llamados también naturales) impide que sean implementados, de manera expedita. Es por esta razón que el enfoque de este trabajo titulado “Evaluación técnica, ambiental y financiera para la implementación de Filtros Verdes como alternativa de depuración de aguas residuales domésticas. Caso de estudio: Proyecto Gaia- Villa de Leyva”, es proponer el uso de esta tecnología apropiada (filtros verdes) como una alternativa eficaz para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Proyecto Gaia y otros de condiciones similares.

Por medio de este trabajo de investigación se efectuó la evaluación técnica, identificando factores como: personal requerido; condiciones climáticas del lugar; tamaño de la población objetivo; formación del suelo; consumo de agua diario por habitante, etc., por medio de información secundaria.

El componente financiero se evaluó a partir de un análisis de inversión en las fases de construcción, operación y mantenimiento, para el cual se utilizaron el (Valor Actual Neto) VAN y la (Tasa Interna de Retorno) TIR como herramientas para medir la rentabilidad del proyecto.

De otro lado, el componente ambiental se valoró identificando los posibles impactos que serán generados en la fase de construcción, operación y mantenimiento, mediante el uso de una matriz de valoración de importancia que permitió definir unas medidas preliminares de manejo ambiental de los recursos más afectados en la implementación del filtro.

Palabras Clave: Tratamiento de agua residual domésticas, filtros verdes, Proyecto Gaia, depuración.

Abstract

The water is perhaps the most important resource in the world; however the low quality has generated negative environmental impacts on populations and ecosystems, resulting in more vulnerable populations, due to mismanagement of wastewater and the absence of adequate treatment systems.

As a consequence of these problems, have been generated alternatives for wastewater treatment, whether domestic, industrial or agricultural origin, among other. There are several low-cost technologies for wastewater treatment; however, the lack of knowledge that we have about these soft technologies (also called natural technologies) make not possible to be implemented in an expeditious manner.

That's the reason why the focus of this paper entitled "Technical, environmental and financial assistance in order to implement land application as an alternative to domestic wastewater depuration. Case Study: Gaia Villa de Leyva Project", is suggest the appropriate use of this technology as an effective alternative for the treatment of domestic wastewater of Gaia Project.

This research seeks to identify technical viability recognizing factors such as staff requirements: Climatic conditions; size of population; soil formation; daily water consumption, etc., through secondary information.

Financial Viability, was evaluated using the investment analysis on construction, operation and maintenance phases, through the identification of costs to implement the system. NPV (Net Present Value) and IRR (Internal Rate of Return) are used as tools to measure profitability and financial viability

On the other hand, the environmental viability was evaluated identifying potential impacts that would be generated at the construction, operation and management phases. All of that using a valuation impact matrix in order to have criteria for environmental management measures over most affected resources in the implementation of the system.

Keywords: wastewater treatment, Land Application, Gaia Project, Depuration.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	7
Abstract.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. OBJETIVOS.....	24
4.1 GENERAL.....	24
4.2 ESPECÍFICOS.....	24
5. ALCANCE.....	25
6. MARCO REFERENCIAL.....	26
6.1 MARCO DE ANTECEDENTES.....	26
6.2 MARCO CONCEPTUAL.....	30
6.3 MARCO GEOGRÁFICO.....	33
6.3.1 Boyacá.....	33
6.3.2 Valle de Tenza.....	34
6.3.3 Sutatenza.....	35
6.3.4 Villa de Leyva.....	36
6.3.5 Santa Sofía.....	36
6.3.6 Proyecto Gaia.....	37
6.4 MARCO NORMATIVO.....	39
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	43
8. ASPECTOS TÉCNICOS.....	45
8.1 LUGAR DE INSTALACIÓN Y PERSONAL REQUERIDO.....	45
8.1.1 Ubicación y descripción del sitio de estudio.....	45
8.1.2 Personal requerido.....	46
8.2 BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA.....	46
8.2.1 Humedad Relativa.....	47
8.2.2 Brillo Solar y temperatura.....	47
8.2.3 Evaporación.....	47

8.2.4 Cálculo del balance hídrico	47
8.3 CONSUMOS Y DOTACIÓN.....	50
8.4 TIPO DE SUELO Y RECOMENDACIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN.....	52
8.4.1 Prueba de Infiltración	52
8.4.2 Tipo de suelo	53
8.4.3 Impermeabilización del Terreno.....	53
8.5 EL TANQUE INTERCEPTOR	54
8.5.1 Características y criterios de diseño	54
8.5.2 Consideraciones de instalación y construcción del Tanque Interceptor.....	55
8.6 INSTALACIÓN SUGERIDA PARA EL FILTRO VERDE DE CAÑA BRAVA	57
8.7 INSTALACIÓN SUGERIDA PARA EL FILTRO VERDE DE PLANTAS DE BANANO	58
9. COMPONENTE AMBIENTAL	59
9.1 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES SIN PROYECTO	59
9.1.1 Impactos en la etapa de Construcción	60
9.1.2 Impactos en la etapa de Operación y Mantenimiento.....	61
9.1.3 Impactos Socioambientales	61
9.2 CALIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS	62
9.3 MATRIZ DE VALORACIÓN DE IMPORTANCIA. (Gómez Orea et al.).....	65
9.4 MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL.....	67
10. COMPONENTE FINANCIERO	78
10.1 ANÁLISIS DE INVERSIÓN Y SENSIBILIDAD PARA EL FILTRO VERDE DE BANANO.....	78
10.1.1 Costos de Material Filtro Verde (Plantas de Banano)	78
10.1.2 Cálculo de VAN y TIR.....	81
10.2 ANÁLISIS DE INVERSIÓN Y SENSIBILIDAD PARA EL FILTRO VERDE DE CAÑA BRAVA.....	83
10.2.1 Costos de materiales Filtro Verde	83
10.2.2 Cálculo de VAN y TIR.....	85
10.3 ASPECTOS A CONSIDERAR EN UN FUTURO ESTUDIO DE MERCADO PARA LA CAÑA BRAVA.....	87
10.3.1 Valle de Tenza	88
10.3.2 Sutatenza.....	89

11.	CONCLUSIONES	91
11.1	DE NIVEL TÉCNICO	91
11.2	DE NIVEL AMBIENTAL	91
11.3	DE NIVEL FINANCIERO	92
12.	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA	94
	ANEXO A. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA CAÑA BRAVA	97
	ANEXO B. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL BANANO	99
	ANEXO C. FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO GAIA	101

TABLAS

<i>Tabla 1 Clasificación Climática Según el Coeficiente de Trojer</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 2. Valores de Consumo de Agua (Schocklisth).....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 3. Valores de Consumo Proyecto Gaia.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 4 Características y Dimensiones de un Tanque Interceptor Tipo</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 5 Dimensiones Definitivas Tanque Interceptor para Proyecto Gaia</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 6 Etapa de Construcción</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 7 Etapa de Operación y Mantenimiento</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 8 Dinámica Social</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 9 Matriz de Valoración de Importancia (Gómez Orea y Cols)</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 10 Ficha de Manejo (Suelo)</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 11 Ficha de Manejo (Aire)</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 12 Ficha de Manejo (Agua).....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 13 Costos del Cultivo de Banano.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 14 Costos de Materiales Filtro Verde (Planta de Banano)</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 15 Flujo de Ingresos Cultivo Banano</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 16 Flujo de Egresos (año 1 a año 5) Cultivo de banano</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 17 Flujo de Efectivo Neto (Ingresos - Egresos).....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 18 Costos del Cultivo (Caña Brava).....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 19 Costo de Materiales Filtro Verde (Caña Brava)</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 20 Flujo de Ingresos Cultivo Caña Brava</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 21 Flujo de Egresos</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 22 Flujo de Efectivo Neto (Ingresos - Egresos).....</i>	<i>86</i>

ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Arundo Donax</i>	22
<i>Ilustración 2 Plantas de Banano</i>	23
<i>Ilustración 3 Distribución espacial. Proyecto Gaia.</i>	38
<i>Ilustración 4. Esquema de Filtro Verde (Caña Brava)</i>	57
<i>Ilustración 5 Diseño de Filtro Verde (Plantas de Banano)</i>	58
<i>Ilustración 6 Municipios Artesanales de Boyacá</i>	87

FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1 Cestería a base de Caña Brava</i>	88
<i>Fotografía 2 Construcción (Techos) a base de Caña Brava</i>	89
<i>Fotografía 3 Maloca Construida con Caña.....</i>	101
<i>Fotografía 4 Cuerpo de agua dentro de Proyecto GaiaFuente: (Proyecto GAIA, 2014)</i>	102
<i>Fotografía 5 Cocina (Construida con barro; piedra; bahareque; paja y botellas para dar iluminación)</i>	102
<i>Fotografía 6 Cocina Terminada</i>	102
<i>Fotografía 7 Casa en Construcción con bahareque y Caña.....</i>	103

1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos naturales que se encuentra en mayor cantidad en el planeta, siendo este esencial para que todas las formas de vida puedan existir. Sin embargo, la baja calidad del agua ha sido un aspecto de preocupación ya que de allí surgen problemas sociales, ambientales y económicos que están directamente relacionados con el crecimiento exponencial de la población, el desarrollo industrial y el poco interés de un manejo adecuado del recurso hídrico. Esto da como resultado un impacto negativo por contaminación en cuerpos de agua, el deterioro de los ecosistemas acuáticos y múltiples problemas relacionados con la calidad y la salud de la población, poniéndola en riesgo y haciéndola más vulnerable a causa de los graves problemas de salud, asociados a la falta de sistemas de saneamiento adecuados.

A nivel nacional, el panorama no es nada alentador; aunque Colombia es un territorio rico en agua, ha sufrido de la mala planificación y el manejo inadecuado del recurso hídrico, lo cual es reflejo de la ausencia de planes de manejo de cuencas hidrográficas, el mínimo control de los vertidos de aguas residuales tanto urbanas, industriales y de actividades agropecuarias, la erosión causada por la deforestación, el uso y la ocupación inadecuada del suelo, entre otros varios aspectos que derivan en la actual escasez hídrica (IDEAM , 2010). Para hacer frente a los problemas generados por la inadecuada gestión del recurso hídrico, se han generado alternativas para proveer un adecuado tratamiento de aguas residuales, ya sean de origen doméstico, industrial o agrícola, entre otros.

Una revisión de bibliografía permite evidenciar la existencia de varios sistemas blandos (o naturales) de tratamiento para aguas residuales tales como: Humedales Artificiales, Tanque Séptico, Biofiltro y Filtro Verde, entre muchos otros. Estos sistemas tienen, entre sus múltiples y ventajas, que son altamente eficientes para poblaciones pequeñas y sus costos de implementación son muy bajos.

Es por eso que el enfoque de este trabajo de grado titulado “Evaluación técnica, ambiental y financiera para la implementación de Filtros Verdes como alternativa de depuración de aguas residuales domésticas. Caso de estudio: Proyecto Gaia- Villa de Leyva”, es el uso de la

tecnología apropiada de Filtro Verde, como una alternativa eficaz para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de Proyecto Gaia, sitio de estudio y, adicionalmente, el aprovechamiento del banano y la caña brava (plantas que realizarán la absorción de nutrientes y materia orgánica de los vertidos) con fines artesanales y/o para materia prima de construcción; para lo cual, se investigó las actividades artesanales en algunos municipios de Boyacá.

La investigación evalúa técnica, ambiental y financieramente las fases de construcción, operación y mantenimiento de un filtro verde. En la fase de construcción se identifican los costos necesarios para la implementación del filtro, teniendo como resultado el valor de la inversión inicial, para determinar el VAN y la TIR como herramientas de medición en la rentabilidad del proyecto. Posteriormente, se identifican por medio de una matriz de valoración de importancia (Gómez Orea & Cols.), los posibles impactos -ya sean negativos o positivos- que se generarían en las fases de construcción, operación y mantenimiento del filtro, con el fin de tener los criterios suficientes para establecer medidas preliminares de manejo ambiental para la mitigación, prevención, corrección y compensación para cada caso. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo de la investigación resaltando la probable existencia de viabilidad ambiental y financiera del proyecto.

De antemano, se agradece a Proyecto Gaia por toda la información y ayuda brindada para la elaboración de este proyecto de grado y por brindarle a la autora una perspectiva diferente del manejo de las tecnologías apropiadas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento exponencial de la población mundial ha causado un impacto negativo en la capacidad de carga del planeta. La poca conciencia ambiental y la flexibilidad para el cumplimiento normativo referido a la contaminación industrial, dejan como consecuencia que los niveles de contaminación excedan la capacidad de resiliencia del planeta, ocasionando un deterioro en el recurso hídrico presente en el mundo (Simioni, 2003).

De acuerdo con el Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225.000 toneladas de residuos sólidos cada día y menos del 5% de las aguas residuales de las ciudades reciben tratamiento. Estas aguas servidas por lo general son vertidas en aguas superficiales, creando riesgos para la salud humana (Reynolds, 2002).

A nivel nacional, la calidad del agua es un factor que limita la disponibilidad de este recurso y restringe el rango de posibilidades de uso. Los ríos colombianos reciben y transportan cargas contaminantes de agua utilizadas en los diferentes procesos socioeconómicos, las cuales son vertidas, en su mayoría, sin tratamiento previo; además, estos ecosistemas hídricos son los receptores de altos volúmenes de sedimentos originados por procesos de erosión, bien sea de origen natural o antrópico.

En lo relacionado con la calidad del agua, sólo recientemente se ha avanzado en el diseño de políticas, programas y proyectos orientados a corregir la situación de las redes de alcantarillado del país, que vierten sus aguas servidas sin tratar, a los cauces fluviales (IDEAM, 2012).

La problemática de la contaminación hídrica en la mayoría de Municipios en Colombia, obedece a las carencias en infraestructura eficiente para el tratamiento de aguas residuales. En los territorios rurales del país, se tienen sistemas de tratamiento aún más ineficientes que dejan como resultado pérdida de la calidad del agua, alta morbilidad por enfermedades de origen hídrico y degradación de ecosistemas. Adicionalmente, en la mayoría de las pequeñas comunidades rurales del país, no poseen sistemas de alcantarillado y, en el mejor de los casos,

utilizan como tecnología principal de tratamiento el Tanque Séptico, el cual puede tener remociones, aunado a otro sistema complementario, de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) hasta de un 80%, pero este tanque decantador-digestor no tiene una buena remoción de nitrógeno, fósforo, ni de coliformes fecales, lo que dificulta la reutilización del agua tratada (Bernal D, Cardona D, & Peña M, 2009).

En el Tanque Séptico los costos de construcción, operación y mantenimiento son muy bajos, comparados con otros sistemas. Esta tecnología es recomendable para familias de 6 miembros máximo, puede implementarse en comunidades un poco más grandes cumpliendo con los criterios de tratamiento. Existen otros sistemas ampliamente utilizados son el Tanque Imhoff, los Humedales Artificiales y las Lagunas Facultativas entre otros. Las comunidades rurales están más familiarizadas con los Tanques Sépticos por sus bajos costos y facilidades de implementación, ya que los otros sistemas requieren una mayor capacitación para llevar a cabo el mantenimiento adecuado del sistema. (Gallón & Tordecilla, Gestión de los Procesos de Descontaminación de Aguas Residuales Domésticas de Tipo Rural en Colombia 1983-2009, 2009).

De acuerdo con el contexto anterior, todos los países deben generar conocimientos sobre tecnologías apropiadas para el tratamiento y depuración de las aguas residuales, que aseguren la preservación del recurso hídrico, por tal motivo este trabajo está orientado al uso del Filtro Verde como alternativa depuradora de agua residual utilizando caña brava y plantas de banano que por medio de las raíces de las plantas hacen una remoción de materia orgánica presente en el agua residual sin que se vea afectado el fruto en el caso del banano.

Teniendo en cuenta el contexto anterior, es de vital importancia apoyar técnicamente los proyectos que busquen un desarrollo humano sostenible, como el denominado “PROYECTO GAIA”. Considerando que uno de los aspectos de mayor importancia en este proyecto es aprovechar al máximo los recursos naturales con que cuenta la eco-aldea, se hace necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Es así como surge la incógnita ¿Es viable técnica, ambiental y financieramente la implementación de filtros verdes de caña

brava y plantas de banano para la depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades como la del proyecto GAIA?

3. JUSTIFICACIÓN

El aumento a nivel mundial en el crecimiento poblacional, la industrialización, el desarrollo y la expansión de la agricultura la cual se ha basado en el uso de fertilizantes y productos químicos, han dado origen al problema de contaminación de fuentes hídricas generada por las aguas residuales que son vertidas en ellas sin un tratamiento apropiado, generando así impactos negativos sobre el medio ambiente en la salud pública.

Este impacto ambiental podría ser mitigado eficientemente a través del uso de tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas residuales pero, a causa del poco conocimiento con respecto al funcionamiento, operación y mantenimiento de estas tecnologías, se tiene como consecuencia la implementación de sistemas más costosos y menos sostenibles para el planeta, provocando así una exclusión en lugares donde no se tiene el presupuesto para la implementación de sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales.

Por tal razón es importante realizar este estudio para conocer los beneficios de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de filtros verdes que permita generar el conocimiento necesario para promover prácticas ambientalmente sostenibles y de esta manera lograr un cambio cultural que conduzca al mejoramiento en la calidad de vida de futuras generaciones.

Con el objetivo de obtener datos, resultados y conocimientos concretos, es necesario enfocar éste estudio en un lugar específico. Por tal motivo se realizará la evaluación técnica, ambiental y financiera de la implementación de filtros verdes utilizando caña brava y plantas de banano como alternativa eficiente para la depuración de aguas residuales domésticas en una eco-aldea denominada PROYECTO GAIA, dando solución (en caso de llegar a ser implementado) al impacto negativo al recurso hídrico, ocasionado por las aguas servidas producidas en el lugar.

El PROYECTO GAIA- VILLA ECOLÓGICA, se encuentra ubicado a 3 horas de Bogotá cerca del municipio de Villa de Leyva, en el cual se busca combinar múltiples prácticas ambientales que se constituyan como ejemplo de sostenibilidad, brindando a sus habitantes construcciones ecológicas, soberanía alimentaria y manejo responsable del agua entre otros aspectos. Teniendo en cuenta lo anterior se toma la oportunidad de realizar este trabajo como una evaluación de la implementación de un cultivo de filtros verdes como alternativa depuradora de aguas residuales procedentes de las actividades diarias del lugar, utilizando dos tipos de cultivos:

- **Caña Brava (*Arundo donax L.*):** es una hierba gramínea erecta, cuyos tallos rectos y verticales crecen hasta 4 o 5 metros de altura, posee tallos gruesos, sólidos y muy resistentes lo cual ha permitido que esta planta tenga diferentes usos, en la construcción de cercas, canastas, viviendas, esteras y objetos artesanales gracias a la calidad y durabilidad de la planta. La caña brava es un componente relevante en la economía y producción artesanal en el departamento de Boyacá especialmente en Tenza, La capilla, Tibaná, Sutatenza y Chiquinquirá donde muchos artesanos la usan como materia prima de bajo costo en sus negocios, también deben resaltarse sus propiedades medicinales, ya que puede ser usado como anti-anémico, diurético y antiinflamatorio (Hurtado, 2008). Adicionalmente, la caña brava produce una alta cantidad de biomasa, la cual puede ser aprovechada en actividades de compost para acondicionamiento de suelo o producción de biogás para cocinar.

Ilustración 1 Arundo Donax



Fuente: Autor

- **Planta de banano (*Musa paradisiaca*):** Hierba perenne de gran tamaño, carece de verdadero tronco, en su lugar, posee vainas foliares que se desarrollan formando estructuras llamadas pseudotallos de hasta 30 cm de diámetro basal que no son leñosos, y alcanzan los 7 m de altura, luego se forma la flor que sale de la corona la cual se convertirá en un racimo de plátanos.

Una planta de banano tarda unos 10 meses aproximadamente para crecer y producir un racimo de bananos. Entonces la planta madre muere y allí surgen retoños pequeños que la sustituirán.

Los retoños pequeños del banano, se convertirán en la planta que seguirá dando bananos, los cuales estarán listos en 3 o 4 meses. Estos retoños se pueden sacar y ser trasplantados (Alvarez, 2010).

Ilustración 2 Plantas de Banano



Fuente: (Agropeuarias, 2011)

Estas dos plantas son adecuadas para ser utilizadas en el Filtro Verde por su alta necesidad de agua para su crecimiento y desarrollo, tanto el banano como la caña permiten una remoción de materia orgánica por medio de sus raíces sin que el fruto en el caso del banano se vea afectado para su consumo.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar técnica, ambiental y financieramente la implementación de filtros verdes como alternativa de depuración de aguas residuales domésticas. Caso de estudio: **PROYECTO GAIA-VILLA DE LEYVA.**

4.2 ESPECÍFICOS

1. Definir las características técnicas de la implementación de la tecnología, a nivel de pre diseño del filtro verde.
2. Identificar los impactos ambientales asociados a la construcción, operación y mantenimiento del Filtro Verde de caña brava y banano.
3. Establecer elementos de manejo ambiental para la mitigación de los impactos identificados en la construcción, operación y mantenimiento del Filtro Verde de caña brava y banano.
4. Elaborar un análisis de sensibilidad financiera en la construcción del Filtro Verde de caña brava y banano.

5. ALCANCE

Como consecuencia de los problemas ambientales derivados del mal manejo de las aguas residuales provenientes de las actividades diarias de la población, se orienta este trabajo a colaborar en dar a conocer a las poblaciones vulnerables, alternativas para la depuración de aguas residuales por medio de filtros verdes utilizando caña brava y plantas de banano; estas dos especies fueron escogidas por sus altos niveles de absorción de agua requerida para su óptimo desarrollo, crecimiento, lo que es congruente también con su capacidad depuradora de agua residual.

Este trabajo de grado titulado “*Evaluación técnica, ambiental y financiera para la implementación de filtros verdes como alternativa de depuración de aguas residuales domésticas, caso de estudio Proyecto Gaia – Villa de Leyva*” tendrá lugar en un una eco aldea *Proyecto Gaia* la cual fue escogida por ser el sitio idóneo para realizar el estudio ya que todas las prácticas del lugar son ambientalmente sostenibles y las características del agua residual producida en el lugar es de tipo doméstico, sin aportes de tipo industrial y sin químicos, detergentes biodegradables, o excesos de materia orgánica putrescible (en razón al uso de baños secos); por lo tanto el agua residual requerirá un tanque interceptor como tratamiento primario anaeróbico, para separar grasas y sólidos sedimentables, el cual generará un efluente parcialmente depurado y clarificado, para su posterior vertido sobre el cultivo.

El alcance, entonces, se limita a evaluar los aspectos técnicos, ambientales y financieros del filtro verde como alternativa depuradora de agua residual. La implementación posterior del sistema dependerá exclusivamente del Proyecto Gaia y no se incluye como objetivo del proyecto.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO DE ANTECEDENTES

La calidad del agua es un factor que limita la disponibilidad del recurso hídrico y restringe su uso para consumo humano. El crecimiento exponencial de la población, la industrialización y la falta de gestión por parte de los organismos de control tiene como consecuencia un aumento en la generación de vertimientos los cuales son descargados a cuerpos de agua sin un adecuado tratamiento deteriorando la calidad de fuentes hídricas. El deterioro en la calidad del agua produce problemas de salud pública especialmente en la población más

vulnerable impidiendo que tengan un desarrollo social adecuado afectando la calidad de vida especialmente en los niños.

Por otra parte, el acceso al saneamiento está relacionado con la calidad y la salud de la población (Cumming, 2009). De hecho, el acceso a un saneamiento básico adecuado es considerado un derecho humano básico, según los Objetivos de Desarrollo del Milenio fijados en el año 2000 y firmado por 192 países miembros de las naciones unidas. En los últimos veinte años se han realizado importantes esfuerzos a nivel mundial para incrementar el porcentaje de población con acceso a servicios de saneamiento básico. A pesar de ello, en la actualidad todavía hay unos 2.600 millones de personas que carecen de estos servicios, es decir, más de un tercio de la población no dispone de acceso al saneamiento, mientras que en los países desarrollados se considera que toda la población (99%) dispone de un adecuado saneamiento. En los países en vías de desarrollo, el porcentaje se reduce considerablemente a solo 52% (Senante, 2012).

A causa de todos los problemas generados por la inadecuada gestión del recurso hídrico, se crea una necesidad de formular e implementar alternativas para dar solución a la contaminación producida en fuente hídricas, para lo cual, se ha realizado una investigación de los sistemas de tratamiento que son utilizados alrededor del mundo para tratar las aguas, especialmente en países como Alemania, Dinamarca, Reino Unido y España entre otros.

Humedales Artificiales: es una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales municipales, industriales y agrícolas. También contribuyen a controlar las inundaciones mediante el almacenamiento de precipitaciones liberando uniformemente la escorrentía y estabilizando los microclimas (Uddameri, 2009).

Tanque Séptico: es utilizado para eliminar los sólidos sedimentables y los materiales flotantes presentes en las aguas residuales, antes de descargarlas a la redes de alcantarillado o a un curso de agua. Este tipo de tanques decantadores-digestores, suelen ser complementados con sistemas de absorción en el suelo, las cuales se han desarrollado para dispersar las aguas residuales bajo el principio de la geo-depuración, evitando problemas asociados con la descarga directa de aguas residuales a fuentes hídricas. (Bradley & Daigger, 2002).

Biofiltro: permite recuperar, reciclar y, posiblemente, reutilizar el efluente tratado, consiguiendo de esta manera evitar el vertido de desechos líquidos en ríos o acumulación en el suelo, con la consiguiente degradación ambiental que causan estas prácticas (Sazosa, 2009).

Filtros Verdes: tienen como objetivo principal la degradación biológica de los compuestos disueltos en el agua residual por medio de un sistema físico (filtración en medio granular), químico (asimilación de sustancias químicas como nutrientes por diferentes tipos de plantas) y biológico (metabolización de materia orgánica por microorganismos del suelo y las raíces de las plantas) (Martín, BEs, & Lafuente, 1998). Son utilizados en familias pequeñas. Consiste básicamente en la aplicación de un caudal controlado de agua residual sobre la superficie del terreno, donde previamente se ha instalado una masa forestal o un cultivo. Con ello se consigue, además de la depuración del efluente, el crecimiento de especies vegetales, generalmente arbóreas maderables.

En Andalucía, España tiene instalada una planta experimental de tratamiento de depuración en pequeñas comunidades. Adicionalmente se ha acondicionado una parcela de 6.000 m² anexa a la planta, en la que se instalarán dos barreras reactivas y 4 parcelas de cultivo utilizando *Eucalyptus camaldulensis* y *Sorghum bicolor* con el fin de depurar parcialmente el agua y la parte restante sea absorbida por las raíces de los árboles proporcionando unja ventaja maderera en este sistema (Gutierrez, 2006).

Este tipo de sistema, aunque muy efectivo, es poco conocido en países de Latinoamérica, quizá por falta de información sobre casos aplicados en otras partes del mundo y el aparente poco interés que se tiene por buscar alternativas de bajo costo para el tratamiento de agua residual. No obstante, y aunque exista variedad de tecnologías para el tratamiento y depuración de aguas residuales, este trabajo pretende profundizar en la implementación de los Filtros Verdes en Colombia.

Pese a que el registro bibliográfico muestre muy pocas experiencias en el país, existe un caso aplicado de filtros verdes en el área de la Laguna de Fúquene, ubicada en San Miguel de

Sema, Cundinamarca. Este sistema impide la llegada de aguas servidas crudas a la laguna de la cual, se abastecen para consumo humano, ganadería y agricultura, cerca de 200.000 habitantes. El considerable de las aguas de esta Laguna contrasta con los problemas de pérdida de su capacidad de almacenamiento hidráulico, la introducción de especies exóticas de peces, la eutrofización, la contaminación y las plagas de macrófitas acuáticas. Por esta razón, con la idea de no agravar el deterioro de este ecosistema lacustre, se implementó un piloto de Filtro Verde con plantas macrófitas, como estrategia de conservación y una excelente alternativa para el manejo de las aguas residuales de la región.

Los filtros verdes, consiguen depurar entre 0,8 y 1,4 litros cada segundo, dependiendo de la época del año, con una inversión de 60 millones de pesos, 7 meses de trabajo y un estudio previo de la laguna de Fúquene. El proyecto de Filtro verde fue implementado en San Miguel de Sema uno de los 15 municipios de la cuenca de Fúquene, con intenciones de hacer replicas en otros municipios de ésta misma cuenca. Sin embargo, la tecnología propuesta en San Miguel de Sema no corresponde a los Filtros Verdes, parece más un humedal artificial, dejando como resultado falta de información por parte de la población para tener criterios para diferenciar las diferentes tecnologías existentes.

Es así como la tecnología de filtros verdes se plantea como una alternativa eficaz para el tratamiento de los efluentes líquidos procedentes de familias de pequeño tamaño; estas tecnologías presentan una gran ventaja económica de implementación, por ser sistemas de bajo costo de inversión, operación y mantenimiento. Esta tecnología blanda consiste en una serie de canales paralelos, separados entre sí por cultivos de plantas macrófitas, por lo general semiacuáticas, que reciben el efluente de aguas residuales de un tratamiento primario (por ejemplo, un tanque séptico). La configuración acanalada de los filtros verdes, privilegia el comportamiento hidráulico de flujo a pistón, que conlleva a que el tratamiento sea más eficiente por unidad de área (Kärcher & Sika, 2013). Actualmente, este proyecto es promovido por las autoridades locales, con el apoyo de Kärcher Colombia (Empresas líder a nivel mundial en la fabricación de sistemas de aguas), Sika, Fondo Nacional para la Naturaleza y la fundación Humedales.

6.2 MARCO CONCEPTUAL

En el marco conceptual se detallarán algunas palabras y conceptos para proporcionar mayor claridad en la terminología técnica y científica contenida en el documento.

- **Agua Cruda:** Aguas residuales que no han sido sometidas a procesos de tratamiento (Gallón & Tordecilla, 2009).
- **Agua Residual:** Aguas que contienen material disuelto y en suspensión, luego de ser usadas con fines doméstico, agrícola e industrial. (Gallón & Tordecilla, Gestión de los Procesos de Descontaminación de Aguas Residuales Domésticas de Tipo Rural en Colombia 1983-2009, 2009).
- **Análisis físico-químico del agua:** son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas (Gallón & Tordecilla, Gestión de los Procesos de Descontaminación de Aguas Residuales Domésticas de Tipo Rural en Colombia 1983-2009, 2009).
- **Análisis organoléptico del agua:** se refiere a olor, sabor y percepción visual e sustancias y materiales flotantes y / o suspendidos en el agua. (Gallón & Tordecilla, Gestión de los Procesos de Descontaminación de Aguas Residuales Domésticas de Tipo Rural en Colombia 1983-2009, 2009).
- **Calidad del agua:** Se define como calidad del agua al conjunto de características organolépticas, físicas, orgánicas y microbiológicas que debe tener el agua, para conferirle un uso determinado, entre los cuales se encuentran:
 - Consumo humano y doméstico
 - Preservación de flora y fauna
 - Agrícola
 - Pecuario
 - Industrial
 - Estético

- Pesca, maricultura y acuicultura
- Navegación y Transporte acuático

La calidad del agua tiene una estrecha relación con la salud y la pobreza, cuando se habla de agua no solo es necesario tenerla de calidad sino también en cantidad. (Lozano-Rivas W. A., Calidad Fisicoquímica del Agua - Métodos Simplificados para su Muestreo y Análisis , 2013).

- **Capacidad de Carga:** es un concepto que hace referencia a la producción de recursos alimenticios y energéticos, y condiciona el número de individuos que podrían vivir en una unidad considerada con todas sus necesidades básicas satisfechas sin comprometer las necesidades de generaciones futuras. (Tapia & Giglio, 2010).
- **Compactación de Suelos:** la compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas del suelo son obligadas a estar más en contacto entre ellas, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos o artesanales, para dicha función. (Lopez, 2012).
- **Ecosistemas Acuáticos artificiales:** a diferencia de los ecosistemas naturales la mayoría de las condiciones como lluvia, tipo de cuerpo de agua e incluso organismos vivos pueden ser controladas por el hombre. en estos ecosistemas acuáticos interviene el trabajo humano, se administra cierta cantidad de agua, se adiciona abono orgánico y se mantiene una supervisión. (M & Martinez-Capel, 2009).
- **Eutrofización:** es un tipo de contaminación química de las aguas. Se da cuando hay un aporte excesivo de nutrientes a un ecosistema acuático, el cual queda severamente afectado por ello. Puede producirse de forma natural y de forma antrópica por medio de fósforo y nitrógeno los cuales son los principales causantes de la eutrofización. (Gaviria, 2014).
- **Filtro Verde:** Los filtros verdes tiene como objetivo principal, la degradación biológica de los compuestos disueltos en el agua residual por medio de un sistema físico, químico y biológico (Martín, BEs, & Lafuente, 1998).

- **Impacto Ambiental:** Afectación del entorno o medio natural ocasionada por alguna actividad antrópica (León & Lillo, 2000).
- **Saneamiento Básico:** Es el conjunto de acciones técnicas y socioeconómicas de salud pública que tiene por objetivo alcanzar niveles creciente de salubridad ambiental, comprende el manejo de sanitario del agua potable, las aguas residuales, los residuos orgánicos y el comportamiento higiénico que reduce los riesgos para la salud y previene la contaminación (IDEAM , 2012).
- **Tanque Interceptor:** Los tanques interceptores desempeñan la función de unidades clarificadoras del agua residual mediante remoción de grasas y materiales de baja densidad por flotación natural, así como retención de sólidos por decantación. (Lozano-Rivas W. A., Sistema Integral de Saneamiento con Fitodepuración de Ornato para pequeños Núcleos Urbanos., 2007).
- **Tecnologías Apropriadas (Sistemas de Tratamiento):** Aquellas que se desarrollen de acuerdo a la disponibilidad de recursos donde será utilizada y a su sostenibilidad para evitar gastos innecesarios, priorizar necesidades y mejorar el nivel de vida de acuerdo al costo-beneficio de cada tecnología (Ministerio Nacional de Educación, 2011).
- **Tecnologías Blandas:** la tecnología blanda tiene relación con el conocimiento, talento² y aprendizaje aplicado en el proceso de obtener modificaciones al medio, ya sea obteniendo servicio o producto como resultado (Tecnologías Blandas, 2010).
- **TIR:** es la tasa de descuento de un proyecto de inversión que permite que el VNA sea igual a la inversión (VAN igual a 0) La TIR es la máxima tasa de descuento que puede tener un proyecto para que sea rentable. (Kume, 2014).
- **VAN:** Es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tiene un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, quedará alguna ganancia, si el resultado es positivo, el proyecto es viable. (Kume, 2014).

6.3 MARCO GEOGRÁFICO

El área geográfica en el cual se desarrollará la investigación es el Departamento de Boyacá, municipios de Valle de Tenza; Sutatenza; Villa de Leyva y Santa Sofía. A continuación se hace una breve caracterización.

6.3.1 Boyacá

El Departamento de Boyacá se encuentra ubicado en el centro oriente del país, sobre la Cordillera Oriental de la Región Andina Colombiana; por consiguiente, tiene una topografía muy variada a la cual se suma también una variedad de climas. En Boyacá se presentan las principales formas de relieve como son las montañas, colinas, llanuras, mesetas y valles. Las montañas generalmente rebasan las altura de los 1.000 m.s.n.m. las formas más sencillas del relieve son las llanuras o extensas regiones de tierras planas o poca altura sobre el nivel del mar.

En el contexto geológico existen dos clases: externos e internos; los primeros son considerados destructivos y los segundos como formadores de nuevas estructuras. Los procesos externos actúan sobre la superficie terrestre mediante erosión, el transporte y la sedimentación de materiales que cambian el aspecto externo de la tierra y los internos dan origen a nuevas a nuevas estructuras; estos dos procesos toman parte en la formación de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, presentes en la formación rocosa del Departamento de Boyacá. (Gobernación de Boyacá, 2014).

La flora y fauna presente en el municipio está asociada con rastrojos, praderas y cultivos es generalizada en el municipio. El estado actual de la vegetación presente en éstos suelos, muestra el proceso degradativo de éstas coberturas. Se identifican 3 estructuras de vegetación: Subpáramos Antrópico Intervenido; Bosque Secundario; rastrojos y Bosque Introducido, lo cual indica que no hay programas concretos de revegetación o reposición de flora y fauna, no hay manejo de la vegetación y recursos asociados. La economía del municipio se basa principalmente en la agricultura y la ganadería, en donde predominan en primer lugar los cultivos transitorios como el maíz; papa; frijol; haba; arracacha; cebolla cabezona; caña; garbanzo; zanahoria y cultivos perennes como: manzanas; curubas; peras; duraznos; uchuva; banano; ciruela. Con respecto a la venta del cultivo de papa se estima que se producen en promedio 4.800 toneladas al

año, comercializada en un 70% en el mercado de la ciudad de Tunja, en un 15 % en Ramiriquí, en un 10% en Bogotá y un 5% en diferentes mercados nacionales como Bucaramanga y Sogamoso. (Alcaldía De Boyacá, 2014).

Boyacá cuenta con 123 municipios y una superficie de 23.189 km² con los siguientes límites:

- Norte: con los departamentos de Santander, Norte de Santander y parte de la República de Venezuela.
- Sur: con el Departamento de Cundinamarca y una pequeña parte del Departamento de Meta.
- Oriente: con los Departamentos de Arauca y Casanare.
- Occidente: con los Departamentos de Antioquía y Caldas.

6.3.2 Valle de Tenza

Valle de Tenza es un municipio ubicado en Boyacá, con un área municipal de 51 km² y se encuentra ubicado a 83 km de Tunja, con una población en la cabecera municipal de 1.138 habitantes y el sector rural de 4.183 habitantes. Limita al norte con La Capilla y Pachavita; por el Este con Garagoa; por el Sur con Sutatenza; por el Oeste con el Departamento de Cundinamarca y la Capilla.

El relieve del territorio es quebrado y corresponde a la cordillera oriental. Lo riegan el río Garagoa y algunas corrientes menores. Sus tierras comprenden los pisos térmicos de templado a frío, con una temperatura media de 20° C y una altura media de 1.600 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar).

Las actividades económicas de mayor importancia son la agricultura, la ganadería, y el comercio, dentro de la agricultura los principales cultivos son: frijol; maíz; caña y yuca. La producción artesanal ubica al municipio en un lugar importante dentro de la economía regional. Su principal producto artesanal es la cestería a base de caña a la cual se dedican en su mayoría comunidades indígenas.

El 80 % de la población Tenzana está dedicada a la actividad artesanal. Los hombres se dedican a atender las labores agrícolas y pecuarias y las mujeres y niños se dedican a la elaboración de artesanías, cabe anotar que existe una alta participación de mujeres de la tercera edad.

El principal eslabón de la producción artesanal en Tenza es la cestería, cuyo mercado cubre varias regiones del país. Las materias primas utilizadas para elaborar objetos Artesanales son principalmente el Chin o Caña Brava, Fique de Bambú, Sauce y hojas de mazorca. Existen en Tenza dos organizaciones gremiales pequeñas. Una es la Asociación de Jóvenes Artesanos, con 12 miembros, creada por jóvenes de bachillerato de diferentes veredas. Su principal actividad es producir y comercializar en diferentes partes del país.

En el municipio de Tenza no existen áreas de bosques naturales como tal, solo quedan pequeñas asociaciones de diversas especies y estratos. Los relictos de bosques existentes se encuentran especialmente en las veredas altas como: Resguardos, Quebradas, Chagatoque y Brazal; presentando un alto grado de intervención debido a la extracción de la madera y la leña. Aún son frecuentes las quemas para abrir sembraderos y eliminar residuos de cosechas que afectan a los rastrojos bajos, los cuales son importantes para su función de regeneración. (Alcaldía de Tenza-Boyacá, 2014).

6.3.3 Sutatenza

Sutatenza es un municipio de Boyacá que cuenta con una extensión total de 41.36 km². Se encuentra ubicado a 118 km de Tunja, con una temperatura media de 17.3 ° C y una altura media de 1890 m.s.n.m. El municipio de Sutatenza limita con los municipios de Somondoco, Guateque, Tenza y Garagoa.

La base de la economía de Sutatenza, es la Agricultura, los ingresos por persona son muy bajos y provienen principalmente de jornales, cultivos y crianza de animales.

Agricultura: este departamento se caracteriza por el minifundio, la capacidad de producción agrícola está determinada por la fertilidad de sus suelos.

Explotaciones Pecuarias: el principal renglón de explotación pecuaria es la avicultura, desarrollada en gran cantidad y su comercio se hace directamente con Bogotá. En menor escala se explota la crianza de ganado vacuno, porcino, ovino y equino que abastece el mercado de la región.

Industria: actualmente está conformada la Corporación Arte y Cultura Sutatenzana, encargada de elaborar diferentes artesanías que se comercializan a nivel regional. Estas artesanías son elaboradas a base de Caña Brava o Chin y Bambú como sus principales materiales (Alcaldía de Sutatenza- Boyacá, 2014).

6.3.4 Villa de Leyva

El municipio de Villa de Leyva está entre 2.000 y 3.200 m.s.n.m., se encuentra en la cordillera oriental Colombiana, el mes de Octubre es el más lluvioso y los primeros meses del año los más secos.

Limita al norte con los municipios de Arcabuco y Gachantivá, al sur con el municipio de Sáchica, al oriente con el municipio de Chíquiza y al occidente con los municipios de Santa Sofía y Sutamarchán.

Tiene una extensión total de 128 km², la altitud de la cabecera municipal es de 2.149 m.s.n.m. La Temperatura media es de 18.1 °C y se encuentra a una distancia de 37 km de Tunja.

La economía de Villa de Leyva se concentra en la agricultura, la ganadería y los cultivos, hay minas de oro; plata; plomo; mármol; yeso; cobre; asfalto y nitro. Se cría ganado vacuno, caballar; mular; lanar y porcino. El suelo produce frijoles; garbanzos; lentejas; arracacha; etc. En los bosques ubicados en el camino a Iguaque se encuentran buenas maderas de construcción y ebanistería. El principal ingreso económico de Villa de Leyva es el turismo.

6.3.5 Santa Sofía

El municipio de Santa Sofía está localizado en el flanco occidental de la cordillera oriental, en la llamada provincia de Ricaurte, por su ubicación geográfica posee todos los pisos térmicos: frío a húmedo, montano a bajo, su sistema de drenaje hace parte de la cuenca del río

Sutamarchán / Moniquirá el cual vierten sus aguas las quebradas que atraviesan el municipio en sentido occidente- oriente.

El municipio de Santa Sofía limita al norte con Moniquirá, al oriente con Gachantivá, al suroriente con Villa de Leyva, al sur con Sutamarchán y al suroccidente con Saboyá.

Tiene una extensión total de 78 km², con un área urbana de 18 km² y una extensión del área rural de 60 km². La cabecera municipal está localizada a 2.387 m.s.n.m., con una temperatura que oscila desde los 8 y 19 °C y una precipitación anual de 1178.69 mm.

Santa Sofía posee una topografía ligeramente inclinada o moderadamente escarpada, dentro de su fauna se encuentra gran variedad de aves y cabros, en su vegetación sobresalen los alisos; saus; pinos; caña y eucaliptos, es una región valiosa por su ecoturismo.

La economía de Santa Sofía está basada en la agricultura, destacándose el cultivo de curubas y el cultivo de tomate; papa; maíz; arveja; yuca; caña de azúcar y caña brava, también la ganadería con explotación de ganado bovino tipo carne de leche (Alcaldía de Santa Sofía, 2014).

6.3.6 Proyecto Gaia

Ubicada a 15 km de Villa de Leyva se encuentra **Proyecto Gaia- Villa Ecológica** con las coordenadas 5°44'13.87''N, 73°35'44''O, la cual busca combinar múltiples prácticas ambientales que se constituyan como ejemplo de sostenibilidad, brindando a sus habitantes construcciones ecológicas, soberanía alimentaria y manejo responsable del agua, minimizando al máximo impactos ambientales (Proyecto GAIA, 2014).

Las características generales de GAIA, son:

- Área total: 10 hectáreas
- Área de lotes privados: 2 hectáreas
- Área común: 8 hectáreas
- Distribución: 20 lotes privados de 1.000 m² cada uno para un total de 20.000 m².

En el siguiente plano se evidencia la distribución de espacios dentro de Proyecto Gaia, las áreas delimitadas con numeración de 1 a 20 están destinadas a la construcción de casas, para dicha actividad se emplearán materiales naturales como: especies maderables (incluyendo caña brava); piedra; guadua; bahareque; adobe, entre otros.

La distribución de zonas es la siguiente:

- Zona 1: Sustentabilidad
- Zona 2: Bosque alimenticios conformado por una huerta constituida por árboles frutales, enredaderas frutales, plantas medicinales, verduras, hierbas, entre otras.
- Zona 3: Silvopastoreo (manejo de árboles, ganado y pastos en un sistema integrado)
- Zona 4: Biopiscina (uso de plantas que oxigenan el agua sin usar cloro ni químico)
- Zona 5: Reserva forestal (bosque nativo)
- Maloca: Zona para reuniones, encuentros.
- Kiosco: Charlas y capacitaciones.

Adicionalmente cuenta con un nacimiento de agua dentro del área de la eco-aldea, zona de galpón, criadero de peces y un invernadero.

Ilustración 3 Distribución espacial. Proyecto Gaia.



Fuente: (Proyecto GAIA, 2014)

6.4 MARCO NORMATIVO

La normativa relacionada con la gestión de aguas residuales en Colombia, cuenta con una amplia expedición de documentos sobre políticas dirigidas a la articulación y orientación de la gestión ambiental en temas de manejo de aguas residuales, no obstante dentro del marco normativo se harán referencia a los artículos de cada norma que estén directamente relacionados con el objeto de estudio del trabajo.

Ley 2811 de 1974. Artículo 9: Uso de elementos ambientales y recursos naturales renovables de acuerdo a los principios de eficiencia, interdependencia, coordinación, integridad. Numeral 31: tomar las medidas de emergencia para contrarrestar el peligro que cause deterioro ambiental.

Ley 99 de 1993. Artículos 1 al 6: Compromete la participación ciudadana en la toma de decisiones que afecten el medio ambiente y consagran los mecanismos en la toma de decisiones económica y control de índole administrativo, dirigido a la preservación del medio ambiente, su uso racional y aprovechable para la defensa del derecho humano a gozar de un ambiente sano. Protege los recursos bajo los principios del desarrollo humano sostenible, como el instrumento de la planificación ambiental, de control y vigilancia en procura de un establecimiento más efectivo de protección ambiental basado en los derechos colectivos que prevalecen sobre los individuales.

Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional.

Artículo 3: para el control sanitario de los usos del agua se tendrán en cuenta las siguientes opciones, sin que su enunciación indique orden de prioridad.

- a) Consumo humano
- b) Doméstico
- c) Preservación de flora y fauna
- d) Agrícola y pecuario
- e) Recreativo
- f) Industrial

g) Transporte

Artículo 6: en la determinación de las características deseables y admisibles de las aguas deberá tenerse en cuenta, por lo menos uno de los siguientes criterios:

- a) La preservación de las características naturales
- b) La conservación de ciertos límites acordes con la necesidad del consumo humano y con el grado de desarrollo previsto en su área de influencia.
- c) El mejoramiento de sus características hasta alcanzar las calidad para consumo humano y las metas propuestas para in conveniente desarrollo del área de influencia.

Ley 373 de 1997. Por el cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

Artículo 1: todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso y ahorro eficiente del agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.

Artículo 5: Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere efluentes líquidos, deberán ser utilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental.

Artículo 9 -10 los estudios hidrológicos: las entidades públicas encargadas de otorgar licencias o permisos para adelantar cualquier clase de proyecto que consuma agua, deberán exigir que se incluya en el estudio de fuentes de abastecimiento, la oferta de aguas lluvias y que se implante su uso si es técnica y económicamente viable.

Resolución 1096 de 2000. Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS. El ministerio de desarrollo económico adoptó el RAS como el documento técnico que fija los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, al puesta

en marcha, la operación y mantenimiento de aguas residuales, entre otras obras de agua potable y saneamiento básico.

Ley 99 del 1993 Sistema Nacional Ambiental:

Artículo 42: tasas retributivas y compensatorias. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas.”

Resolución 1433 de 2004 por la cual se reglamenta el artículo 12 del decreto 3100 de 2002, sobre planes de saneamiento y manejo de vertimientos, PSMV, y se adoptan otras disposiciones.

Artículo 1º: plan de saneamiento y manejo de vertimientos, es el conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente tramo o cuerpo de agua.

Decreto 3930 de 2010 “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9 de 1979, así como el capítulo 11 del Título VI- libro 11 del decreto – ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”

Artículo 1. El presente documento establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, el suelo y a los alcantarillados.

Artículo 6. Aspectos mínimos del Ordenamiento Territorial del Recurso Hídrico. Para adelantar el proceso de Ordenamiento del Recurso Hídrico, la autoridad ambiental competente deberá tener en cuenta como mínimo:

1. Identificación del cuerpo de agua de acuerdo con la codificación establecida en el mapa de zonificación hidrográfica del país.

2. Identificación de los usos existentes y potenciales del recurso
3. La oferta hídrica total y disponible, considerando el caudal ambiental.
4. La demanda hídrica por usuarios existentes y las proyecciones por usuarios nuevos.
5. Los permisos de vertimientos y / o reglamentación de los vertimientos, planes de cumplimiento y / o planes de saneamiento y manejo de vertimientos al cuerpo de agua.

Parágrafo 1. La identificación de los usos existentes o potenciales, debe hacerse teniendo en cuenta las características físicas, químicas y biológicas, su entorno geográfico, cualidades escénicas y paisajísticas, las actividades económicas y las normas de calidad necesarias para la protección de flora y fauna acuática.

Artículo 9. Usos del agua. Para los efectos del presente decreto se tendrán en cuenta los siguientes usos del agua:

1. Consumo humano y doméstico
2. Preservación de flora y fauna
3. Agrícola
4. Pecuario
5. Recreativo
6. Estético
7. Pesca, maricultura y acuicultura
8. Navegación y transporte acuático

Artículo 31. Soluciones individuales de saneamiento. Toda edificación, concentración de edificaciones o desarrollo urbanístico, turístico o industrial, localizado fuera del área de cobertura del sistema de alcantarillado público, deberá dotarse de sistemas de recolección y tratamiento de residuos líquidos y deberá contar con el respectivo permiso de vertimiento.

Artículo 33. Reubicación de instalaciones. Los usuarios que no dispongan de área apropiada para la construcción de sistemas de control de contaminación y / o que no cumplan con las normas de vertimientos, deberán reubicar sus instalaciones, cuando quiere que no puedan por otro medio garantizar la adecuada disposición de sus vertimientos.

Decreto 1594 de 1984 Usos del agua y residuos líquidos.

Capítulo III de la destinación genérica de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas, estuarinas y servidas.

Artículo 31. Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas.

Capítulo VI del vertimiento de residuos líquidos

Artículo 62. Se prohíbe la utilización de aguas del recurso, del acueducto público o privado y las de almacenamiento de aguas lluvias, con el propósito de diluir los vertimientos, con anterioridad a la descarga del cuerpo receptor.

Artículo 63. Se permite la infiltración de residuos líquidos siempre y cuando no afecte la calidad del agua del acuífero en condiciones tales que impidan los usos actuales potenciales.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología de investigación empleada en este trabajo es de tipo cuantitativo, compuesto por una fase descriptiva y otra evaluativa de implementación.

La fase descriptiva involucra la caracterización del objeto de estudio, sus particularidades y su contexto. Estos se desarrollaron principalmente en el marco referencial, a partir de información secundaria contenida en libros técnicos, documentos de investigación, artículos y publicaciones científicas y académicas. Para este propósito se recurrió a las Biblioteca Alfonso Palacio Rudas de la Universidad Piloto de Colombia, al archivo documental del profesor William

Antonio Lozano Rivas, a documentos en la Web y a las bases bibliográficas de datos (electrónicas) disponibles en la U. Piloto de Colombia, como ProQuest y Jstor.

Esta búsqueda de información abarcó temáticas como tecnologías blandas más usadas a nivel mundial, las características biofísicas de la zona a la que pertenece el Proyecto Gaia y toda la normativa aplicable al proyecto. De la misma manera, se recabó información sobre la estructura y contenido de las evaluaciones de proyectos en cada uno de sus aspectos: técnico, ambiental y financiero.

Adicionalmente, a través de varias visitas realizadas al Proyecto Gaia, se obtuvo información primaria de las características del proyecto, la distribución espacial del mismo y la disponibilidad de terreno para la implementación de la tecnología. Mediante entrevista informal con la administración del lugar, se determinaron las necesidades de tratamiento de las aguas residuales, el tipo de artefactos sanitarios usados, así como las expectativas del sistema de depuración de aguas implementado, hasta definir (con las sugerencias y observaciones del autor) la tecnología de filtros verdes.

La fase evaluativa, corresponde a la evaluación en el que se determinarán los aspectos técnicos, ambientales y financieros de la implementación de Filtros Verdes como sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para los aspectos técnicos se evalúan: características del lugar de implementación, el personal requerido, se ejecuta un balance hídrico de la zona que permite evaluar el área requerida por el sistema de depuración, se presenta una instalación sugerida para el filtro verde (tanto el de caña brava, como el de banano). Se definen las características del suelo y las recomendaciones de impermeabilización fundamentado en un estudio de infiltración. Se establecen las características del tanque interceptor, incluyendo las consideraciones para su construcción.

Para los aspectos ambientales se realiza una identificación de impactos usando una matriz simple de doble entrada (acciones – impactos), identificando los factores impactados para la etapa de construcción y la de operación y mantenimiento. Se identifican también los impactos

socio-ambientales. Posteriormente, se hace una valoración de impactos siguiendo la metodología de Gómez Orea y colaboradores, que permitió estimar un valor, asociado a un nivel de importancia del impacto. Adicionalmente, se establecieron unas medidas de manejo ambiental para protección del suelo, el aire y el agua. En toda esta fase se aplicó el método Delphi como herramienta de validación.

Respecto al componente financiero, se hizo un análisis de inversión y sensibilidad financiera, identificando los costos asociados a la construcción del sistema, obviando los costos de mantenimiento y operación, los cuales corresponden a actividades a cargo de los mismos habitantes, en alusión a la filosofía del proyecto Gaia. Se calcula el VAN y la TIR que permiten estimar la rentabilidad del proyecto.

8. ASPECTOS TÉCNICOS

8.1 LUGAR DE INSTALACIÓN Y PERSONAL REQUERIDO

8.1.1 Ubicación y descripción del sitio de estudio

Proyecto Gaia, se encuentra ubicado a 15 km de villa de Leyva, en las coordenadas 5°44'13.87''N, 73°35'44''O, con una temperatura que oscila entre 9 y 20 °C y una altura de 2.170 m.s.n.m, la cual permite una gran biodiversidad alimenticia, está conformada por una cobertura vegetal de bosques; arbustos; pastizales entre otros. Y posee una formación de suelo poroso meteorizado a partir de areniscas, lo cual evidencia un suelo semipermeable.

Proyecto Gaia busca combinar diferentes prácticas ambientalmente sostenibles, brindando a sus habitantes una experiencia de conocimiento sobre construcciones ecológicas, soberanía alimentaria (semillas libres) y manejo responsable de agua, minimizando al máximo los impactos producidos por las actividades diarias domésticas.

Como se muestra en la figura 1 (descripción espacial Proyecto Gaia), en la cual se establece espacio para 20 casas, las cuales serán habitadas por un máximo de 4 personas por casa, para un total de 80 personas. Sin embargo, cabe resaltar que este proyecto recibe personas en calidad de voluntariado la representaría una población flotante que debe considerarse.

Teniendo en cuenta el contexto anterior se pretende por medio de este trabajo ofrecer una alternativa para el manejo de las aguas residuales producto de las actividades domésticas del lugar la cual no tiene aportes de tipo industrial ni químicos, detergentes biodegradables o exceso de materia orgánica (en razón del uso de baños secos), utilizando un sistema de Filtros Verdes con un cultivo de caña brava y otro de banano para llevar a cabo la depuración de agua residual. Estas dos plantas fueron escogidas por su alta capacidad de absorción de agua para su óptimo crecimiento y desarrollo, tanto el banano como la caña permiten una remoción de materia orgánica por medio de sus raíces sin que el fruto en el caso del banano se vea afectado para su consumo.

8.1.2 Personal requerido

Para la operación del sistema no se requiere personal cualificado. Sin embargo, es preciso que se le capacite en las labores normales de operación y mantenimiento. Adicionalmente, debe contar con el tiempo necesario para supervisar que todo el proceso sea adecuado. Dentro de las funciones normales está el retiro de grasas y lodos del tanque interceptor, las cuales se depositarán en las cajas de deshidratación para su posterior deshidratado y disposición final.

8.2 BALANCE HÍDRICO DE LA ZONA

La siguiente información fue tomada de la estación meteorológica de Santa Sofía, Boyacá para realizar los cálculos correspondientes necesarios para el funcionamiento del filtro.

8.2.1 Humedad Relativa

En la estación de Santa Sofía las variaciones entre el mínimo (70% para el mes de Agosto) y el máximo (76% para el mes de Noviembre) son solo del 6% los periodos de máxima y mínima precipitación observados en toda el área del municipio.

8.2.2 Brillo Solar y temperatura

Se tienen datos de la estación de Villa de Leyva, representativa de la parte sur del municipio, el número de horas de brillo solar se halla influenciado en la zona en gran medida por la precipitación en los diferentes meses del año, es así que para el periodo seco se dan los mayores datos de insolación (meses de Diciembre a Enero) con los valores de 181.2 horas y 203.2 horas respectivamente. En tanto la temporada de lluvia se presentan valores mínimos (meses de Abril a Mayo principalmente), con valores de 116.9 y 126.6 horas. El promedio anual es de 1769.5 horas que equivale a 4.85 horas/día.

La temperatura oscila entre los 15.8 y los 16.5°C, con un promedio anual de 16.2 °C

8.2.3 Evaporación

La mayor evaporación se presenta en Agosto (134.7 mm) y la mínima en Mayo (101.7mm), lo que refleja una variación mínima durante el año, pero que sin embargo es un indicador de los meses de sequía (Diciembre a Febrero y Agosto a Septiembre). En la estación de Santa Sofía la precipitación es de 1030 mm, menor que la evaporación que es de 1456 mm, lo que indica las condiciones de sequedad de la zona sur del municipio. Sin embargo se deben tener en cuenta que estos factores determinantes del clima han sido alterados por diferentes fenómenos climáticos, especialmente el fenómeno de la niña 2010- 2011 (Cortes, Castro, & Sotelo, 2012).

8.2.4 Cálculo del balance hídrico

Los siguientes cálculos son necesarios para conocer el balance hídrico y determinar la cantidad de agua requerida por los cultivos, teniendo en cuenta los parámetros anteriormente mencionados.

Coeficiente de Trojer

$$\text{Coeficiente de Trojer} = \frac{P}{B}$$

Donde,

P Precipitación anual (en mm)

B Brillo solar (en horas luz/año)

Tabla 1 Clasificación Climática Según el Coeficiente de Trojer

P/B	Clima
<0,20	Desértico
0,20 - 0,40	Seco
0,40 - 0,80	Sub-húmedo
0,80 - 1,60	Húmedo
1,60 - 3,20	Muy húmedo
3,20 - 6,40	Pluvial
6,40 - 12,80	Saturado
12,80 - 25,60	Cuasi-acuático

Fuente: (Lozano-Rivas W. , Hidrología Práctica en zonas rurales y urbanas, 2009)

$$\text{Coeficiente de Trojer} = \frac{1030 \text{ mm}}{1769,5 \text{ horas luz/año}} = 0,58$$

Según la clasificación climática de Trojer, el clima es sub-húmedo, con el valor P/B (precipitación / Brillo Solar) de 0.58.

Sin embargo, ésta clasificación no refleja de manera precisa el déficit hídrico de la zona, en donde se tiene una evaporación (1456 mm), el cual es mayor a la altura de precipitación (1030 mm).

ETR

La evapotranspiración real anual, se determinará con el método de Turc (1954). Esta ecuación no sólo derivó de un estudio realizado en 254 cuencas situadas en todos los climas terrestres, sino que además es la recomendada por la Resolución 0865 de 2004, “por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez” (Lozano-Rivas W. , Hidrología Práctica en zonas rurales y urbanas, 2009).

$$ETR = \frac{P}{0,9 + \frac{P}{L}}$$

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^2$$

Donde,

ETR Evapotranspiración Real anual (en mm)

P precipitación anual (en mm)

L parámetro heliotérmico

T Temperatura media anual (en °C)

Si la relación P/L es menor a 0,316, $ETR = P$

El valor del parámetro heliotérmico es:

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^2$$

$$L = 300 + 25 \cdot 16,2 + 0,05 \cdot 16,2^2 = 718,12$$

La evapotranspiración real anual es de:

$$ETR = \frac{1030}{0,9 + \frac{1030}{718,12}} = 598,96 \text{ mm}$$

En razón a que el valor de la evapotranspiración calculada por el método de Turc es inferior al valor de la evaporación reportada por la estación meteorológica más cercana al área de estudio (Estación Santa Sofía), se toma como valor de referencia -para el balance hidrológico- el valor de la evaporación. Bajo estas circunstancias, como el valor (evaporación: 1456 mm), excede el valor de la precipitación (1030 mm), lo cual determina un balance hídrico negativo (déficit), se asume que la cantidad de agua demandada por los cultivos usados en el sistema de filtro verde (Caña Brava y Banano) será suministrada de manera exclusiva de las aguas residuales domésticas que este recibe.

8.3 CONSUMOS Y DOTACIÓN

Los cálculos anteriores fueron fundamentales para determinar el balance hídrico, se procede a determinar los consumos y dotación, es decir, la cantidad de agua potable requerida en litros por habitante/día, la cual será transformada en aguas residuales que alimentarán el Filtro Verde. Para esta estimación se toman los valores dados por el consumo de agua propuestos por Schocklisth.

Tabla 2. Valores de Consumo de Agua (Schocklisth)

Actividad	Gasto
Lavado de platos	20-30 L/hab*día
Aseo personal (Ducha)	20-75 L/hab*día
Lavado de ropa	10-15 L/hab*día
Inodoros	15-20 L / descarga
Lavado de pisos	1.5 L/m ²
Riego de Jardines	1.5 L/m ²
Lavado de carros	250-300 L

Fuente: (Corcho Romero & & Duque Serna, 2005)

Teniendo en cuenta la tabla de valores de consumo de agua (Schocklisth) se toman los valores más bajos y solo las actividades desarrolladas en Proyecto Gaia (Cocina-lavaplatos; ducha; lavado de ropa; inodoros), lo que deja como resultado un consumo de 68 litros hab/día.

Tabla 3. Valores de Consumo Proyecto Gaia

Actividad	Gasto
Cocina – lavaplatos	20 L/hab*día
Ducha	20 L/hab*día
Lavado de ropa	10 L/hab*día
Inodoros	18 L/hab*día
Total	68 litros hab/día

Fuente: (Autor)

Conociendo el consumo de agua por litro / habitante en el caso de Proyecto Gaia que es de 68 litros, ahora se requiere calcular el área y la cantidad de agua para el funcionamiento del Filtro Verde.

El caudal de alimentación de un Filtro Verde se estima de entre 20 y 60 m³ /ha*d (metros cúbicos por hectárea y por día) (Lozano-Rivas W. , Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales , 2012), para lo cual se calculó con el menor y el mayor valor de caudal para la estimación del área requerida.

A partir del valor de consumo de agua calculado para el proyecto GAIA, de 68 litros por persona y por día, considerando 4 habitantes por vivienda y despreciando el coeficiente de retorno sanitario¹ (fracción del agua que llega a las redes como aguas residuales y que toma generalmente un valor de 0.80), se tiene:

Demanda por vivienda: 68 L/hab*d x 4 habitantes = 272 litros = 0,272 m³/vivienda

¹ No se toma en cuenta para este proyecto, con el fin de dejar un margen de seguridad adicional que asegure un correcto funcionamiento del sistema, aún en condiciones críticas (e.g. incremento de la población flotante, incrementos de consumo de agua en el tiempo).

El área de filtro verde, requerida por vivienda, considerando un requerimiento de 20 m³/hectárea y por día, es:

$$\frac{0.272 \frac{m^3}{vivienda} * d}{20 \frac{m^3}{ha} * d} = 0,0136 \text{ ha/vivienda} = 136 \text{ m}^2/\text{vivienda}$$

El área de filtro verde, requerida por vivienda, considerando una alimentación de 60 m³/hectárea y por día, es:

$$\frac{0.272 \frac{m^3}{vivienda} * d}{60 \frac{m^3}{ha} * d} = 0,0045 \text{ ha/vivienda} = 45 \text{ m}^2/\text{vivienda}$$

Como se evidencia en el numeral (8.2.4 Cálculo del balance hídrico) a causa del balance hídrico negativo, se toma el valor más bajo, en este caso 45 m² el cual se multiplica por un factor de seguridad de 1.5 para compensar el exceso de agua en el sistema durante los meses de lluvia y por la presencia de población flotante.

$$\text{Área requerida por vivienda para el Filtro Verde: } 45 \text{ m}^2 * 1.5 = 68 \text{ m}^2$$

8.4 TIPO DE SUELO Y RECOMENDACIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN

A continuación se presenta la descripción de la prueba de infiltración que se realizó para la futura implementación del filtro verde, su resultado (característica del suelo del proyecto Gaia) y las recomendaciones para la impermeabilización del terreno destinado al filtro verde

8.4.1 Prueba de Infiltración

Las pruebas de infiltración permiten definir la permeabilidad del suelo, a través de la estimación de las tasas de infiltración o velocidad de percolación del agua que es vertida al suelo. Para la instalación de sistemas individuales, deben hacerse como mínimo, cuatro (4) pruebas de infiltración, uniformemente repartidas en el área destinada para la instalación del sistema individual.

Para esta prueba, debe excavarse un cuadrante de 1 m de lado y entre 0,30 y 0,60 m de profundidad, la cual permite que sea cómodo realizar la prueba de infiltración, se excavará un hoyo de entre 0,1 y 0,3 m de diámetro y una profundidad mínima de 0,30 m, de manera que la profundidad del hoyo, coincida con la profundidad del sistema de disposición “in situ” de las aguas tratadas (entre 0,6 y 1,1 m).

A este hoyo se le limpian muy bien las paredes y el fondo, con la ayuda de un filo de cuchillo o similar. Se agregan 5 cm de arena gruesa o gravilla para evitar que la caída del agua socave el fondo del orificio. Durante 24 horas, este agujero debe llenarse constantemente de agua con el fin de saturar y expandir el suelo, simulando su funcionamiento del terreno en época invernal.

Completadas las 24 horas de saturación, se vierte una altura mínima de 15 cm de agua (sobre la capa de arena o grava) y se mide el tiempo que tarda ésta en descender 2,5 cm respecto de su nivel original. Otra forma de hacerlo es, tomar la lectura del descenso de agua en un intervalo definido de 10, 20 o 30 min. De cualquier manera, este procedimiento permitirá estimar la tasa de infiltración en minutos por centímetro (min/cm) (Lozano-Rivas W. , Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales , 2012).

8.4.2 Tipo de suelo

Según la prueba de infiltración realizada en Proyecto Gaia se evidencia una textura de suelo Marga- Marga porosa o Semipermeable (Torres, 2014).

8.4.3 Impermeabilización del Terreno

En la fase de construcción del Filtro será necesario impermeabilizar el terreno con el fin de evitar filtraciones de agua residual hacia el suelo y cuerpos de agua subterráneas, teniendo en cuenta que el suelo de Proyecto Gaia (sitio de estudio) es poroso, se utilizará un lecho de arcilla entre 5 y 8 cm (3.4 m^3 de arcilla) en todo el área del cultivo con el objetivo de desalojar todo el aire presente en el suelo, compactar la arcilla para evitar el fenómeno de infiltración por vasos comunicantes, el cual son pequeñas fisuras por el agua que se infiltra.

El proceso de impermeabilización requiere de la compactación de la arcilla para evitar fisuras, para el cual se utilizará un pisón de concreto al cual se le adecua una superficie plana, puede ser en madera o cualquier material de superficie lisa de unos 50 cm x 50 cm para compactar toda el área del cultivo (Torres, 2014).

8.5 EL TANQUE INTERCEPTOR

Previo a la llegada de las aguas residuales al filtro verde, se precisa de la instalación de un tanque interceptor que tendrá la función de separar grasas y aceites, así como la de sedimentar gran parte de la materia orgánica que podrían ocasionar atascos y mal funcionamiento del filtro verde. Este tanque interceptor en un tanque de decantación-digestión convencional como un tanque séptico o un tanque tipo Imhoff, pero es más pequeño que estos, según lo recomendado por los ingenieros Rizo Pombo y, posteriormente, por Lozano-Rivas.

8.5.1 Características y criterios de diseño

Se presentan los siguientes criterios de diseño para un tanque interceptor típico, asumiendo una población servida de 5.5 habitantes/vivienda (previando población flotante y algunas viviendas en donde se tengan hasta 5 o 6 habitantes) y un caudal de aguas residuales de 68 L/hab*día.

Tabla 4 Características y Dimensiones de un Tanque Interceptor Tipo

PARÁMETRO	VALOR MEDIO
Tiempo de Detención Hidráulico ² (T_d)	13 horas
Volumen para Sedimentación (∇_{rs})	0.20 m ³
Tasa de Acumulación de Lodos (T_L)	10.2 L/hab*año
Periodo entre limpiezas (N)	6 años
Volumen para Lodos (V_L)	0.34 m ³
Tasa de Acumulación de Natas (T_n)	7 L/hab*año
Volumen para Natas (V_n)	0.23 m ³

² Siguiendo las recomendaciones de Fair & Geyer para pequeñas unidades, se adopta 13 horas como tiempo mínimo.

Ancho : Largo : Profundidad	1 : 2 : 1.5
Volumen Total Inicial	0.77 m ³

Fuente: (Lozano-Rivas W. A., Sistema Integral de Saneamiento con Fitodepuración de Ornato para pequeños Núcleos Urbanos., 2007)

Con éstas características, la altura del tanque sería de 0.954 m pero como la altura mínima recomendada es de 1.2 m (Lozano-Rivas W. A., Sistema Integral de Saneamiento con Fitodepuración de Ornato para pequeños Núcleos Urbanos., 2007), se deben ajustar las nuevas dimensiones del tanque interceptor, de la siguiente manera (Tabla 5).

Tabla 5 Dimensiones Definitivas Tanque Interceptor para Proyecto Gaia

Ancho del Tanque	0.80 m
Largo del Tanque	1.60 m
Profundidad Total Útil	1.20 m
Área Superficial	1.28 m ²
Volúmen Total Final	1.54 m ³
Borde Libre	> 0.10 m

Fuente: Autor

Considerando núcleos de vivienda no marginales y con condiciones de vida media, se determinó que la tasa de acumulación de lodos (TL) es de unos 10.2 L/hab*año y la tasa de acumulación de natas (Tn) es de 7 L/hab*año. Según la experiencia, en varias ciudades del país, adquirida por el sistema denominado Alcantarillado sin Arrastre de Sólidos (ASAS), el cual posee este mismo tipo de tanques interceptores, el periodo entre limpiezas debe ser del orden de 6 años, producto del análisis de “menor costo” (Rizo, 1995).

8.5.2 Consideraciones de instalación y construcción del Tanque Interceptor

Es necesario conocer las especificaciones y dimensiones para la óptima construcción y funcionamiento del tanque interceptor.

Ubicación

La ubicación del tanque es de vital importancia para su correcto funcionamiento, este debe instalarse a no menos de 3 metros del cultivo para que las raíces no afecten el tanque. Su ubicación dependerá de la facilidad de conexión de las instalaciones internas y la evacuación de sus efluentes hacia la red de recolección, asegurando también el fácil acceso para realizar mantenimiento.

Acceso

Para hacer más práctico el mantenimiento y la limpieza del tanque es recomendable instalar una tapa la cual permita un fácil acceso al contenido del tanque, puede utilizarse como material principal plástico, madera o concreto el cual no deberá exceder un peso de 12kg. El acceso al tanque no deberá obstruirse con ningún elemento pesado que pueda afectar el objetivo del mismo.

Dispositivos de Entradas y Salidas

La entrada y la salida se deben efectuar mediante tees o mamparas que disipen la energía del efluente, disminuye la turbulencia, eviten corto circuito e impida la salida del material flotante y de las grasas.

Materiales de Construcción

Los materiales recomendables para la construcción del tanque serán aquellos que no sean susceptibles a la corrosión y sean impermeables, pueden construirse en ladrillo vitrificado, concreto o plástico reforzado e fibra de vidrio, evitando así filtraciones de agua hacia el subsuelo.

Conexión Domiciliar

A la salida del tanque interceptor deberá proveerse una caja deshidratación, registro o caja de limpieza de una rejilla con espacios entre barrotes de 1 y 2 cm, con el fin de evitar la salida del material flotante y de las grasas. (Lozano-Rivas W. A., Sistema Integral de Saneamiento con Fitodepuración de Ornato para Pequeños Núcleos Urbanos, 2007).

8.6 INSTALACIÓN SUGERIDA PARA EL FILTRO VERDE DE CAÑA BRAVA

Con las consideraciones hechas, se presenta en la Figura 4, la instalación sugerida para el filtro verde de caña brava.



Ilustración 4. Esquema de Filtro Verde (Caña Brava)

Fuente: Autor

Como se muestra en la ilustración 4, donde se representa el sistema de Filtro Verde conformado por: la tubería conductora de cocina y baños hacia el tanque interceptor que será utilizado como tratamiento primario anaeróbico, para separar grasas y sólidos sedimentables, el cual genera un efluente parcialmente depurado y clarificado, para su posterior vertido sobre el cultivo, la caja de deshidratación ubicada al lado del tanque la cual es utilizada para deshidratar las grasas y sólidos que salen del tanque para su disposición final, en el caso de las grasas ser enterradas y los sólidos por su contenido de materia orgánica pueden ser aprovechados en compost.

El cultivo de caña brava debe estar a mínimo 3 metros de distancia de la casa para evitar que las raíces del cultivo afecten la casa, el cultivo debe hacerse con espacios de 1 m de distancia entre plantas, con el fin de proporcionarle el espacio suficiente para que crezcan

sus retoños (cañas hijas). Por cada planta nacen 15 retoños (Cañas) en promedio, lo cual indica que a los 10 meses que es el tiempo requerido por la planta para su maduración se tendrán 1020 cañas en promedio como resultado final, estas cañas tienen un valor comercial de \$ 300 cada una para un valor final de venta de \$ 306.000.

8.7 INSTALACIÓN SUGERIDA PARA EL FILTRO VERDE DE PLANTAS DE BANANO

Con las consideraciones hechas, se presenta en la Figura 5, la instalación sugerida para el filtro verde de banano.



Ilustración 5 Diseño de Filtro Verde (Plantas de Banano)

Fuente: Autor

Como se muestra en la Ilustración 5, se cuenta con un área de 68 m² en el cual se cultivarán 20 plantas de banano con 3.4 m² de espacio entre planta, para proporcionarle el espacio necesario ya que cada planta produce 5 manos (racimos) cada uno con 15 bananos en promedio para un total de 1.500 bananos, al finalizar el tiempo de la primera cosecha que será de 10 a 12 meses respectivamente, la segunda y tercera cosecha se tardará entre 3 – 4 meses, cada una con la misma cantidad de frutos (1.500 bananos) por cada cosecha.

El valor de venta del banano por unidad es \$ 200, \$ 3.000 por racimo, \$ 15.000 por los 5 racimos para un total de \$ 300.000 por cosecha.

9. COMPONENTE AMBIENTAL

9.1 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES SIN PROYECTO

A partir del trabajo propuesto por la autora y, posteriormente, mediante la aplicación de un método Delphi (panel de expertos), en cabeza del director de este trabajo de grado, se realizó la identificación de impactos ambientales que pueden ser generados por la construcción, operación y mantenimiento del sistema de Filtros Verdes, con el objetivo de medir la significancia ambiental de dichos impactos para posteriormente proponer fichas de manejo ambiental para el sistema.

9.1.1 Impactos en la etapa de Construcción

Tabla 6 Etapa de Construcción

ACCIÓN	FACTOR	IMPACTO
Transporte de materiales	Contaminación atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación atmosférica por emisión de gases por fuentes móviles.
Limpeza y desmonte de la cobertura vegetal	Flora y Fauna Clima Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en la cobertura vegetal. • Modificación de hábitats. • Afectación de Microclimas.
Excavación superficial	Suelo Contaminación atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> • Remoción del suelo. • Contaminación atmosférica por partículas suspendidas.
Impermeabilización	Contaminación del agua y el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención de infiltración de aguas contaminadas al suelo y a las aguas subterráneas
Instalación de tubería	Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de escombros.
Instalación Tanque Interceptor	Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de escombros.

Fuente: Autor

9.1.2 Impactos en la etapa de Operación y Mantenimiento

Tabla 7 Etapa de Operación y Mantenimiento

ACCIÓN	FACTOR	IMPACTO
Extracción de grasas (Flotantes)	Salud Pública	<ul style="list-style-type: none"> • Olores ofensivos
Deshidratación de grasas en lecho de secado	Salud pública Contaminación del agua y el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Olores Ofensivos • Reducción de la contaminación de fuentes hídricas y suelo.
Disposición final de grasas (Entierro)	suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de nutrientes en el suelo.
Extracción de lodos	Salud Pública	<ul style="list-style-type: none"> • Olores ofensivos
Deshidratación de lodos en lecho de secado	Salud Pública Contaminación del agua y el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Olores Ofensivos • Reducción de la contaminación de fuentes hídricas y suelo.
Uso de lodos (fertilizante, abono, acondicionador de suelos, compost)	Contaminación del agua y el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la contaminación de fuentes hídricas y suelo.

Fuente: Autor

9.1.3 Impactos Socio ambientales

Tabla 8 Dinámica Social

ACCIÓN	FACTOR	IMPACTO

Dinámica del bienestar social	Calidad Paisajística	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de las características locales y de su aspecto estético.
	Salud pública	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de los riesgos a la salud de las personas • Reducción de los índices de morbilidad. • Mejoras en el bienestar, la comodidad y/o en el nivel general de salud de la comunidad.
	Calidad de Vida	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de fuentes de trabajo durante la construcción o generación de empleos para la fase de operación del Proyecto. • Capacitación de personal en técnicas de construcción o en habilidades u oficios productivos

Fuente: Autor

9.2 CALIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS IMPACTOS

A continuación se explican las características de cada impacto que deben considerarse para la calificación de importancia, siguiendo la metodología propuesta por Gómez Orea y colaboradores.

Carácter del impacto: Se define a partir de los efectos que ocasiona al factor.

Negativo (-)

Positivo (+)

Intensidad: se define en función de la calidad del factor el que se ejercerá el impacto y las dimensiones del área a impactar.

- Baja
 - Media
 - Alta
-

Extensión: escala o proporción del efecto con relación al total del factor en el entorno no considerado

- Puntual < 30 %
 - Parcial 30-70%
 - Extenso >70%
-

Plazos en que se produce: se refiere al momento o lapso de tiempo que transcurre entre el impacto y la aparición del efecto.

- (3) Corto. (<3años)
 - (2) Mediano. (3-10 años)
 - (1) Largo. (>10 años)
-

Persistencia: Tiempo de permanencia del efecto.

- Temporal (3 años)
 - Media (3 a 10 años)
 - Permanente (más de 10 años)
-

Reversibilidad del efecto: Representa la posibilidad de regeneración intrínseca del factor afectado para recuperar las condiciones iniciales una vez que cese el efecto.

- Irreversible
-

-
- (3) Largo plazo (>10 años)
 - (2) Mediano plazo (3-10 años)
 - Corto plazo (< 3 años)
-

Probabilidad de ocurrencia: se refiere, si es una probabilidad o es una certeza en la ocurrencia del impacto.

Cálculo de Importancia:

Importancia: Es la valoración numérica de los indicadores que caracterizan al impacto y se representa por la fórmula:

$$\text{Importancia} = 3X \text{ intensidad} + 2x \text{ Extensión} + \text{Plazos} + \text{Persistencia} + \text{Reversibilidad}$$

Rangos:

Se establecen los siguientes rangos para medir la importancia.

Baja	8 – 13
Media	14 – 19
Alta	20 – 25

de aguas contaminadas al suelo y a las aguas subterráneas	Positivo (+)	1	1	3	1	1	Cierto	10 (Baja)
Generación de escombros.	Negativo (-)	2	1	3	1	1	Cierto	13 (Baja)
Olores ofensivos	Negativo (-)	1	1	3	1	1	Probable	10 (Baja)
Reducción de la contaminación de fuentes hídricas y suelo	Positivo (+)	3	3	1	1	3	Cierto	20 (Alta)
Aprovechamiento de nutrientes en el suelo.	Positivo (+)	3	3	1	1	3	Cierto	20 (Alta)
Mejora de las características locales y de su aspecto estético.	Positivo (+)	3	2	1	1	3	Cierto	17 (Alta)

Reducción de los riesgos a la salud de las personas	Positivo (+)	3	3	1	1	3	Cierto	20 (Alta)
Mejoras en el bienestar, la comodidad y/o en el nivel general de salud de la comunidad.	Positivo (+)	3	3	1	1	3	Cierto	20 (Alta)
Creación de fuentes de trabajo durante la construcción.	Positivo (+)	2	1	1	3	1	Cierto	13 (Baja)

Fuente: Autor

9.4 MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

A partir de los resultados obtenidos en la identificación y la valoración de impactos, se elaborarán fichas de manejo que incluya medidas orientadas a: prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales potenciales identificados, en los recursos, suelo; aire y agua respectivamente.

Tabla 10 Ficha de Manejo (Suelo)

MANEJO DEL SUELO

MANEJO DE LIMPIEZA, DESMONTE DE LA COBERTURA VEGETAL Y REMOCIÓN DEL SUELO.				
OBJETIVOS		METAS		
<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar el impacto ocasionado sobre el componente biótico por las actividades de limpieza del suelo y desmonte de la cobertura vegetal. • Aprovechar en forma óptima la madera y los residuos vegetales resultantes de la tala de los árboles y la remoción de otro tipo de cobertura vegetal. • Disponer adecuadamente los residuos orgánicos generados por la actividad de limpieza del suelo y desmonte de la cobertura vegetal. • Capacitar a todas las personas que van a participar en la actividad de limpieza del suelo y desmonte de la cobertura vegetal. 		<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar un adecuado manejo del 100 % del suelo orgánico y la vegetación intervenido. • Garantizar que más del 80% de las personas participantes en la limpieza del suelo y desmonte de la cobertura vegetal comprendan y aprueben la capacitación, para una mayor eficacia de las actividades. 		
ACTIVIDADES DURANTE LAS CUALES SE RESENTA EL IMPACTO A MANEJAR				
ETAPAS	PLANEACIÓN	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN Y	DESMANTELAMIENTO

			MANTENIMIENTO		
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación • Selección de las personas participantes en la construcción del Filtro Verde. • Movilización de maquinaria y equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje de equipos • Impermeabilización. • Instalación de tuberías. • Limpieza y reconfiguración del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de grasas. • Manejo de lodos 	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuación y limpieza final. • Recuperación paisajística. 	
	IMPACTOS AMBIENTALES				
IMPACTO			ELEMENTO AFECTADO		
Cambios en la cobertura vegetal			Suelo		
Modificación de hábitats			Fauna		
Afectación de microclimas			Clima		
TIPO DE MEDIDA					
PREVENCIÓN	X	MITIGACIÓN		CORRECCIÓN	COMPENSACIÓN
ACCIONES A DESARROLLAR					
LUGAR DE APLICACIÓN					
Municipio/ Vereda		Área de ubicación Filtro	X	Eco aldea Proyecto	

	Verde		Gaia	
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN				
Proyecto Gaia será el responsable de llevar a cabo la implementación del Filtro Verde con sus respectivas especificaciones técnicas.				
POBLACIÓN BENEFICIADA				
La población que vivirá en Proyecto Gaia será beneficiada con la implementación del Filtro Verde para depurar el agua residual del lugar, adicionalmente las personas participantes en la construcción del mismo recibirá la capacitación respectiva asegurando la eficacia del sistema.				
MECANISMO Y ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS				
La comunidad que habitará Proyecto Gaia estarán involucrados no solo con la mano de obra sino como veedores en la protección de los recursos naturales por medio de todo lo que implica la construcción, operación y mantenimiento del filtro verde depurando el agua residual y evitando así generar un impacto al recurso hídrico				
PERSONAL REQUERIDO				
No requiere personal cualificado, sin embargo es recomendable que la persona encargada de hacer la remoción de cobertura vegetal cuente con una capacitación en este tipo de actividades.				
SEGUIMIENTO Y/O MONITOREO				
Durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento se realizará seguimiento continuo de las actividades para adoptar las medidas necesarias de control que minimicen los impactos sobre los elementos intervenidos. Debe monitorearse que el área a afectar sea estrictamente la necesaria y que la disposición del material vegetal se haga en sitios que no afecten otros recursos naturales.				

Fuente: Autor

Tabla 11 Ficha de Manejo (Aire)

AIRE

OBJETIVOS		METAS		
<ul style="list-style-type: none"> Minimizar el impacto ocasionado sobre el recurso aire por material particulado como resultado de la construcción del Filtro Verde. Minimizar la generación de gases por fuente móviles en el transporte de materiales y maquinaria. 		<ul style="list-style-type: none"> Efectuar un adecuado manejo de la maquinaria para evitar emisión de material particulado al ambiente. Garantizar el obligatorio porte del certificado de emisión de gases de los vehículos transportadores. 		
ACTIVIDADES DURANTE LAS CUALES SE PRESENTA EL IMPACTO A MANEJAR				
ETAPAS	PLANEACIÓN	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	DESMANTELAMIENTO
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> Capacitación Selección de las personas participantes en la construcción del Filtro Verde. Movilización de maquinaria y equipos. (X) 	<ul style="list-style-type: none"> Montaje de equipos. Impermeabilización. Instalación de tuberías. Limpieza y re conformación del terreno. (X) 	<ul style="list-style-type: none"> Manejo de grasas. Manejo de lodos. 	<ul style="list-style-type: none"> Adecuación y limpieza final. Recuperación paisajística.
IMPACTOS AMBIENTALES				
IMPACTO		ELEMENTO AFECTADO		

Contaminación atmosférica por material particulado				Aire Salud pública			
Contaminación atmosférica por emisión de gases por fuente móviles				Aire			
TIPO DE MEDIDA							
PREVENCIÓN	X	MITIGACIÓN	X	CORRECCIÓN		COMPENSACIÓN	
ACCIONES A DESARROLLAR							
<p>El manejo del material particulado y la emisión de gases en la etapa de construcción del filtro pretenden ser minimizado con el buen manejo de la maquinaria evitando partículas por corte de tubería o ladrillos y el transporte de materiales.</p> <p>Manejo de material particulado:</p> <p>En la fase de construcción del filtro podría presentarse generación de material particulado por las actividades de corte de tubería de conexión entre la casa, el tanque interceptor y el cultivo. Y adicionalmente corte de ladrillo de ser necesario para la construcción de la caja de deshidratación, para el cual se aplica agua sobre el ladrillo al momento de cortarlo para evitar material particulado, la persona encargada de esta actividad debe tener elementos de protección personal para proteger sus vías respiratorias y sus manos.</p> <p>Transporte de materiales y maquinaria:</p> <p>Verificar que el vehículo encargado de hacer el transporte de materiales cuente con el certificado de gases de vehículos vigente, preferiblemente que el vehículo sea un modelo no mayor al año 2010.</p>							
LUGAR DE APLICACIÓN							

Municipio Vereda	/	Área del cultivo (Filtro Verde)	x	Eco aldea Proyecto Gaia	
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN					
Proyecto Gaia será el responsable de llevar a cabo la implementación del filtro verde con sus respectivas especificaciones técnicas.					
POBLACIÓN BENEFICIADA					
La población que vivirá en Proyecto Gaia será beneficiada con la implementación del filtro verde para depurar el agua residual del lugar.					
MECANISMOS Y ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS					
La comunidad que habitará Proyecto Gaia estarán involucrados no solo con la mano de obra sino como veedores en la protección de los recursos naturales por medio de todo lo que implica la construcción operación y mantenimiento del filtro verde depurando el agua residual y evitando así generar un impacto al recurso hídrico					
PERSONAL REQUERIDO					
Se requiere personal con manejo en herramienta básicas y cortadora de ladrillos (de ser necesario) para la construcción de la caja de deshidratación.					
SEGUIMIENTO Y/O MONITOREO					
<p>Durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento del Filtro se realizará un seguimiento continuo de todas las actividades para adoptar las medidas necesarias de control que minimicen los impactos sobre los elementos intervenidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Debe monitorearse que para el transporte de materiales se utilicen vehículos con el certificado de gases vigente, adicionalmente que sea un modelo no menor a 2010. • En caso de ser necesario el corte de tuberías o ladrillos para la fase de construcción debe estar húmedo el material al 					

momento del corte para minimizar la generación de polvo y partículas.

Fuente: Autor

Tabla 12 Ficha de Manejo (Agua)

AGUA	
OBJETIVOS	METAS

<ul style="list-style-type: none"> Reducción de la contaminación por agua residual doméstica en fuentes hídricas aledañas a Proyecto Gaia. 		<ul style="list-style-type: none"> Manejo y aprovechamiento del 100% del agua residual resultado de las actividades domésticas en Proyecto Gaia. 		
ACTIVIDADES DURANTE LAS CUALES SE PRESENTA EL IMPACTO				
ETAPAS	PLANEACIÓN	CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	DESMANTELAMIENTO
ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> Verificar que no existen cuerpos de agua subterráneos en el área de aplicación del cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Instalación eficiente de tubería y lecho de arcilla para evitar filtraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Verificar que no existan fugas en la tubería, ni grietas en el lecho de arcilla. 	<ul style="list-style-type: none"> Adecuación y limpieza final. Recuperación paisajística.
IMPACTOS AMBIENTALES				
IMPACTOS POSITIVOS			ELEMENTO	
<ul style="list-style-type: none"> Reducción de la contaminación por agua residual doméstica en fuentes hídricas. Aprovechamiento del agua residual doméstica para riego del Filtro Verde. 			<ul style="list-style-type: none"> Agua 	
TIPO DE MEDIDA				
PREVENCIÓN	X	MITIGACIÓN	CORRECCIÓN	COMPENSACIÓN
ACCIONES A DESARROLLAR				

<p>Para prevenir la contaminación en fuentes hídricas aledañas en Proyecto Gaia el manejo de agua residual se hará por medio del Filtro Verde con el fin de depurarla y aprovecharla.</p> <p>El agua será vertida sobre el cultivo (Caña brava y/o Banano) según especificaciones técnicas para ser aprovechada y depurada.</p>					
LUGAR DE APLICACIÓN					
Municipio / Vereda		Área del Cultivo Filtro Verde	x	Eco Aldea Proyecto Gaia	
RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN					
Proyecto Gaia será el responsable de llevar a cabo la implementación del filtro verde con sus respectivas especificaciones técnicas.					
POBLACIÓN BENEFICIADA					
La población que vivirá en Proyecto Gaia será beneficiada con la implementación del filtro verde para depurar el agua residual del lugar.					
MECANISMOS Y ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS					
La comunidad que habitará Proyecto Gaia estarán involucrados no solo con la mano de obra sino como veedores en la protección de los recursos naturales a través de todo lo que implica la construcción, operación y mantenimiento del Filtro Verde con el objetivo de depurar el agua residual doméstica y evitando así generar un impacto a largo plazo al recurso hídrico.					
PERSONAL REQUERIDO					
No requiere personal calificado, se requiere hacer seguimiento, verificando que no existan fugas en la tubería para evitar filtraciones y esto afecte el óptimo funcionamiento del Filtro Verde.					

SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento del filtro se realizará un seguimiento continuo de todas las actividades para adoptar las medidas necesarias de control que minimicen los impactos sobre los elementos intervenidos.

- Se debe monitorear que no existan fugas en la tubería durante la construcción y operación del filtro evitando contaminar el suelo y cuerpos de agua subterráneos según el caso.
- Verificar que el lecho de arcilla para impermeabilizar el suelo no quede con grietas evitando filtraciones.

Fuente: Autor

10. COMPONENTE FINANCIERO

Como parte del componente financiero, se estimarán los costos para la construcción del Filtro Verde utilizando dos cultivos, Caña Brava y Plantas de Banano, para obtener la inversión inicial del proyecto y así calcular el VAN y la TIR como herramientas financieras para medir la rentabilidad del proyecto.

10.1 ANÁLISIS DE INVERSIÓN Y SENSIBILIDAD FINANCIERA PARA EL FILTRO VERDE DE BANANO

10.1.1 Costos de Material Filtro Verde (Plantas de Banano)

Tabla 13 Costos del Cultivo de Banano

FILTRO VERDE POR PLANTA DE BANANOS							
N° Cosechas	Área del cultivo	N° de plantas	Costo unitario planta	Costo total plantas	Tiempo	Valor de venta total racimos por planta (\$)	Beneficio Financiero
Cosecha 1	68m ²	20	\$ 1500	\$ 30000	10- 12 meses	\$ 15.000	\$ 300.000
Cosecha 2	68m ²	20	N/A	N/A	3 - 4 meses	\$ 15.000	\$ 300.000
Cosecha 3	68m ²	20	N/A	N/A	3 - 4 meses	\$ 15.000	\$ 300.000
						Total 20 meses	\$ 900.000

Fuente: Autor

Como se muestra en la tabla 10, se cuenta con un área de 68 m² en el cual se cultivarán 20 plantas de bananos con 3.4 m² de espacio entre planta, para proporcionarle el

espacio necesario ya que cada planta produce 5 manos (racimos) cada uno con 15 bananos en promedio para un total de 1500 bananos, al finalizar el tiempo de cultivo de la primera que será de 10 a 12 meses respectivamente, posteriormente la segunda y tercera cosecha se demora entre 3-4 meses cada una con la misma cantidad de fruto (1500 bananos) por cada cosecha.

El valor de venta del banano será de \$200 unidad, \$ 3.000 por racimo, \$ 15.000 por los 5 racimos de la planta para un total de \$ 300.000 al final de cada cosecha

Como se muestra en la tabla 5, se cuenta con un área de 68 m² en el cual se cultivarán 20 plantas de bananos con 3.4 m² de espacio entre planta, para proporcionarle el espacio necesario ya que cada planta produce 5 manos (racimos) cada uno con 15 bananos en promedio para un total de 1500 bananos, al finalizar el tiempo de cultivo de la primera que será de 10 a 12 meses respectivamente, posteriormente la segunda y tercera cosecha se demora entre 3-4 meses cada una con la misma cantidad de fruto (1500 bananos) por cada cosecha.

El valor de venta del banano será de \$200 unidad, \$ 3.000 por racimo, \$ 15.000 por los 5 racimos de la planta para un total de \$ 300.000 al final de cada cosecha.

Tabla 14 Costos de Materiales Filtro Verde (Planta de Banano)

MATERIALES FILTRO VERDE POR PLANTA DE BANANO					
		Cantidad	Unidad de Medida	Costo unitario	Costo total
	Tanque 2000 l	1	Litros	\$ 500.000	\$ 500.000
	Tubo 1/2"	27	Metros	\$ 4.700	\$ 126.900
	Codos	2	Unidades	\$ 500	\$ 1.000
	tubos (T)	3	Unidades	\$700	\$ 2.100
Filtro	Llave de paso	1	Unidades	\$ 6.000	\$ 6.000
	Bolsa plástico	50	Unidades	\$200	\$10.000
	Soldadura de tubo	2	Unidades	\$ 2900	\$ 5.800
	Pica y pala	1	Unidades		\$31.900
Base tanque	Ladrillos (base)	80	Unidades	\$500	\$ 40.000
	cemento	50	Kilogramos	\$ 23000	\$ 23000
Caja de Deshidratación	Ladrillos	16	Unidades	\$500	\$8.000
Mano de Obra		5	Jornales	\$ 23.000	\$ 115.000
				Total	\$ 900.000

Fuente: Autor

Los materiales descritos en la tabla 14 son los requeridos para la construcción del filtro, se especifican los valores de cada material, cabe resaltar que algunos materiales puedan ser recibidos a través de donaciones, por otra parte, también se incluye el valor de mano de obra, sin embargo, el esquema actual de la eco aldea involucra el trabajo de muchas personas bajo la modalidad de voluntariado. 900.000 con el costo de las plantas

Cabe resaltar que el precio de la arcilla necesaria para la impermeabilización no se incluye dentro de los costos debido a que Proyecto Gaia recibirá dicho material como parte de una donación y no se destinarán fondos para ello.

10.1.2 Cálculo de VAN y TIR

Tomando los costos de materiales para la construcción del Filtro Verde con Plantas de banano se tiene como resultado la inversión inicial para calcular el VAN y la TIR con el fin de determinar al rentabilidad del proyecto.

Tabla 15 Flujo de Ingresos Cultivo Banano

Año 1	\$ 300.000
Año 2	\$ 900.000
Año 3	\$ 300.000
Año 4	\$ 900.000
Año 5	\$ 300.000

Fuente: Autor

El valor asignado al primer año es el resultado de la primera cosecha de banano que tarda un año en producirse. Para el segundo año el tiempo de cosecha es de 3 a 4 meses por lo que se tienen más cosechas durante el año aumentando la producción de banano, respectivamente para el año 3,4 y 5 se repite el ciclo.

Tabla 16 Flujo de Egresos (año 1 a año 5) Cultivo de banano

Transporte	\$ 40.000
Plástico	\$ 10.000
Insecticida	\$ 35.000
Mano de Obra	\$ 0
Total Gastos por año	\$ 85.000

Fuente: Autor

Los valores asignados en flujo de egresos se toman contemplando los costos de mantenimiento anual para el funcionamiento del filtro, el rubro de mano de obra no se toma ya que el esquema actual de Proyecto Gaia involucra el trabajo de muchas personas que llegan al lugar en modalidad de voluntariado.

Tabla 17 Flujo de Efectivo Neto (Ingresos - Egresos)

F C año 1	\$ 215. 000
F C año 2	\$ 815.000
F C año 3	\$ 215.000
F C año 4	\$ 815.000
F C año 5	\$ 215.000

Fuente: Autor

Los valores tomados en el flujo de efectivo neto son obtenidos restando los ingresos de cada año con el valor de egreso que es el mismo para los 5 años

$$VAN = -I_0 + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5}$$

$$VAN = - 900.000 + 215.000 + 900.000 + 215.000 + 900.000 + 215.000 = 1.375.000$$

$$VAN = \$ 1.375.000$$

Teniendo en cuenta que el valor del VAN es positivo, significa que existe una tasa de rentabilidad mayor al 0% que fue la tasa utilizada como parámetro para realizar el cálculo.

Para determinar la tasa de rentabilidad se calculará el valor de la TIR (Tasa Interna de Retorno). Se requiere que el valor de la VAN sea igual a cero y así obtener el valor de la TIR. Por lo tanto, la fórmula de la TIR sería:

$$0 = -I_0 + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5}$$

$$0 = - 900.000 + \frac{215.000}{(1+0.40)^1} + \frac{815.000}{(1+0.40)^2} + \frac{215.000}{(1+0.40)^3} + \frac{815.000}{(1+0.40)^4} + \frac{215.000}{(1+0.40)^5}$$

$$0 = 0$$

Después de realizar el cálculo con diferentes valores de i se encontró que 40% era el valor que iguala la ecuación a cero. Por lo tanto,

$$\text{TIR} = 40\%$$

Este valor corresponde a la rentabilidad del proyecto de filtro verde con plantación de bananos, en un plazo de 5 años.

10.2 ANÁLISIS DE INVERSIÓN Y SENSIBILIDAD FINANCIERA PARA EL FILTRO VERDE DE CAÑA BRAVA

10.2.1 Costos de materiales Filtro Verde

Tabla 18 Costos del Cultivo (Caña Brava)

CAÑA BRAVA COSTOS					
Área del cultivo	Nº de plantas	Costo unitario planta	Costo total plantas	Tiempo	Beneficio Financiero
68m ²	68	\$150	\$ 10.200	10 meses aprox.	\$ 306.000

Fuente: Autor

La caña se cultivará con espacios de 1 m de distancia entre plantas, con el fin de proporcionarle el espacio suficiente para que crezcan sus retoños (cañas hijas). Por cada planta nacen 15 retoños (Cañas) en promedio, lo cual indica que a los 10 meses que es el tiempo requerido por la planta para su maduración se tendrán 1020 cañas en promedio como resultado final, estas cañas tienen un valor comercial de \$300 cada una para un valor final de venta de \$306.000.

Tabla 19 Costo de Materiales Filtro Verde (Caña Brava)

MATERIALES					
	Cantida	Unidad de	Costo	Costo	
	d	Medida	unitario	total	
	Tanque 2000 l	1	Litros	\$ 500.000	\$ 500.000
	Manguera 1/2"	50	Metros	\$800	\$ 40.000
	Adaptador terminal 1/2"	5	Unidades	\$200	\$1.000
	Tapón 1/2"	5	Unidades	\$200	\$1.000
	Tubo 1/2"	12.5	Metros	\$ 4.700	\$ 58.800
Filtro	Codos	4	Unidades	\$ 500	\$ 2.000
	tubos (T)	4	Unidades	\$700	\$ 2.800
	Llave de paso	1	Unidades	\$ 6.000	\$ 6.000
	Pica y pala	1	Unidades	\$31.900	\$31.900
	Soldadura de tubo	2	Unidades	\$ 2900	\$ 5.800
Caja de					
Deshidratació	Ladrillos	16	Unidades	\$500	\$8.000
n					
Base tanque	Ladrillos (base)	80	Unidades	\$500	\$ 40.000
	cemento	50	Kilogramos	\$ 23.000	\$ 23.000
Mano de					
Obra		5	personas	\$23.000	\$115.000
Carretilla		1		\$ 54.500	\$ 54.500
				Total	\$ 900.000

Fuente: Autor

Los materiales descritos en la tabla 18 y 19 son los requeridos para la construcción del filtro verde con plantas de Caña Brava, se especifican los valores de cada material, cabe resaltar que algunos materiales pueden ser recibidos a través de donaciones, por otra parte, también se incluye el valor de la mano de obra, sin embargo, en proyecto Gaia recibe muchas personas bajo la modalidad de voluntariado.

Cabe resaltar que el precio de la arcilla necesaria para la impermeabilización no se incluye dentro de los costos debido a que Proyecto Gaia recibirá dicho material como parte de una donación y no se destinarán fondos para ello.

10.2.2 Cálculo de VAN y TIR

Para medir la rentabilidad del Filtro con cultivo de caña brava se calculará el VAN y la TIR.

Tabla 20 Flujo de Ingresos Cultivo Caña Brava

Año 1	\$ 300.000
Año 2	\$ 300.000
Año 3	\$ 300.000
Año 4	\$ 300.000
Año 5	\$ 300.000

Fuente: Autor

El valor asignado a los 5 años es el resultado de las plantas de Caña Brava, las cuales se demoran de 10 a 12 meses en obtener su punto de maduración, por lo tanto el valor anual será de \$ 300.000.

Tabla 21 Flujo de Egresos

Transporte	\$ 70.000
Insecticida	\$ 0
Mano de Obra	\$ 0
Total Gastos	\$ 70.0000

Fuente: Autor

En el flujo de egresos se toma solo el valor de transporte (\$ 70.000), ya que no requiere de insecticidas y la mano de obra será tomada por las personas que van a Proyecto Gaia en calidad de voluntarios.

Tabla 22 Flujo de Efectivo Neto (Ingresos - Egresos)

F C año 1	\$ 230.000
F C año 2	\$ 230.000
F C año 3	\$ 230.000
F C año 4	\$ 230.000
F C año 5	\$ 230.000

Fuente: Autor

Los valores obtenidos en el flujo de efectivo neto son obtenidos restando los ingresos de cada año con el valor de egreso que es el mismo para los 5 años.

$$VAN = - I_0 + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5}$$

$$VAN = - 900.000 + 230.000 + 230.000 + 230.000 + 230.000 + 230.000 = 250.0000$$

$$VAN = \$ 250.000$$

Teniendo en cuenta que el valor del VAN es positivo, significa que existe una tasa de rentabilidad mayor al 0% que fue la tasa utilizada como parámetro para realizar el cálculo.

Para determinar la tasa de rentabilidad se calculará el valor de la TIR (Tasa Interna de Retorno). Se requiere que el valor de la VAN sea igual a cero y así obtener el valor de la TIR. Por lo tanto, la fórmula de la TIR sería:

$$0 = - I_0 + \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5}$$

$$0 = -900.000 + \frac{230.000}{(1+0.09)^1} + \frac{230.000}{(1+0.09)^2} + \frac{230.000}{(1+0.09)^3} + \frac{230.000}{(1+0.09)^4} + \frac{230.000}{(1+0.09)^5}$$

Después de realizar el cálculo con diferentes valores de i se encontró que 9% es el valor que igual la ecuación a cero. Por lo tanto

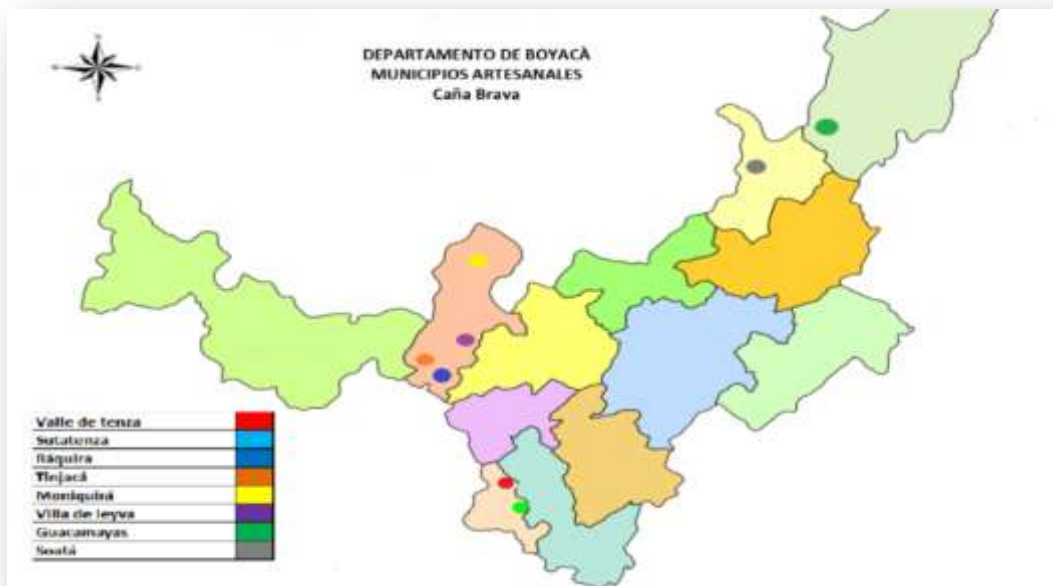
TIR = 9 %

Este valor corresponde a la rentabilidad del proyecto de filtro verde con plantación de bananos, en un plazo de 5 años.

10.3 ASPECTOS A CONSIDERAR EN UN FUTURO ESTUDIO DE MERCADO PARA LA CAÑA BRAVA

En Colombia, el uso de Caña Brava en la actividad artesanal se encuentra muy arraigada a las comunidades campesinas de Boyacá, tales como: Valle de Tenza, Sutatenza, Ráquira, Tinjacá, Moniquirá, Villa de Leyva, Guacamayas y Soatá.

Ilustración 6 Municipios Artesanales de Boyacá



Fuente: (Gobernación de Boyacá, 2014)

Aunque en Boyacá existan 8 municipios que trabajan Caña Brava como materia prima para producir sus artesanías, solo se trabajará con los mayores productores: Valle de Tenza y Sutatenza, quienes realizan la mayor cantidad de demanda de Caña Brava como materia prima.

10.3.1 Valle de Tenza

Cabe destacar que el núcleo poblacional de la región del Valle de Tenza, en el departamento de Boyacá, es el mayor productor de artículos artesanales de fino acabado a base de caña brava, los cuales se expenden en ferias artesanales.

Los campesinos del Valle de Tenza trasladan su producción al mercado que todos los sábados se realiza en Tenza, desde las veredas y pueblos circundantes, a pie a caballo o en transporte público. Allí venden sus productos a cadenas de intermediarios o a tiendas de artesanías, las cuales se encargan de ofrecerlas directamente a los turistas o de distribuir las a diferentes partes del país. Los artesanos del Valle de Tenza producen y venden aproximadamente entre 50.000 y 60.000 unidades mensuales de sus artesanías.

Fotografía 1 Cestería a base de Caña Brava



Fuente: (Universidad Javeriana, Facultad de Arquitectura, 2012)

Aunque la actividad artesanal es casi exclusiva de las mujeres, este trabajo reúne desde niños hasta personas mayores por una fuerte tradición familiar en torno a las artesanías, más del 80% dedica su tiempo a actividades artesanales, elaborando productos tales como:

- Canastas
- Petacas
- Baúles
- Pañaleras
- Jarrones
- Sombreros
- Adornos

Los ejes o cañas se emplean también como materia prima para la construcción, principalmente para el montaje de techos, embovedados y cielos rasos. Con las cañas también se elaboran las paredes de bahareque y cercas, enrejados y puertas de corrales. (Salinas, 2009)

Fotografía 2 Construcción (Techos) a base de Caña Brava



Fuente: (Universidad Javeriana, Facultad de Arquitectura, 2012)

10.3.2 Sutatenza

Desde hace varios años, como actividad cultural y heredada de sus antepasados, la comunidad del municipio de Sutatenza y otros municipios aledañas, han utilizado la fibra

natural conocida comúnmente como CHIN, CAÑA DE CASTILLA Y CAÑA BRAVA y científicamente (*Arundo Donax L*), para la elaboración y diseño de canastos, como parte de su sustento económico.

El aprovechamiento de esta planta se realiza de forma sostenible en diferentes predios de la vereda Ovejeras del municipio de Sutatenza (Boyacá) y es transformada como fibra natural para la elaboración de diferentes productos en las instalaciones de taller ubicadas en la misma vereda (Universidad Javeriana, Facultad de Arquitectura, 2012).

Actualmente existe una organización de artesanos la cual está conformada por 23 socios los cuales elaboran canastos, paneras, jarrones, botellers, individuales, bolsos, entre otros, las cuales son comercializadas en diferentes municipios y ciudades del país, cabe resaltar que la Corporación arte y Cultura Sutatenzana ha participado en eventos Nacionales tales como: Expoartesánias (año 2008 y 2009) , Feria Artesanal Boyacense (año 2008), Encuentro de Mercados Verdes de la Jurisdicción Corpochivor (año 2008).

En virtud de lo anteriormente mencionado se considera necesario tramitar la licencia de aprovechamiento forestal de la Caña Brava, ante la corporación autónoma regional de Chivor -CORPOCHIVOR, con el fin de garantizar la comercialización de los productos manufacturados. (Salinas, 2009)

11. CONCLUSIONES

11.1 DE NIVEL TÉCNICO

1. El proyecto tiene viabilidad técnica en razón a que la tecnología de filtro verde está concebida para ser aplicada en pequeñas poblaciones.
2. Debido a que el Filtro Verde no requiere de personal cualificado para ninguna de las actividades de construcción y explotación, es un sistema autoconstruible y auto sostenible por las mismas personas que viven en la eco-aldea.
3. La cercanía a municipios de tamaño medio, facilita la consecución y el transporte de los materiales requeridos en la construcción.
4. Las condiciones climáticas del lugar son adecuadas, en razón al déficit hídrico que se presenta y que podría asegurar un consumo total de las aguas residuales, por parte de las biomásas del filtro verde, impidiendo el vertido de aguas residuales tratadas al suelo o a las fuentes hídricas.

11.2 DE NIVEL AMBIENTAL

1. Existe viabilidad ambiental en el proyecto.
2. El agua que alimenta los filtros verdes es de tipo doméstico, sin aportes de tipo industrial y sin químicos, excesos de materia orgánica putrescible y patógenos (en razón al uso de baños secos)
3. Es probable que, a la salida del sistema de tratamiento, no se presente ningún tipo de vertido y, en caso de que lo hubiera, los rendimientos del sistema son lo

suficientemente altos para cumplir con la normativa ambiental vigente (eliminaciones hasta el 95 % para SST; 95 % para DBO estándar; 90% para nitrógeno y 90 % para fósforo).

4. El recurso más impactado durante la construcción y explotación del Filtro Verde es el suelo, debido a las actividades de excavación y, en menor medida, por la impermeabilización y las actividades relacionadas al cultivo mismo. También hay impactos por cambios en la cobertura vegetal, la modificación de hábitats y la generación de escombros, los cuales afectan también el recurso aire a causa del material particulado.
5. El Filtro Verde se ajusta a al esquema de manejo de Proyecto Gaia y contribuye con su compromiso y responsabilidad ambiental.
6. La implementación del Filtro Verde genera varios impactos positivos a la salud pública de la población objetivo, evitando enfermedades creando una mejoría en la calidad de vida. Adicionalmente, se contribuye, por medio de la implementación en generar conocimiento y, por ende, en la confianza hacía la eficiencia y buen desempeño de las tecnologías blandas.

11.3 DE NIVEL FINANCIERO

1. Financieramente, podría existir viabilidad, la cual está determinada por el valor actual neto VAN y a la tasa interna de retorno TIR (las dos herramientas que fueron utilizadas para medir la rentabilidad del proyecto).
2. Se evidencia en los cálculos, que para los dos cultivos propuestos la rentabilidad será del 40 % en el caso de los bananos y 9% en la caña brava, debido a que el costo de inversión es superior a las ventas.
3. A pesar de la baja rentabilidad, el objeto principal de la implementación de este sistema de tratamiento es la depuración de agua residual a bajo costo y con los mayores impactos ambientales y no el lucro obtenido por la venta de la caña brava y el banano.
4. En cualquier caso, estas plantas podrían ser aprovechadas internamente, en construcción y alimentación.

12. RECOMENDACIONES

Se harán algunas recomendaciones para ayudar a fortalecer toda la metodología propuesta en la implementación de esta tecnología.

1. Se recomienda hacer un estudio de mercado completo que soporte la comercialización de la caña brava y el banano dentro de los municipios aledaños a la eco-aldea (Proyecto Gaia) y otros elementos de mercado relacionados con el proyecto.
2. Es necesario ahondar otros aspectos del estudio de viabilidad en la implementación de este tipo de sistemas de tratamiento, especialmente los referidos a las posibilidades de financiación y a los costos asociados de mantenimiento y operación en otro tipo de contextos.
3. Para el óptimo desarrollo de todas las actividades de construcción, operación y mantenimiento se debe capacitar a todas las partes interesadas en cosas básicas como uso de herramientas y manejo del suelo en las actividades de excavación, impermeabilización y cultivo, así como en todos los aspectos relacionados con la operación y mantenimiento del sistema.
4. Invitar a los pobladores aledaños a Proyecto Gaia para dar a conocer este tipo de alternativas de tratamiento de agua residual a bajo costo, ofreciendo talleres, charlas y demás.

BIBLIOGRAFÍA

- Agropeuarias, I. N. (2011). Programa NAcioanl Del Banano y PLátano.
- Alcaldía De Boyacá. (2014). *Alcaldía de Boyacá "UNIDOS BOYACA PROGRESA"*.
Obtenido de http://www.boyaca-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml
- Alcaldía de Santa Sofía. (2014). *Alcaldía de Santa Sofía "Con Honestidad y Trabajo Santa Sofía Progres"*. Obtenido de http://www.santasofia-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml
- Alcaldía de Sutatenza- Boyacá. (2014). *Alcaldia de Sutatenza - Decidimos juntos, Trabajemos juntos*. Recuperado el 11 de Agosto de 2014, de http://www.sutatenza-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml
- Alcaldía de Tenza-Boyacá. (2014). *Alcaldía de Tenza, Con Todos Y para Bien de Todos*.
Recuperado el 11 de Agosto de 2014, de http://www.tenza-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml
- Alvarez, C. (7 de Diciembre de 2010). *Agronomía para todos* . Obtenido de <http://www.agronomiaparatodos.org/2010/12/como-sembrar-platano-o-banano.html>
- Bernal D, P., Cardona D, A., & Peña M, R. (2009). Guía de Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por Métodos Naturales. *Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales*, (pág. 56). Cali, Colombia.
- Bradley, B., & Daigger, R. &. (2002). *Evaluation of Onsite Wastewater Treatment Technologies Using Sustainable Development Criteria*.
- Corcho Romero, F., & Duque Serna, J. (2005). *Acueductos: Teoría y Diseño*. . Medellín, Colombia: Sello Editorial Universidad de Medellín.

- Cortes, P., Castro, J., & Sotelo, C. (2012). *Plan de Desarrollo con Honestidad y Trabajo, Sanat Sofía 2012 - 2015*. Boyacá.
- Cumming, O. (2009). The Sanitation Imperative A Strategid Response to a Development Crisis. *Desalination* . 8-13.
- Gallón, M. M., & Tordecilla, E. E. (2009). Gestión de los Procesos de Descontaminación de Aguas Residuales Domésticas de Tipo Rural en Colombia 1983-2009. En M. M. Gallón, & E. E. Tordecilla. Medellín, Colombia.
- Gallón, M. M., & Tordecilla, E. E. (2009). Gestión de los Procesos de Descontaminación de Aguas Residuales Domésticas de Tipo Rural en Colombia 1983-2009. En M. M. Gallón, & E. E. Tordecilla. Medellín, Colombia.
- GARCIA, N. (2010). Fibras Vegetales empleadas en Artesanías en Colombia. En *Fichas Técnicas de las Especies* (págs. 95-100).
- Gaviria, J. M. (2014). *Triple Enlace*. Recuperado el Julio de 2014, de <http://triplenlace.com/2012/09/27/eutrofizacion-causas-y-efectos/>
- Gobernación de Boyacá. (2014). *Gobernación de Boyacá*. Recuperado el 6 de Agosto de 2014, de <http://www.boyaca.gov.co/mi-boyac%C3%A1/localizacion>
- Gutierrez, B. &. (2006). Adaptación de los filtros verdes: Estaciones Depuradoras de Agua EDAR.
- Hurtado, J. (2008). *Animales y Vegetales de Perú*. Recuperado el 17 de MAyo de 2014, de <http://animalesyplantasdeperu.blogspot.com/2008/05/la-cao-brava-gynerium-sagittatum.html>
- IDEAM . (2010). Estudio Nacional del Agua . Bogotá D.C.
- IDEAM . (2012). Estudio Nacional del Agua .
- kärcher & Sika . (2013). Filtro Verde para el Tratamiento de Aguas Residuales en San Miguel de Seman . Fundación Humedales.
- Kume, A. (2014). *Crece Negocio*. Obtenido de <http://www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/>
- León, E. Z., & Lillo, J. C. (2000). La Evaluación del Impacto Ambiental, Logros y Retos para el Desarrollo Sustentable . México: Instituto Nacional de Ecología.
- Lopez, W. (2012). *Mécanica de los Suelos, Compactacion de los Suelos*.
- Lozano-Rivas, W. (2009). Hidrología Práctica en zonas rurales y urbanas. *WorkPaper*. Bogotá D.C.
- Lozano-Rivas, W. (2012). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales . En W. Lozano-Rivas. Bogotá D.C: Universidad Nacional ABIerta y a Distancia UNAD.

- Lozano-Rivas, W. A. (2007). Sistema Integral de Saneamiento con Fitodepuración de Ornato para pequeños Núcleos Urbanos. Sevilla: Escuela Universitaria Politécnica, Universidad de Sevilla .
- Lozano-Rivas, W. A. (Julio de 2007). Sistema Integral de Saneamiento con Fitodepuración de Ornato para Pequeños Núcleos Urbanos. Sevilla: Escuela Universitaria Politécnica Universidad de Sevilla.
- Lozano-Rivas, W. A. (2013). Calidad Fisicoquímica del Agua - Métodos Simplificados para su Muestreo y Análisis . En W. A. Lozano-Rivas. Bogotá.
- M, P.-P., & Martínez-Capel, F. (2009). Bases de Datos Hidrológica de los Rios; Una Herramienta de Gestión para los Ecosistemas Acuáticos . En P.-P. M, & F. Martínez-Capel. Chile.
- Martín, C. L., BEs, C., & Lafuente, A. &. (1998). Filtros Verdes: Una Alternativa Real en el Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeños Municipios . Escuela Universitaria de Ciencias de la Salud.
- Ministerio Nacional de Educación. (2011). *Colombia Aprende*. Recuperado el Julio de 2014, de <http://www.colombiaprende.edu.co/html/home/1592/article-128247.html>
- Proyecto GAIA. (31 de Agosto de 2014). *Proyecto Gaia - Villa Ecológica*. Obtenido de <http://www.proyectogaia.com/sustentabilidad/index.php/proyecto-gaia/mapa>
- Reynolds, K. A. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica, Identificación del problema Agua.
- Salinas, L. M. (2009). Estudio de Viabilidad para Aprovechamiento del Chin en Boyacá.
- Sazosa, C. (2009). *Diseño de un Biofiltro para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de una Industria Alimenticia*. Obtenido de Reciclarte, Tratar, Bioarquitectura : http://rtbltda.com/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=81
- Senante, M. (2012). Estado Actual y Evolución del Saneamiento y la Depuración de aguas Residuales en el Contexto Nacional e Internacional. 69-72.
- Simioni, D. (2003). Contaminación Atmosférica y Conciencia Ciudadana. En D. Simioni. Santiago de Chile.
- Tapia, F., & Giglio, S. (2010). Modelos para la Evaluación de la Capacidad de Carga de Fiordos aplicables a Ecosistemas del Sur de Chile . En F. Tapia, & S. Giglio. Chile : Universidad de Concepción .
- Tecnologías Blandas. (20 de Septiembre de 2010). *tecnologias blandas BlogsPot*. Recuperado el 12 de Agosto de 2014, de <http://tecnoblada.blogspot.com/>
- Torres, A. R. (2 de Septiembre de 2014). Comunicación Personal . Bogotá.

Uddameri, V. (2009). *An Analytical Solution to Model Aquaculture Wetlands Subjects To Intermittent Loading And Variable Initial Concentration*. Environ MOdell Asses.

Universidad Javeriana, Facultad de Arquitectura. (2012). *Diseño Participativo como estrategia de competitividad en la cestería de comunidad artesanal de Valle de Tenza*. Obtenido de http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Arquitectura%20y%20Diseno/dpto_dis_presentacion/dpto_dis_socio_cultural/dpto_dis_socio_cultural_c hin

ANEXO A. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA CAÑA BRAVA

Nombre Común	Caña flecha, Caña brava, Chin.
Nombre Científico	<i>Arundo donax L.</i>
Familia	Poaceae
Clase	Liliopsida
Distribución geográfica	En Colombia se encuentra cultivada o espontánea, en climas templados y fríos, crece en sitios abiertos y soleados, formando densos cañales en potreros, a lo largo de los cauces y carreteras secundarias donde se propagan mediante rizomas.
Descripción de la planta	Planta herbácea que alcanza hasta 4 o 5 metros de altura, tallos gruesos y huecos de hasta 4 a 6 cm diámetro. Hojas dispuestas en forma de abanicos, lineales y aserradas. Tiene en el extremo superior del tallo una inflorescencia o panícula de hasta 1 metro de largo. Frutos de aproximadamente 1 mm longitud.

Usos de la planta	Su tallo es utilizado para crear casa de bahareque; las espigas se utilizan como caña de pescar; el uso más extendido son las artesanías (Sombrero Vueltiao, bolsos, etc.) utilizando para esta labor solo la vena central de las hojas; tiene propiedades medicinales: se utiliza como diurético, anti anémico y antiinflamatorio.
Propagación y crecimiento de la Caña Brava	Se reproduce asexualmente de forma natural por rizomas, estolones e hijuelos, estos últimos se utilizan para hacer cultivos los cuales se plantan en zonas bajas, riveras de las quebradas a una distancia de tres metros entre plantas

Fuente: (GARCIA, 2010)

ANEXO B. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL BANANO

Reino	Plantae
Clase	Lilatae
Orden	Zingiberales.
Familia	Musaceae
Género	Musa sp
Especie	<i>Musa paradisiaca</i>
Descripción	Planta herbácea de gran tamaño; es una monocotiledónea cuyos frutos se presentan en racimo y son sumamente alimenticios, constituyendo una vianda muy solicitada por el hombre
Parte Subterránea	En el banano la parte subterránea comprende un tallo subterráneo y un sistema radicular

Tallo Subterráneo	Es un rizoma que emite ramificaciones laterales que brotan del suelo a su alrededor y las que se les denomina retoños.
Raíz	Es fasciculada, formada por tiernos cordones que penetran a gran profundidad el suelo en busca de agua
Flores	Luego de haber producido un cierto número de hojas (más o menos 30) se presenta la inflorescencia que es un racimo cubierto por grandes brácteas que al desprenderse dejan al descubierto las flores las cuales tiene periantio y pueden ser de tres clases las de la parte superior tienen el gineceo bien desarrollado y androceo se atrofia, son consideradas flores femeninas y son las que van a producir los fruto. Las del centro no llegan a desarrollarse ya que se caen antes de la fecundación, las de la parte inferior tienen el gineceo atrofiado por lo que se les considera como masculinas.

Fuente: (GARCIA, 2010)

ANEXO C. FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO GAIA

Fotografía 3 Maloca Construida con Caña



Fuente: (Proyecto GAIA, 2014)

Fotografía 4 Cuerpo de agua dentro de Proyecto Gaia



Fuente: (Proyecto GAIA, 2014)

Fotografía 5 Cocina (Construida con barro; piedra; bahareque; paja y botellas para dar iluminación)



Fuente: (Proyecto GAIA, 2014)

Fotografía 6 Cocina Terminada



Fuente: (Proyecto GAIA, 2014)

Fotografía 7 Casa en Construcción con bahareque y Caña



Fuente: (Proyecto GAIA, 2014)