



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE  
AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL  
ESPINAL – TOLIMA**

**Paula Vanessa Moncaleano Forero**

**Mariana Ramírez Gómez**

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Ambiental  
Bogotá, 16 de octubre de 2019

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE  
AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL  
ESPINAL – TOLIMA**

**Paula Vanessa Moncaleano Forero**

**Mariana Ramírez Gómez**

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

**Ingeniero Ambiental**

Directora:

Claudia Patricia Gómez Rendón

Línea de Investigación:

Salud y Ambiente

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2019

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

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

## **Dedicatoria**

*A nuestros padres quienes incondicionalmente nos apoyaron en el desarrollo de este trabajo.*

*A cada uno de los docentes del programa por entregar lo mejor de ellos aportando significativamente en nuestro desarrollo profesional.*

## **Agradecimientos**

A Dios por darnos salud y permitirnos llegar a este punto tan importante de nuestra formación profesional, culminando satisfactoria mente esta etapa esencial de nuestras vidas.

A nuestras familias quienes nos impulsan a alcanzar todos nuestros sueños y metas mediante el apoyo y amor incondicional.

A la Universidad El Bosque y a el programa de Ingeniería Ambiental por otorgarnos todos los conocimientos adquiridos y la formación profesional a lo largo de la carrera.

A la ingeniera/docente Claudia Patricia Gómez Rendón por entregar todos sus conocimientos y experiencias y por sus importantes aportes y observaciones a este trabajo de investigación.

A la familia Ortiz Sanabria por permitirnos realizar esta investigación en su finca “El Porvenir 2”, por el tiempo para realizar las actividades y encuentros programados, por su paciencia e interés durante el desarrollo del mismo.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCTIVIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## Tabla de Contenido

1	Resumen .....	13
2	Abstract .....	13
3	Introducción.....	13
4	Planteamiento del problema .....	14
4.1	Contexto general.....	14
4.2	Contexto específico.....	15
4.3	Pregunta de investigación.....	16
4.3.1	Subpreguntas de investigación .....	16
5	Justificación.....	16
6	Objetivos .....	17
6.1	Objetivo general.....	17
6.2	Objetivos específicos .....	17
7	Marcos de referencia.....	17
7.1	Estado del arte .....	17
7.1.1	Tratamiento y reutilización de aguas grises a nivel internacional.....	18
7.1.2	Tratamiento y reutilización de aguas grises a nivel nacional.....	20
7.2	Marco teórico.....	22
7.2.1	Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) .....	22
7.2.2	Aguas residuales domésticas .....	23
7.3.3	Reuso del agua.....	25
7.3.4	Calidad del agua .....	25
7.3	Marco conceptual.....	25
7.4	Marco normativo.....	28
7.5	Margo geográfico.....	31
7.5.1	Municipio El Espinal - Tolima .....	31
7.5.2	Finca El Porvenir 2 .....	32
8	Metodología.....	34
8.1	Diseño metodológico .....	34
8.1.1	Enfoque de la investigación .....	34

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

8.1.2	Alcance de la investigación.....	34
8.1.3	Unidad principal de análisis .....	35
8.1.4	Métodos.....	35
8.1.5	Técnicas.....	35
8.1.6	Instrumentos .....	39
8.2	Metodología de la investigación.....	39
8.2.1	Objetivo 1.....	40
8.2.2	Objetivo 2.....	42
8.2.3	Objetivo 3.....	46
8.3	Plan de trabajo .....	53
9	Aspectos éticos .....	54
10	Resultados e interpretación de resultados.....	55
10.1	Determinación del estado de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua gris .....	55
10.1.1	Potencias de hidrógeno (pH) .....	56
10.1.2	Sólidos suspendidos totales (SST).....	56
10.1.3	Sólidos sedimentables .....	57
10.1.4	Sólidos totales.....	58
10.1.5	DQO y DBO <sub>5</sub> .....	58
10.1.6	Grasas y aceites .....	59
10.1.7	Nitrógeno total.....	59
10.1.8	Fósforo total .....	60
10.1.9	Coliformes fecales y totales .....	60
10.2	Selección del sistema de tratamiento de aguas grises .....	61
10.2.1	Adecuado paisaje .....	67
10.2.2	Disminución de olores y vectores.....	67
10.2.3	Facilidad de operar en clima cálido .....	68
10.2.4	Bajo costo en construcción y mantenimiento.....	68
10.2.5	Selección final del sistema de tratamiento .....	68
10.3	Establecimiento de los lineamientos técnicos y ambientales del sistema de tratamiento.....	69
10.3.1	Aforo .....	69
10.3.2	Medición del caudal del cuerpo hídrico superficial.....	70
10.3.3	Estimación de caudal de diseño.....	71

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

10.3.4	Dimensionamiento de la trampa de grasas .....	71
10.3.5	Dimensionamiento del humedal subsuperficial.....	72
10.3.6	Dimensionamiento del filtro GAC.....	74
10.3.7	Vegetación.....	75
10.3.8	Consideraciones ambientales para el modelo.....	80
10.3.9	Función del modelo de tratamiento y reutilización de aguas grises .....	81
10.3.10	Presupuesto aproximado de los costos para el sistema de tratamiento .....	83
10.3.11	Matriz de impacto ambiental .....	85
11	Conclusiones .....	88
12	Recomendaciones.....	88
13	Referencias bibliográficas.....	89

## **Listado de Tablas**

Tabla 1.	Composición de un agua residual doméstica típica .....	23
Tabla 2.	Características de un agua gris.....	24
Tabla 3.	Características de aguas grises según su origen.....	24
Tabla 4.	Normatividad relacionada a la gestión de aguas residuales domésticas.....	28
Tabla 5.	Variables analizadas en el objetivo específico número 1 .....	36
Tabla 6.	Variables analizadas en el objetivo específico número 2 .....	37
Tabla 7.	Variables analizadas en el objetivo específico número 3 .....	37
Tabla 8.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos seleccionados para el análisis .....	40
Tabla 9.	Escala de numeración .....	44
Tabla 10.	Valoración con escala colorimétrica .....	45
Tabla 11.	Matriz comparativa.....	45
Tabla 12.	Matriz de Vester .....	51
Tabla 13.	Ponderación para el análisis relacional.....	52
Tabla 14.	Reporte de resultados análisis químico y bacteriológico de aguas – Laboratorio LASEREX	55
Tabla 15.	Comparación del análisis del agua con la Resolución 1207 del 2014, Resolución 0631 del 2015 de Colombia y Guidelines for Water Reuse por la EPA. ....	55
Tabla 16.	Resultados de la matriz comparativa para la selección de la alternativa .....	61

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Tabla 17. Matriz DOFA para el humedal subsuperficial .....	65
Tabla 18. Matriz DOFA para el filtro .....	66
Tabla 19. Medición del área de la canal (Quebrada) .....	70
Tabla 20. Medición de la velocidad .....	70
Tabla 21. Medición del área de la canal (Quebrada) .....	71
Tabla 22. Medición de la velocidad .....	71
Tabla 23. Dimensiones finales del diseño de la trampa de grasas .....	72
Tabla 24. Dimensiones finales del diseño del humedal .....	74
Tabla 25. Dimensiones finales del filtro .....	74
Tabla 26. Cotización aproximada de materiales y mano de obra para la trampa de grasas .....	83
Tabla 27. Cotización aproximada de materiales y mano de obra para el humedal subsuperficial y el filtro GAC.....	84
Tabla 28. Matriz de Vester .....	85

## **Listado de Figuras**

Figura 1. Composición de aguas grises según origen .....	25
Figura 2. Localización geográfica del municipio de El Espinal – Tolima.....	32
Figura 3. Distancia entre la vereda la Caimanera al casco urbano. ....	33
Figura 4. Localización finca El Porvenir 2 en la vereda La Caimanera .....	33
Figura 5. Finca El Porvenir 2 en la vereda La Caimanera .....	34
Figura 6. Cuadro metodológico .....	39
Figura 7. Recipientes utilizados para la toma de muestras .....	41
Figura 8. Toma de muestras .....	42
Figura 9. Matriz DOFA.....	46
Figura 10. Aforo en la finca El Porvenir 2 .....	47
Figura 11. Medición de la velocidad y área de la quebrada Coyarcó .....	48
Figura 12. Volumen de la trampa de grasas .....	48
Figura 13. Área de la trampa de grasas .....	48
Figura 14. Ancho de la trampa de grasas .....	49
Figura 15. Cálculo del volumen del humedal.....	49

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 16. Cálculo del área superficial del humedal.....	49
Figura 17. Área de la sección transversal del humedal.....	49
Figura 18. Carga hidráulica superficial del humedal.....	49
Figura 19. Tiempo de retención del humedal.....	50
Figura 20. Ancho del humedal.....	50
Figura 21. Longitud del humedal.....	50
Figura 22. Volumen del filtro.....	50
Figura 23. Longitud del filtro.....	50
Figura 24. Gráfico de interpretación para el plano cartesiano de la matriz de Vester.....	53
Figura 25. Resumen metodológico – Plan de trabajo.....	54
Figura 26. Selección del sistema.....	67
Figura 27. Caudal vs Tiempo.....	69
Figura 28. Caudal.....	70
Figura 29. Cálculo del caudal.....	71
Figura 30. Cálculo del caudal.....	71
Figura 31. Cálculo del volumen de la trampa de grasas.....	71
Figura 32. Cálculo del área de la trampa de grasas.....	72
Figura 33. Cálculo del ancho de la trampa de grasas.....	72
Figura 34. Cálculo del volumen del humedal.....	72
Figura 35. Cálculo del área superficial del humedal.....	73
Figura 36. Cálculo del área de la sección transversal del humedal.....	73
Figura 37. Carga hidráulica superficial del humedal.....	73
Figura 38. Tiempo de retención del humedal.....	73
Figura 39. Ancho del humedal.....	73
Figura 40. Longitud del humedal.....	73
Figura 41. Volumen del filtro.....	74
Figura 42. Largo del filtro.....	74
Figura 43. Scirpus californicus.....	75
Figura 44. Vista de corte de la trampa de grasas.....	76
Figura 45. Vista de corte del humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	77

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 46. Vista de planta del humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	78
Figura 47. Modelo del sistema de tratamiento y reutilización en la finca El Porvenir 2 .....	79
Figura 48. Dimensionamiento del sistema .....	80
Figura 49. Requerimiento hídrico .....	83
Figura 50. Gráfica de la Matriz de Vester .....	86
Figura 51. Afectación al ambiente .....	87

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## 1 Resumen

El presente trabajo es el resultado de un ejercicio de investigación aplicada en la búsqueda de soluciones a problemas ambientales que abarcan la calidad del agua, a través de tecnologías sostenibles. Este proyecto tuvo como objetivo general diseñar un sistema de tratamiento y reutilización de aguas grises producidas en la finca “El Porvenir 2” en el municipio de El Espinal, Tolima. Para el cumplimiento de éste se procedió a caracterizar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua vertida, obteniendo algunos valores altos de parámetros como la DQO con un valor de 322,7 mg/L, los sólidos totales con 1330 mL/L, los coliformes fecales con  $3 \times 10^7$  y coliformes totales con  $2 \times 10^5$  UFC/100 mL, que junto con el desarrollo de una matriz comparativa y una DOFA, en las cuales se tuvieron en cuenta variables como adecuado paisaje, disminución de olores y vectores, bajo costo en construcción y mantenimiento; se logró seleccionar la alternativa más adecuada, obteniendo como tratamiento principal un humedal subsuperficial de flujo horizontal (HFSS) con la inclusión de un filtro de carbón activado granular (GAC) que permitieran el reuso del agua para riego de plantas y lavado de pisos. Posteriormente se calculó los lineamientos técnicos, encontrando las medidas necesarias para el correcto funcionamiento de éste y así estimar los costos de su implementación. Asimismo, con el análisis de fuentes documentales, se conocieron las recomendaciones necesarias para la identificación de factores que intervienen en la eficiencia de la alternativa, tales como la vegetación, precipitación, temperatura y suelo.

*Palabras clave:* aguas grises, tratamiento de aguas grises, humedal subsuperficial de flujo horizontal, filtro de carbón activado granular.

## 2 Abstract

This document is the result of an applied research exercise in the search for solutions to environmental problems that cover water quality, through sustainable technologies. The objective of this project was to design a gray water treatment and reusable system produced at the “El Porvenir 2” farm in the municipality of El Espinal, Tolima. To comply with this, the physicochemical and microbiological quality of the discharged water was characterized, obtaining some high values of parameters such as COD with a value of 322.7 mg / L, total solids with 1330 mL / L, fecal coliforms with  $3 \times 10^7$  and total coliforms with  $2 \times 10^5$  CFU / 100 mL, which together with the development of a comparative matrix and a DOFA, in which variables such as adequate landscape, decrease of odors and vectors, low cost in construction and maintenance; It was possible to select the most appropriate alternative, obtaining as a main treatment a subsurface horizontal flow wetland (HFSS) with the inclusion of a granular activated carbon filter (GAC) that would allow the reuse of water for plant irrigation and floor washing. Subsequently, the technical guidelines were calculated, finding the necessary measures for its proper functioning and thus estimating the costs of its implementation. Likewise, with the analysis of documentary sources, the necessary recommendations for the identification of factors involved in the efficiency of the alternative, such as vegetation, precipitation, temperature and soil, were known.

*Keywords:* gray water, gray water treatment, horizontal flow subsurface wetland, granular activated carbon filter.

## 3 Introducción

Siendo el recurso hídrico una necesidad esencial de todos los seres vivos, actualmente se ha convertido en un importante motivo de preocupación, dado que la crisis por la disponibilidad de éste aumenta cada vez más en algunas regiones del mundo, principalmente por la creciente demanda para uso agrícola, industrial y doméstico (Arroyave, Builes y Rodríguez, 2012).

En las áreas rurales de Colombia las familias que no cuentan con sistemas de abastecimiento de agua, acuden a diferentes alternativas que pueden favorecer a que haya un mayor gasto económico, un ejemplo significativo de esto es la conexión ilegal a la red pública o directamente ya sea a los ríos, lagos, pozos profundos o camiones cisterna (Delgado, Trujillo y Torres, 2017). Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2010a) la mayoría de estas soluciones representan altos costos para los

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

usuarios y no garantizan la calidad del agua, lo que genera potencial riesgo de salud en los niños y adultos mayores.

Por otra parte, según Pochat, Donoso y Saldarriaga (2018) las zonas rurales de la subregión de Sudamérica no poseen alcantarillado sanitario, por ende, los habitantes buscan soluciones de saneamiento comunales o individuales como lo son las letrinas. Sin embargo en el reporte “Tackling a global crisis: International Year of Sanitation 2008”, menciona que dichas soluciones no tienen sistemas de tratamiento para el agua vertida, lo cual afecta los sistemas naturales, especialmente en los países en desarrollo, puesto que se encuentra que alrededor de un 90% del agua que cae a los ríos no recibe ningún sistema de depuración; para el caso de Colombia específicamente una tercera parte de los hogares rurales no cuentan con soluciones adecuadas de saneamiento (Carrasco, 2016).

Uno de los pasos prometedores para la conservación del agua es el tratamiento y la reutilización de las aguas grises, definidas por el MADS (2010b) como “Desechos líquidos generados en el lavamanos, la ducha, el lavaplatos y el lavadero de la vivienda. Son llamadas también aguas jabonosas y por principio contienen muy pocos microorganismos patógenos” (p.26). Dada la menor proporción de contenido orgánico y de coliformes en este tipo de agua, en comparación con las aguas negras generadas en los inodoros, dichas aguas son más fáciles de tratar por separado y tienen un buen potencial de reutilización para fines no potables, como los son en la descarga de inodoros, el lavado de pisos, el lavado de automóviles, el riego de jardines y agricultura, siendo posible en cierta manera la reducción de la demanda de agua dulce (Karnapa, 2016).

Actualmente no existe una tecnología específica universalmente aceptada para el tratamiento de aguas grises, sino que se han utilizado aquellas tecnologías que se fundamentan en procesos físicos, químicos y biológicos o una combinación de estos. Para conocer la eficacia de los sistemas de tratamiento, es necesario que permitan el estándar de calidad del agua no potable. Para que el agua gris sea reutilizada, sus niveles de pH, DBO y DQO deben estar por debajo o justo en los valores permitidos según la normativa vigente, asimismo, tiene que estar sin una concentración alta de partículas en suspensión, microorganismos, aceite y grasa. El proceso general usualmente consiste en pretratamiento, tratamiento principal y pasos posteriores al tratamiento (Manna, 2018).

El presente proyecto tuvo como objetivo principal diseñar un sistema para el tratamiento y reutilización de aguas grises producidas en la finca “El Porvenir 2” ubicada en El Espinal - Tolima, que se llevó a cabo luego de determinar el estado de la calidad fisicoquímica y microbiológica del vertimiento, para posteriormente seleccionar la alternativa más adecuada que se ajustara a las condiciones ambientales y territoriales de la finca; en la fase de diseño se establecieron los lineamientos técnicos y ambientales para el modelo de tratamiento con sus respectivos costos de construcción.

## **4 Planteamiento del problema**

### *4.1 Contexto general*

La distribución desigual del agua tanto en el tiempo como en el espacio, ha generado que gran parte de las áreas rurales del mundo se vean afectadas por la ardua escasez y la sobreexplotación del recurso hídrico. Adicionalmente, la carencia de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales domésticas

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

en las zonas rurales, ha conducido al deterioro gradual de dicho recurso por los altos niveles de contaminación (Oteng, Agbesi y de Vries, 2018).

Durante los últimos años, se ha aumentado en un 80% la contaminación hídrica de origen orgánico por el no tratamiento de las aguas residuales en los municipios de Colombia, dado la gran cantidad de vertimientos tanto de los perímetros rurales y urbanos, desmejorando la calidad de los cuerpos receptores (Torres, 2018).

La composición de las aguas residuales domésticas comprenden un 55- 75% de aguas grises, es decir que en su mayoría dicho vertimiento es desaprovechado, sabiendo que éstas al separarse de las aguas provenientes del sanitario, tienen un buen potencial de reutilización para fines no potables (Manna, 2018). Algunos de los limitantes para proporcionar una cobertura más amplia de saneamiento adecuado en el país son: las limitaciones financieras, dificultades técnicas en la implementación de estructura de saneamiento en centros rurales pequeños y dispersos, estructuras de gobierno débiles y soluciones tecnológicas inadecuadas (Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES], 2014).

## *4.2 Contexto específico*

La finca El Porvenir 2 ubicada en la vereda La Caimanera no cuenta con acueducto que garantice el suministro del recurso hídrico a las viviendas, por ende, se abastecen de agua transportada en carro tanques provenientes desde la zona urbana y de nacimientos naturales aledaños. En materia de vertimientos la finca realiza separación de las aguas residuales domésticas que se producen; las aguas residuales generadas en las unidades sanitarias se conducen a un pozo de absorción y las aguas grises se llevan mediante una canaleta dirigida directamente a la fuente hídrica superficial, denominada Coyarcó.

Los vertimientos salen directamente contaminados, lo que se ve reflejado al sobrepasar la DBO<sub>5</sub> con un valor de 8,7 mg/ L O<sub>2</sub>, los coliformes totales y fecales con lo establecido en Guidelines for Water Reuse por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (US EPA). Asimismo, la DQO supera con un valor de 122, 7 mg/ L O<sub>2</sub>, las grasas y aceites con 12 mL/L y los sólidos sedimentables con 3 mL/L, lo mencionado en la Resolución 0631 del 2015.

En consecuencia, este vertimiento aporta a la modificación de las condiciones físicas y biológicas de la quebrada Coyarcó, especialmente por la presencia de compuestos tensoactivos a causa del uso de detergentes, provocando la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto, lo que dificulta la oxidación de la materia orgánica presente y a su vez inhibe el proceso de fotosíntesis, originando no solo malos olores sino la muerte de la flora y fauna acuática de la fuente superficial receptora (Fondo para la comunicación y la educación ambiental, A.C, 2007). De tal modo, se pueden generar problemas de salubridad por la manifestación de vectores como zancudos, siendo estos portadores de enfermedades como el dengue, chikungunya, zika, entre otras que en forma acumulativa se pueden convertir en impactos significativos no solo para la familia sino para la comunidad aledaña.

Los residentes de la finca no cuentan con un alto poder adquisitivo, dificultando el diseño, dimensionamiento y la implementación de un sistema de tratamiento que requiera elevados costos de inversión, ya sea para su administración, operación y/o mantenimiento; generando problemas de aceptación adaptación de estas tecnologías para el tratamiento y reutilización de las aguas grises (Salas, Zapata y Guerrero, 2007). Además, son ajenos a temas de tecnologías no convencionales por la falta de

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

conocimiento de la normatividad de ahorro y reuso eficiente del agua e igualmente tienen poca capacitación del manejo de las aguas grises por parte de la autoridad ambiental (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2013).

Las aguas grises pese a que tienen agentes tensoactivos, cuyas espumas engloban microorganismos e inhiben la oxidación química y biológica, son más fáciles de tratar en comparación con las generadas en unidades sanitarias, dado que tienen menor concentración de microorganismos (Espigares y Pérez, s.f.). En resumen, es muy importante realizar la separación de las aguas grises para así usufructuar el buen potencial de reutilización que tienen en fines no potables.

## *4.3 Pregunta de investigación*

¿De qué manera el tratamiento y reuso de las aguas grises contribuyen a la descontaminación de la quebrada Coyarcó?

### *4.3.1 Subpreguntas de investigación*

¿Cómo inciden los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual a estudiar en la selección del sistema de tratamiento de aguas grises?

¿En qué influye que la selección del sistema de tratamiento de aguas grises se realice a partir de un análisis ambiental?

¿Cuáles son los lineamientos técnicos y ambientales a tener en cuenta en el diseño del modelo de tratamiento y reutilización de las aguas grises generadas por actividades domésticas en la finca El Porvenir 2?

## **5 Justificación**

Como futuras egresadas del programa de ingeniería ambiental de la Universidad El Bosque es de importancia tener claro que la formación suministrada a lo largo de la carrera está enfocada en afrontar y resolver las exigencias en materia ambiental que un determinado grupo de personas plantea. Se realiza mediante el análisis, la interpretación y la evaluación de problemáticas, con el fin de mejorar la calidad de vida de los individuos implicados.

Este proyecto permitió interactuar con la familia, para entender su problemática y de esta manera proponerles una solución; desde el punto de vista social el trabajo de investigación buscó mejorar las condiciones de saneamiento de la finca “El Porvenir 2” siendo éste un factor diferencial para las demás fincas que se encuentran en la vereda. Adicionalmente, está alineado al objetivo seis de Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, propuestos por las Naciones Unidas, denominado Agua Limpia y Saneamiento, dado que su propósito va ligado al mejoramiento de la calidad del agua reduciendo la contaminación y eliminando el vertimiento de las aguas grises, lo que resulta esencial para la salud de los ecosistemas y la salud humana (Naciones Unidas, 2017).

En el ámbito ecológico este trabajo se ajusta al paradigma de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) siendo que este arquetipo según Global Water Partnership (GWP, 2000) promueve el desarrollo y la gestión del agua, la tierra y otros recursos de una forma equitativa sin comprometer la

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

sostenibilidad de los ecosistemas; ideal que se observa en el proyecto tras tratar y reutilizar el agua lo que evita una presión adicional sobre ésta cuando está escasa, disminuyendo el consumo y el aporte de contaminantes a los cursos naturales del agua. El proyecto no solo está reciclando este recurso sino también los nutrientes que se desaprovechan en el vertido, ya que se pueden aprovechar para el riego de jardines o de cultivos siendo que las sustancias orgánicas como el nitrógeno y fósforo, difíciles de mineralizar, puedan ser degradadas biológicamente en el suelo, lo que facilita a que las plantas puedan asimilar sus componentes minerales ayudando a la productividad de éstas (Suárez, Jácome, Del Rio, Torres y Ures, 2012).

A nivel económico la finca presenta baja capacidad de inversión para el tratamiento del agua gris generada, por lo tanto, no daba la opción para la construcción de una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) u otros sistemas que presenten un elevado costo (Torres, 2018). Por esta razón, este proyecto buscó una tecnología que dado el caso se implementara, no requiriere de un alto poder adquisitivo para la construcción, operación y mantenimiento, siendo eficiente en la disminución de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, implicando el reuso del agua y la reducción en los costos por consumo.

## **6 Objetivos**

### *6.1 Objetivo general*

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas grises producidas en la finca “El Porvenir 2” para su reutilización en fines no potables.

### *6.2 Objetivos específicos*

1. Determinar el estado de la calidad fisicoquímica y microbiológica de los vertimientos provenientes de la finca El Porvenir 2.
2. Seleccionar el sistema de tratamiento de aguas grises más adecuado que se ajuste a las condiciones ambientales y territoriales de la finca.
3. Establecer los lineamientos técnicos y ambientales para el modelo de tratamiento y reutilización de aguas grises generadas por actividades domésticas en la finca.

## **7 Marcos de referencia**

### *7.1 Estado del arte*

Se desarrolló una revisión sistemática donde se identificó los términos que se utilizaron para la búsqueda de los artículos de investigación, tales como: sistemas de tratamiento y reutilización de aguas grises y de aguas residuales domésticas, procesos fisicoquímicos y biológicos, lo que determinó varios artículos, tesis, proyectos de grado y demás, que presentaron resultados detallados de estudios con información de primera mano, con especificaciones de año y campo, para este caso se limitó a los últimos 12 años, dando más facilidad para identificar la información más reciente referente al tema.

Según Oteng et al. (2018) en el artículo titulado “*Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception - a Review*”, muchos países desarrollados han implementado sistemas

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

simples y avanzados en el manejo y tratamiento de aguas grises para reducir el nivel de contaminación antes de reutilizarlas en usos ya sean potables o no potables. Cada uno de estos sistemas adopta un medio de tratamiento físico - químico que incluye la filtración, adsorción, ósmosis inversa etc, o adopta el biológico que es una combinación de microbios, luz solar y manipulación de oxígeno; como los sistemas de lodos activados y filtros de goteo. Los sistemas ampliamente utilizados en países en desarrollo y de los que se buscaron estudios en este proyecto, son los biológicos como los biorreactores de membrana, contactores biológicos rotativos, humedales artificiales y filtros (biofiltros). De esta forma se describe a continuación la información.

## 7.1.1 *Tratamiento y reutilización de aguas grises a nivel internacional*

### 7.1.1.1 *Biorreactor de membrana*

En el estudio “*Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities*” evaluaron el rendimiento de un biorreactor de membrana (MBR) en el tratamiento de aguas grises en un hotel en España. Para que el método tuviera óptimos resultados primero se aclimató a las aguas grises durante 51 días obteniendo un efluente estable, posteriormente se realizaron las pruebas que permitieron confirmar el funcionamiento del reactor, dado que la eficiencia de eliminación de la DQO varió de 80 a 95%, donde dicha concentración estuvo por debajo de 30 mg / L, cumpliendo con el valor máximo permisible según la normativa española, de igual forma se evidenció una disminución en la concentración de microorganismos, encontrándose que en algunos días la cantidad de coliformes totales pasó a estar de  $4,1 \times 10^6$  CFU/100 mL a  $1,3 \times 10^2$  CFU/100 mL (Atanasova *et al.*, 2017).

### 7.1.1.2 *Contactores biológicos rotativos*

En el proyecto titulado “*New Integrated Self-Refluxing Rotating Biological Contactor for rural sewage treatment*” estudió la capacidad de remoción de contaminantes del nuevo método integrado denominado contactor biológico rotatorio de auto - reflujos en las aguas residuales rurales. El estudio planteó que dicha capacidad depende del biofilm que se forme en los discos del contactor, lo que causará el aumento o la disminución de remoción de los contaminantes; es de esta forma que se realizaron pruebas con un 200 y un 0% de reflujos en los discos, lo que caracterizará la formación del biofilm, obteniendo con un reflujos de 200% que las tasas de eliminación de DQO, sólidos suspendidos totales (SST),  $\text{NH}_4\text{-N}$  y nitrógeno total aumentarían en  $5.25 \pm 4.18$ ,  $5.49 \pm 0.64$ ,  $5.67 \pm 2.68$  y  $32.63 \pm 3.67\%$ , respectivamente, en comparación con un reflujos de 0%. Se concluye que esta tecnología es una de las opciones prioritarias para el tratamiento de aguas residuales rurales debido a su bajo rendimiento de lodos, concepto de diseño integrado y modo de operación simple (Han, Ma, Xiao, Huo y Guo, 2019).

### 7.1.1.3 *Humedales artificiales*

Según Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade (2010) los humedales artificiales a lo largo del tiempo han ido aumentando su interés por parte de la sociedad, dado que es una técnica económica para el tratamiento de aguas residuales que no requiere de un personal operativo y que usa elementos propios de la naturaleza. Estos sistemas de tratamiento suelen dividirse en humedales de flujo superficial, los cuales realizan la circulación del agua mediante los tallos de las plantas; y, en humedales de flujo subsuperficial,

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

donde el agua circula a través de un medio granular que poseen los mismos. Sin embargo, los humedales más utilizados han sido los del segundo tipo que se presenta en dos tecnologías principales: humedales subsuperficiales de flujo horizontal (HFSS) y humedales subsuperficiales de flujo vertical (VFSS); por ello se realizó la búsqueda de los siguientes estudios tomando en cuenta estos dos tipos de humedales subsuperficiales.

En la siguiente investigación **“Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW)—a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households”** el objetivo fue “Desarrollar un sistema de tratamiento económico, de baja tecnología y fácil de mantener que permitiera el uso seguro y sostenible de aguas grises para el riego de jardines en pequeñas comunidades y hogares” (Gross, Shmueli, Ronen y Raveh, 2007, p.916). El sistema se basó en una combinación de humedales de flujo vertical y un filtro de goteo que tras ponerlos en funcionamiento lograron eliminar prácticamente todos los sólidos en suspensión y DBO, a su vez aproximadamente el 80% de la DQO después de un tiempo de 8 h. El fósforo total se redujo un 60 % y el nitrógeno total un 75%, con respecto a los coliformes fecales se disminuyeron de tres a cuatro órdenes de magnitud desde su concentración inicial después de 8 h, pero aún eran más altos que el estándar israelí para irrigación ilimitada, por ende, se recomendó adicionar un proceso de desinfección (Gross, et al., 2007).

En el artículo titulado **“Biotechnological approach of greywater treatment and reuse for landscape irrigation in small communities”** se estudió la viabilidad de un HFSS combinado con desinfección UV con el propósito de que permitiría el uso seguro y sostenible de las aguas grises para el riego de jardines en pequeñas comunidades y hogares. Se observó que el sistema si es una alternativa eficaz y viable para la reutilización agrícola, ya que se obtuvo una remoción de turbiedad de un 88%, SST de 90%, DQO de 89%, DBO<sub>5</sub> de 87%, nitrógeno total de 42% y fósforo total de 50%; para el caso de *E.coli*, el efluente después del humedal tenía una concentración de  $2,5 \times 10^1$  NPP/ 100 mL y después de la desinfección fue de 2 NPP/ 100 mL, lo que se evidencia la importancia de agregar esta etapa para tener una mejor calidad del agua sin generar riesgos en la salud de la población (Laaffat, Aziz, Ouazzani y Mandi, 2019).

Oteng et al. (2018) afirma que una de las ventajas del humedal subsuperficial es la capacidad que tiene para trabajar por sí solo en áreas pequeñas, sin la necesidad de un personal operativo, obteniendo efluentes con concentraciones de DBO<sub>5</sub> y SST bajas que cumplen con los límites reglamentarios, sin embargo no tiene una tasa de eliminación alta de Na, Ca, Mg y de algunos agentes microbiológicos como *E.coli* y huevos de helmintos, por lo que es necesario que el agua residual pase por otro tratamiento adicional.

### 7.1.1.4 Filtros y biofiltros

En el trabajo **“Efficiency of Bark, Activated Charcoal, Foam and Sand Filters in Reducing Pollutants from Greywater”** se evaluó el rendimiento de filtros con diferentes materiales de empaque como corteza, carbón activado, espuma de poliuretano y arena en la depuración de varios parámetros fisicoquímicos. La corteza y el carbón activado siempre mostraron mejores resultados, alcanzando una remoción de 98 y 97% de DBO<sub>5</sub>, ambos con 99% de surfactantes, 97 y 91% de fósforo total, 19 y 98% de nitrógeno total

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

(NT); mientras que la espuma y la arena mostraron una reducción de 37 y 75% en DBO<sub>5</sub>, 73 y 96% de surfactantes, 36 y 78% de fósforo total y 13 y 5% de nitrógeno total (Dalahmeh *et al.*, 2012).

En la investigación titulada ***“Performance study of biofilter system for on-site greywater treatment at cottages and small households”*** se evaluó el rendimiento de un sistema conformado por una colección separada de aguas negras y de aguas grises, seguido por un biofiltro de película fija (agregados de arcilla) para el tratamiento de las aguas grises y finalmente por un sistema de infiltración de suelo utilizado como paso de pulido antes de descargar en el ambiente. Se encontró que ya con solo separar las aguas negras de las demás corrientes había una reducción notable de la DQO con un 64%, la DBO con un 61%, los SST con un 75%, el nitrógeno total con un 85% y el fósforo total con un 85%. La eficiencia total de eliminación del sistema para los parámetros ya mencionados alcanzó más del 90% en el efluente del biofiltro y más del 95% con el sistema de infiltración construida. Para las bacterias coliformes y *E. coli*, el sistema general alcanzó una reducción de 4–5 log<sub>10</sub> unidades de los cuales se observó la mayor reducción en la infiltración (Moges, Todt, Eregnoa y Heistada, 2017).

## 7.1.2 Tratamiento y reutilización de aguas grises a nivel nacional

En Colombia no se encontraron muchos estudios que abarcaran el tratamiento explícitamente de las aguas grises mediante las tecnologías ya mencionadas, sin embargo, se tuvieron en cuenta proyectos en los que se viera involucrado estos métodos en la depuración de aguas residuales domésticas.

### 7.1.2.1 Biorreactor de membrana

En la tesis ***“Análisis del uso de biorreactores de membrana para tratamiento de aguas residuales y posible implementación en Colombia”*** analizaron la tecnología de biorreactores de membrana para el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un estudio descriptivo DOFA para una posible implementación en la planta de tratamiento de Agua residual del municipio de Chía, Colombia. Para el cumplimiento de este se decidió evaluar este método en la Laguna 1 (facultativa) de la planta que presenta varios problemas, obteniendo que dicho método ayudaría a aumentar la cantidad del agua a tratar, en disminuir la generación de olores, mejorar la calidad del efluente y permitirá a que el destino final del efluente pueda ser planificado para una posible reutilización del agua (Bohórquez y Sarmiento, 2017).

### 7.1.2.2 Contactor biológico rotativo

Con el fin de evaluar el desempeño de diferentes alternativas biológicas para el tratamiento del agua residual, el proyecto titulado ***“Alternativas de tratamiento biológico aerobio para el agua residual doméstica del municipio de Cali, Colombia”*** estudiaron a escala de laboratorio diferentes modalidades del sistema de lodos activados y un sistema de biodiscos, también denominado contactor biológico rotativo para demostrar la potencialidad de cada uno como alternativas de tratamiento secundario. Con respecto al segundo sistema que es el de interés, mostró un buen desempeño en términos de reducción de DQO con un valor de 83%, DBO<sub>5</sub> con 97% y SST con un 91%, cumpliendo con la normatividad colombiana para el vertimiento de agua residual a cuerpos receptores. Sin embargo, se menciona que la aplicabilidad a escala real de ese sistema podría verse limitada debido a los problemas operacionales

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

como el desprendimiento de la biomasa ocasionada por la suspensión ocasional del fluido eléctrico (Torres, Vásquez, Pérez, Madera y Rodríguez, 2011).

### *7.1.2.3 Humedales artificiales*

Seguidamente según López y Rodríguez (2016) en la tesis “*Evaluación de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial como tratamiento de agua residual doméstica en la vereda Bajos de Yerbabuena en el Municipio de Chía, Cundinamarca*” menciona que los HFSS tienen altos beneficios como la mejora paisajística, bajos costos de mantenimiento y eliminación de vectores y malos olores, igualmente plantearon que para la reutilización de agua residual doméstica es óptimo por su remoción en promedio de 57.25% en los ocho contaminantes que analizaron, con un porcentaje mayor de 70% en los parámetros más relevantes en la investigación (DBO5 y DQO).

Según Bernal (2014) en la tesis “*Diseño de unidad piloto de humedales artificiales de flujo subsuperficial para tratamiento de aguas residuales domésticas en el campus UMNG - Cajicá con fines de reuso*” se pudo demostrar que el VFSS al tener la intervención de cuatro diferentes especies de macrófitas (*Polygonum punctatum*, *Typha* spp, *Limnobium laevigatum*, *Eichhornia crassipes*) típicas de la región y los organismos asociados a ellas, su diseño logró la disminución de los niveles de metales pesados como (Ag, Se y Zn), los cuales se encontraron en los valores establecidos por la normatividad Colombiana en el Decreto 4728 del 2010 para el vertimientos de aguas superficiales.

### *7.1.2.4 Filtros y biofiltros*

En el estudio “*Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia*” se busca dar tratamiento a las aguas grises domésticas por medio de un filtro de arena para posteriormente utilizarlas para riego en cultivos tipo huerta casera en el sector de la Loma, en San Andrés Isla. Para el diseño del filtro se tuvieron en cuenta variables como volumen de agua a tratar, volumen de filtración, área de unidad y altura de agua cruda en filtro por encima del lecho de arena. Se obtuvieron valores de remoción de turbidez de un 98% y de sólidos disueltos totales un 75%, tras estos resultados el estudio concluyó que dicho sistema si depuraría los parámetros estudiados en las aguas grises, pero teniendo en cuenta que su efectividad depende de la madurez del filtro, es decir entre más maduro mejor va hacer su tratamiento (Palmer y Corpus, 2018).

En la tesis titulada “*Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar*” diseñaron y construyeron un prototipo de constaba inicialmente de un tanque de pre-recolección que tenía un filtro de carbón activado, seguidamente de un tanque de almacenamiento, tanque de filtración (filtro de arena y de membrana) y finalmente de un segundo tanque de almacenamiento, desde donde se puede usar el agua tratada para fines no potables. El agua que se obtuvo no contenía partículas grandes ni pequeñas, era transparente debido a la existencia de detergente que aún está presente en el agua y no presentaba espuma, lo que demostró la efectividad de juntar varios filtros con diferentes materiales filtrantes para el tratamiento de aguas grises (Espinal, Ocampo y Rojas, 2014).

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## *7.2 Marco teórico*

Para el desarrollo de este proyecto es de gran importancia identificar las teorías en las cuales se va a basar, trabajar y/o regir el mismo. A continuación, se especificarán algunas teorías con base al tema central con el fin de determinar el ámbito que encierra el problema.

### *7.2.1 Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH)*

Como teoría general y principal de este trabajo se identificó la GIRH, que se define como “El proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa” (párr. 1). Teniendo en cuenta el propósito del desarrollo sostenible; es decir satisfacer las necesidades que se requieren en el presente, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales para futuras generaciones (Global Water Partnership, 2011).

El concepto de GIRH surge posiblemente en la primera Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente en Dublín, Irlanda en enero de 1992 en donde se plantearon cuatro principios para el desarrollo de la GIRH (Solanes, 1998):

1. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
2. El desarrollo y manejo del agua deberían ser participativos, involucrando a planificadores y a formuladores de políticas en todos los niveles.
3. La mujer desempeña un papel fundamental en la provisión, manejo y protección del agua.
4. El agua tiene un valor económico en todos los usos de la misma que compiten entre sí y debería reconocerse como un bien económico.

La GIRH comprende el manejo de aguas superficiales y subterráneas, vincula la necesidad y demanda de la sociedad por el recurso y, por último, busca la construcción de una sola plataforma para uso común de todos los campos que usan el recurso, con el fin de vincular sus intereses; por ello se tiene una perspectiva multidisciplinaria (Martínez y Villalejo, 2018).

Ahora bien, el agua es uno de los recursos naturales vitales más importantes, además porque aporta en el desarrollo económico y social; por este motivo, en el año 2010 en Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible (MAVDS) implementó la Política Nacional para la GIRH donde se establecen objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégicas para el manejo del recurso en el país, en un horizonte de 12 años.

La Política Nacional para la GIRH tiene como objetivo:

Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente (MADS, 2010a, p. 96).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Es conveniente resaltar que para la GIRH su mayor problema es la contaminación de fuentes superficiales por vertimientos directos, por ello lo que busca la Política Nacional para la GIRH es lograr un control sobre la calidad del recurso, con el fin de prevenir y mitigar la contaminación que presentan las aguas contaminadas generadas en actividades antrópicas (MADS, 2010a).

## 7.2.2 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas son consideradas como los líquidos provenientes de las viviendas, residencias, edificios comerciales e institucionales generadas a partir de actividades antrópicas que se realizan en la cotidianidad; sin embargo, se clasifican en aguas negras provenientes de unidades sanitarias transportando heces fecales y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Y aguas grises procedentes de tintas, duchas, lavamanos, zonas de lavado y lavadoras, aportantes de DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales (Romero, 2013).

Existen caracterizaciones típicas de aguas residuales, las cuales son muy importantes como referencia de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de importancia por analizar; es conveniente indicar que cada agua residual es única en sus características y que sus parámetros deben evaluarse en laboratorio para cada agua residual específica (Romero, 2013).

A continuación, se darán a conocer unas tablas propuestas por Jairo Romero en su libro “Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño” donde se resumen los valores promedios de las características más importantes de las aguas residuales en Colombia.

Tabla 1. *Composición de un agua residual doméstica típica*

<b>Parámetro</b>		<b>Magnitud</b>
DBO	200	mg/L
DQO	400	mg/L
Sólidos suspendidos totales	200	mg/L
Sólidos suspendidos volátiles	150	mg/L
Nitrógeno amoniacal	30	mg/L - N
Ortofosfatos	10	mg/L - P

(Romero, 2013)

Por otro lado, las características de las aguas grises están relacionadas y dependen de factores como la calidad del agua suministrada, el tipo de red que distribuye el agua potable y gris y por supuesto de las actividades que se realicen en el hogar. Igualmente, los parámetros y compuestos que estas presentan varían, debido al estilo de vida que lleve la familia, las costumbres y la cantidad de productos químicos de uso doméstico que se utilicen (Niño y Martínez, 2013).

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Tabla 2. *Características de un agua gris*

Parámetro	Intervalo	Promedio	Promedio en el agua de consumo
pH	5 – 7	6,5	6,6
Alcalinidad, mg/L	149 – 198	158	131
N amoniacal, mg/L	0,15 – 3,2	0,7	0
Nitrato, mg/L	0 – 4,9	1	1
N total, mg/L	0,6 – 5,2	1,7	1
Cloruros, mg/L	3,1 – 12	9	10
Dureza, mg/L	112 – 152	144	142
Fosfatos, mg/L	4 – 35	9	3
Sulfatos, mg/L	12 – 40	23	28
Turbiedad, UNT	20 - 140	76	0,8

(Romero, 2013)

Tabla 3. *Características de aguas grises según su origen*

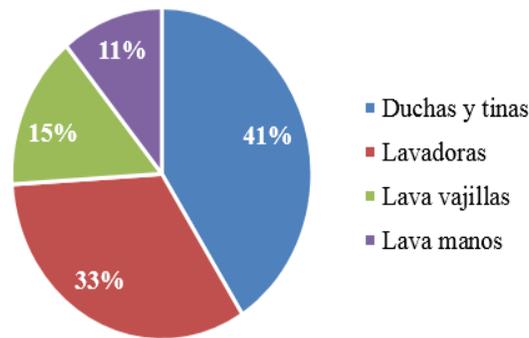
Origen	Características
Lava vajillas	Consideradas aguas grises
	Altamente contaminadas con partículas de comida, aceites y grasas
	Cantidades variables de coliformes
	Mayor cantidad de SST que las aguas servidas
	Crecimiento de microorganismos
	Descomposición rápida
	Mal olor
Duchas, tinas y lavamanos	Alta demanda de oxígeno
	Consideradas aguas grises claras
	Presencia de coliformes
	Pueden contener orina
	Poseen cabellos y vellos
Lavadora	Presencia de productos de limpieza como jabones, shampoo, pasta de dientes, etc.
	Baja demanda de oxígeno
	Contiene coliformes
	Presencia de detergentes que contienen sodio, fósforo, boro, amonio y nitrógeno
	Generación de espumas
	Alto pH
	Alta salinidad
Alta cantidad de sólidos suspendidos (Pelusas)	
Alta turbiedad	

(Franco, 2007).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 1. *Composición de aguas grises según origen*



(Franco, 2007)

### 7.3.3 *Reuso del agua*

El reuso de las aguas se ha venido popularizando tanto en países desarrollados como subdesarrollados; a causa su contaminación, impactos ambientales por su uso inadecuado y escasez del recurso, tema que se ha venido incrementando a lo largo de los últimos años, Actualmente, en Colombia el agua tratada se plantea como recurso hídrico disponible para aprovechamiento en actividades principalmente de uso agrícola e industrial; por ende se han construido directrices que garanticen la utilización y reuso eficiente del mismo (Jiménez y Cantor, 2016).

En países como Estados Unidos y Australia el reuso de aguas residuales específicamente, se establece para uso urbano, agrícola, procesos industriales, se contemplan alternativas para uso doméstico, minería, entre otros. En cambio, para Colombia la normativa regula el reuso de estas aguas únicamente para uso agrícola e industrial, especificando en cada uno los campos que puede abordar (Dueñas, Amaya y Donado, 2015).

### 7.3.4 *Calidad del agua*

Chang (2019) manifiesta que “La calidad del agua la representan los atributos que está presente, de tal manera, que reúna criterios de aceptabilidad para diversos usos incluyendo todos los factores (Físicos, químicos y biológicos) que influyen en el uso beneficioso del recurso hídrico” (p.9). Existen problemas de calidad del agua a lo largo del mundo ocasionando la pérdida de fuentes superficiales y cambios en la hidromorfología; afectando directamente a las personas que lo utilizan como suministro primordial en sus vidas originando riesgos a la salud por su consumo (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO, 2019).

### 7.3 *Marco conceptual*

A continuación, se observan los diferentes conceptos que se tienen en cuenta para un mayor entendimiento y desarrollo del proyecto.

**Aguas residuales domésticas.** Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

- Descargas de los retretes y servicios sanitarios.
- Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [MVCT], 2017, p. 155-156).

**Aguas residuales tratadas.** “Son aquellas aguas residuales, que han sido sometidas a operaciones o procesos unitarios de tratamiento que permiten cumplir con los criterios de calidad requeridos para su reúso” (MADS, 2014, p.2).

**Aguas grises.** Son los desechos líquidos generados en el lavamanos, la ducha, el lavaplatos y el lavadero de la vivienda. Son llamadas también aguas jabonosas y por principio contienen muy pocos microorganismos patógenos (MADS, 2010b, p.26).

**Alcantarillado sanitario.** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección, transporte y tratamiento de las aguas residuales domésticas (MADS, 2010b, p.27).

**Biofiltración sobre lecho orgánico.** “Capacidad de ciertos materiales orgánicos, de actuar como una resina natural, que fija las sustancias contaminantes por mecanismos físico químicos y favoreciendo la implantación de microorganismos capaces de degradar contaminantes” (Medina, 2012, p.8).

**Caracterización de las aguas residuales.** Determinación de la cantidad y características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [MINCIT], 2000, p.10).

**Coliformes fecales.** “Grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación fecal de agua” (MVCT, 2017, p.162).

**Contaminación.** Es la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de los particulares (MADS, 2010b, p.29).

**Criterio de Calidad.** “Es el conjunto de parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles que se establecen para un uso definido” (MADS, 2014, p.2).

**Desinfección.** “Proceso físico o químico que permite que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua” (MVCT, 2017, p.163).

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** “Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable” (MVCT, 2017, p.163).

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** “Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas” (MVCT, 2017, p.163).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

**Filtración.** “Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso” (MVCT, 2017, p.166).

**Humedales artificiales.** “Son áreas que se caracterizan por tener un suelo saturado de agua y una comunidad viviente (plantas y animales), adoptados a la vida acuática o a un suelo saturado” (Arias, Betancur, Gómez, Salazar y Hernández, 2010, p.14).

**Organismos patógenos.** “Microorganismos que pueden causar enfermedades en otros organismos, ya sea en humanos, animales y plantas” (MVCT, 2017, p.171).

**Parámetros de diseño.** “Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los componentes de los sistemas” (MVCT, 2017, p.172).

**pH.** “Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro” (MVCT, 2017, p.173).

**Proceso biológico.** “Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc)” (MVCT, 2017, p.174).

**Reuso.** “Es la utilización de las aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso al que se va a destinar” (MADS, 2014, p. 2).

**Soluciones individuales de saneamiento.** “Sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales implementados en el sitio de origen” (Presidente de la República de Colombia, 2010, p.5).

**Sólidos sedimentables (Ssed).** “Materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora” (MVCT, 2017, p.178).

**Sólidos suspendidos (SS).** “Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución, y que no se consideran sólidos disueltos” (MVCT, 2017, p.178).

**Sólidos totales (ST).** “Son sustancias contenidas en el agua que toman esta forma luego de la evaporación del agua a los 103 a 105 °C” (MVCT, 2017, p.178).

**Tratamiento del agua.** Es el conjunto de operaciones de tipo físico, químico, fisicoquímico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación de las características no deseables de las aguas (Pérez, León & Delgadillo, 2013).

**Usuario Receptor del Agua Residual Tratada.** “Es la persona natural o jurídica que recibe y usa el agua residual tratada, pudiendo ser el mismo Usuario Generador o diferente a este” (MADS, 2014, p. 2).

**Vertimiento puntual.** “El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo” (Presidente de la República de Colombia, 2010, p.6).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## 7.4 Marco normativo

Tabla 4. Normatividad relacionada a la gestión de aguas residuales domésticas

Sector	Tipo	Norma	Expedido	Aplicabilidad
Salud	Ley	9 de 1979	El Congreso de la República	<i>Artículo 10.</i> Todo vertimiento de residuos líquidos deberá someterse a los requisitos y condiciones que establezca el Ministerio de Salud, teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y de la fuente receptora correspondiente” (El Congreso de Colombia, 1979, art. 10).
	Ley	373 de 1997	El Congreso de la República	<i>Artículo 5.</i> “Las aguas utilizadas, (...), en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas 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” (El Congreso de Colombia, 1997, art. 5).
Sector Agua Potable y Saneamiento Básico	Decreto	3930 de 2010	Presidente de la República de Colombia	<i>Artículo 3.</i> Se plantean las definiciones para efectos de aplicación e interpretación del decreto; y se tienen en cuenta las siguientes: <b>Soluciones individuales de saneamiento.</b> Sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales implementados en el sitio de origen. <b>Vertimiento puntual.</b> El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo. (Presidente de la República de Colombia, 2010, art. 3)
				<i>Artículo 11.</i> Uso para la preservación de flora y fauna. Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Resolución	1207 de 2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	<p>sensibles en ellos (Presidente de la República de Colombia, 2010, art. 11).</p> <p><i>Artículo 2. Se plantean las definiciones para efectos de aplicación e interpretación de la resolución; y se tienen en cuenta las siguientes:</i>  <b>Aguas Residuales Tratadas.</b> Son aquellas aguas residuales, que han sido sometidas a operaciones o procesos unitarios de tratamiento que permiten cumplir con los criterios de calidad requeridos para su reúso.  <b>Criterio de Calidad.</b> Es el conjunto de parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles que se establecen para un uso definido.  <b>Reúso.</b> Es la utilización de las aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso al que se va a destinar.  <b>Usuario Receptor del Agua Residual Tratada.</b> Es la persona natural o jurídica que recibe y usa el agua residual tratada, pudiendo ser el mismo Usuario Generador o diferente a este.                  (MADS, 2014, art. 2)</p>
Resolución	0631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	<p><i>Artículo 6. Las aguas residuales tratadas se podrán utilizar en los siguientes usos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Uso Agrícola.</li> <li>b. Uso Industrial (MADS, 2014, art. 6).</li> </ul> <p><i>Artículo 7. “Establece los criterios de calidad para el uso de agua residual tratada”</i>(MADS, 2014, art. 7).</p> <p><i>Artículo 8. "Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles que se deben cumplir en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas - ARD y de las Aguas Residuales no Domésticas - ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado" (MADS, 2015, art. 8).</i></p> <p><i>Artículo 15. Los parámetros y sus valores límites máximos permisibles que se deben</i></p>

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

				<p>cumplir en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales no Domésticas - ARnD para las actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales (MADS, 2015, art. 15).</p>
				<p>Artículo 1. "La presente resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo" (MVCT, 2017, art.1).</p>
				<p><i>Artículo 9.</i> Deberá analizarse la posibilidad de ejecutar los proyectos por etapas, teniendo en cuenta que este planteamiento debe garantizar la funcionalidad y autonomía operativa de los sistemas desde la primera etapa. En consecuencia, no podrán planearse ni ejecutarse proyectos que requieran de otros componentes e inversiones previas no desarrolladas para su funcionamiento o que por sí mismas no puedan entrar en operación (MVCT, 2017, art.9).</p>
				<p><i>Título 2.</i> Requisitos técnicos: el presente título tiene por objeto señalar los requisitos, parámetros y procedimientos técnicos mínimos que obligatoriamente deben reunir los diferentes procesos involucrados en la planeación, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y/o aseo que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de que garanticen su estabilidad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia (MVCT, 2017, título 2).</p>
Medio Ambiente	Ley	99 de 1993	El Congreso de Colombia	<p><i>Artículo 42.</i> La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del</p>

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCTIVIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

---

			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 o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas (El Congreso de Colombia, 1993, art. 42).
Documentos de Política	Constitución Política de Colombia de 1991	Asamblea Nacional Constituyente	<i>Artículo 79.</i> Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines (Asamblea Nacional Constituyente, 1991, art. 79).

---

Autoría propia, 2019.

## 7.5 Margo geográfico

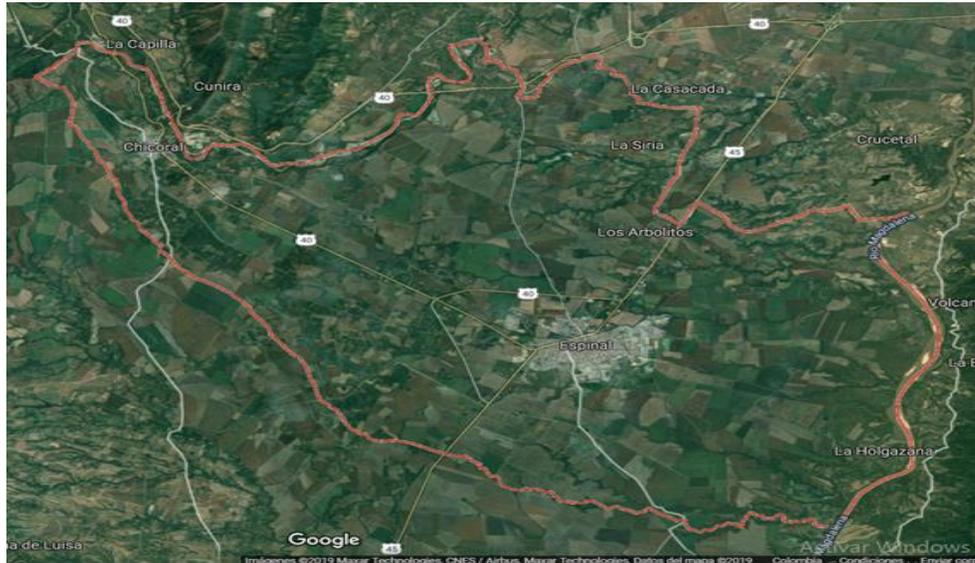
### 7.5.1 Municipio El Espinal - Tolima

El municipio de El Espinal está ubicado en el departamento del Tolima dentro de las coordenadas 4° 09' de latitud norte y a los 74° 53' de longitud oeste a una altura de 323 m.s.n.m. Cuenta con un área total de 214.83 kilómetros cuadrados, de los cuales el 4.36% pertenece al área urbana correspondiente a cuatro comunas en las que se encuentran 42 barrios, y 95,64% al área rural con seis corregimientos y 27 veredas. La distancia con Ibagué es de 48 kilómetros y con la capital de Colombia es de 153 kilómetros (Gobernación del Tolima, 2011).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 2. Localización geográfica del municipio de El Espinal – Tolima



Autoría propia a partir de Google Maps, 2019.

El Espinal es bañado por los ríos Magdalena y Coello y, limita al norte con los municipios de Coello (desde la confluencia de la quebrada la Morena con el río Coello hasta el sitio la Colorada donde se enfrenta el cerro la Ventana al río Coello) y Flandes (desde la confluencia del río Coello con la quebrada la Morena hasta el borde occidental de la carretera Chicorál - Flandes); al sur con el Guamo (desde la desembocadura de la quebrada Eneal hasta su nacimiento); al oriente con el municipio de Suárez (partiendo del final de la carretera del Pital con el río Magdalena hasta la desembocadura de la quebrada Eneal) y al occidente con el Guamo y San Luis (desde el cerro la Ventana hasta su terminación en el río Coello) (Gobernación del Tolima, 2011).

El municipio es de superficie plana y a pesar de su baja altura se encuentra en un régimen bimodal por presentar épocas de invierno (lluvias) de marzo a mayo y de octubre a noviembre, y épocas secas que van de enero a febrero y de julio a agosto; por ende, su temperatura promedio es de 30 °C (Gobernación del Tolima, 2011).

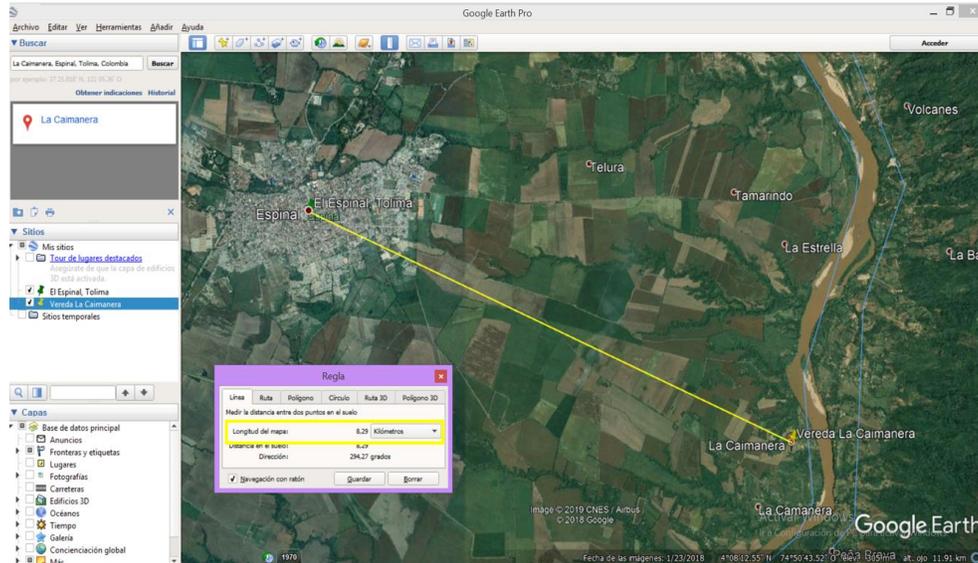
## 7.5.2 Finca El Porvenir 2

En el municipio de El Espinal, se encuentra la vereda La Caimanera, donde se ubica la finca El Porvenir 2 ubicada dentro de las coordenadas 4° 07' 07" de latitud norte y 74° 49' 39" de longitud oeste, situada aproximadamente a seis kilómetros y 15 minutos del casco urbano (Figura 3); hace parte de las 27 veredas que tiene el municipio y corresponde al corregimiento número cuatro junto a las veredas Coyarcó, Guadalejo y Talura Puerto Peñón. La zona es de interés debido a que posee un sitio de recreación denominado “El malecón de la Caimanera” donde se realizan actividades turísticas. La vereda cuenta con una única vía principal totalmente pavimentada donde en el trayecto de la misma se evidencian propiedades, fincas y terrenos donde se llevan a cabo actividades de agricultura; principalmente cultivos de arroz (Agudelo, Sandoval y Sánchez, 2017).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

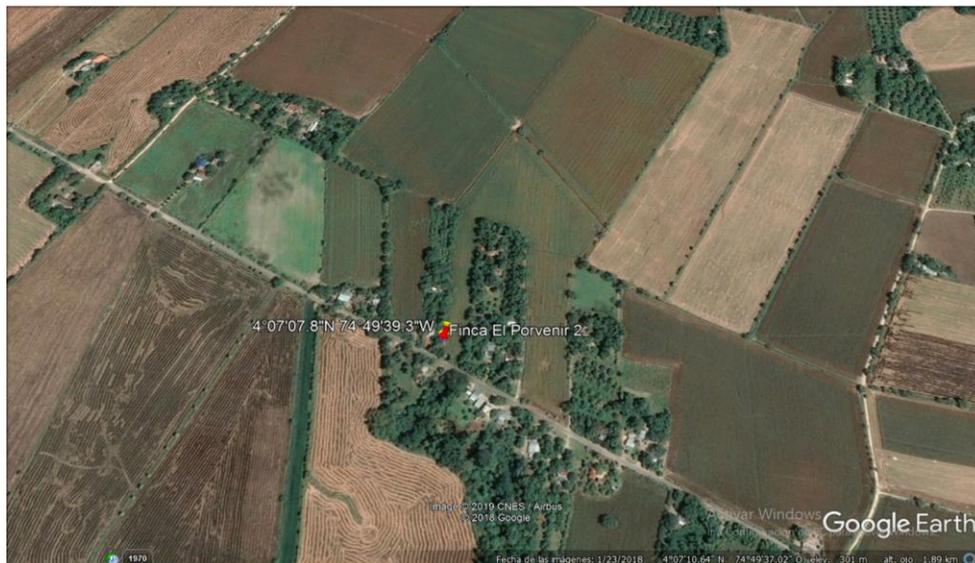
Figura 3. Distancia entre la vereda la Caimanera al casco urbano.



Autoría propia a partir de Google Earth Pro, 2019.

La finca “El Porvenir 2” es administrada por el señor Edgar Ortiz junto a su esposa; tiene un área construida de 420 m<sup>2</sup> y aproximadamente a 500 m de la finca tienen un terreno de 1.30 ha en el que cultivan mango.

Figura 4. Localización finca El Porvenir 2 en la vereda La Caimanera



Autoría propia a partir de Google Earth Pro, 2019.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 5. Finca El Porvenir 2 en la vereda La Caimanera



Autoría propia, 2019.

## 8 Metodología

### 8.1 Diseño metodológico

#### 8.1.1 Enfoque de la investigación

Según lo mencionado por Hernández- Sampieri, Fernández y Baptista (2014) en el libro “Metodología de la investigación- Sexta edición” este proyecto presentó un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), debido a que se hizo una recolección y un análisis tanto de datos cuantitativos y cualitativos. Esto se demostró a partir de la idea de encontrar un sistema de tratamiento para reusar las aguas grises de una finca, la cual derivó una serie de objetivos y preguntas de investigación que ayudaron a delimitarla para posteriormente realizar el estado del arte con el fin de conocer información de los avances que se realizaron en el tema, asimismo de efectuar el marco teórico, plantear las hipótesis y determinar las variables.

Para comprobar dichas variables se utilizaron herramientas tanto estandarizadas como no, tales como la observación estructurada y no estructurada, pruebas, matrices y cálculos. Adicionalmente se integró la familia con el objetivo de adquirir conocimientos empíricos de cómo se comportó y se transformó el territorio, por lo que la realización de algunas preguntas fueron de vital importancia. Lo mencionado anteriormente tuvo como resultado la integración y el análisis profundo de los datos, que permitieron entender de una mejor forma la problemática y así establecer el diseño del sistema más adecuado.

#### 8.1.2 Alcance de la investigación

El trabajo de investigación presentó un alcance correlacional con componentes descriptivos puesto que Hernández- Sampieri et al. (2014) afirma:

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

El estudio será correlacional cuando los antecedentes nos proporcionan generalizaciones que vinculan variables (hipótesis) sobre las cuales trabajar, (...). Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular (pp.93-98).

Esta breve explicación bastó para comprender que el proyecto inició siendo correlacional, remitiendo a trabajos ya realizados con el mismo tema de investigación, predisponiendo como hipótesis: la implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises, reducirá la concentración de contaminantes criterio en dichas aguas. Adicionalmente se determinó las principales variables como los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y los criterios para los sistemas de tratamiento a comparar, esto con el fin de poder cuantificarlas y analizarlas, y de esta manera diseñar la mejor tecnología de tratamiento y reutilización de las aguas grises vertidas en la finca “El Porvenir 2”.

Antes bien, este estudio a lo largo de su desarrollo llegó a tener un alcance descriptivo, siendo que al seleccionar la alternativa más apta para el cumplimiento del objetivo general, se recogió información de manera conjunta de las variables, especificando las propiedades, características, objetos y procesos de dicho sistema (Hernández- Sampieri et al., 2014).

## *8.1.3 Unidad principal de análisis*

La unidad de análisis a la cual se le aplicará en última instancia el instrumento de medición es: lineamientos técnicos y ambientales de la tecnología seleccionada para lograr la mayor eficiencia en la depuración de las aguas grises generadas en la Finca “El Porvenir 2”.

## *8.1.4 Métodos*

Este estudio presentó un proceso inductivo al realizar en primera instancia una búsqueda de información de los diferentes sistemas de tratamiento que existen para reducir la contaminación de las aguas grises, permitiendo lograr una descripción de sus elementos de diseño y funcionamiento, para luego indagar y analizar planteando conclusiones de cuál va hacer la mejor alternativa; llegando de lo particular a lo general. De análoga manera lo establece Hernández- Sampieri et al. (2014) afirmando que un proceso inductivo “Procede caso por caso, dato por dato, hasta llegar a una perspectiva más general, (...). Y podría fundamentar algunas hipótesis, que al final contrastaría con las de otros estudios” (pp.8-14).

## *8.1.5 Técnicas*

Este proyecto al presentar un enfoque de investigación mixto, de igual forma tuvo técnicas múltiples de recolección de datos que permitieron desarrollar habilidades sociales de una manera más flexible, involucrando ya sea una uniformidad en el acopio de la información o un conocimiento por medio de la observación no estructurada concibiendo formas para el acopio de los datos que se fueron modificando conforme avanzó la investigación (Hernández- Sampieri et al., 2014).

### *8.1.5.1 Objetivo 1*

La determinación del estado de la calidad fisicoquímica y microbiológica de los vertimientos provenientes de la finca, tuvo un enfoque cuantitativo, siendo que la recolección de los datos de la caracterización del agua se obtuvieron por medio de mecanismos estandarizados como la observación

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

estructurada para la recolección de las muestras y la medición con instrumentos precisos, válidos y confiables de las variables, además para conocer exactamente el estado del agua vertida se remitió a la documentación, con el fin de saber si los resultados se encontraban inferiores o superiores a los valores máximos permisibles y de identificar las relaciones de las variables para comprender el porqué de dichos datos, indicando un alcance correlacional. A continuación, se establecen las variables y los indicadores necesarios para el desarrollo de este objetivo con sus respectivas técnicas.

Tabla 5. Variables analizadas en el objetivo específico número 1

Criterio	Variable	Dimensión	Indicador	Técnica
Ecológico	Calidad del agua gris vertida	Evaluación de la concentración de los parámetros fisicoquímicos	Estado del pH (0 - 14)	Potencionmetro/pHMétrico
			Cantidad de DQO (mg/L)	Espectofotofotométrico/Vis
			Cantidad de DBO (mg/L)	Winkler 5 días
			Cantidad de sólidos suspendidos (mg/L)	Espectrofotométrico/UV-Vis
			Cantidad de sólidos sedimentables (mg/L)	Cono Imhoff
			Cantidad de sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico/Evaporación
		Cantidad de grasas y aceites (mg/L)	Gravimétrico/Evaporación	
		Cantidad de nitrógeno total (mg/L)	Kjeldalh	
		Cantidad de fósforo total (mg P/L)	Espectofotofotométrico/Vis	
		Evaluación de la concentración de los parámetros microbiológicos	Recuento Coli fecal (UFC/100 mL)	Filtración por membrana
			Recuento Coli total (UFC/100 mL)	Filtración por membrana
		Evaluación del estado del agua residual vertida	Calidad del agua	Interpretación de los documentos

Autoría propia, 2019.

## 8.1.5.2 Objetivo 2

La selección del sistema de tratamiento de aguas grises más adecuado para la finca, tuvo un enfoque cualitativo, en donde se realizó una observación no estructurada junto con unas preguntas que dieron información respecto a la finca, al consumo y uso del agua. Adicionalmente se hizo una revisión de documentos expuestos en el estado del arte que permitieron no sólo seleccionar los sistemas de tratamiento sino los criterios de evaluación que se tuvieron en cuenta para realizar la comparación por medio de una matriz, indicando un alcance descriptivo al tener en cuenta las características de dichos sistemas y la descripción actual específica de la alternativa que se ajustó a las condiciones ambientales y

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

territoriales de la finca. A continuación, se establecen las variables y los indicadores necesarios para el desarrollo de este objetivo con sus respectivas técnicas.

Tabla 6. Variables analizadas en el objetivo específico número 2

<b>Criterio</b>	<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica</b>
Sociocultural	Demografía	Identificación demográfica	Número de habitantes en la finca (#)	Observación no estructurada en campo
	Requerimiento hídrico de la familia	Conocimiento del consumo de agua	Volumen del agua (m <sup>3</sup> )	
General	Alternativas a comparar	Definición de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas grises	Número de alternativas (n...1)	Interpretación de estudios científicos
	Criterios técnicos, sociales, ecológicos y económicos de evaluación	Evaluación de los criterios técnicos, sociales, ecológicos y económicos a tener en cuenta en la matriz	Número de criterios (n...1)	
	Selección de la alternativa	Definición del sistema de tratamiento y reutilización a diseñar	Alternativa seleccionada	

Autoría propia, 2019.

### 8.1.5.3 Objetivo 3

El planteamiento de los lineamientos técnicos y ambientales para el modelo de tratamiento de aguas grises generadas en la finca, tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se tienen en cuenta metodologías estructuradas en donde se le da un manejo numérico a las variables. Este desarrollo tuvo un alcance correlacional, por las diferentes variables trabajadas en donde se evidenció una dependencia de algunas de ellas con otras y de igual forma una relación, que conllevaron al adecuado diseño del sistema.

Tabla 7. Variables analizadas en el objetivo específico número 3

<b>Criterio</b>	<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica</b>
Sociocultural	Requerimiento hídrico de la familia	Conocimiento del uso del agua	Número de actividades potables en las que usan agua (#)	Interpretación e los resultados de la entrevista en profundidad

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

	Diseño del sistema	Definición de los lineamientos básicos del cuerpo hídrico superficial	Caudal del cuerpo hídrico superficial afectado (m <sup>3</sup> /s)	Interpretación de los resultados de la medición del caudal por el método área – velocidad o flotadores
Técnico			Nivel de tratamiento	Interpretación de documentos
	Dimensionamiento del sistema	Definición de los lineamientos técnicos del sistema	Caudal de diseño (L/s)	Interpretación de los resultados del aforo
			Ancho, largo, profundidad, altura (m)	Cálculos
			Volumen (m <sup>3</sup> )	Cálculos
			Área (m <sup>2</sup> )	Cálculos
Características climatológicas	Identificación de la precipitación, temperatura y suelo de la zona	Precipitación (mm/mes) Temperatura (°C) Suelo	Interpretación de los informes	
Ecológico	Calidad del suelo		Pérdida de cobertura vegetal	Interpretación de los resultados de la matriz de impacto ambiental
			Alteración de las condiciones edáficas del suelo	
			Remoción del suelo	
	Paisaje	Definición de los lineamientos ambientales	Pérdida de ecosistemas	
			Modificación del hábitat de especies de fauna y flora	
Movimiento de tierra				
		Generación de residuos		
		Extensión de terreno a utilizar		
		Resuspensión de polvo y material particulado		

Autoría propia, 2019.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

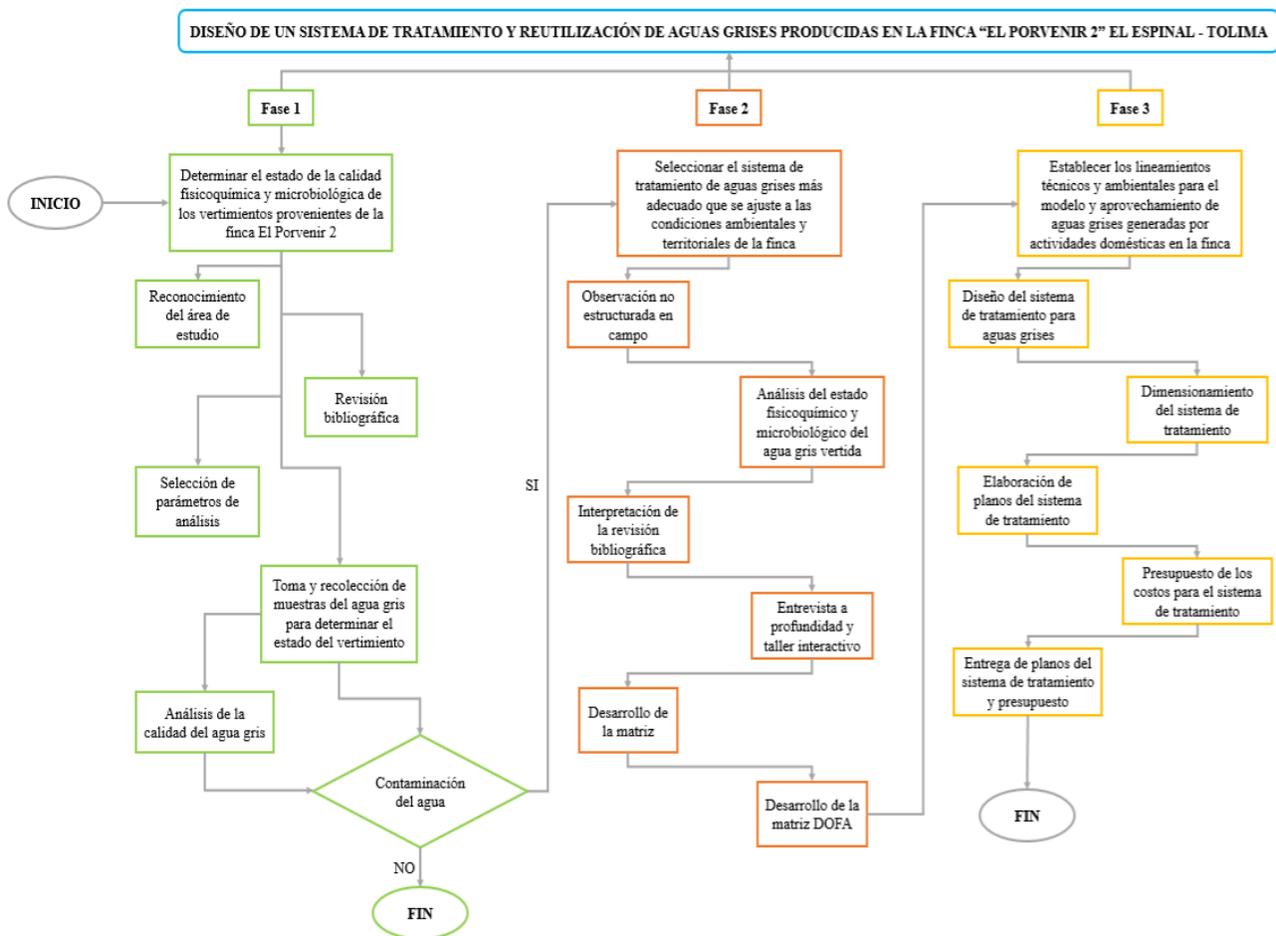
## 8.1.6 Instrumentos

Para el proyecto se necesitó instrumentos tales como documentos en los que se evidencia el desarrollo de las tecnologías más usadas para el tratamiento y reuso del agua gris, material fotográfico, libretas para la toma de datos e información, celulares para grabar las entrevistas realizadas en campo, 6 recipientes de vidrio para la toma de muestras y una nevera con suficiente hielo para el transporte de éstas y por último los materiales básicos para el proceso de aforo, cálculo de velocidad y área del cuerpo superficial hídrico a estudiar.

## 8.2 Metodología de la investigación

Con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos propuestos, la metodología se dividió en 3 fases teniendo en cuenta los 3 objetivos específicos planteados para el desarrollo del objetivo general. A continuación, se presenta un diagrama en el que se observa resumidamente cómo se ejecutó la presente investigación, así como una explicación específica de lo que incluyó.

Figura 6. Cuadro metodológico



Autoría propia, 2019.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## 8.2.1 Objetivo 1

Para el desarrollo de este objetivo se tuvo en cuenta la revisión bibliográfica que se planteó en el marco teórico, con el fin de recopilar información de las características de los diferentes parámetros de las aguas residuales domésticas y grises, sin embargo, se consideró necesario determinar el estado de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua vertida por medio de un análisis químico y bacteriológico, realizado por el laboratorio LASEREX acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), ISO 9001:2008 SC 6996 - 2 y GP1000: 2009 GP 168 - 2, debido a que corresponde a un tipo de agua (agua gris) que no ha sido muy estudiada en Colombia y que de ésta depende la debida selección del sistema de tratamiento y así dar cumplimiento al objetivo general del proyecto.

### 8.2.1.1 Selección de parámetros de análisis

Tomando como base la Resolución 0631 de 2015 en lo estipulado en el capítulo V, artículo 8, se establecieron los parámetros físico-químicos a evaluar en el vertimiento puntual de aguas grises a cuerpos de aguas superficiales (MADS, 2015). La revisión de esta norma, permitió definir los parámetros de interés de acuerdo a las características del agua gris por lo que se definió a criterio personal los parámetros apropiados para el desarrollo de la investigación. Para el caso de los parámetros microbiológicos, al hacer una revisión bibliográfica se pudo observar que es primordial la identificación de los coliformes fecales y totales, siendo que estas variables repercuten en la salud humana y en la decisión de si se puede reusar o no el agua gris. De tal forma se seleccionaron 11 parámetros presentados en la siguiente tabla.

Tabla 8. *Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos seleccionados para el análisis*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>
pH	0 – 14
DQO	mg/L O <sub>2</sub>
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
Sólidos suspendidos	mg/L
Sólidos sedimentables	mL/L
Grasas y aceites	mL/L
Sólidos totales	mL/L
Nitrógeno total	mg/L
Fósforo total	mg P/L
Recuento Coli fecal	UFC/100 mL
Recuento Coli total	UFC/100 mL

Autoría propia, 2019

### 8.2.1.2 Toma de muestras

Para el análisis químico y bacteriológico fue necesario realizar un reconocimiento del territorio para la identificación de la salida del vertimiento y de esta forma proceder a la toma de muestras. Dicha recolección se realizó teniendo en cuenta las instrucciones dadas por el Laboratorio LASEREX, en donde suministraron un manual de cómo hacer el debido procedimiento y la información básica requerida para

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

la radicación de la muestra, la cual consistió en información de ubicación temporo-espacial (Nombre de la empresa o finca donde se realizó el muestreo, Fecha, hora, sitio exacto de recolección de la muestra y nombre de la persona responsable). Igualmente, el Laboratorio proporcionó únicamente 2 recipientes esterilizados cada uno de 350 mL, para la recolección de la muestra objeto de análisis microbiológico, por lo que para los parámetros fisicoquímicos fue a criterio personal la totalidad de frascos; para el debido análisis se siguieron las indicaciones del laboratorio, siendo recipientes de vidrio de un 1 L con tapa, debidamente esterilizados. De tal forma se compraron 4 recipientes.

Figura 7. Recipientes utilizados para la toma de muestras



Autoría propia, 2019.

Al llegar a la finca “El Porvenir 2”, se determinó la posición y la altura en el que se encuentra ubicado el sitio de descarga del agua gris, obteniéndose las coordenadas 4° 07' 07" de latitud norte y 74° 49' 39" de longitud oeste. Inmediatamente a las 10:00 am del día 16 de marzo del 2019 se procedió primeramente a la toma de muestras fisicoquímicas y luego las microbiológicas. Para el transporte de las muestras fue necesario conservarlas en una nevera portátil donde mediante la adición de hielo se logró mantener las muestras a una temperatura de 4°C aproximadamente para su conservación, posteriormente en el transcurso al Laboratorio LASEREX ubicado en Ibagué, Tolima, se aseguró el menor tiempo posible desde la toma hasta su destino final.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 8. *Toma de muestras*



Autoría propia, 2019.

Pasado 2 meses el laboratorio suministró los resultados del análisis químico y bacteriológico del agua gris vertida en la finca “El Porvenir 2”.

### 8.2.1.3 *Análisis de la calidad del agua gris*

Para su respectivo análisis se procedió a comparar los datos obtenidos, que se pueden observar en el anexo 2, con los valores establecidos en la Resolución 1207 del 2014 y 0631 del 2015 y las directrices sugeridas para la reutilización del agua, instauradas en Guidelines for Water Reuse, por US EPA. Seguidamente se realizó una revisión bibliográfica, con el fin de comparar resultados en otros estudios y de conocer las razones del porqué del estado de las variables y asimismo indicar cuáles de éstas se relacionan.

En el anexo 3 se encuentra la secuencia lógica de los pasos que se realizaron para la determinación del estado de la calidad fisicoquímica y microbiológica de los vertimientos provenientes de la finca El Porvenir 2.

### 8.2.2 *Objetivo 2*

Para llevar a cabo la selección del sistema de tratamiento y reuso de aguas grises, como primera instancia se tuvo en cuenta cuatro fuentes principales de referencia, la observación en campo que permitió obtener una visión más precisa no sólo del vertimiento sino de la organización del territorio, asimismo se valoró el análisis del estado fisicoquímico y microbiológico del agua gris vertida, que junto con la tercera fuente, la revisión bibliográfica que se planteó en el estado del arte, ayudaron a la selección de los sistemas de tratamiento a comparar.

Por último, se consideró los residentes de la finca “El Porvenir 2”, con lo que se pretendió conocer por medio de entrevistas en profundidad el uso que le daban al agua y comprender la posición que tenían frente a la problemática, de igual forma se realizó un taller en el que se le dio a conocer las alternativas

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

a comparar y así dieran su punto de vista de cuál sería la mejor. Con todo y lo anterior fue posible estructurar la matriz y así seleccionar la alternativa más adecuada. De esta forma para una mayor precisión de lo realizado, se procede a explicar cada una de las fuentes de información ya mencionadas.

## *8.2.2.1 Observación no estructurada en campo*

Se tuvo en cuenta esta técnica dado que se realiza sin previa estructuración en relación a qué observar (conductas, grupos, lugares, momentos, etc.), permitiendo tener una observación con mayor grado de flexibilidad y apertura a todo lo que acontece la zona. Es así como se realizaron cinco visitas a la finca con el fin de tener un reconocimiento de cómo se distribuía el agua, las condiciones de saneamiento, identificación del vertimiento y de los cuerpos de agua afectados la salubridad de la familia, todo esto observándose en su contexto natural para realizar una adecuada e importante interpretación de la problemática.

## *8.2.2.2 Análisis del estado fisicoquímico y microbiológico del agua gris vertida*

Tras tener el análisis del primer objetivo se logró identificar si eran viables los posibles sistemas de tratamiento planteados en el estado del arte, dado que las características del agua vertida aclaraban o llegaban a la conclusión que algunas alternativas en general no eran viables porque realizaban otro tipo de procesos que no necesitaba este vertimiento, de esta manera permitió tener una selección más detallada de los sistemas a comparar.

## *8.2.2.3 Interpretación de la revisión bibliográfica*

Según Baena (1985) afirma que “La investigación documental es una técnica que consiste en la selección y recopilación de información por medio de la lectura y crítica de documentos y materiales bibliográficos, de bibliotecas, hemerotecas, centros de documentación e información” (p.72). Por esta razón fue valioso la recolección de información sistemáticamente referente a las características de los sistemas de tratamiento para aguas grises, usando para ello diferentes tipos de documentos tales como tesis de grado, artículos científicos y páginas web donde se indaga, interpreta y presenta información sobre este tema de estudio.

## *8.2.2.4 Entrevista en profundidad y taller interactivo*

Primeramente, se realizó un consentimiento informado para la participación de la entrevista, como se puede observar en el anexo 4. Este tipo de entrevista es un método de investigación cualitativo que se caracteriza por ser flexible, en donde por medio de reiterados encuentros cara a cara entre el investigador y los informantes, sin ningún protocolo o formulario de entrevista, se da la comprensión de las perspectivas que tienen los informantes respecto de sus vidas, experiencias o situaciones. Este método sigue el modelo de una conversación entre iguales, y no de un intercambio formal de preguntas y respuestas como lo es una encuesta, permitiendo tener una conversación fluida en la que tras la recopilación de información se pueden realizar nuevas preguntas (Taylor y Bogdan, 1992). Para este tipo de entrevista Taylor et al. (1992) afirma “Ni el número ni el tipo de informantes se especifica de antemano. El investigador comienza con una idea general sobre las personas a las que entrevistará y el modo de encontrarlas, pero está dispuesto a cambiar de curso después de las entrevistas iniciales” (p.6).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

De este modo se seleccionaron únicamente los integrantes adultos de la familia Ortiz (4 personas), siendo estos los implicados directamente frente a la problemática, y los que podían suministrar la información requerida y necesaria de aspectos relacionados con la finca y el consumo del agua, para la selección y el diseño del sistema de tratamiento. En total se realizaron dos encuentros en el primer semestre del año 2019 y otros dos en el siguiente semestre en la finca “El Porvenir 2”, con una duración promedio de 40 minutos cada una. Como instrumento de trabajo se utilizó una guía, anexo 5, que permitió listar los temas más relevantes que se querían tratar y los que surgieron a lo largo de la entrevista con los informantes.

En uno de los encuentros del segundo semestre del año 2019 se realizó un taller interactivo con la familia, teniendo como principal instrumento un folleto, anexo 6, en el que se dio a conocer los sistemas de tratamiento que se seleccionaron a comparar, junto con las características, ventajas y desventajas que tienen estos, con el fin de proporcionar un aprendizaje dinámico tanto para nosotras como para los residentes, teniendo una construcción de conocimientos desde la información, observación y experiencia personal en la aplicación de lo compartido (Espacio CV, 2012).

## 8.2.2.5 Desarrollo de la matriz

Como se indicó esta serie de pasos llevaron a una recopilación de información que estableció una matriz con los sistemas de tratamiento a comparar. La estructuración de la matriz se basó en una realizada por Álvarez y Murillo (2018) quienes compararon diferentes alternativas que cumplieran específicamente con la depuración o eliminación de variables fisicoquímicas y microbiológicas, evaluándolas según 4 parámetros (técnico, social, ambiental y económico).

Primeramente, para la construcción de la matriz comparativa se identificaron los criterios de evaluación para cada uno de los componentes ya mencionados, aclarando que el ambiental se cambió por ecológico, esto se hizo a partir de la revisión bibliográfica de estudios, para posteriormente seleccionarlos a criterio personal. Luego para identificar los efectos de las alternativas sobre cada criterio, se procedió a calificar cada alternativa. Para ello se usó la escala de calificación establecida por Álvarez y Murillo (2018) quienes asignaron un valor de 1, 2 y 3, donde: 1 es malo; 3 es adecuado y 5 es bueno. Para un mejor entendimiento como se observa en la tabla 9, se le agregó la descripción de que es lo que se considera cada uno.

Tabla 9. Escala de numeración

Calificación	Definición
1	<b>Malo.</b> No cumple con el criterio de evaluación, realizando todo lo contrario, es decir un sistema de tratamiento que no desempeña lo establecido en el criterio.
2	<b>Adecuado.</b> No desempeña en su totalidad lo establecido en el criterio, sin embargo no se considera que afecte la elección del sistema de tratamiento y reutilización.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

<b>3</b>	<b>Bueno.</b> Cumple con lo establecido en el criterio de evaluación, infiriendo que el sistema de tratamiento favorece al desarrollo eficiente de lo estipulado.
Autoría propia a partir de lo estipulado por Álvarez y Murillo (2018).	

Posteriormente se realizó una tabla justificando la razón del valor establecido para cada criterio. Finalmente, para la selección del sistema de tratamiento más adecuado, los resultados para cada tecnología fueron sumados para determinar en una escala colorimétrica la aplicabilidad de cada tecnología, como se observa a continuación.

Tabla 10. Valoración con escala colorimétrica

Escala colorimétrica		
Valor	Color	Definición
50 a 65		<b>Aplicable.</b> Es un sistema de tratamiento y reutilización que cumple con más del 90% de los criterios.
35 a 49		<b>Medianamente aplicable.</b> Es un sistema de tratamiento y reutilización que cumple mínimo con aproximadamente el 70% de los criterios.
1 a 34		<b>No aplicable.</b> Es un sistema de tratamiento y reutilización que cumple con aproximadamente menos del 60% de los criterios.

Autoría propia a partir de lo estipulado por Álvarez y Murillo (2018).

A continuación, se observa la matriz comparativa realizada con base en lo estipulado por Álvarez y Murillo (2018) en su trabajo de grado titulado “Propuesta para el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca”.

Tabla 11. Matriz comparativa

Tecnologías	Componentes	Criterios de evaluación	Fase	Calificación	Calificación total
<b>A<sub>1</sub></b>	<b>Técnico</b>	C <sub>1</sub>	Construcción	...	...
		C <sub>2</sub>	Mantenimiento	...	
	<b>Ecológico</b>	...		...	
		C <sub>j</sub>		...	
	<b>Social</b>	...		...	
		C <sub>n</sub>		...	
	<b>Económico</b>	...		...	
	C <sub>i</sub>		...		

Autoría propia a partir de lo estipulado por Álvarez y Murillo (2018).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## 8.2.2.6 Determinación de la matriz DOFA

Con el objetivo de tener una mayor certeza se procedió a realizar la matriz DOFA que permitió tener los enfoques claros de cuáles son los aspectos buenos y malos del sistema de tratamiento a seleccionar. Según sus siglas la matriz DOFA permite definir los aspectos tanto internos como externos que favorecen o inhiben el buen funcionamiento de las alternativas. La matriz se desglosó de la siguiente manera: (D) debilidades: se tuvo en cuenta los aspectos internos que de alguna u otra manera no permiten el cumplimiento de los objetivos planteados; (O) oportunidades: se refiere a los acontecimientos o características externas a los sistemas que puedan ser utilizadas a favor de éste para garantizar su adecuado funcionamiento; (F) Fortalezas: son las características internas del sistema que permiten impulsar al mismo y poder cumplir las metas planteadas y por último (A) Amenazas: son los acontecimientos externos de los sistemas que en su mayoría son incontrolables por parte de la familia.

Figura 9. Matriz DOFA



(Cajal, 2018).

En el anexo 7 se observa la secuencia lógica de los pasos que se realizaron para seleccionar el sistema de tratamiento de aguas grises más adecuado que se ajuste a las condiciones ambientales y territoriales de la finca.

## 8.2.3 Objetivo 3

Para el cumplimiento de este objetivo, se procedió a desarrollar los lineamientos técnicos y ambientales para el diseño del sistema de tratamiento seleccionado mediante la matriz comparativa realizada anteriormente. Por esta razón, se midió el caudal del vertimiento mediante la técnica de aforo y el caudal del cuerpo hídrico superficial por el método de área-velocidad o flotadores.

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

### 8.2.3.1 Aforo

Esta actividad se realizó en el segundo semestre del 2019 y procedió a seguir el método de aforo aplicable mencionado en el “Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales” del IDEAM realizado en el 2007, cabe aclarar que se hizo durante 15 horas. De esta forma que se colocó un balde de bajo de la descarga de tal manera que recibiera todo el flujo; simultáneamente se activó el cronómetro. Se tomó un volumen de muestra de 5 L y se prosiguió a medir el tiempo transcurrido desde el inicio hasta la finalización de la recolección de la descarga; siendo  $Q$  el caudal (L/s),  $V$  el volumen (L), y  $t$  el tiempo (s). Finalmente se procedió a medir el  $Q$  de cada sección de tiempo para luego promediarlo. Con los datos de la hora y el caudal se realizó una gráfica en donde se pudiera visualizar los picos, dando una referencia en qué tiempo específicamente la familia vierte más agua, es decir un caudal mayor. En el anexo 8 se encuentra parte de cómo se organizaron los datos de hora, volumen y tiempo.

Figura 10. Aforo en la finca El Porvenir 2



Autoría propia, 2019.

### 8.2.3.2 Medición del caudal del cuerpo hídrico superficial

Se seleccionó en la quebrada, un tramo uniforme y recto, sin piedras grandes ni tallos de plantas, en el que el agua fluyera libremente, sin turbulencias; posteriormente se eligió en el centro del cauce un sitio inicial A y uno final B, a lo largo de la canal, el cual se llamó distancia, que fue de 5 m. Se prosiguió a medir cuatro veces el tiempo de recorrido de un pinpón del punto A al punto B, esos resultados se promediaron para luego calcular la velocidad (m/s), dividiendo la distancia (m) entre el tiempo (s).

El siguiente paso fue determinar el área de una sección de la quebrada, por lo que se midió el ancho para dividirlo en cuatro partes iguales, denominadas fajas, que con ayuda de palos de madera se logró medir la profundidad de cada una. Sabiendo la altura y el ancho de cada faja se procedió a calcular el área de cada una para sumar los resultados y así tener el área de la sección. Finalmente, para conocer el caudal

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

(m<sup>3</sup>/s), se multiplicó el área de la sección (m<sup>2</sup>) y la velocidad promedio (m/s). Las unidades de este cálculo se pasaron de m<sup>3</sup>/s a L/s.

Figura 11. *Medición de la velocidad y área de la quebrada Coyarcó*



Autoría propia, 2019.

### 8.2.3.3 *Estimación de caudal de diseño*

Para este paso se tuvo en cuenta el caudal de aforo (0,049 L/s) el cual corresponde a 15 horas de vertimiento intermitente, por lo que se calculó a cuánto equivaldría éste para 24 horas.

### 8.2.3.4 *Dimensionamiento de la trampa de grasas*

Teniendo como referencia la Resolución 330 del 2017 y lo adoptado del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico del 2010 se procedió a realizar las siguientes ecuaciones.

Figura 12. *Volumen de la trampa de grasas*

$$V = Q(tR)$$

V: Volumen (m<sup>3</sup>)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/min)

tR: Tiempo de retención (min)

Figura 13. *Área de la trampa de grasas*

$$A = \frac{V}{D}$$

A: Área (m<sup>2</sup>)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/min)

D: Profundidad del agua (m)

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCTIVIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 14. *Ancho de la trampa de grasas*

$$a = \sqrt{A}$$

A: Área (m<sup>2</sup>)  
Q: Ancho (m)

## 8.2.3.5 Dimensionamiento del humedal subsuperficial de flujo horizontal

Teniendo como referencia a Romero (2013) en su libro “Tratamiento de Aguas Residuales- Teoría y principios de diseño” se siguieron estas ecuaciones:

Figura 15. *Cálculo del volumen del humedal*

$$V = Q(TRH)$$

V: Volumen (m<sup>3</sup>)  
Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)  
TRH: Tiempo de retención hidráulica (d)

Figura 16. *Cálculo del área superficial del humedal*

$$A_s = \frac{V}{D}$$

A: Área superficial (m<sup>2</sup>)  
V: Volumen (m<sup>3</sup>)  
D: Profundidad del agua (m)

Figura 17. *Área de la sección transversal del humedal*

$$A_t = \frac{Q}{K\left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)}$$

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/día)  
K: Conductividad eléctrica del lecho (m/d)  
 $\left(\frac{\Delta h}{\Delta L}\right)$ : Pendiente del lecho

Figura 18. *Carga hidráulica superficial del humedal*

$$C_s = \frac{Q(C_o)}{A_s}$$

C<sub>s</sub>: Carga hidráulica superficial  
C<sub>o</sub>: Concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluente (mg/L)  
Q: Caudal (m<sup>3</sup>/día)  
A<sub>s</sub>: Área superficial (m<sup>2</sup>)

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 19. *Tiempo de retención del humedal*

$$T_r = \frac{\ln C_o - \ln C_e}{K_T}$$

$T_r$ : Tiempo de retención (d)

$C_o$ : Concentración de  $DBO_5$  en el afluente (mg/L)

$C_e$ : Concentración de  $DBO_5$  en el efluente (mg/L)

$K_T$ : Constante

Figura 20. Ancho del humedal

$$a = \frac{A_t}{D}$$

$a$ : Ancho (m)

$A_t$ : Área de la sección transversal ( $m^2$ )

$D$ : Profundidad del agua (m)

Figura 21. *Longitud del humedal*

$$l = \frac{A_s}{a}$$

$l$ : Longitud (m)

$A_s$ : Área superficial ( $m^2$ )

$A$ : Ancho (m)

## 8.2.3.6 Dimensionamiento del filtro

Figura 22. *Volumen del filtro*

$$V = P(a)$$

$V$ : Volumen ( $m^3$ )

$P$ : Población

$A$ : Ancho (m)

Figura 23. *Longitud del filtro*

$$l = \frac{V}{a(D)}$$

$l$ : Longitud (m)

$V$ : Volumen ( $m^3$ )

$a$ : Ancho (m)

$D$ : Profundidad (m)

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## 8.2.3.7 *Elaboración de planos del sistema de tratamiento*

Después de haber obtenido el dimensionamiento del sistema de tratamiento se elaboraron planos en AutoCAD con el objetivo de dar a conocer las etapas con las que cuenta este proceso y se realizaron los planos desde diferentes puntos de vista de forma plana.

## 8.2.3.8 *Presupuesto de los costos aproximados para el sistema de tratamiento*

Se elaboró una estimación de los costos que se requieren para construir el sistema de tratamiento, teniendo en cuenta el terreno, materiales, maquinaria y mano de obra; mediante una entrevista en profundidad que se le realizó al Ingeniero Edward Sarmiento y al maestro de obra de confianza Jhon Mosquera, quienes mediante su experiencia profesional y empírica dieron a conocer la cantidad de materiales que se requieren para la construcción de dicho sistema.

Seguidamente en la ferretería San Carlos, ubicada en el municipio de El Espinal se realizó la cotización de los materiales requeridos incluyendo el costo que tiene el transporte de estos hasta la vereda La Caimanera. Además, se dieron a conocer los planos con sus debidas dimensiones al maestro de obra, quien nos dio a conocer el valor de su trabajo y el tiempo estimado que tardaría en realizar dicha construcción.

## 8.2.3.9 *Lineamientos ambientales (Matriz)*

Los lineamientos ambientales para el diseño del sistema de tratamiento se evaluaron mediante una matriz de impacto ambiental, para este caso se escogió la matriz de Vester, la cual fue diseñada por el alemán Frederick Vester como una técnica que facilita la identificación y determinación de las causas y consecuencias de una situación determinada (Cuthbert, s.f.).

Para el diseño de la matriz se determinaron los posibles problemas y/o impactos ambientales que se pueden generar en el diseño del sistema de tratamiento, los cuales se ubican por las filas y por columnas en un mismo orden como se muestra en la siguiente tabla (Cuthbert, s.f.).

Tabla 12. *Matriz de Vester*

<b>Problemas</b>	Problema1	Problema 2	Problema n	<b>Total de activos</b>
Problema 1				
Problema 2				
Problema n				
<b>Total de pasivos</b>				

(Cuthbert, s.f.).

La metodología que se utilizó para completar la matriz y posteriormente interpretarla fue la siguiente: Identificar los problemas y/o impactos que se pueden generar en el ambiente con el sistema de tratamiento.

- Listar los problemas y/o impactos de manera más relevante entre todos los identificados.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

- Asignación numérica a cada problema y/o impacto para facilitar el desarrollo de la matriz.
- Construir la matriz ubicando los problemas y/o impactos por filas y columnas siguiendo el mismo orden de relevancia.
- A partir de los problemas y/o impactos identificados se realiza el análisis relacional (Figura 28); para ello se asignan ponderaciones a cada par de problemas manteniendo la siguiente pregunta ¿Cómo influye el problema y/o impacto 1 sobre el problema y/o impacto 2?
- Se calcula el total por filas y columnas. La suma total de las filas corresponde al total de activos y la suma total de las columnas corresponde al total de pasivos, interpretándose como el nivel de consecuencia o efecto.

Tabla 13. *Ponderación para el análisis relacional*

Valor	Descripción
0	No existe influencia directa entre el primer y segundo problema
1	Existe una influencia débil entre el primer y segundo problema
2	Existe una influencia mediana entre el primer y segundo problema
3	Existe un influencia fuerte entre el primer y segundo problema

(Cuthbert, s.f.).

**Nota.** Es importante destacar que la relación que se establece es diferente para cada uno, por ende, nos entrega valores diferentes y, las celdas correspondientes a la diagonal de la matriz quedan se les asigna valor de 0, debido a que no se puede relacionar el problema y/o impactos consigo mismo.

Se elabora un plano cartesiano para lograr una clasificación de los problemas (Críticos, pasivos, indiferentes y activos) de acuerdo a las características de causa efecto de cada uno de ellos, se deben seguir los siguientes pasos:

- Se construye un eje de eje de coordenadas donde en el eje X se situarán los valores de los pasivos y en el eje Y los valores de los activos.
- A partir de los valores resultantes se ubican los pasivos y activos en el eje y valor correspondiente, con el fin de que se ubiquen cada uno de ellos en un cuadrante, los cuales tienen la siguiente clasificación (Cuthbert, s.f.):

**Cuadrante I - Problemas críticos o centrales.** Problemas de total activo y total pasivo altos. Se entienden como problemas de gran causalidad que a su vez son causados por la mayoría de los demás. Requieren gran cuidado en su análisis y manejo ya que de su intervención dependen en gran medida los resultados finales.

**Cuadrante II - Problemas pasivos o efectos de los problemas críticos.** Problemas de total pasivo alto y total activo bajo. Se entienden como problemas sin gran influencia causal sobre los demás

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

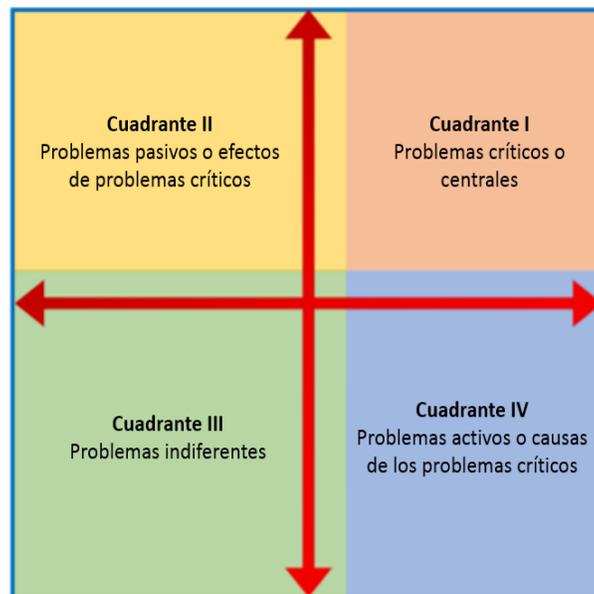
pero que son causados por la mayoría. Se utilizan como indicadores de cambio y de eficiencia de la intervención de problemas activos.

**Cuadrante III - Problemas indiferentes.** Problemas de total activos y total pasivos bajos. Son problemas de baja influencia causal además que no son causados por la mayoría de los demás. Son problemas de baja prioridad dentro del sistema analizado.

**Cuadrante IV - Problemas activos o causas de los problemas críticos.** Problemas de total de activos alto y total pasivo bajo. Son problemas de alta influencia sobre la mayoría de los restantes pero que no son causados por otros. Son problemas claves ya que son causa primaria del problema central y por ende requieren atención y manejo crucial.

**Nota.** Cuando la ubicación de un problema y/o impacto en el plano cartesiano no es claro, debe ser asignado según la figura 24.

Figura 24. Gráfico de interpretación para el plano cartesiano de la matriz de Vester



(Garay, 2018).

En el anexo 9 se observa la secuencia lógica de los pasos que se realizaron para establecer los lineamientos técnicos y ambientales para el modelo de tratamiento y reutilización de aguas grises generadas por actividades domésticas en la finca.

### 8.3 Plan de trabajo

Se observa en la figura 25 la principal actividad, instrumento, técnica y resultado de cada fase, dando a conocer que es primordial tener esta secuencia de pasos para cumplir el objetivo propuesto.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 25. Resumen metodológico – Plan de trabajo



Autoría propia, 2019.

## 9 Aspectos éticos

La investigación se sustentó en los principios de la ética, siendo que se dio el consentimiento informado con el fin de conocer la aceptación o no de los integrantes de la familia Ortiz, explicándoles el propósito del proyecto y las actividades que se iban a emplear que posiblemente iban a generar molestias o incomodidades, asimismo, se informó la garantía de recibir respuesta o aclaraciones a cualquier duda y

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

la libertad de no participar o de retirarse en cualquier momento. Igualmente, tras el desarrollo del proyecto no hubo alteración de los datos y existió el compromiso de proporcionar información actualizada obtenida durante el estudio.

## 10 Resultados e interpretación de resultados

Se presenta a continuación los resultados obtenidos de la investigación, ordenados según las fases vistas en la metodología.

### 10.1 Determinación del estado de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua gris

Al establecer que el laboratorio LASEREX realizará el análisis químico y bacteriológico del vertimiento, permitió obtener una base inicial de las condiciones del agua, dando como resultado los valores presentados en la siguiente tabla.

Tabla 14. Reporte de resultados análisis químico y bacteriológico de aguas – Laboratorio LASEREX

Parámetro	Unidades	Muestra (Agua gris)
pH	0 – 14	7,4
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	322,7
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	18,7
Sólidos suspendidos	mg/L	14
Sólidos sedimentables	mL/L	8
Grasas y aceites	mL/L	32
Sólidos totales	mL/L	1330
Nitrógeno total	mg/L	2,6
Fósforo total	mg P/L	4,9
Recuento Coli fecal	UFC/100 mL	3x10 <sup>7</sup>
Recuento Coli total	UFC/100 mL	2x10 <sup>5</sup>

Autoría propia a partir de los resultados por parte del laboratorio LASEREX, 2019

A continuación, se comparan los datos arrojados en el análisis químico y bacteriológico, con los valores establecidos en la Resolución 1207 del 2014 y 0631 del 2015 y las directrices sugeridas para la reutilización del agua, establecidas en Guidelines for Water Reuse, por US EPA en el 2012.

Tabla 15. Comparación del análisis del agua con la Resolución 1207 del 2014, Resolución 0631 del 2015 de Colombia y Guidelines for Water Reuse por la EPA.

Parámetro	Unidades	Reporte del análisis fisicoquímico por parte del laboratorio LASEREX (01 – abril - 2019)			Guidelines for Water Reuse 2012 US EPA
		Resolución 0631 del 2015	Resolución 1207 del 2014		
pH	0 – 14	7,4	6 – 9	6 – 9	6,5 – 8,5
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	322,7	200	-	-

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	18,7	-	-	10
Sólidos suspendidos	mg/L	14	100	-	30
Sólidos sedimentables	mL/L	8	5	-	-
Grasas y aceites	mL/L	32	20	-	-
Sólidos totales	mL/L	1330	-	-	-
Nitrógeno total	mg/L	2,6	-	-	-
Fósforo total	mg P/L	4,9	-	-	-
Recuento Coli fecal	UFC/100 mL	3x10 <sup>7</sup>	-	-	0
Recuento Coli total	UFC/100 mL	2x10 <sup>5</sup>	-	-	0

Autoría propia a partir de datos tomados de normativa colombiana y la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos.

De acuerdo con la tabla anterior, es posible determinar a simple vista que hay varios parámetros que sobrepasan lo establecido en la normatividad. Sin embargo, cabe mencionar que las características de las aguas residuales grises varían mucho entre hogares dado que dependen de los hábitos alimenticios y el estándar de vida en el que se encuentren (Karnapa, 2016). Para efectos de una mejor organización se presenta específicamente el análisis y discusión de los resultados obtenidos por parámetro.

### 10.1.1 Potencias de hidrógeno (pH)

El valor de pH de un agua residual está directamente relacionado con las actividades de lavado que se realizan en las viviendas, principalmente de fibras textiles por el uso de detergentes y jabones que contienen compuestos químicos (Bedoya, 2005). Sin embargo, las aguas residuales de origen doméstico suelen tener un pH cercano o próximo al neutro debido a que los jabones comunes, que se utilizan en el lavamanos, por ejemplo, cuentan con un pH entre 9 y 11 (Espigares et al., s.f.).

Romero (2013) manifiesta que “El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamientos y para la existencia de la mayoría de vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5” (p. 66). En este caso, para la muestra de agua gris según el dato reportado por el laboratorio LASEREX, la concentración de jabones y detergentes es alta, pero no excesiva y cumple con el valor límite máximo permisible estipulado en la Resolución 0631 del 2015 para soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares y con lo enunciado por Romero.

### 10.1.2 Sólidos suspendidos totales (SST)

Oteng et al. (2018) asegura que los altos valores de SST se deben al agua procedente de la cocina y la lavandería, esto puede deberse al lavado de vegetales, frutas, tubérculos, ropa, zapatos y muchos otros que pueden contener arena, arcilla y otros materiales. Dicho esto, se considera que no hay una alta

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

presencia de estos elementos dado que el valor obtenido de SST está por debajo 16 mg/L del establecido por la US ESPA para reusar el agua gris, cabe aclarar que este valor de reuso es exclusivo para el riego de cultivos ya que en otras actividades no lo tienen en cuenta. Estas aguas tienen mayor concentración de sólidos, como se evidencia en un estudio que estipulan valores entre 48- 103 mg/L de SST y un estudio con valores que oscilan entre 54- 720 mg/L de SST (Atanasova *et al.*, 2017; Eriksson, Auffarth, Henze y Ledin, 2002). Sin embargo, esto no garantiza que el vertimiento siempre tenga este bajo valor, siendo que al momento de tomar las muestras la familia ya había almorzado, por lo que el lavado de los tubérculos y vegetales se había hecho horas antes, asimismo los residentes no dejaron muchos residuos de comida que pudieran llegar como vertimiento al momento en que se lavó la loza.

Por lo que se considera que el valor de SST se deba a los sólidos provenientes de la lavandería, debido a que la actividad principal que se realizó al momento de la toma de muestras fue el lavado de ropa y zapatos que según Eriksson *et al.* (2002) dicha agua contiene arena y arcilla de la ropa y azeolitas de los detergentes.

Otros sólidos que se pueden observar a simple vista son los fluidos de animales crudos provenientes de los fregaderos de la cocina y el cabello resultado de la limpieza corporal (Eriksson *et al.*, 2002). Como se mencionó anteriormente al momento de la recolección de la muestra ya había pasado la hora de almuerzo, por lo que los fluidos de animales crudos que salieron como residuo al momento de preparar la comida no se pudieron tener en cuenta para el análisis. Por el contrario, si es posible determinar la existencia de los sólidos provenientes de las duchas como el cabello, debido a que al momento de la toma de muestras un integrante de la familia se estaba bañando.

Aunque se espera que el agua gris contenga una menor cantidad de sólidos que el agua residual doméstica, no se debe omitir que existe una posibilidad de que se obstruya el sistema de tratamiento. La razón según Eriksson *et al.* (2002) “Es que la combinación de coloides y tensioactivos (de los detergentes) podría causar la estabilización de la fase sólida, debido a la sorción de los tensioactivos en las superficies coloidales” (p.87).

### *10.1.3 Sólidos sedimentables*

Al no encontrarse un valor límite de Ssed para el reuso del agua gris, primero se comparó el resultado del análisis, 8 mL/L, con lo establecido por Eriksson *et al.* (2002) que menciona valores que oscilan entre 6.4 - 48 mL/L de Ssed característicos de aguas grises provenientes de la cocina, baño y lavandería, es así que se denota que la muestra estudiada tiene un valor no muy alto y lógico de este parámetro, asimismo se comparó este dato con el valor límite máximo permisible de Ssed en vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas (5 mL/L), estipulado por la Resolución 0631 del 2015 para soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares, con el fin de tener un valor referencial, ya que al conocerlo se sobreentiende que para que el agua estudiada sea reutilizada debe tener un valor menor que éste, es decir, inferior a lo que está permitido verter de agua residual doméstica, sabiendo que ésta es mucho más contaminante y que lo mencionado no incluye la reutilización del agua.

Los sólidos sedimentables, son una medida aproximada de la cantidad de fango que se puede desarrollar. Por lo que se deduce con el resultado de que no hay probabilidad de una excesiva formación de fango en el sistema, es decir hay poca materia orgánica, esto se evidencia debido a que el agua vertida no

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

presentaba muchos SST en donde se distinguen los sólidos sedimentables que se depositan por gravedad en el fondo de los receptores (Naturaleza del agua residual doméstica y su tratamiento, s.f.). Lo anterior no induce que hay que dejarlo pasar, ya que los fangos sin estabilizar generan olores por putrefacción y riesgo de proliferación de bacterias infecciosas (Sanz, 2014). De igual forma la turbidez que generan estos sólidos en el agua dificulta el paso libre del caudal generando una obstrucción en el sistema (García, 2002).

### *10.1.4 Sólidos totales*

En revisión bibliográfica no se concreta un valor límite de ST que se deba tener en cuenta para el reuso de aguas grises. Romero (2013) cuando da a conocer las características de las aguas residuales domésticas, plantea que los ST no deben sobrepasar los 720 mg/L, sin embargo, dicho valor se encuentra por debajo del dato obtenido por parte del análisis ambiental, ya que este fue de 1330 mg/L. Se puede inferir que esta concentración de ST es debido a la cantidad de consumo, el tipo y marca de productos de aseo que emplean, las posibles cargas de arena y fibras provenientes de las actividades realizadas en el lavadero o, por la fuente de agua con la que se abastece la finca.

Por otro lado, la literatura reporta valores típicos de este parámetro entre 113 – 2410 mg/L variando según sus actividades de procedencia (Eriksson et al., 2002). Al realizar la comparación con los datos obtenidos en el presente estudio, se indica que se encuentran dentro de los rangos correspondientes con valor de 1330 mg/L, puede ser a causa de que al momento de la toma de muestras en el vertimiento en la finca se estaban realizando actividades en el lavadero (Lavado de ropa y zapatos) y como se mencionó anteriormente es posible que haya presencia de arenas y/o gravas.

### *10.1.5 DQO y DBO<sub>5</sub>*

Dado a que no se encontró en la revisión bibliográfica ningún valor de DQO para el reuso del agua gris, se procedió a comparar el resultado de este parámetro (322, 7 mg/L O<sub>2</sub>) con el valor límite máximo permisible de DQO en vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas (200 mg/L O<sub>2</sub>), estipulado por la Resolución 0631 del 2015 para soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares, con el fin de tener un valor referencial, ya que al conocerlo se sobreentiende que para que el agua estudiada sea reutilizada debe tener un valor mucho menor que éste, es decir, inferior a lo que está permitido verter de agua residual doméstica, sabiendo que ésta es mucho más contaminante y que lo mencionado no incluye la reutilización del agua.

Karnapa (2016) afirma que la alta presencia de DQO se debe al elevado consumo de productos químicos durante las actividades de limpieza. Es de esta forma que se relaciona la alta concentración de DQO en el agua gris, debido a que la familia usa varios productos de limpieza en su aseo personal, como (jabón Johnson, shampoo y acondicionador pantene), además en las actividades de lavado ya sea de la ropa o de la losa usan agentes químicos que se encuentran en los detergentes y jabones. Los agentes tensoactivos presentes en el agua gris pueden ser de naturaleza catiónica o aniónica, esto influye en los tipos de productos usados, no obstante, la mayoría de los artículos de limpieza y lavandería son aniónicos (Oteng et al., 2018).

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Este parámetro convencional de agua residual siempre muestra un dominio sobre la DBO<sub>5</sub>, ya que, para el caso de las aguas grises, la biodegradabilidad de dichas aguas está determinada por la relación DBO<sub>5</sub>/DQO, la cual determina la facilidad con que las bacterias pueden descomponer la materia orgánica (Oteng et al., 2018). Principalmente, todos los tipos de aguas grises muestran buena biodegradabilidad en estos términos (Li, Wichmann y Otterpohl, 2009). Las relaciones promedio de DBO<sub>5</sub>/DQO en estas aguas han oscilado entre 0,31 y 0,71 (Halalsheh *et al.*, 2008). Esta relación no se ve reflejada en el agua vertida estudiada, siendo que, aunque sí existe una elevada dominancia de la DQO y la concentración de DBO<sub>5</sub> es muy baja (18,7 mg/L O<sub>2</sub>), el valor de la relación da 0,06, es decir que existe muy poca materia orgánica que se puede biodegradar.

El dominio de la DQO se debe según Oteng et al. (2018) a la presencia de compuestos orgánicos xenobióticos (XOC) sus siglas en inglés, que son agregados orgánicos sintéticos que están presentes en productos químicos, domésticos y farmacéuticos como los son los blanqueadores, detergentes, jabones, champús, perfumes, conservantes, colorantes y limpiadores. Esto indica que la muestra tenía más de este tipo de compuestos que de residuos orgánicos, ya que dichos residuos se ven reflejados en el bajo valor de la DBO<sub>5</sub>, siendo estos más que todo alimentos que principalmente son producto del agua residual de la cocina, generando esa elevada dominancia de DQO sobre la DBO<sub>5</sub>.

Aunque el valor de la DBO<sub>5</sub> se considera muy bajo, es importante tener en cuenta una alternativa que minimice este parámetro, ya que se observa en la tabla 15 que el máximo valor que se permite para que el agua sea reutilizada es de 10 mg/ L O<sub>2</sub>, es decir que se está sobrepasando 8,7 mg/ L O<sub>2</sub>.

### *10.1.6 Grasas y aceites*

Normalmente, a las grasas y los aceites se les conoce por la baja solubilidad que tienen en el agua y, por su tendencia a separarse de la fase acuosa; además, su presencia dificulta el transporte de los residuos por las tuberías (Barba, 2002). Este parámetro obtuvo un valor de 32 mg/L sobrepasando lo establecido (20 mg/L) en la Resolución 0631 del 2015 de Colombia; esto permite suponer que las aguas que están siendo vertidas a la fuente superficial Coyarcó pueden estar presentando filtraciones a la canaleta de aguas grises, ya que, si por este criterio fuera, se podría considerar como agua proveniente de actividades agroindustriales y ganaderas.

Desde otro punto de vista, Al-Jayyousi (2003) establece valores de concentración de grasas y aceites de 7 a 230 mg/L; lo que permite compararlo con la concentración reportada (32 mg/L), debido a que se encuentra dentro del rango mencionado en la literatura. Dicho valor, puede estar influenciado en la disposición final que se le da al aceite de cocina después de su uso pues, por lo general la mayoría de personas lo vierte por el sifón del lavavajillas, donde posteriormente este se adhiere a las tuberías para solidificarse y terminar creando una obstrucción (Niño y Martínez, 2013).

### *10.1.7 Nitrógeno total*

El nitrógeno total es un criterio importante dentro de las aguas residuales dado que es necesario para el crecimiento de los microorganismos; por esta razón la literatura establece un valor de 5 mg/L para el

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

vertimiento de aguas residuales (Sardiñas y Pérez, 2004). Y por otra parte se reportan valores entre 0.6 y 74 mg/L de nitrógeno total para aguas grises si ningún tratamiento (Atanasova *et al.*, 2017).

En los dos reportes bibliográficos mencionados, el valor de nitrógeno total en este estudio se encuentra dentro de los rangos, con una concentración de 2.6 mg/L de dicho parámetro en el agua gris analizada. El nitrógeno en aguas residuales domésticas se encuentra en forma de urea, pero en aguas grises no es común tener presencia de estos criterios, pues son originadas principalmente en la zona de lavadero, cocina, lavamanos y duchas. Sin embargo, el valor de nitrógeno total que contiene el agua gris de muestra, da la posibilidad de comprender que principalmente en la zona de ducha y lavamanos se vierte una pequeña cantidad de dicha sustancia orgánica, que generalmente la contiene la orina y el sudor.

## 10.1.8 Fósforo total

El fósforo, es un nutriente esencial para el crecimiento de algas y bacterias, donde es predominante el proceso de eutroficación, debido a que algunas algas suplen la ausencia de nitrógeno en el agua y lo fijan en la atmósfera (Jaramillo, Cortés y Flórez, 2015). Para este parámetro la Resolución 0631 de 2015 no establece un valor límite permisible, por lo que para su análisis se utilizó el valor reportado en literatura, el cual se encuentra entre 4 mg/L (Concentraciones bajas) y 14 mg/L (Concentraciones altas) de modo que el vertimiento de aguas residuales directamente a cuerpos de agua puede causar la eutroficación de los mismos si no se remueve rápidamente (Jaramillo *et al.*, 20015).

El valor del agua gris estudiada es de 4.9 mg/L encontrándose dentro del rango mencionado y está directamente relacionado con el uso de detergentes no biodegradables para el lavado de ropa o limpieza en general. Cuando se tienen altas concentraciones de fósforo en aguas grises que son vertidas a fuentes superficiales hace que las algas presentes crezcan más rápido y en consecuencia llevan al deterioramiento de la calidad del agua, los hábitats y, asimismo, reduce el oxígeno que las especies acuáticas necesitan (Ronzano y Dapena, s.f).

## 10.1.9 Coliformes fecales y totales

Como se observa en la tabla 15, la US EPA en Guidelines of Water Reuse establece que para que el agua gris sea reutilizada tiene que haber 0 UFC/100 mL tanto de coliformes fecales como de totales, valores que no se encuentran en el agua vertida, sabiendo que para que estos grupos de coliformes no se detecten en el agua, ésta tiene que pasar por un proceso de desinfección (US EPA, 2012). Sin embargo, los resultados de los coliformes fecales y totales del agua estudiada se encuentran por debajo de los valores estipulados por Niño *et al.* (2013) puesto que establece que los datos que caracterizan a las aguas grises oscilan entre 0,1 - 1.5 x 10<sup>8</sup> y 56 - 8.03 x 10<sup>7</sup> UFC/100 mL respectivamente.

Según Rose, Sun, Gerba y Sinclair (1991) las bacterias enteropatógenas, como *Escherichia coli* y distintas especies de *Shigella*, *Salmonella* y *Campylobacter*, entre otras, pueden estar presentes en las aguas grises, siendo aportadas por las piletas de las cocinas o por contaminación fecal cruzada al lavar telas contaminadas. Lo anterior se observó en la recolección de muestras, debido a que en la parte de lavandería se estaban lavando prendas de vestir que incluía ropa de un bebé, lo que infiere a que había telas contaminadas.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Gunther *et al.* (2010) afirma que otras fuentes de coliformes se pueden encontrar en la red de distribución, siendo que en ésta puede existir infiltraciones que afecten la calidad del agua gris o sedimentos que se van formando a lo largo del tiempo en el fondo de las tuberías, los cuales favorecen a la colonización de microorganismos. Esta teoría posiblemente son otros de los factores que influyen en la concentración de los coliformes en el vertimiento, en vista de que la finca presenta una separación hidrosanitaria en donde las aguas residuales generadas en las unidades sanitarias se conducen a un pozo de absorción, y, las aguas grises se llevan mediante una canaleta dirigida directamente a la fuente hídrica superficial, infiriendo que puede haber una filtración de las aguas orgánicas en la tubería de recolección de las aguas grises.

Se infiere que otro factor que generó estas altas concentraciones de coliformes, es la presencia de microorganismos en el agua resultante del aseo personal de un integrante de la familia, puesto que se ha encontrado según Ottoson y Stenstrom (2003) que los microorganismos se adhieren a partículas, un ejemplo significativo que plantean son los que se encuentran en la superficie del cuerpo del ser humano, que al momento de tener un aseo personal se van unidos con las partículas de piel que salen como residuo de esta actividad, igualmente, se ha ubicado material orgánico aportado por productos de higiene, como jabones o champús. Esto posiblemente genera mayor dificultad en la eliminación de estos parámetros microbiológicos, en virtud de que se ha demostrado que los agregados microbianos unidos a partículas, muestran mayor resistencia a la inactivación cuando pasan por un proceso de desinfección en comparación con los microorganismos no adheridos que nadan libremente (Dietrich, Basagaoglu, Loge y Ginn, 2003).

La presencia de coliformes en el agua que está en contacto con las personas, puede producir enfermedades que se dan generalmente como infecciones gastrointestinales. algunos coliformes totales como *Shigella* puede producir infecciones agudas en el intestino, apareciéndose en forma de diarrea líquida discreta, o como disentería grave caracterizada por dolor abdominal de tipo cólico, fiebre, signos o síntomas tóxicos náuseas y vómitos acompañado de escalofríos, y lumbalgia (Rosmini *et al.*, 2004).

## 10.2 Selección del sistema de tratamiento de aguas grises

Como se mencionó en el estado del arte los sistemas ampliamente utilizados en países en desarrollo han sido los biológicos, encontrándose los biorreactores de membrana, contactores biológicos rotativos, humedales artificiales y filtros (Oteng *et al.*, 2018). De esta forma se evaluó cada una de estas alternativas en la matriz comparativa, obteniéndose lo siguiente.

Tabla 16. Resultados de la matriz comparativa para la selección de la alternativa

Tecnología	Componentes	Criterios de evaluación	Fase	Calificación	Calificación total
<b>Biorreactor de membrana</b>	<b>Técnico</b>	Poco requerimiento de terreno	Construcción	5	43
		Baja probabilidad de colmatación	Mantenimiento	1	

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

		Facilidad de operación	Operación	1	
	<b>Ecológico</b>	Disminución de parámetros fisicoquímicos	Operación	5	
		Disminución de parámetros microbiológicos	Operación	5	
		Baja emisión de gases contaminantes	Operación	5	
		Facilidad de operar en clima cálido	Operación	3	
		Disminución de olores y vectores	Operación	5	
	<b>Social</b>	Bajos niveles de ruido	Operación	5	
		Adecuado paisaje	Construcción	3	
	<b>Económico</b>	Bajo costo	Construcción – Mantenimiento	3	
		Bajo consumo de energía	Mantenimiento	1	
		Baja frecuencia de mantenimiento	Mantenimiento	1	
<b>Contactador biológico rotativo (Bio-disco)</b>	<b>Técnico</b>	Poco requerimiento de terreno	Construcción	5	
		Baja probabilidad de colmatación	Mantenimiento	3	
		Facilidad de operación	Operación	5	
	<b>Ecológico</b>	Disminución de parámetros fisicoquímicos	Operación	5	
		Disminución de parámetros microbiológicos	Operación	5	
		Baja emisión de gases contaminantes	Operación	3	

49

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

		Facilidad de operar en clima cálido	Operación	3	
	<b>Social</b>	Disminución de olores y vectores	Operación	3	
		Bajos niveles de ruido	Operación	5	
		Adecuado paisaje	Construcción	3	
		Bajo costo	Construcción – Mantenimiento	3	
	<b>Económico</b>	Bajo consumo de energía	Mantenimiento	1	
		Baja frecuencia de mantenimiento	Mantenimiento	5	
		Poco requerimiento de terreno	Construcción	5	
	<b>Técnico</b>	Baja probabilidad de colmatación	Mantenimiento	3	59
		Facilidad de operación	Operación	5	
		Disminución de parámetros fisicoquímicos	Operación	5	
<b>Humedal subsuperficial</b>	<b>Ecológico</b>	Disminución de parámetros microbiológicos	Operación	5	
		Baja emisión de gases contaminantes	Operación	3	
		Facilidad de operar en clima cálido	Operación	3	
		Disminución de olores y vectores	Operación	5	
	<b>Social</b>	Bajos niveles de ruido	Operación	5	
		Adecuado paisaje	Construcción	5	

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

<b>Económico</b>	Bajo costo	Construcción – Mantenimiento	5	59	
	Bajo consumo de energía	Mantenimiento	5		
	Baja frecuencia de mantenimiento	Mantenimiento	5		
<b>Técnico</b>	Poco requerimiento de terreno	Construcción	5		
	Baja probabilidad de colmatación	Mantenimiento	3		
	Facilidad de operación	Operación	5		
<b>Filtración</b>	Disminución de parámetros físicoquímicos	Operación	5		
	Disminución de parámetros microbiológicos	Operación	5		
	Baja emisión de gases contaminantes	Operación	5		
	Facilidad de operar en clima cálido	Operación	3		
	<b>Social</b>	Disminución de olores y vectores	Operación		3
		Bajos niveles de ruido	Operación		5
		Adecuado paisaje	Construcción	5	
<b>Económico</b>	Bajo costo	Construcción – Mantenimiento	5		
	Bajo consumo de energía	Mantenimiento	5		
	Baja frecuencia de mantenimiento	Mantenimiento	5		

Autoría propia, 2019.

En el anexo 10 se encuentra la justificación de la calificación por cada uno de los criterios de evaluación, expuestos en la anterior matriz.

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Como se observó en la tabla 16, el humedal subsuperficial y la filtración tuvieron el mismo valor (59), por lo que se procedió a identificar como se evidencia en la tabla 17 y 18 los aspectos internos y externos que favorecen o inhiben el funcionamiento de las alternativas y así poder llegar a una mejor decisión.

Tabla 17. *Matriz DOFA para el humedal subsuperficial*

	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
	<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
<b>Origen interno</b>	<p>Necesita de poco terreno.                      Tiene fácil operación                      Remoción de turbiedad de un 88%, SST de 90%, DQO de 89%, DBO<sub>5</sub> de 87%, nitrógeno total de 42% y fósforo total de 50% (Laaffat, et al., 2019).                      Reducción de 98,5% de coliformes totales, 88% de coliformes fecales (Ramos et al., 2016).                      Disminuye los olores y vectores.                      Presenta un adecuado paisaje.                      Tiene bajos costo de construcción y mantenimiento.</p>	<p>Emite gases de efecto invernadero.                      No tiene baja probabilidad de colmatación.                      Genera biomasa contaminada.                      Se requiere de un proceso adicional extremo para la desinfección del recurso hídrico (Oteng et al., 2018).</p>
<b>Origen externo</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
	<p>Es mejor implementarlo en clima templado, sin embargo, al estar en clima cálido por presentar en la parte superior plantas se forma una acumulación de restos vegetales y al encontrarse el flujo del agua subterráneo, la temperatura es casi constante, lo que no afecta el proceso (Delgadillo et al., 2010).                      Menor oportunidad de que se inunde, dado que las plantas absorben gran parte del agua.</p>	<p>Al ser un sistema que se integra al paisaje natural puede estar expuesto a las actividades que realiza la fauna aledaña, que podría deteriorar el estado del humedal.</p>

Autoría propia, 2019.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Tabla 18. *Matriz DOFA para el filtro*

	<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
	<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
<b>Origen interno</b>	<p>Necesita de poco terreno.                      Tiene fácil operación.                      Filtros con empaques de corteza y carbón activado mostraron una remoción de 98 y 97% de DBO<sub>5</sub>, ambos con 99% de surfactantes, 97 y 91% de fósforo tota, 19 t 98% de nitrógeno total.                      Remoción de 99,99% de coliformes fecales y 96% de huevos de helminto en diferentes filtros con materiales orgánicos (Mezcla de trocos de madera de árboles tropicales y fibras naturales) (Garzón, et al., 2008).                      Tiene baja emisión de gases contaminantes.                      No produce igual cantidad de biomasa contaminada que un humedal construido.                      No requiere de un proceso adicional externo para la desinfección del recurso hídrico.                      Tiene bajo costo de construcción y mantenimiento.</p>	<p>No tiene baja probabilidad de colmatación.                      Tiene algunas emisiones de olores.                      No brinda el mismo paisaje que un humedal subsuperficial.                      El costo de operación y mantenimiento es un poco más elevado que el humedal por la necesidad de eliminación de la costra superficial y la regeneración del medio filtrante (Diputación de Valencia, 2016).</p>
	<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
<b>Origen externo</b>	<p>No hay interacción con el medio y la fauna, por ende, hay menos probabilidad de que se deteriore.                      Las características que presenta el medio filtrante favorecen a que no se genere gran cantidad de biomasa.</p>	<p>Es mejor implementarlo en clima templado dado que el agua al estar en constante contacto con una temperatura alta puede generar más olores que lo normal y atraer moscas (Romero, 2013).                      Mayor probabilidad de que se inunde.</p>

A partir de lo estipulado en las matrices DOFA se reconoce los factores internos y externos de las dos alternativas, por lo que se puede concluir que el sistema de tratamiento y reutilización más adecuado para la finca El Porvenir 2 es el humedal subsuperficial, siendo que se da prioridad a los criterios: adecuado paisaje, disminución de olores y vectores, facilidad de operar en clima cálido y bajo costo en construcción y mantenimiento. De tal forma se describe a continuación el análisis e interpretación de resultados por cada criterio.

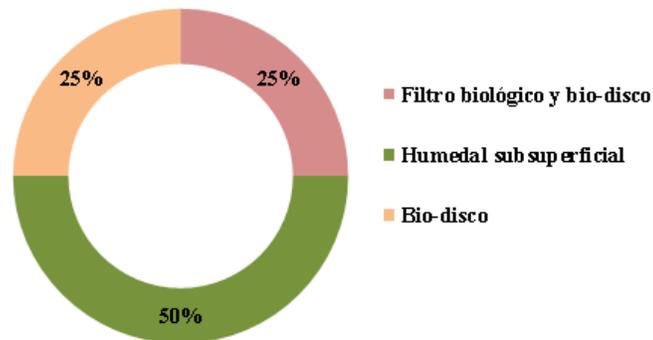
# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## 10.2.1 Adecuado paisaje

Para este criterio se tuvo en cuenta uno de los resultados de la entrevista en profundidad, siendo que se preguntó, ¿Cuál o cuáles sistemas de tratamiento de los que le explicamos, considera que serían viables en su finca? ¿Por qué?, con el objetivo de tener en cuenta la opinión de los residentes, obteniendo como resultado lo siguiente.

Figura 26. Selección del sistema



Autoría propia, 2019.

Como se observa la mayoría de las personas prefirieron el humedal subsuperficial, teniendo como razones.

- Bajo costo de construcción y mantenimiento.
- Las características que presenta dicho sistema son acordes a las zonas rurales debido a que tiene una integración con el medio ambiente.

Lo anterior expresa que para los residentes es de suma importancia tener un paisaje acorde a su área, por lo que se le dio prioridad a este criterio. El filtro, aunque no degrada la calidad del paisaje, el humedal se integra mejor al ambiente al incluir el sistema biótico en su proceso. Esto se confirma con lo estipulado por López et al. (2016) que afirman “Los humedales artificiales son considerados como una tecnología totalmente alineada con la sostenibilidad ambiental, ya que no requiere instalaciones complejas, (...), se integra al paisaje natural propiciando incluso refugio a la vida silvestre” (p.96). Asimismo, en un proyecto dan a conocer que este sistema de tratamiento se utiliza para recuperar la cobertura vegetal que se ha desaparecido en zonas donde el hombre ha intervenido, por lo que los humedales subsuperficiales son construidos a partir de plantas y cuerpos de agua con las características de un humedal natural, cumpliendo funciones de estos ecosistemas (Torres, 2016).

## 10.2.2 Disminución de olores y vectores

Este criterio de evaluación tiene gran importancia debido a que es primordial tener en cuenta el aspecto social en el diseño del sistema de tratamiento, siendo que éste puede generar factores negativos que repercuten directamente en la salud de la población; y se conoce que el humedal subsuperficial según López et al. (2016) proporciona un beneficio de impacto ambiental positivo para el medio ambiente y las personas que lo rodean, previniendo olores y vectores. Por otro lado, los filtros son propensos a generar

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

olores siendo que según Romero (2013) afirma que en este sistema “Se pueden presentar problemas de olores, especialmente si el agua residual es séptica y el clima cálido; además, también pueden presentarse moscas de filtros, Psychoda, las cuales deben controlarse” (p.559).

## *10.2.3 Facilidad de operar en clima cálido*

Los humedales subsuperficiales pueden tener un proceso de depuración efectivo tanto en clima frío como en clima cálido, cabe recalcar que dicho funcionamiento depende del correcto diseño, puesto que los parámetros varían con respecto al clima de la zona, empezando variaciones desde el dimensionamiento, hasta llegar a la vida microbiana existente y las remociones que se generan, por ejemplo en las zonas con climas tropicales o cálidos el área del humedal debe ser más pequeña que en áreas de clima frío, a causa de la existencia de mayor actividad biológica durante el año (Pazán y Trelles, 2018).

Estos sistemas de tratamiento tienen tejido muerto por la acumulación de restos vegetales, permitiendo que la superficie se cubra, protegiendo el proceso de las variaciones climáticas y agregando que el efluente al estar en un flujo subterráneo se mantiene a una temperatura casi constante (Carvajal, Zapattini y Quintero, 2018).

## *10.2.4 Bajo costo en construcción y mantenimiento*

Para este criterio se tuvo como resultado que el filtro tiene un costo de operación y mantenimiento más elevado que el del humedal subsuperficial, esto es a causa de que este sistema tras un período de funcionamiento, la superficie de estos en operación se va colmatando, disminuyendo su capacidad de filtración, por lo que es necesario tener un periodo de secado, y posteriormente se procede a su regeneración mediante la eliminación por rastrillado de la costra formada en su superficie (Alianza por el Agua, 2018). Para el caso de los humedales subsuperficiales, estos tienen un menor costo debido a que son construidos mecánicamente simples y tienen una operación, mantenimiento y control sencillos (Laaffat et al., 2019).

## *10.2.5 Selección final del sistema de tratamiento*

Se seleccionó el humedal subsuperficial como tratamiento principal, siendo que aborda las expectativas de los residentes de la finca El Porvenir 2, sin embargo, en la bibliografía se encuentra que éste necesita de un tratamiento adicional para mejores resultados (Oteng et al., 2018). Asimismo, existe un factor muy importante en esta investigación que indica que si se requiere de otro proceso.

Dicho factor, asiste a lo que se ha hallado en estudios, los cuales mencionan que los humedales subsuperficiales necesitan ya sea de un pretratamiento o un tratamiento secundario eficiente para tener una alta remoción de DQO (Navarro, García, Vázquez y Marrugo, 2013). Parámetro que tiene una alta concentración en el agua gris de estudio (322, 7 mg/L), es decir el material orgánico presente en la muestra susceptible de ser oxidado químicamente, en pocas palabras, remitiéndose a la interpretación de resultados del análisis químico y bacteriológico, dicho vertimiento contiene una elevada concentración de agentes químicos provenientes de los productos de limpieza.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Esto hace referencia a que debe existir en el modelo a diseñar una alternativa que se caracterice principalmente de depurar estos elementos, y debido a que ya se ha hecho una revisión de las funciones del filtro y se conoce la eficiencia de remoción de contaminantes que presenta, se procedió a escogerlo, teniendo como principal énfasis el medio filtrante, obteniendo como resultado tras una revisión bibliográfica, que el material más apto para la disminución de la DQO es el carbón activado; un ejemplo de ello se demuestra en un estudio realizado en Alemania que afirmaron que un tratamiento eficaz para eliminar los microcontaminantes orgánicos (OMP), es decir los productos farmacéuticos y los productos químicos domésticos, es la filtración a través del carbón activado granular (GAC) (Mousel, Palmowski y Pinnekamp, 2017). Asimismo, Hernández-Leal, Temmink, Zeeman y Buisman (2011) aplicaron este tipo de sistema al tratamiento de efluentes secundarios, procedentes del tratamiento biológico, alcanzando eliminaciones de agentes tensoactivos de un 66% (bisfenol A), 95% (triclosán), 79% (galaxolide), 67% (tonalide) y 84% (nonilfenol).

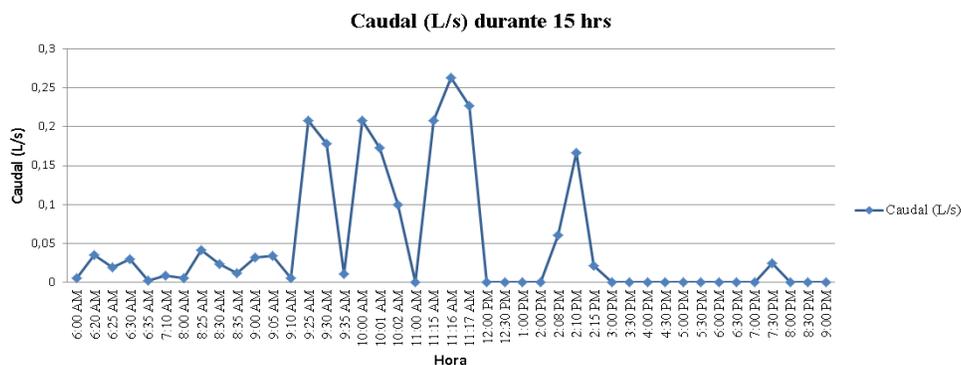
Ahora bien, para el posterior diseño del modelo, se tuvo en cuenta lo estipulado en el Decreto 330 del 2017, que menciona que lo más recomendable para tratar las aguas grises en zonas rurales, es que éstas sean sometidas a un tratamiento previo para retener las grasas, es decir que pasen por una trampa de grasas domiciliar, en donde su uso es recomendado como pretratamiento de las aguas grises, cuando éstas van a ser reusadas en la vivienda o en el riego de cultivos en las fincas. Este sistema según MADS (2010b) no es necesario instalarlo para viviendas rurales pequeñas de menos de cinco personas, por lo que se considera primordial su uso para esta investigación dado que en la finca residen seis personas. El uso de este sistema se hace con el fin de proteger los procesos de tratamiento subsiguientes, para este caso el humedal subsuperficial horizontal y el filtro GAC y de esta forma terminar con un tanque de recolección de agua.

## 10.3 Establecimiento de los lineamientos técnicos y ambientales del sistema de tratamiento

### 10.3.1 Aforo

A continuación, se presenta la gráfica Caudal vs Hora para la identificación de los picos de caudal, tras las diferentes actividades realizadas en la finca.

Figura 27. Caudal vs Tiempo



Autoría propia, 2019.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

En la figura 27 se observa que a partir de las 9:25 am hasta las 11:20 am aproximadamente hubo picos de caudal, es decir un mayor consumo de agua, esto se debe a que en ese periodo de tiempo se estaba lavando los alimentos para la hora de almuerzo y se descargó el agua de la lavadora, aclarando que la familia lava la ropa los días martes y viernes. Asimismo, se evidenció otro pico a las 2:10 pm, tomando el registro del agua vertida del lavaplatos. Esto indica que la familia tiene un mayor consumo de agua en las horas de la mañana, lo que coincide con lo adoptado del RAS 2010, ya que menciona que las horas pico en climas cálidos son en la mañana y al caer la tarde.

### 10.3.2 Medición del caudal del cuerpo hídrico superficial

Con el fin de conocer en promedio cuánta agua fluye en la quebrada se midió el caudal unos 74 m aproximadamente antes del vertimiento y en el lugar de la descarga del agua gris, obteniendo como resultados los siguientes datos

- Antes del vertimiento

Tabla 19. Medición del área de la canal (Quebrada)

<b>Longitud: 5 m</b>			
<b>Ancho de la canal: 1,56 m</b>			
	<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Área de faja (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Faja 1</b>	0,0039	0,15	0,003
<b>Faja 2</b>	0,0039	0,13	0,005
<b>Faja 3</b>	0,0039	0,10	0,002
<b>Área total</b>			<b>0,0010</b>

Autoría propia, 2019.

Tabla 20. Medición de la velocidad

<b>Distancia (m)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
5	10,23	0,49
5	12,26	0,41
5	11,5	0,43
5	10,1	0,50
<b>Velocidad promedio</b>		<b>0,46</b>

Autoría propia, 2019.

Teniendo como ecuación

Figura 28. Caudal

$$Q = A(v)$$

A: Área de la sección (m<sup>2</sup>)

v: Velocidad (m/s)

Se calcula el caudal de la quebrada Coyarcó (74 metros antes del vertimiento)

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 29. *Cálculo del caudal*

$$Q = 0,0010 \text{ m}^2 (0,46 \text{ m/s}) = 0,00046 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{0,46 \text{ L/s}}$$

- En el vertimiento

Tabla 21. *Medición del área de la canal (Quebrada)*

<b>Longitud: 5 m</b>			
<b>Ancho de la canal: 1,40 m</b>			
	<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Área de faja (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Faja 1</b>	0,0035	0,19	0,0007
<b>Faja 2</b>	0,0035	0,18	0,0006
<b>Faja 3</b>	0,0035	0,17	0,0006
<b>Área total</b>			<b>0,0019</b>

Autoría propia, 2019.

Tabla 22. *Medición de la velocidad*

<b>Distancia (m)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
5	10,25	0,49
5	10,77	0,46
5	11,52	0,43
5	11,43	0,44
<b>Velocidad promedio</b>		<b>0,46</b>

Autoría propia, 2019.

Se calcula el caudal de la quebrada (74 metros antes del vertimiento)

Figura 30. *Cálculo del caudal*

$$Q = 0,0019 \text{ m}^2 (0,46 \text{ m/s}) = 0,00087 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{0,87 \text{ L/s}}$$

### 10.3.3 Estimación de caudal de diseño

Pasando el caudal de aforo de 15 horas a 24 horas se obtuvo un caudal de diseño de  $3,1 \times 10^{-5}$  L/s

### 10.3.4 Dimensionamiento de la trampa de grasas

Figura 31. *Cálculo del volumen de la trampa de grasas*

$$V = 1,8 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} (15 \text{ min}) = \mathbf{0,03 \text{ m}^3}$$

Se tomó un tiempo de retención de 15 min teniendo como referencia los criterios establecidos por la Resolución 330 del 2017, la cual menciona que “El volumen de la trampa de grasas se calculará para un periodo de retención mínimo de 2,5 min” (p.108).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 32. Cálculo del área de la trampa de grasas

$$A = \frac{0,03 \text{ m}^3}{0,45 \text{ m}} = 0,06 \text{ m}^2$$

Se tomó una profundidad del agua de 0,45 m teniendo como referencia los criterios establecidos por la Resolución 330 del 2017, la cual menciona que “La profundidad útil deberá ser acorde con el volumen calculado partiendo de una altura útil mínima de 0,35” (p.108). Y lo adoptado del RAS 2010 que menciona que la profundidad de la trampa no deberá ser menor a 0,80 m; por lo que el restante equivale a 0,45 m.

Figura 33. Cálculo del ancho de la trampa de grasas

$$a = \sqrt{0,08 \text{ m}^2} = 0,25 \text{ m}$$

Debido a que la Resolución 330 del 2017 menciona que la relación largo – ancho puede ser de 1:1, se estableció que la trampa va hacer de 0,3 m x 0,3 m.

A continuación, se presenta una tabla final con las dimensiones correspondientes a la trampa de grasas.

Tabla 23. Dimensiones finales del diseño de la trampa de grasas

Datos	Resultado
Volumen	0,03 m <sup>3</sup>
Profundidad	0,45 m
Área	0,06 m <sup>2</sup>
Ancho	0,3 m
Longitud	0,3 m
Diámetro de la tubería	3”
Parte inferior del codo de entrada	0,15 m
Diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y salida	0,05 m
Luz libre para ventilación en la tubería de salida	0,05m

Autoría propia, 2019.

## 10.3.5 Dimensionamiento del humedal subsuperficial

Figura 34. Cálculo del volumen del humedal

$$V = 2,64 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} (3 \text{ días}) = 7,9 \text{ m}^3$$

Se toma un tiempo de retención de 3 días teniendo como referencia los criterios establecidos por Romero (2013) para la remoción de DBO.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCTIVIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 35. *Cálculo del área superficial del humedal*

$$A_s = \frac{7,9 \text{ m}^3}{0,6 \text{ m}} = \mathbf{13,2 \text{ m}^2}$$

Se toma una profundidad del agua de 0,60 m siendo que este es el valor más usado

Figura 36. *Cálculo del área de la sección transversal del humedal*

$$A_t = \frac{2,64 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{1.000 \frac{\text{m}}{\text{d}} (0,1)(0,01)} = \mathbf{2,6 \text{ m}^2}$$

Según Romero (2013) se debe tomar un valor de K de 1.000 m/d para un medio de arena gruesa. Para la pendiente se tomó un valor de 1% establecido por lo adoptado del RAS 2010.

Figura 37. *Carga hidráulica superficial del humedal*

$$C_s = \frac{2,64 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} (18,7 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{13,2 \text{ m}^2} = \mathbf{3,7}$$

Figura 38. *Tiempo de retención del humedal*

$$T_r = \frac{\ln 18,7 \text{ mg/L} - \ln 10 \text{ mg/L}}{0,59 \text{ d}^{-1}} = \mathbf{1 \text{ d}}$$

La  $K_T$  se calculó a partir de la ecuación estipulada por Romero (2013)

Figura 39. *Ancho del humedal*

$$a = \frac{2,6 \text{ m}^2}{0,60 \text{ m}} = \mathbf{4,4 \text{ m}}$$

Figura 40. *Longitud del humedal*

$$l = \frac{13,2 \text{ m}^2}{4,5 \text{ m}} = \mathbf{3 \text{ m}}$$

Se toma un valor de longitud de 4,5 m y de ancho 3 m

A continuación, se presenta una tabla final con las dimensiones correspondientes al humedal subsuperficial de flujo horizontal.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Tabla 24. Dimensiones finales del diseño del humedal

Datos	Resultado
Volumen	7,9 m <sup>3</sup>
Profundidad del agua	0,6 m
Área superficial	13,2 m <sup>2</sup>
Área transversal	2,6 m <sup>2</sup>
Ancho	4,5 m
Longitud	3 m
Longitud de la sección con piedras	0,60 m <sup>a</sup>
Longitud del lecho al tubo de entrada	0,40 m <sup>b</sup>
Diámetro de las tuberías	3’’ <sup>a</sup>
Profundidad del humedal	0,70 m <sup>b</sup>

→ <sup>a</sup> (MVCT, 2017)

→ <sup>b</sup> (Delgadillo et al., 2010)

## 10.3.6 Dimensionamiento del filtro GAC

Figura 41. Volumen del filtro

$$V = 6 \text{ hab} (0,3) = 1,8 \text{ m}^3$$

El valor de 0,3 es un dato establecido en la ecuación de volumen de un tanque séptico, estipulado por el MADS (2010).

Figura 42. Largo del filtro

$$l = \frac{1,8}{3 \text{ m} (0,60)} = 1 \text{ m}$$

Dado que el filtro se encuentra junto al humedal subsuperficial, se tiene que el filtro tiene 3 m x 1 m

A continuación, se presenta una tabla final con las dimensiones correspondientes al filtro GAC

Tabla 25. Dimensiones finales del filtro

Datos	Resultado
Profundidad	0,6 m
Volumen	1,8 m <sup>3</sup>
Longitud	1 m
Ancho	3 m
Fondo falso	4’’
Espacio superior de almacenamiento del agua	4’’

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Profundidad del medio (Carbón activado)	0,60 m
--	--------

(MADS, 2010b)

### 10.3.7 Vegetación

Se escogió la *Scirpus californicus*, debido a que son una de las plantas macrófitas perennes usadas en los humedales construidos, además son las más usadas en humedales de flujo subsuperficial. Estas plantas son de la familia de las ciperáceas y crecen en grupos, generalmente en pantanos salobres y humedales. Su nombre común es “juncos” esta vegetación es capaz de crecer adecuadamente en agua desde 5 cm a 3 m de profundidad y con un pH de 4 a 9, además se caracterizan por tener un buen rendimiento en clima cálido (Espinoza, 2014).

Figura 43. *Scirpus californicus*

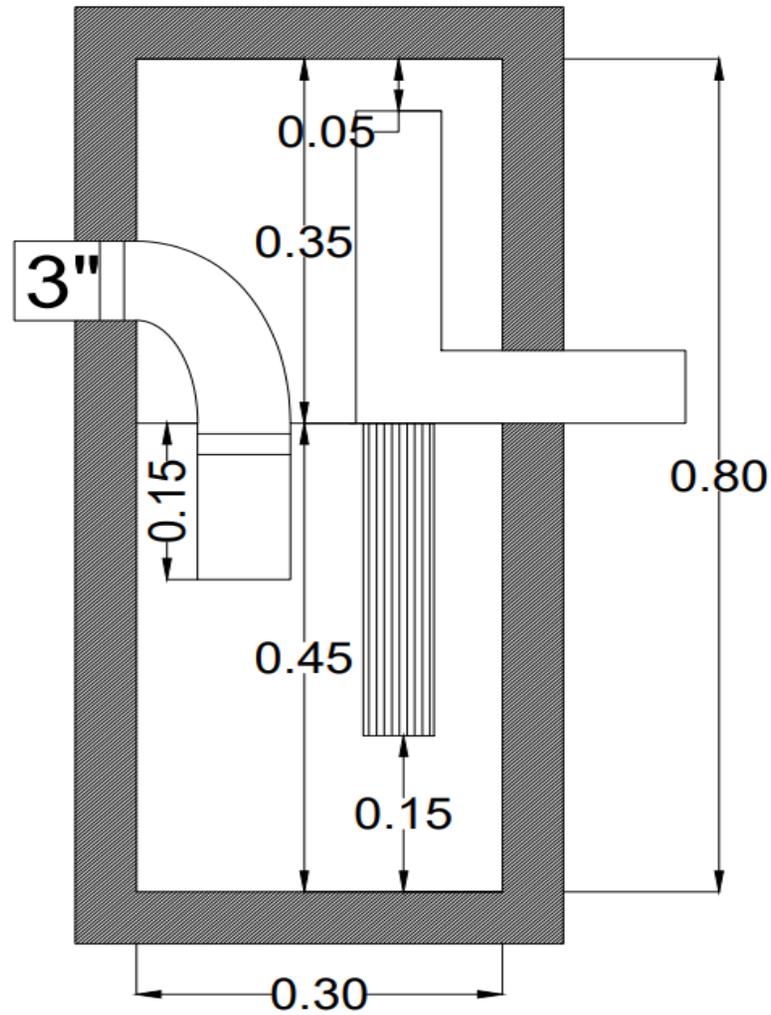


(Velazco, 2007).

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 44. *Vista de corte de la trampa de grasas*

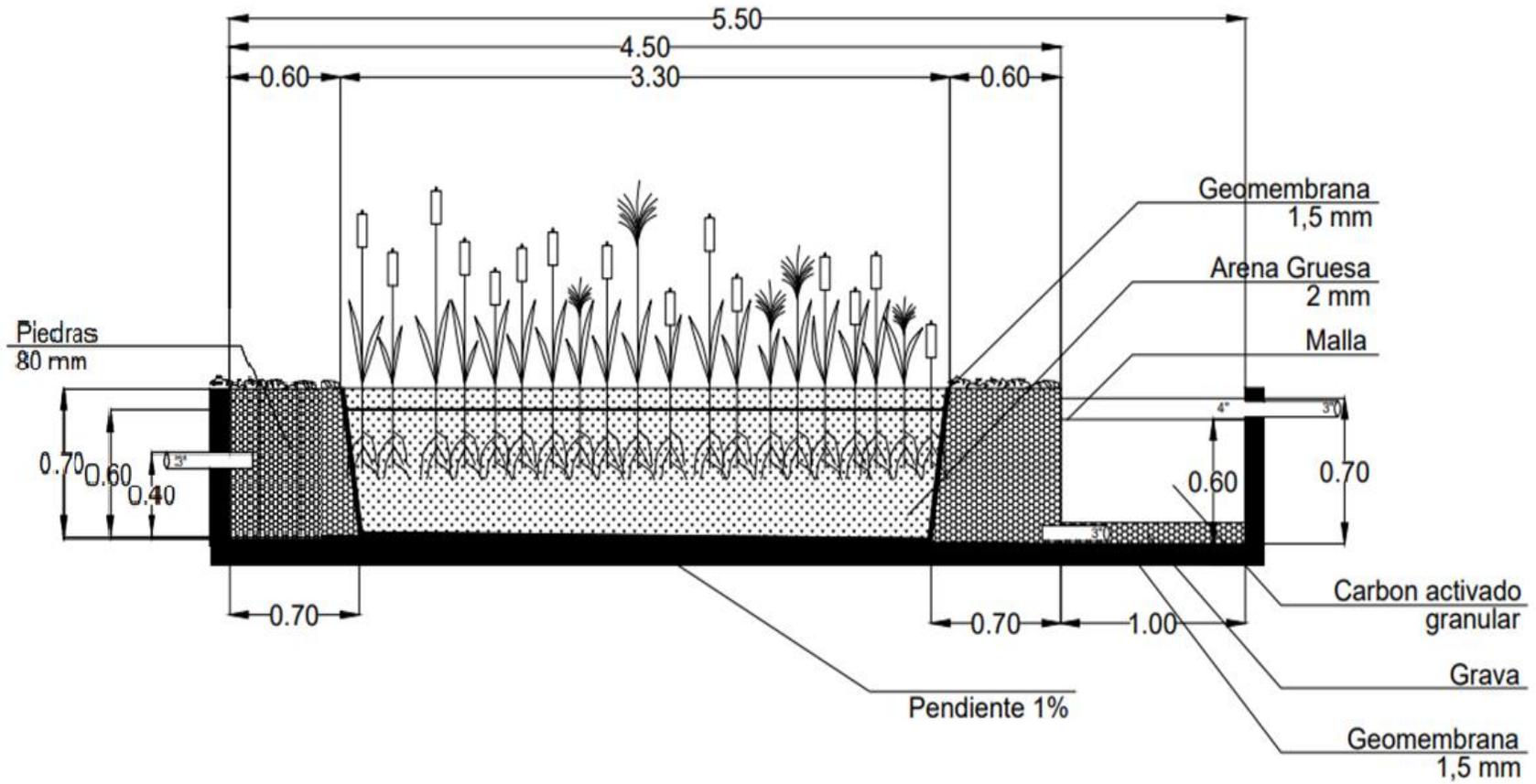


Autoría propia a partir AUTOCAD

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 45. Vista de corte del humedal subsuperficial de flujo horizontal

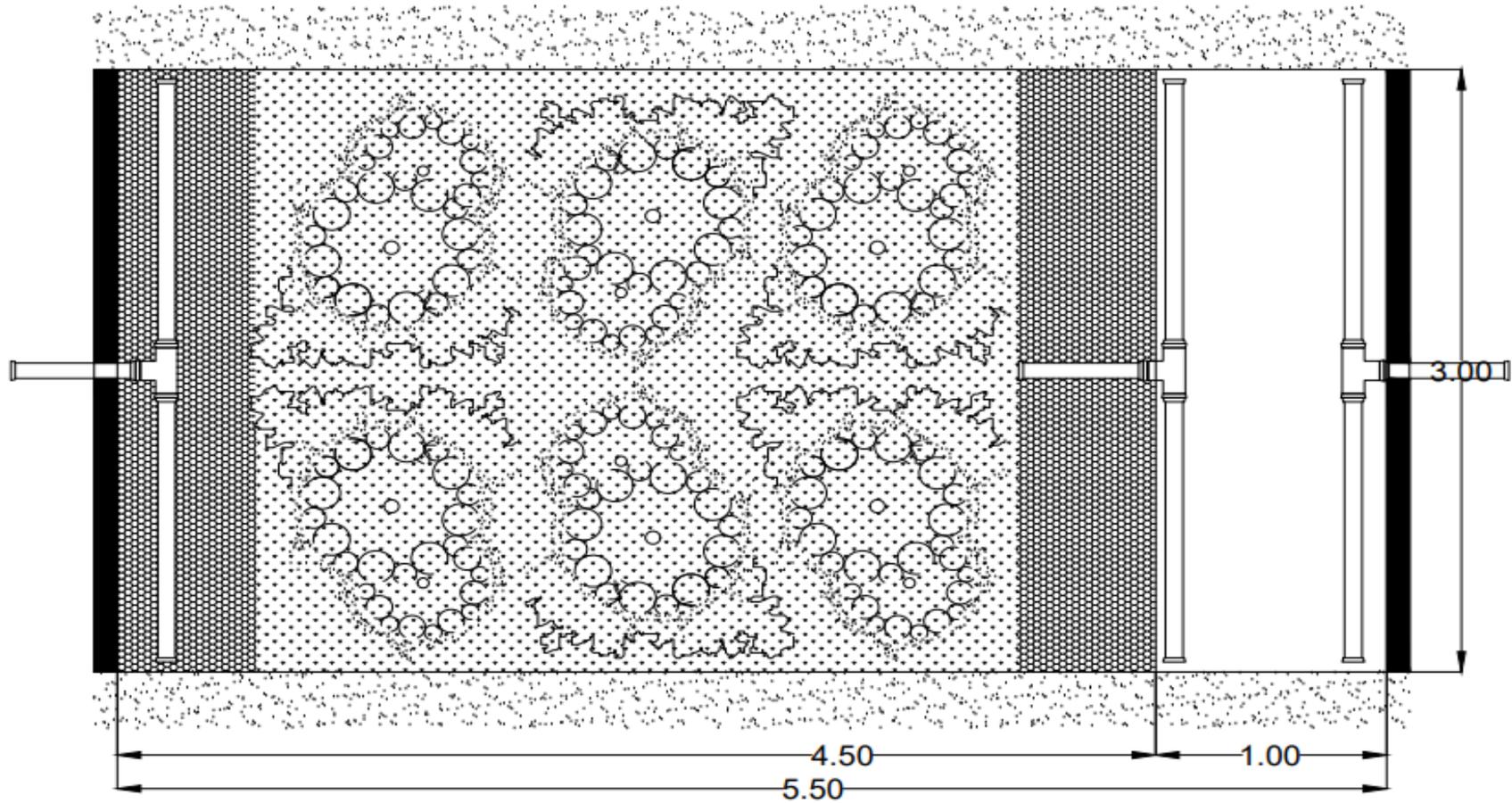


Autoría propia a partir AUTOCAD

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 46. Vista de planta del humedal subsuperficial de flujo horizontal



Autoría propia a partir AUTOCAD

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISAS PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

A continuación se presenta un modelo de la ubicación del sistema de tratamiento compuesto por una trampa de grasas, seguido de un humedal subsuperficial, filtro GAC y un tanque de recolección donde llegará el agua que podrá ser aprovechada

Figura 47. Modelo del sistema de tratamiento y reutilización en la finca El Porvenir 2



Elaboración propia, 2019.

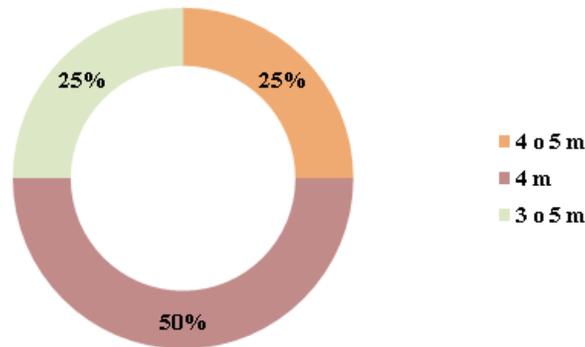
# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

## 10.3.8 Consideraciones ambientales para el modelo

Para tener una idea de cuánto se contaba de terreno para el diseño del modelo se procedió a preguntar en la entrevista realizada “¿Cuánto considera usted que se puede utilizar de terreno para la construcción del sistema de tratamiento?”, los resultados se ven a continuación.

Figura 48. Dimensionamiento del sistema



Autoría propia, 2019.

Dado que la familia no conocía bien cuáles son las medidas más frecuentes de un sistema de tratamiento y reutilización, el valor predominante fue entre 3 y 5 m; sin embargo, tras las visitas a campo se observó que hay suficiente terreno para una posible implementación del modelo diseñado.

El municipio de El Espinal con vocación agrícola por tradición, cuenta con suelos de clima cálido seco, los cuales se caracterizan por ser moderadamente profundos a profundos, bien drenados, fertilidad moderada a alta y por tener una topografía plana y ligeramente plana con pendientes entre 0 y 12%. Las tierras que cuentan con estas particularidades son aptas para ganadería, cultivos perennes y sistemas que combinen la agricultura o ganadería con bosques (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2007).

Aunque la vocación en El Espinal es agrícola, los principales usos que se le dan al suelo en el municipio y sus alrededores son de tipo residencial, industrial, comercial y oficial por estar constituido de sedimentos aluviales recientes que cubren depósitos de toba (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2000). Sin embargo, en el Plan Departamental de Gestión de Riesgo del Tolima Periodo (2013 - 2030) el Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo del Tolima (2012) clasifica y categoriza el suelo según el acuerdo No. 001 de 2001 en suelo urbano, suelo de expansión urbana y suelo rural, puntualizados a continuación:

- **Suelo urbano.** Aquellas áreas del municipio que cuenten con infraestructura vial y redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado.
- **Suelo de expansión urbana.** Corresponde a la porción del territorio municipal que durante la vigencia del Plan Básico de Ordenamiento Territorial de El Espinal se habilitara como suelo urbano, de conformidad a como se determinen los programas de ejecución.

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

- **Suelo rural.** Terrenos que no cumplen con las exigencias para ser suelo urbano, por razones de oportunidad o su destinación en explotaciones agrícolas, ganaderas, mineras o de explotación de recursos naturales.

Mencionado lo anterior, la vereda La Caimanera es considerada suelo rural, debido a que en la mayoría de su extensión presenta actividades agrícolas, cumpliendo con su vocación; en zonas aledañas a la finca El Porvenir 2 se realizan siembras de arroz, maíz y mango principalmente. Al realizar la construcción del sistema tratamiento para aguas grises se estaría cambiando la vocación del suelo en dicha zona con el objetivo de suplir las necesidades de la familia Ortiz, no obstante, la flora con la que cuenta el humedal subsuperficial podrá contrarrestar con el impacto que dicha construcción pueda generar.

El municipio de El Espinal cuenta con dos temporadas; una calurosa que dura aproximadamente del 31 de julio al 23 de septiembre, alcanzando una temperatura máxima promedio de más de 36 °C y, la temporada fresca que va del 20 de octubre al 19 de diciembre con una temperatura máxima promedio de menos de 34°C (Weather Spark, 2019).

El tipo más común de precipitación que se presenta en El Espinal durante el año es proveniente de solo lluvia con una precipitación media anual de aproximadamente 1415 mm; presentando la precipitación más baja en julio (41 mm) y, en octubre alcanza su pico con un promedio de 213 mm (Climate-Data.org, 2019).

A causa de que el municipio cuenta con un clima cálido seco alcanza una precipitación de por lo menos 1 mm en un día mojado y se obtiene a partir de una lluvia de intensidad débil según Monjo (s.f.). Por otro lado, la escasez de lluvias con periodos prolongados e indefinidos de sequía y la intensa radiación que se presenta en la zona, hacen que el suelo almacene el agua cuando se presentan fuertes lluvias y las plantas puedan absorber lo que verdaderamente les es aprovechable evitando inundaciones (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

En relación a los acuíferos con el sistema de tratamiento se conoce que el municipio cuenta con un nivel freático alto gracias a los canales de riego que se presentan en la mayoría de cultivos según Coasintol (2000). Dicho lo anterior, el sistema de tratamiento no se verá afectado por infiltraciones de agua provenientes de acuíferos o cuerpos cercanos y se podría realizar de forma enterrada, debido a que el suelo es moderadamente profundo a profundo, lo que quiere decir que es un suelo de buena calidad y no se presentan obstáculos de rocas o arcillas (Garrido, 1993). Además, frente a la finca pasa una canal subterránea totalmente recubierta de cemento con mayor profundidad (3 m) que la del sistema de tratamiento; lo que nos permite intuir que no se verá afectado ningún acuífero que se encuentre dentro de la zona.

### *10.3.9 Función del modelo de tratamiento y reutilización de aguas grises*

Dado que la familia no conocía bien cuáles son las medidas más frecuentes de un sistema de tratamiento y reutilización, el valor predominante fue entre 3 y 5 m, sin embargo, tras las visitas a campo se observó que hay suficiente terreno para una posible implementación del modelo diseñado.

El municipio de El Espinal con vocación agrícola por tradición, cuenta con suelos de clima cálido seco, los cuales se caracterizan por ser moderadamente profundos a profundos, bien drenados, fertilidad

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

moderada a alta y por tener una topografía plana y ligeramente plana con pendientes entre 0 y 12%. Las tierras que cuentan con estas particularidades son aptas para ganadería, cultivos perennes y sistemas que combinen la agricultura o ganadería con bosques (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2007).

Aunque la vocación en El Espinal es agrícola, los principales usos que se le dan al suelo en el municipio y sus alrededores son de tipo residencial, industrial, comercial y oficial por estar constituido de sedimentos aluviales recientes que cubren depósitos de toba (Corporación Autónoma Regional del Tolima, 2000). Sin embargo, en el Plan Departamental de Gestión de Riesgo del Tolima Periodo (2013 - 2030) el Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo del Tolima (2012) clasifica y categoriza el suelo según el acuerdo No. 001 de 2001 en suelo urbano, suelo de expansión urbana y suelo rural, puntualizados a continuación:

- **Suelo urbano.** Aquellas áreas del municipio que cuenten con infraestructura vial y redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado.
- **Suelo de expansión urbana.** Corresponde a la porción del territorio municipal que durante la vigencia del Plan Básico de Ordenamiento Territorial de El Espinal se habilitara como suelo urbano, de conformidad a como se determinen los programas de ejecución.
- **Suelo rural.** Terrenos que no cumplen con las exigencias para ser suelo urbano, por razones de oportunidad o su destinación en explotaciones agrícolas, ganaderas, mineras o de explotación de recursos naturales.

Mencionado lo anterior, la vereda La Caimanera es considerada suelo rural, debido a que en la mayoría de su extensión presenta actividades agrícolas, cumpliendo con su vocación; en zonas aledañas a la finca El Porvenir 2 se realizan siembras de arroz, maíz y mango principalmente. Al realizar la construcción del sistema tratamiento para aguas grises se estaría cambiando la vocación del suelo en dicha zona con el objetivo de suplir las necesidades de la familia Ortiz, no obstante, la flora con la que cuenta el humedal subsuperficial podrá contrarrestar con el impacto que dicha construcción pueda generar.

El municipio de El Espinal cuenta con dos temporadas; una calurosa que dura aproximadamente del 31 de julio al 23 de septiembre, alcanzando una temperatura máxima promedio de más de 36 °C y, la temporada fresca que va del 20 de octubre al 19 de diciembre con una temperatura máxima promedio de menos de 34°C (Weather Spark, 2019).

El tipo más común de precipitación que se presenta en El Espinal durante el año es proveniente de solo lluvia con una precipitación media anual de aproximadamente 1415 mm; presentando la precipitación más baja en julio (41 mm) y, en octubre alcanza su pico con un promedio de 213 mm (Climate-Data.org, 2019).

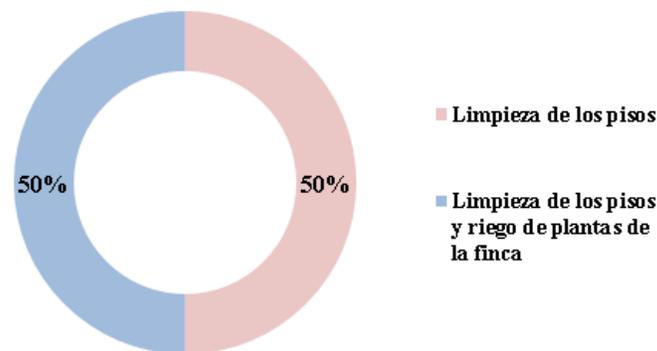
A causa de que el municipio cuenta con un clima cálido seco alcanza una precipitación de por lo menos 1 mm en un día mojado y se obtiene a partir de una lluvia de intensidad débil según Monjo (s.f.). Por otro lado, la escasez de lluvias con periodos prolongados e indefinidos de sequía y la intensa radiación que se presenta en la zona, hacen que el suelo almacene el agua cuando se presentan fuertes lluvias y las plantas puedan absorber lo que verdaderamente les es aprovechable evitando inundaciones (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

En relación a los acuíferos con el sistema de tratamiento se conoce que el municipio cuenta con un nivel freático alto gracias a los canales de riego que se presentan en la mayoría de cultivos según Coasintol (2000). Dicho lo anterior, el sistema de tratamiento no se verá afectado por infiltraciones de agua provenientes de acuíferos o cuerpos cercanos y se podría realizar de forma enterrada, debido a que el suelo es moderadamente profundo a profundo, lo que quiere decir que es un suelo de buena calidad y no se presentan obstáculos de rocas o arcillas (Garrido, 1993). Además, frente a la finca pasa una canal subterránea totalmente recubierta de cemento con mayor profundidad (3 m) que la del sistema de tratamiento; lo que nos permite intuir que no se verá afectado ningún acuífero que se encuentre dentro de la zona.

Figura 49. *Requerimiento hídrico*



Autoría propia, 2019.

Como se observa en la gráfica anterior la familia consume agua en actividades no potables tales como en la limpieza de los pisos de la finca y en el riego de los pastos y plantas decorativas. Anteriormente la familia usaba solo el agua de la quebrada para dichas actividades, pero a lo largo del tiempo se dieron cuenta que los pisos se volvieron opacos y que las plantas no tenían un aspecto agradable, por ende para mejorar esas condiciones empezaron no solo a usar esa agua si no la proveniente del acueducto de la vereda La Caimanera; por lo que este sistema al permitir el tratamiento y la reutilización del agua, cumpliendo con los requisitos, se podrá tener aunque no sea muy significativo en este caso, pero importante para la familia, un menor costo en el recibo del agua.

### 10.3.10 Presupuesto aproximado de los costos para el sistema de tratamiento

La estimación de los costos del sistema se obtuvieron gracias a lo consultado con el maestro de obra de confianza Jhon Mosquera quien dio a conocer la cantidad de materiales que se requieren para la construcción de dicho modelo. De esta forma se procedió a cotizar en la ferretería San Carlos, ubicada en el municipio de El Espinal.

Tabla 26. *Cotización aproximada de materiales y mano de obra para la trampa de grasas*

Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Costo
Cemento	Bulto	2	\$ 20.350	\$ 40.700
Tubería sanitaria 3''	m	2	\$ 12.800	\$ 25.600

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
 PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Transporte	Viaje	1	\$ 45.000	\$ 45.000
			<b>Subtotal</b>	\$ 111.300
Mano de obra				\$ 90.000
			<b>Total</b>	\$ 201.300

Autoría propia, 2019.

Tabla 27. Cotización aproximada de materiales y mano de obra para el humedal subsuperficial y el filtro GAC

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Costo</b>
Tubería sanitaria 3’’	m	4	\$ 12.800	\$ 51.200
T sanitaria 3’’	Und	4	\$ 3.750	\$ 15.000
Cemento	Bulto	1	\$ 20.350	\$ 20.350
Ladrillo	Und	150	\$ 500	\$ 75.000
Arena gruesa	m <sup>3</sup>	6	\$ 180.000	\$ 180.000
Piedra gruesa	m <sup>3</sup>	3	\$ 160.000	\$ 160.000
Geomembrana 1,5 mm	m <sup>2</sup>	15	\$ 7.750	\$ 116.250
Plantas	Und	50	\$ 700	\$ 35.000
Grava	m <sup>3</sup>	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Carbón activado granular	kg	2	\$ 59.000	\$ 118.000
Malla	m <sup>2</sup>	3	\$ 75.000	\$ 225.000
Transporte	Viaje	1	\$ 45.000	\$ 45.000
			<b>Subtotal</b>	\$ 1.140.800
Mano de obra				\$ 175.000
			<b>Total</b>	\$ 1.315.800

Autoría propia, 2019.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

*10.3.11 Matriz de impacto ambiental*

A continuación, se presenta el resultado tras desarrollar la matriz de impacto ambiental

Tabla 28. *Matriz de Vester*

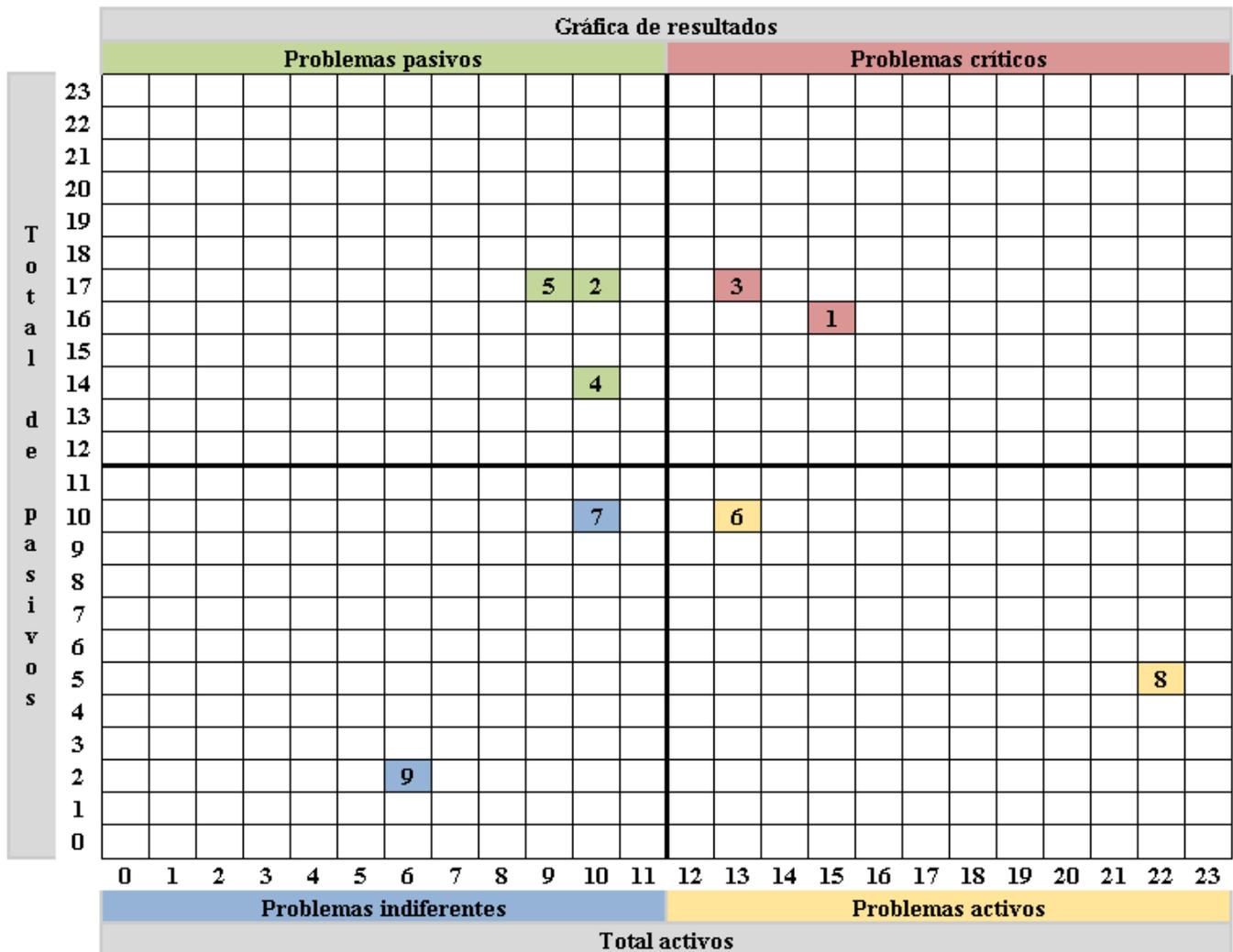
Problemas y/o impactos	Problemas y/o impactos	Problemas y/o impactos									Total de activos
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Perdida de cobertura vegetal (Rivera, 2015).	1	0	3	3	2	3	2	1	1	0	15
Pérdida de ecosistemas (Rivera, 2015).	2	3	0	2	2	1	1	0	1	0	10
Alteración de las condiciones edáficas originales del suelo (Torres y Marín, 2012).	3	3	3	0	2	3	1	1	0	0	13
Modificación del hábitat de especies de fauna y flora (Granados, 2018).	4	2	3	2	0	1	1	1	0	0	10
Remoción de suelo (Torres y Marín, 2012).	5	2	2	1	1	0	1	2	0	0	9
Movimiento de tierra (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, s.f.).	6	2	2	3	1	3	0	2	0	0	13
Generación de residuos (Granados, 2018).	7	1	1	2	2	3	1	0	0	0	10
Extensión de terreno para su construcción (Rivera, 2015).	8	3	3	3	3	3	3	2	0	2	22
Resuspensión de polvo y material particulado (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, s.f.).	9	0	0	1	1	0	0	1	3	0	6
<b>Total de pasivos</b>		16	17	17	14	17	10	10	5	2	

Autoría propia, 2019.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Figura 50. Gráfica de la Matriz de Vester



Autoría propia, 2019.

Como se puede evidenciar en la gráfica de la matriz de Vester obtenida a partir de los problemas e impactos que se pueden generar en el momento de la construcción del sistema de tratamiento, se evidencia que esta actividad si puede ocasionar problemas y/o impactos al ambiente como lo es la pérdida de cobertura vegetal y la alteración de las condiciones edáficas originales del suelo.

**Pérdida de cobertura vegetal.** Se debe a que en el momento de la construcción del sistema de tratamiento se remueve el revestimiento vegetal que tiene el suelo, principalmente para poder realizar la excavación que se requiere con el fin de que el sistema sea de forma enterrada y segundo porque los pocos suelos planos y aptos para dicha construcción son ocupados en su mayoría por las viviendas que hacen parte de la finca (Álvarez y Agredo, 2012).

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

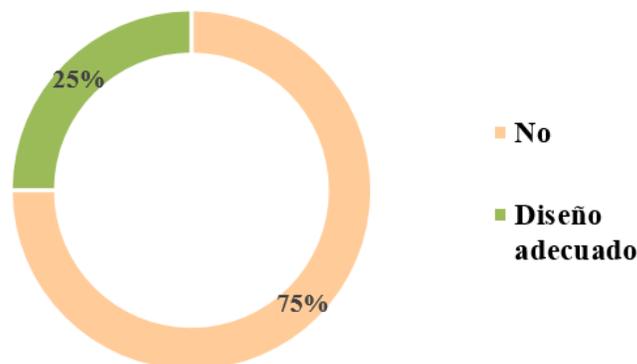
Como bien se conoce la vocación de uso del suelo de la zona es agrícola, por ende, al realizar la construcción del sistema de tratamiento se estaría cambiando su vocación abruptamente; lo que estaría generando también pérdida de cobertura vegetal, es decir, por escasez de suelo urbanizable en la zona. Por último, pero no menos importante a la hora de buscar la porción de terreno donde se pueda realizar la obra, se debe tener en cuenta que la topografía no sea con altas pendientes para evitar el mal funcionamiento del sistema de tratamiento (Álvarez y Agredo, 2012).

**Alteración de las condiciones edáficas originales del suelo.** El suelo presenta un desequilibrio por acciones antrópicas en los factores originales de formación cuando se le es removida la cobertura vegetal, generando alteraciones en el suelo que conllevan a la degradación (Reacciones físicas, químicas y biológicas) de la calidad de dicho recurso y a la erosión del suelo (Mataix, 1999). Sin embargo, este problema y/o impacto puede ser manejado y compensado con el conjunto de especies de flora que estará implementado dentro del sistema de tratamiento, ya que existe la posibilidad de que éstas se adapten al medio y beneficien el suelo de manera adecuada.

Al realizar la debida excavación para tener el espacio necesario para la construcción del sistema de tratamiento para la finca se llevan a cabo movimientos de tierra necesarios, los cuales generan alteración en las condiciones originales del suelo, perdida de cobertura vegetal con la posibilidad de que no se puedan volver a regenerar las especies y ocasionan procesos de erosión más rápidos por la estimulación al suelo (Galindo y Duván, 2016).

Para este criterio también se tuvo en cuenta la opinión de la familia Ortiz, puesto que en la entrevista a profundidad que se les realizo se les pregunto “¿Usted piensa que la construcción o el mantenimiento de alguno de los sistemas de tratamiento mencionados puede afectar al medio ambiente? ¿Por qué?, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 51. *Afectación al ambiente*



Como se observa en la figura 51, 3 (75%) de los 4 entrevistados que hacen parte de la familia Ortiz respondieron “no” pues consideran que como es un sistema de tratamiento que se adapta a la zona rural (paisaje), que cuenta con características ambientales y que tiene un objetivo definido que es mitigar la contaminación directa que se le está haciendo a la fuente hídrica superficial (Quebrada Coyarcó); no ven motivo alguno por el que dicho sistema de tratamiento pueda generar repercusiones al ambiente. Es

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

importante recalcar, que por ello se realizó un estudio de impacto ambiental mediante la matriz de Vester para poder sustentar dicho criterio.

## **11 Conclusiones**

Al realizar la caracterización química y bacteriológica del agua gris, se concluyó que el vertimiento no contaba con las mismas o similares concentraciones de parámetros fisicoquímicos de un agua gris típica, siendo que, los SST, sólidos sedimentables, grasas y aceites, fósforo total, y nitrógeno total estaban por debajo de las características establecidas. Asimismo, dichos valores son cercanos a los mencionados en la Resolución 0631 del 2015, aclarando que se utilizó ésta como punto de referencia, ya que al conocerlos se sobreentendía que para que el agua estudiada fuera reutilizada debían tener un valor mucho menor.

Del mismo modo, se encuentra que los parámetros con mayor interés en la caracterización del agua fue la DQO y la DBO5, puesto que al conocer el valor de la relación DBO5/ DQO del agua (0,06) se infirió que no presentaba buena biodegradabilidad, al estar la DQO muy por encima de la DBO5. En pocas palabras el vertimiento contaba con poca materia orgánica, este resultado no indica que siempre va a tener esta baja concentración ya que esto depende de las actividades que se realicen a lo largo del día en la finca.

Por otra parte, tras realizar la matriz comparativa se obtuvo que el sistema de tratamiento y reutilización más adecuado fue el HFSS, dado que éste se ajustó a las necesidades de la familia, priorizando los siguientes criterios: adecuado paisaje, disminución de olores y vectores, facilidad de operar en clima cálido y bajo costo en construcción y mantenimiento. Adicionalmente, teniendo en cuenta el alto valor de la DQO se incorporó al diseño un filtro GAC, caracterizado de depurar los agentes tensoactivos, causantes de dicha concentración.

Por último, al desarrollar los lineamientos ambientales del modelo se encontró que éste se podía construir de forma enterrada, sin afectar ningún acuífero, igualmente, aunque se está cambiando la vocación de uso del suelo no se considera un gran impacto, puesto que se están incluyendo plantas *Scirpus californicus* que cumplen con las características del entorno, por ende, el modelo de tratamiento y reutilización de aguas grises propuesto no tendrá un alto impacto ambiental en su construcción.

Este modelo permitirá a la familia reutilizar al máximo el agua que es tratada ya que tiene como fin obtener un recurso de aptas condiciones para el aprovechamiento en actividades no potables, debido a que el caudal no es muy grande se concluye que no se podrá utilizar en el riego del cultivo, pero si en las actividades que realizan en la finca tales como en el riego de los pastos, plantas decorativas y limpieza de los pisos.

## **12 Recomendaciones**

- Dado que hubo pérdidas de residuos de alimentos por no tomar una muestra de agua cuando se realizó el lavado de platos en la finca, se recomienda para próximos estudios, que sea necesario que, en el muestreo del agua gris, se realicen en su totalidad las actividades cotidianas por parte de la familia en la finca, lo que permitirá tener una caracterización microbiológica y fisicoquímica de mayor calidad, obteniendo valores más precisos.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

- Es necesario analizar la turbidez del agua gris, que por circunstancias de tiempo no se pudo tener en cuenta durante este trabajo, esto permitirá tener un parámetro adicional a comparar con lo establecido en Guide Lines for Water Reuse por la US EPA, teniendo más datos que ayudarían a argumentar la posibilidad de reutilización del agua gris en actividades no potables.
- El aspecto económico del diseño del modelo de tratamiento y reutilización puede ser profundizado con un estudio en el que se identifiquen específicamente cuáles serían los beneficios económicos que traería la reutilización de las aguas grises provenientes de la finca, así como el tiempo en que pueden ser retornados los costos de la inversión del sistema.
- Se invita a futuros estudiantes que tengan interés en el tema de este proyecto y/o deseen ir más allá de los objetivos que se le dieron al mismo, a realizar una prueba piloto del sistema de tratamiento propuesto mediante planos; con el fin de corroborar y ratificar que este trabajo se realizó con base a resultados obtenidos en laboratorio ambiental y con toda la ética profesional.
- Se espera que este proyecto, enfocado específicamente en aguas grises sirva como guía base para el desarrollo de futuros trabajos que tengan inclinación por dicho tema, ya que en Colombia no hay normativa específica para aguas provenientes del uso doméstico

## 13 Referencias bibliográficas

Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos. (2012). Guidelines for Water Reuse. Estados Unidos: Agency for International Development. Recuperado el 25 de agosto del 2019 de <https://www3.epa.gov/region1/npdes/merrimackstation/pdfs/ar/AR-1530.pdf>

Agudelo, X., Sandoval, A., y Sánchez, K. (2017). *Diseño del complejo eco turístico “La Holgazana” El Espinal, vereda La Caimanera* (Tesis de pregrado). Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima.

Álvarez, A.C. y Murillo, P. A. (2018). *Propuesta para el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales en el matadero de Supatá, Cundinamarca*. Recuperado el 21 de septiembre del 2019 de los archivos de la Universidad El Bosque

Álvarez, J., y Agredo, G. (2012). *Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana San Luis (Manizales)*. Luna Azul ISSN 1909-2474. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n37/n37a04.pdf>

Alianza por el Agua. (2018). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Centa. Recuperado el 28 de septiembre del 2019 de <http://idiaqua.eu/web/wp-content/uploads/2018/07/monografico3.pdf>

Al-Jayyousi, O. (2003). *Greywater reuse: towards sustainable water management*. Desalination, 181 - 192.

Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J. & Hernández, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico (Colombia)*, 74, 12-22.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Recuperado el 24 de marzo del 2019 de <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Fitorremediacion%20con%20humedales%20artificiales%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20porcinas.pdf>

Arias, O. (2004). *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Recuperado el 7 de octubre del 2019 de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3339>

Arroyave, J., Builes, L. y Rodríguez, E. (2012). La gestión socio-ambiental y el recurso hídrico. *Journal of Engineering and Technology*, 1(1). Recuperado el 2 Julio del 2019 de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/jet/article/view/212/383>

Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política de 1991*. Bogotá D.C: Secretaría Jurídica distrital

Atanasova, N., Dalmau, M., Comas, J., Poch, M., Rodriguez-Roda, I. y Buttiglieri, G. (2017). Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities. *Journal of Environmental Management*, 193, 503–511. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.02.041

Baena, G. (1985). *Manual para elaborar trabajos de investigación documental*. México: Editores Mexicanos Unidos. Recuperado el 15 de julio del 2019 de <http://biblio.upmx.mx/library/index.php?title=20819&query=@title=Special:GSMSearchPage@proces=@autor=BAENA%20PAZ,%20GUILLERMINA%20@mode=&recnum=13>

Bani-Melhem, K., Al-Qodah, Z., Al-Shannag, M., Qasaimeh, A., Rasool, M. y Alkasrawi, M. (2015). On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system. *Journal of Membrane Science*, 476, 40–49. doi: 10.1016/j.memsci.2014.11.010

Barba, L. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición*. Universidad del Valle. Recuperado el 10 de septiembre de 2019 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>

Bedoya, J. (2005). *Propuesta de un sistema para la reutilización del agua proveniente de las últimas etapas del lavado industrial de textiles hoteleros y hospitalarios*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá D.C.

Bernal, O. (2014). *Diseño de unidad piloto de humedales artificiales de flujo subsuperficial para tratamiento de aguas residuales domésticas en el campus UMNG - Cajicá con fines de reuso*. Recuperado el 24 de Marzo del 2019 de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1749/T060.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bohórquez, C. y Sarmiento, D. (2017). *Análisis del uso de biorreactores de membrana para tratamiento de aguas residuales y posible implementación en Colombia*. Recuperado el 11 de Julio del 2019 de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15221/1/TESIS%20MBR.pdf>

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Cajal, A. (2018). ¿Qué es la Matriz DOFA Personal y Cómo se Hace? Recuperado el 25 de septiembre del 2019 de <https://www.lifeder.com/matriz-dofa-personal/>

Carrasco, W. (2016). *Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia*. Revista de Ingeniería Universidad de Los Andes (44), 46-53

Carvajal, A., Zapattini, C. y Quintero, C. (2018). Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. *Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, 5, 88-108.

Chang, J. (2019). *Calidad de agua*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Recuperado el 20 de agosto de 2019 de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201%2C2%2C3.pdf>

Climate-Data.org. (2019). *Clima Espinal*. OpenStreetMap. Recuperado el 8 de octubre de 2019 de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/tolima/espinal-50389/>

Coasintol. (2000). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial Espinal. Documento técnico soporte*.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2014). Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural (3810). Recuperado el 2 de Julio del 2019 de <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3810%20-%202014.pdf>

Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo del Tolima. (2012). *Plan Departamental de Gestión del Riesgo del Tolima Periodo (2013 - 2030)*. Recuperado el 8 de octubre de 2019 de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/384/PDGR%20Tolima.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2000). *2.5 Fisiografía y suelos*. Recuperado el 8 de octubre de 2019 de [https://cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/pom\\_prado/diagnostico/f25.pdf](https://cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_prado/diagnostico/f25.pdf)

Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2007). *Plan de acción trienal 2007 – 2009*. Recuperado el 8 de octubre de 2019 de [https://cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/nuestra/planes\\_proyectos/pat/pat\\_2007\\_2009.pdf](https://cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/nuestra/planes_proyectos/pat/pat_2007_2009.pdf)

Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2013). *Plan de Gestión Ambiental Regional del Tolima 2013 – 2023*. Recuperado el 11 de agosto de 2019 de [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/boletines/nov2012/PGAR\\_2013\\_2023\\_TOLIMA\\_01\\_12\\_12.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/boletines/nov2012/PGAR_2013_2023_TOLIMA_01_12_12.pdf)

Cuthbert, J. (s.f.). *Aplicación de la Matriz Vester*.

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Dalahmeh, S.S., Pell, M., Vinnerås, B., Hylander, L.D., Öborn, I. y Jönsson, H. (2012). Efficiency of Bark, Activated Charcoal, Foam and Sand Filters in Reducing Pollutants from Greywater. *Water Air Soil Pollut*, 223(7), 3657–3671. Doi: 10.1007/s11270-012-1139-z

Deloya, A. (s.f.). Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno. *Tecnología en marcha*, 13(3), 57 – 59.

Delgado, S., Trujillo, J. y Torres, M. (2017). *Gestión del agua en comunidades rurales; caso de estudio cuenca del río Guayuriba, Meta-Colombia*. Revista Luna Azul, 45, 59-70. Recuperado el 2 Julio del 2019 de <http://vip.ucaldas.edu.co/lunazul/index.php/english-version/91-coleccion-articulos-espanol/249-gestion-del-agua-en-comunidades-rurales>

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del

Agua (Centro AGUA). Recuperado el 23 de marzo del 2019 de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Dietrich, J.P., Basagaoglu, H., Loge, F.J. y Ginn, T.R. (2003). Preliminary assessment of transport processes influencing the penetration of chlorine into wastewater particles and the subsequent inactivation of particle-associated organisms. *Water Res*, 37 (1), 139–149. doi: 10.1016/S0043-1354(02)00239-7

Diputación de Valencia. (2016). Manual sobre depuración en pequeños municipios en la provincia de Palencia. Palencia: Itagra. Recuperado el 25 de septiembre del 2019 de [https://www.diputaciondepalencia.es/system/files/publicacion-pdf/20160621/manual\\_depuracion\\_provincia\\_palencia12-11-10.pdf](https://www.diputaciondepalencia.es/system/files/publicacion-pdf/20160621/manual_depuracion_provincia_palencia12-11-10.pdf)

Dueñas, C. Amaya, L., y Donado, L. (2015). *Reúso del agua residual tratada. Una propuesta de regulación para el uso seguro*. Convenio No. 100 Universidad Nacional de Colombia – Secretaría Distrital de Planeación. Bogotá D.C. Recuperado el 18 de agosto del 2019 de [https://www.researchgate.net/publication/287645863\\_Reuso\\_del\\_Agua\\_Residual\\_Tratada\\_Una\\_Propuesta\\_de\\_Regulacion\\_para\\_el\\_uso\\_seguro](https://www.researchgate.net/publication/287645863_Reuso_del_Agua_Residual_Tratada_Una_Propuesta_de_Regulacion_para_el_uso_seguro)

El Congreso de Colombia. (1979). *Ley 9 de 1979*. Bogotá D.C.: Secretaría Jurídica Distrital

El Congreso de Colombia. (1997). *Ley 373 de 1997*. Bogotá D.C.: Secretaría Jurídica Distrital

El Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Bogotá D.C.: Secretaría Jurídica Distrital

Eriksson, A., Auffarth, K., Henze, M. y Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4, 85–104. doi: 10.1016/S1462-0758(01)00064-4

Espacio CV. (2012). *Espacio Clínico Vital*. Tema Fantástico, S.A. <http://espacioclinicovital.blogspot.com/2012/02/que-es-un-taller-interactivo.html>

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Espigares, M. y Pérez, J. A. (s.f.). *Aguas residuales. Composición*. Recuperado el 2 de Julio del 2019 de [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Espinal, C., Ocampo, D. y Rojas, J. (2014). *Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar*. Recuperado el 15 de Julio del 2019 de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4349/62167E77C.pdf;jsessionid=069A51B0D77BC2562A92F25171A5BF3B?sequence=1>

Espinoza, C.E. (2014). *Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes*. Recuperado el 30 de septiembre del 2019 de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/Espinosa%20Ortiz%2C%20Camilo%20Eduardo%20-%202014.pdf>

Fondo para la comunicación y la educación ambiental, A.C. (2007). *Contaminación del agua por detergentes (eutrofización)*. México D.C. Recuperado el 11 de agosto del 2019 de <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-detergentes-eutrofizacion/>

Franco, M. (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile (Tesis de pregrado)*. Recuperado el 20 de agosto de 2019 de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco\\_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Friedler, E., Yardeni, A., Gilboa, Y. y Alfiya, Y. (2011). Disinfection of greywater effluent and regrowth potential of selected bacteria. *Water Science and Technology*, 63(5), 931– 940. Recuperado el 10 Julio del 2019 de <https://search-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/1943869348/AEC68B5358324961PQ/1?accountid=41311>

Galindo, J., y Duván, H. (2016). *Impactos ambientales producidos por el uso de maquinaria en el sector de la construcción*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá.

Garzón, M., Tomasini, A., Moeller, G., Hornelas, Y., Buelna, G., y Mijaylova, P. (2008). Enhanced pathogen removal in on-site biofiltration systems over organic filtration materials. *Water Practice and Technology*, 3(2). doi:10.2166/WPT.2008053

García, G. (2002). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*. Salud Pública Masón. Recuperado el 4 de septiembre del 2019 de <http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>

Garay, C. (2018). *Sistema automatizado para la identificación y análisis de problemas mediante la aplicación de la Matriz Vester*. Recuperado el 29 de septiembre de 2018 de <https://toolsbear.files.wordpress.com/2018/06/guc3ada-de-usuario-matriz-vester-beartoolz.pdf>

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Garrido, M- (1993). *Interpretación de análisis de suelos*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Recuperado el 9 de octubre de 2019 de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_05.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf)

Global Water Partnership. (2011). *¿Qué es la GIRH?* Asociación Mundial para el Agua, Sur América. Hacia un mundo seguro para el agua. Recuperado el 9 de agosto de 2019 de <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/por-que/PRINCIPALES-DESAFIOS/Que-es-la-GIRH/>

Gobernación del Tolima. (2011). *Estadísticas 2011 - 2014. Espinal*. Secretaria de planeación y TIC.

Global Water Partnership. (2000). *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*. TAC Background Papers. No 4, p. 22.

Granados, M. (2018). *Estudio de factibilidad de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistemas de alta montaña en Toquilla*. (Tesis de pregrado). Universidad Libre, Bogotá.

Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z., y Raveh, E. (2007). Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW)—a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households. *Chemosphere*, 66, 916–923. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.06.006

Gunther, F., Craun, J., Brunkard, M., Jonathan, S., Yoder, V., Roberts, J. y Wade, T. (2010). Causes of Outbreaks Associated with Drinking Water in the United States from 1971 to 2006. *Rev. J Clin Microbiol*, 23(3), 507-528.

Halalsheh, M., Dalahmeh, S., Sayed, M., Suleiman, W., Shareef, M., Mansour, M., y Safi, M. (2008). Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan. *Bioresource Technology*, 99, 6635–6641. doi: 10.1016/j.biortech.2007.12.029

Han, Y., Ma, J., Xiao, B., Huo, X. y Guo, X. (2019). New Integrated Self-Refluxing Rotating Biological Contactor for rural sewage treatment. *Journal of Cleaner Production*, 217, 324-334. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.276

Hernández- Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación- Sexta edición*. México D.F: Interamericana editores, S.A. de C.V. Recuperado el 3 de Agosto del 2019 de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Hernández-Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G. y Buisman, C.J.N., (2011). Removal of micropollutants from aerobically treated grey water via ozone and activated carbon. *Water Research*, 45(9), 2887-2896. doi: 10.1016/j.watres.2011.03.009

Ho, J. y Sung, S. (2009). Anaerobic Membrane Bioreactor Treatment of Synthetic Municipal Wastewater at Ambient Temperature. *Water Environment Research*, 81(9), 922-928

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado el 14 de septiembre del 2019 de [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428)

Infante, M. (2017). *Tecnologías para el aprovechamiento del metano disuelto en el efluente procedente del tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas*. Recuperado el 14 de septiembre del 2019 de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25860/TFM-I-695.pdf;jsessionid=DBB45F0B969DE32B57D4ED505F1F1F02?sequence=1>

Jaramillo, U., Cortés, J., Flórez, C. (2015). *Colombia anfibia. Un país de humedales*. Columnen 1. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C.

Jiménez, A. y Cantor, N. (2016). *Estudio de factibilidad de reúso de aguas residuales domésticas tratadas en condominios de estrato alto para riego de zonas verdes en la sabana de Bogotá (Tesis de pregrado)*. Recuperado el 20 de agosto de 2019 de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20559/40102033\\_2016.pdf?sequence=1&isAlloved=y](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20559/40102033_2016.pdf?sequence=1&isAlloved=y)

Karnapa, A. (2016). A review on gray water treatment and reuse. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3. Recuperado el 2 de Julio del 2019 de <https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5551.pdf>

Knowles, P., Dotro, G., Nivalac, J. y García, J. (2011). Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors. *Ecological Engineering*, 37 (2), 99–112. doi: 10.1016/j.ecoleng.2010.08.005

Laaffat, J., Aziz, F., Ouazzani, N. y Mandi, L. (2019). Biotechnological approach of greywater treatment and reuse for landscape irrigation in small communities. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(1), 83–90. doi: 10.1016/j.sjbs.2017.01.006

Li, F., Wichmann, K., y Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407, 3439–3449. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.02.004

López, E.Y. y Rodríguez, M.J. (2016). *Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial como tratamiento de agua residual doméstica en la vereda bajos de yerbabuena en el municipio de chía, Cundinamarca*. Recuperado el 14 de septiembre del 2019 de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20473/41111000\\_2016.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20473/41111000_2016.pdf?sequence=1)

Manna, S. (2018). *Treatment of Gray Water for Reusing in Non-Potable Purpose to Conserve Water in India*. *International Journal of Applied Environmental Sciences*. Vol. 3, N° 8. pp. 703-716. Recuperado el 2 de Julio del 2019 de

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

[https://www.researchgate.net/publication/329466019\\_Treatment\\_of\\_Gray\\_Water\\_for\\_Reusing\\_in\\_Non-potable\\_Purpose\\_to\\_Conserve\\_Water\\_in\\_India](https://www.researchgate.net/publication/329466019_Treatment_of_Gray_Water_for_Reusing_in_Non-potable_Purpose_to_Conserve_Water_in_India)

Martínez, Y., y Villalejo, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 60-61.

Mataix, J. (1999). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración*. (Tesis doctoral). Universidad de Alicante, España.

Makisha, N. y Nesterenko, A. (2018). Wastewater treatment in membrane bioreactors. Features and application. *IOP Publishing*, 1 - 6. doi: :10.1088/1757-899X/365/2/022046

Medina, A. (2012). *Efecto de la granulometría sobre el desempeño de un sistema de biofiltración utilizando material orgánico*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Título D, Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales*. Bogotá, D.C.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010a). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. República de Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado el 2 julio del 2019 de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/direccion-integral-de-recurso-hidrico/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico#documentos-de-inter%C3%A9s>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Resolución 1207 de 2014*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 0631 de 2015*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010b). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Título J, Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural*. Bogotá, D.C.: Vargas Liévano, Armando.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 330 del 2017*. Bogotá D.C.: Ministerio de e Vivienda, Ciudad y Territorio

Moges, M.E., Todt, D., Eregnoa, F.E. Y Heistada, A. (2017). Performance study of biofilter system for on-site greywater treatment at cottages and small households. *Ecological Engineering*, 105, 118–124. doi: 10.1016/j.ecoleng.2017.04.060

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Monjo, R. (s.f.). *El índice n de la precipitación intensa*. Fundación para la Investigación del Clima. Universitat de Valencia. Recuperado el 8 de octubre de 2019 de <http://www.divulgameteo.es/uploads/Indice-n.pdf>

Morgan, J.M., Revah, S. y Noyola, A. (2000). Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos. *616*, 21-64.

Mousel, D., Palmowski, L. y Pinnekamp, J. (2017). Energy demand for elimination of organic micropollutants in municipal wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, *575*, 1139–1149. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.197

Naciones Unidas. (2017). *Guía para el monitoreo integrado del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 sobre agua y saneamiento*. Metas e indicadores mundiales.

Naturaleza del agua residual doméstica y su tratamiento. (s.f). *Naturaleza del agua residual doméstica y su tratamiento*. Recuperado el 4 de septiembre del 2019 de [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_135\\_183\\_88\\_1242.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf)

Navarro, A.E., García, Y., Vázquez, A. y Marrugo, J.L. (2013). Eficiencia de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales del empacado de hortalizas. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, *4*(1), 39-50. Recuperado el 24 de septiembre del 2019 de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627689004>

Niño, E. y Martínez, N. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá (Tesis de pregrado)*. Recuperado el 20 de agosto de 2019 de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11139>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Captación y almacenamiento de agua lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile. Recuperado el 9 de octubre de 2019 de <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>

Oteng, M., Agbesi, M. y de Vries, N. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water Air Soil Pollut*, *229*(255), 1-16. doi:10.1007/s11270-018-3909-8

Ottoson, J. y Stenstrom, T. (2003). Faecal contamination of grey-water and associated microbial risks. *Water Res*, *37* (3), 645–655.

Palmer, S., y Corpus, W. (2018). Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia. *Revista Loginn*, *2*(1), 15-24.

Pazán, A.E. y Trelles, J.S. (2018). *Análisis del estado del arte de humedales subsuperficiales de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales y lodos de depuradoras*. Recuperado el 14 de septiembre del 2019 de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8224/1/13947.pdf>

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Pérez, C., León, F. & Delgadillo, G. (2013). *Tratamiento de aguas. Manual de Laboratorio*. Universidad Nacional Autónoma de México. Departamento de Ciencias Químicas. Tratamiento de aguas. México. Recuperado de [http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo\\_editorial/comite\\_editorial/manuales/tratamientodeaguas\\_m anualprac.pdf](http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/fondo_editorial/comite_editorial/manuales/tratamientodeaguas_m anualprac.pdf)

Pérez, J. D. (2010). *Aplicación y evaluación de un reactor de contactores biológicos rotativos (RBC o biodiscos) a escala laboratorio como tratamiento de los lixiviados generados en el relleno sanitario de la pradera*. Recuperado el 21 de septiembre del 2019 de <https://core.ac.uk/download/pdf/51194433.pdf>

Pochat, V., Donoso, M. y Saldarriaga, J. (2018). *Proceso regional de las américas foro mundial del agua 2018*. Informe regional. Universidad de los Andes. pg. 10. Recuperado el 2 de Julio del 2019 de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/Informesubregional sudamerica.pdf>

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. Paris. Recuperado el 20 de agosto de 2019 de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>

Presidente de la República de Colombia. (2010). *Decreto 3930 de 2010*. Bogotá D.C.: Secretaría Jurídica Distrital

Ramos, A., Prieto, J., Cárdenas, D. y Bernal, M. (2016). Implementación de un sistema de fitorremediación en zona aledaña a reserva forestal protectora El Malmo, Boyacá, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1), 93-103. Recuperado el 11 de Julio del 2019 de <https://search-proquest-com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/1954855599/BB2B9E8661F448C5PQ/1?accountid=41311>

Rivera, D. (2015). *Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia*. Cuaderno Activa, 7, 99-107.

Romero, J. (2013). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, L. P. (2016). *Diseño de un sistema de biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal Neuta en el municipio de Soacha*. Recuperado el 21 de septiembre del 2019 de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8906/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ronzano, E., y Dapena, J. (s.f.). *Eliminación de fósforo en las aguas residuales*. Universidad de Salamanca. Recuperado el 10 de septiembre de 2019 de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/fosforo.pdf>

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAD EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA**

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

Rose J.B., Sun G.S., Gerba C.P. y Sinclair N.A. (1991). Microbial quality and persistence of enteric pathogens in greywater from various household sources. *Water Res*, 25, 37-42. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n4/v30n4a3.pdf>

Rosmini, M., Sequeira, G., Guerrero-Legarreta, I., Martí, L., Dalla-Santina, R., Frizzo, L. y Bonazza, J. (2004). Producción de probióticos para animales de abasto: importancia del uso de la microbiota intestinal indígena. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 3, 181–191. Recuperado el 4 de septiembre del 2019 de <http://rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol.%203,%20No.%202/3.pdf>

Salas, D., Zapata, M., y Guerrero, J. (2007). *Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región*. Scientia et Technica (37).

Sanz, M. (2014). Digestión anaerobia de fangos de EDAR, problemas y soluciones. AGUASRESIDUALES.INFO. Recuperado el 4 de septiembre del 2019 de <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/digestion-anaerobia-de-fangos-de-edar-problemas-y-soluciones>

Sardiñas, O., y Pérez, A. (2004). *Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato*. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 42(2).

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s.f.). *Plata tipo humedal para el tratamiento de aguas residuales de La Congoja*. Municipio de San José de Gracia, Ags. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/ags/estudios/2003/01AG2003H0008.pdf>

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s.f.). *Reactor anaerobio de flujo ascendente en la comunidad de Trojes de Aguirre*. Municipio de San Felipe, Gto. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gto/estudios/2009/11GU2009HD038.pdf>

Solanes M. (1998). *Manejo integrado del recurso agua, con la perspectiva de los principios de Dublín*. Revista de la CEPAL, N° 64: pp. 165-185. Santiago de Chile, Chile.

Suárez, J., Jácome, A., Del Rio, H., Torres, D. y Ures, P. (2012). *El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural*. Recuperada el 3 de Julio del 2019 de [https://www.researchgate.net/publication/324039859\\_El\\_reciclaje\\_de\\_aguas\\_grises\\_como\\_complemento\\_a\\_las\\_estrategias\\_de\\_gestion\\_sostenible\\_del\\_agua\\_en\\_el\\_medio\\_rural](https://www.researchgate.net/publication/324039859_El_reciclaje_de_aguas_grises_como_complemento_a_las_estrategias_de_gestion_sostenible_del_agua_en_el_medio_rural)

Taylor., J. y Bogdan, R. (1992). *Introducción a los métodos cualitativos en investigación*. España: Paidós. Recuperado el 15 de julio del 2019 de [https://www.onsc.gub.uy/enap/images/stories/MATERIAL\\_DE\\_CURSOS/Entrevista\\_en\\_profundidad\\_Taylo\\_y\\_Bogdan.pdf](https://www.onsc.gub.uy/enap/images/stories/MATERIAL_DE_CURSOS/Entrevista_en_profundidad_Taylo_y_Bogdan.pdf)

Torres, J. (2018). *Evaluación de las condiciones de las áreas rurales colombianas para la implementación de filtros verdes como tratamiento de agua residual*. Recuperado el 24 de marzo del 2019 de

## DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PRODUCIDAS EN LA FINCA “EL PORVENIR 2” EL ESPINAL - TOLIMA

Paula Vanessa Moncaleano Forero y Mariana Ramírez Gómez

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16367/1/EVALUACION%20DE%20LAS%20CONDICIONES%20DE%20LAS%20C3%81REAS%20RURALES%20COLOMBIANAS%20PARA%20LA%20IMPLEMENTACION%20DE%20FILTROS%20VERDES%20COMO%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL.pdf>

Torres, P., Vásquez, N., Pérez, A., Madera, C., y Rodríguez, J. (2011). Alternativas de tratamiento biológico aerobio para el agua residual doméstica del municipio de Cali, Colombia. *Afinidad LXVIII*, 555, 381- 388.

Torres, E., y Marín, A. (2012). *Optimización del humedal artificial subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales*. Ingenio Libre.

Torres, M.A. (2016). *Humedales construidos: una alternativa para recuperar funciones ecológicas de los humedales naturales de Bogotá D.C.* Recuperado el 14 de septiembre del 2019 de [https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/644/1/Humedales%20Construidos\\_MATH.pdf](https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/644/1/Humedales%20Construidos_MATH.pdf)

UN WATER (2008). *Tackling a global crisis: International Year of Sanitation 2008*. International year of sanitation. Recuperado el 2 Julio del 2019 de <https://www.unwater.org/publications/tackling-global-crisis-international-year-sanitation-2008/>

Valverde, A. (2012). *Estimación de gases de efecto invernadero en humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal*. Recuperado el 14 de septiembre del 2019 de <https://pdfs.semanticscholar.org/99e0/b7cdff081c99a567ce23bee7cc313bbcc7b4.pdf>

Velazco, C. (2007). Tule (*Scirpus californicus*), FLORES. Flickr. Recuperado el 30 de septiembre de <https://www.flickr.com/photos/aztekium/4586742910>

Weather Spark. (2019). *El clima promedio el Espinal*. Cedar Lake Ventures, Inc. Recuperado el 8 de octubre de 2019 de <https://es.weatherspark.com/y/23371/Clima-promedio-en-Espinal-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>