

**DETERMINAR LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA PILOTO POR DEPURACIÓN  
BIOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
PORCÍCOLAS EN LA FINCA EL GUABITO UBICADA EN LA VEREDA LA  
PLAYA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA**



**DANIELA HERNÁNDEZ ORTIZ  
NANCY BOLENA ORTEGA VALENCIA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
POPAYÁN  
2019**



**DETERMINAR LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA PILOTO POR DEPURACIÓN  
BIOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
PORCÍCOLAS EN LA FINCA EL GUABITO UBICADA EN LA VEREDA LA  
PLAYA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA**



**DANIELA HERNÁNDEZ ORTIZ  
NANCY BOLENA ORTEGA VALENCIA**

**Trabajo de Grado en modalidad de investigación para optar al título de  
Ingeniera Ambiental y Sanitaria**

**Director  
ARNOL ARIAS HOYOS, Biólogo**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
POPAYÁN  
2019**



## NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez revisado el documento final del trabajo de grado titulado **“Determinar la eficiencia de un sistema piloto por depuración biológica para el tratamiento de aguas residuales porcícolas en la finca El Guabito ubicada en la vereda La Playa del municipio de Popayán, Cauca”**, realizado por las alumnas Daniela Hernández Ortiz y Nancy Bolena Ortega Valencia, se autoriza la sustentación de éste para optar al título profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

---

ARNOL ARIAS HOYOS, Biólogo  
Director  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

---

CLARA MILENA CONCHA LOZADA, Magíster  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

---

CESAR JULIAN MUÑOZ DE LA ROSA  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Popayán, agosto 30 de 2019



## **DEDICATORIA**

*Lo más hermoso de alcanzar una meta no es el momento del triunfo, es también mirar atrás, recordar el camino que se ha recorrido y a las personas que siempre han estado conmigo por eso dedico este logro:*

*A Dios por ser el guía en cada etapa de mi vida.*

*A mis padres, Omar Hernández y Lilitiana Ortiz, por el apoyo incondicional, por sus valores y motivación constante.*

*A mis hermanos Camila, Karen y Emmanuel, por su cariño y por darme la fuerza para continuar.*

*A mi hijo Juan Sebastián por ser el motor para lograr este triunfo.*

*A mi novio Oscar Gómez por la ayuda que me ha brindado, por estar a mi lado en los momentos y situaciones más difíciles, por su paciencia y comprensión.*

*A mis familiares y amigos, por los buenos deseos.*

**DANIELA HERNÁNDEZ ORTÍZ**

*Agradezco a Dios, por la vida, por permitir vivir y disfrutar de este logro, por haberme dado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre.*

*A mis padres Nancy Valencia Redín y Luis Ortega Llano que son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación profesional, los que me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios; gracias por brindarme la confianza, oportunidad y recursos para lograrlo.*

*A mi hermano Luis Cere, que es mi ejemplo y lucha para alcanzar mis metas.*

*A mi hija Lía Tayana que es mi motivación y motor para llegar a tener este logro.*

*A mi novio Agustín Mosquera por la ayuda que me ha brindado la cual ha sido sumamente importante, por estar a mi lado en los momentos y situaciones más difíciles dándome su amor, paciencia y comprensión.*

*Y, por último, a todas las personas que hicieron posible este trabajo.*

**NANCY BOLENA ORTEGA VALENCIA**



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por su infinita bondad y amor al darnos la oportunidad de dar este gran paso, con miras a colaborar en la construcción de una sociedad en armonía con el medio ambiente.*

*A la Corporación Universitaria Autónoma de Cauca, por habernos dado la oportunidad de formarnos como ingenieras ambientales y sanitarias dentro de su alma mater.*

*Al Profesor Arnol Arias, presidente de nuestro trabajo de grado, por su confianza y constante apoyo.*

*A todas aquellas personas, amigos, profesores y compañeros que hicieron parte de todo este proceso.*



## CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I. PROBLEMA</b>	<b>17</b>
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo general	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1 Antecedentes	19
2.2 Bases teóricas	22
2.2.1 Aguas residuales	22
2.2.1.1 Domésticas o urbanas	22
2.2.1.2 Industriales	22
2.2.1.3 Infiltración y caudal adicionales	22
2.2.2 Aguas residuales porcícolas	22
2.2.2.1 Demanda biológica de oxígeno (DBO)	23
2.2.2.2 Demanda química de oxígeno (DQO)	23
2.2.2.3 Sólidos suspendidos totales (SST)	23
2.2.3 Tipos de tratamiento de las aguas residuales	24
2.2.4 Importancia de tratar las aguas residuales en Colombia	24
2.2.5 Eficiencia del sistema de depuración	24
2.2.6 Cargas contaminantes	25
2.3 Bases legales	25
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA</b>	<b>27</b>



3.1 Ubicación	27
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>35</b>
4.1.1 Construcción de la planta de tratamiento.	37
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>49</b>
5.1 Conclusiones	49
5.2 Recomendaciones	49
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>56</b>



## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Normatividad para aguas residuales en Colombia	25
Tabla 2. Ficha de mantenimiento.	32
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos a evaluar	33
Tabla 4. Parámetros máximos permisibles según la Resolución 0631 del 2015	33
Tabla 5. Carga contaminante del agua de entrada a la planta	35
Tabla 6. Cálculos del diseño de la planta de tratamiento	36
Tabla 7. Muestreo del agua de la entrada de la planta	40
Tabla 8. Caracterización de agua residual entrada y salida del sistema	41
Tabla 9. Muestreo demanda química de oxígeno (DQO)	43
Tabla 10. Muestreo demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	44
Tabla 11. Muestreo sólidos suspendidos totales (SST)	45
Tabla 12. Eficiencia de remoción de la planta de tratamiento residual por cícolas	46
Tabla 13. Comparación de eficiencia y economía de la planta de tratamiento por depuración biológica con una convencional	47



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación del área de estudio	27
Figura 2. Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas	30
Figura 3. Socialización y capacitación	31
Figura 4. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, plano en planta	37
Figura 5. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, plano en perfil	38
Figura 6. Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas	39
Figura 7. Muestreo de entrada de aguas residuales porcícolas	41
Figura 8. Porcentaje de remoción de aguas residuales porcícolas	46



## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Caudal	28
Ecuación 2. Tiempo de retención	28
Ecuación 3. Eficiencia de remoción	33



## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Encuesta	57
Anexo B. Aforos de caudal	59
Anexo C. Tiempo de retención	63
Anexo D. Álbum fotográfico	64
Anexo E. Resultados de la CRC muestras de agua	67
Anexo F. Cálculos de eficiencia de remoción	68



## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la finca "El Guabito" ubicada en la vereda La Playa del Municipio de Popayán – Cauca, mismo que tuvo como objetivo determinar la eficiencia de un sistema piloto por depuración biológica para el tratamiento de aguas residuales porcícolas, para, mitigar las necesidades sanitarias que combate esta población frente a la necesidad de producción porcina. No obstante, para la adquisición de información se aplicaron métodos como encuestas con el fin de obtener relatos que evidencien la problemática que se presenta en la población; la observación directa para evaluar el terreno donde se implementó el plan piloto de la planta de tratamiento de agua residual porcícola. Como resultado se encontró, que la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual porcícola, es buena dado que, al ser artesanal, económica y de fácil acceso e instalación, permite tener una disminución de carga contaminante con unos valores significativos a pesar de no cumplir con la normatividad 0631 del 2015 ya establecida. Lo anterior permite concluir que, la implementación del sistema de tratamiento biológico artesanal es una muy buena opción para productores porcícolas y pequeñas fincas que no tienen recursos económicos, pero que pretenden cuidar el medio ambiente mediante la implementación de sistemas fáciles para tratar aguas residuales. De este modo se recomienda, colocar otro tanque (caja de recolección) para tener mayor evidencia en el sistema y establecer más filtros para mayor remoción en el sistema.

**Palabras clave:** Depuración, Eficiencia, Porcícola, Remoción, Tratamiento.



## ABSTRACT

This research project was made in a farm called “El Guabito”. It is located in La Playa in the Municipality of Popayan, Cauca whose main objective is to determine the efficiency of a test system for biologic depuration for the porcicola wastewater and in this way, mitigate the sanitary needs that this population combats against porcine production. Therefore in order to acquire information, some methods such as surveys and direct observation were applied to get information about population problematic and the direct observation was useful to evaluate the land where the pilot plan of the treatment plant was implemented. As a result, it was found that the efficiency in porcicola wastewater treatment plant was good because of it is artisanal, economic and easy to access and install, it allows to have a reduction in contaminant load with meaningful values, despite not complying with the regulations 0631 del 2015 already established. The last allows to conclude that the implementation of the artisanal treatment system is a very good option for biological porcicola producers and small farmers that don't have economic resources, but that intend to take care of the environment through the implementation of easy systems to treat wastewater. In this way, it is recommended to put another tank (collection box) to have more evidence in the system and establish more filters for greater removal in the system.

**Key words:** Depuration, Efficiency, Removal, Porcicola, Treatment.



## INTRODUCCIÓN

Esta investigación, toma por general el actuar de los porcicultores a partir de la producción porcina que se lleva a cabo en la finca El Guabito ubicada en la vereda La Playa del Municipio de Popayán – Cauca, implementando una planta de tratamiento de agua residual porcícola por depuración biológica con el fin de determinar la eficiencia de este sistema piloto, la cual surge por medio de una investigación realizada en Brasil donde su objeto era la fabricación de fosas sépticas económicas para personas de bajos recursos [1].

Los sistemas de digestión anaerobia presentan eficiencias de remoción entre 81.7 y 97.5% de la DQO; entre 94.4 y 99.3% de la DBO5; y entre 76.0 y 99.6% de SST. Estos valores son mejores que los reportados por otros autores quienes encontraron una eficiencia de remoción de 71% de la DQO y 74% de los sólidos totales al tratar agua residual porcina en un digestor anaerobio de bajo costo. Esta diferencia se debe básicamente a que estos autores utilizan un TRH de 15 días, donde la implementación de esta planta a partir de la continuación de estudios pertinentes obtendrá una mayor remoción de cargas contaminantes [2] y [3].

No obstante, es pertinente resaltar que a nivel mundial y regional se ha identificado que el agua residual porcícola puede ocasionar la acumulación de nutrientes en el suelo y producir su alteración en pH, la infiltración al subsuelo de nitratos, contaminación microbiológica, entre otros. Otro problema relacionado es la acumulación de metales pesados en la capa superficial del suelo, particularmente por la presencia de sales de hierro y cobre [4].

Dicho lo anterior, la planta de tratamiento de agua residual porcícola por depuración biológica desarrollada en la presente investigación, debido a que es una forma económica y viable de reducir la contaminación de manera convencional, donde mediante ésta, el agua residual porcícola tiene un proceso biológico que permite la reducción de carga contaminante presente en el efluente concediendo su reutilización.

Por ende, se opta por este plan piloto de aguas porcícolas debido a que es útil, de fácil acceso para personas de bajos recursos económicos, su instalación es sencilla, rápida y no requiere de mucho tiempo para su implementación, además de que puede ser un sistema portátil.

## JUSTIFICACIÓN

Las altas exigencias sanitarias y ambientales por parte de las entidades de control del Estado, obliga a los porcicultores a establecer mecanismos que garanticen un producto sano y nutritivo, sin ocasionar daños al medio y al ecosistema en general. Por ello, desarrollar este sistema de tratamiento de aguas residuales, es muy importante dado que contribuye a eliminar focos de contaminación donde habitan algunos microorganismos, transmisores de enfermedades como virus aftosa, rinitis atrófica, influenza, entre otras que puedan afectar la salud de los porcicultores, sus familias y la comunidad en general [5].

El estudio se considera pertinente, ya que al ser adoptado por otros porcicultores contribuye a la minimización del riesgo de contaminación en las fuentes de agua, puesto que la normatividad colombiana de vertimientos exige generar un control de parámetros que conlleven al buen uso del recurso y asimismo un tratamiento adecuado para que en la disposición final el cuerpo de agua receptor, se vea lo mínimamente impactado. De igual manera los porcicultores de la zona se verían favorecidos, ya que podrían mejorar las condiciones del ambiente evitando malos olores y proliferación de vectores, logrando obtener productos limpios acorde con las normatividades ambientales establecidas por las entidades de control como el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la Secretaria de Salud Departamental, entre otras [6].

Adicionalmente, los beneficios también estarían representados en un mejor aprovechamiento del recurso hídrico, dado que podría reutilizar el agua tratada en los sistemas de riego de plantaciones. En este sentido, la presente investigación servirá de guía para futuros investigadores, y porcicultores debido a que aporta nuevas tecnologías o bases más económicas amigables con el ambiente, de allí que los hallazgos obtenidos servirán como referente para el diseño e implementación de otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, siendo éste un tema de gran interés en la actualidad.

Por otro lado existen en el mercado diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales porcinas como las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), los humedales, las plantas de flotación iónica, entre otros sistemas, pero lastimosamente los altos costos de los equipos, infraestructura e instalación, hacen imposible su utilización por parte de los propietarios de la finca y de los pequeños porcicultores en general [7].

Es aquí donde surge la iniciativa de desarrollar un proyecto piloto para implementar y evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento por depuración biológica para el manejo de las aguas residuales porcícolas, que además de su fácil instalación, sea económicamente asequible para los propietarios de la finca.

De esta manera, podría generarse un impacto positivo, dado a que el sistema podría ser implementado por otros porcicultores del sector de El Guabito, donde se evidencia la misma problemática, y por tanto traería beneficios en la calidad de sus productos, evitando perjuicios a la salud de la población y al medio ambiente en general. Por ende, se espera que, con la elaboración de la planta de tratamiento de agua residual en dicha región con la población identificada, los habitantes generen y contribuyan a la utilización de esta herramienta para ayudar a minimizar la contaminación producida por las aguas residuales porcícolas.

## CAPÍTULO I. PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

El sector porcino ha venido creciendo de manera acelerada en los últimos años, convirtiéndose en una de las principales actividades económicas para muchos países en el mundo, pero en algunos casos, no tiene en cuenta los impactos que la actividad genera sobre el ambiente, especialmente en zonas rurales. Las heces de cerdo es uno de los principales focos de infección por el cual algunos microorganismos pueden permanecer latentes por un periodo muy prolongado, otros son llevados por el aire de una granja a otra siendo los climas húmedos y fríos más favorables para la transmisión de enfermedades como virus aftosa, problemas de rinitis atrófica, influenza, entre otros [8].

En Colombia aproximadamente menos del 5% de estas aguas reciben algún tipo de tratamiento. Esta realidad es evidenciada en la finca El Guabito, localizada en la vereda La Playa, donde las aguas residuales porcícolas son desechadas a la quebrada La Buitrera sin ningún tipo de tratamiento, ya que construir una planta de tratamiento residual (PTAR) tiene altos costos, propiciando la aparición de enfermedades como diarrea, dengue, paludismo, entre otras, epidemias que podrían afectar a las familias del sector. Lo anterior, es debido a que las aguas porcícolas al ser esparcidas a cielo abierto contaminan el agua superficial y del subsuelo por el nitrógeno y fósforo contenido en el estiércol [9]y [10].

Estas aguas también deterioran la calidad del aire por la generación de gases tóxicos, principalmente dióxido de carbono, ( $\text{CO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), que afectan a los trabajadores de la finca, a las poblaciones vecinas y a los propios cerdos. Esta problemática, se vuelve más compleja, si se tiene en cuenta que dicha quebrada es utilizada como fuente de agua para uso doméstico, recreativo y de riego por personas del lugar, quienes se ven expuestas a contraer enfermedades [11].

Con base a lo antes expuesto, la presente propuesta investigativa busca dar respuesta al siguiente interrogante: ¿cómo determinar la eficiencia de un sistema piloto para el tratamiento de aguas residuales porcícolas en la finca El Guabito ubicada en la vereda La Playa del Municipio de Popayán?

En relación a lo anterior se pretende dar respuesta a la siguiente hipótesis: los cerdos generan una cantidad de heces fecales que aumentan los niveles de contaminación en el agua.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general.**

Determinar la eficiencia de un sistema piloto por depuración biológica para el tratamiento de aguas residuales porcícolas en la finca El Guabito ubicada en la vereda La Playa del Municipio de Popayán - Cauca.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Diseñar una planta de tratamiento por depuración biológica para aguas residuales porcícolas en la finca El Guabito.
- Evaluar la eficiencia de remoción de carga contaminante de la planta de tratamiento para aguas residuales porcícolas mediante el tratamiento por depuración biológica.
- Comparación técnica de la eficiencia y económica de la planta de tratamiento por depuración biológica con una convencional para aguas residuales porcícolas.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Las investigaciones alrededor del tratamiento de las aguas residuales porcícolas por depuración biológica, han venido creciendo con ritmo en los últimos años, donde sobresalen sistemas aerobios, anaerobios y mixtos. Al respecto se citan algunos estudios que ponen en consideración diversos sistemas para este fin.

Se realizó un estudio en el Estado de Campeche México que tuvo como objetivo presentar el diseño de un sistema de tratamiento biológico para una granja porcícola, para ello se realizó la caracterización de la descarga. El estudio plantea diferentes alternativas de tratamiento (con y sin digestor anaerobio previo al sistema lagunar; varios esquemas de sistemas lagunares) mediante un programa de cómputo elaborado por el IMTA. Se concluye que el mejor tren de tratamiento que ofrece una remoción superior al 95% de materia orgánica y una concentración en el efluente menor a 1.000 coliformes fecales, es el conformado por un pre tratamiento (separación física de sólidos), un digestor anaerobio, dos lagunas anaerobias, una laguna facultativa y tres lagunas de maduración [12].

Por otra parte, un estudio realizado en México, tuvo como objetivo la caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos, para ello se realizó monitoreo en las plantas de tratamiento de agua porcícola ya que la mayoría de los sistemas de tratamiento de efluentes de granjas porcinas a escala real presentan baja eficiencia de remoción de contaminantes debido a que se han aplicado sistemas que no toman en cuenta la gran variación de concentración de contaminantes de los efluentes de diferentes procesos productivos (maternidad, destete, engorde y mezcla). Con respecto a los sistemas de tratamiento actualmente aplicados se determinó que el sistema que presenta la mejor eficiencia fue el digestor anaerobio de líquido y sólidos (dalys) operado con un tiempo de retención hidráulico. Sin embargo, a pesar de las altas eficiencias de remoción que presentaron los dalys, la calidad del efluente no es adecuada para ser descargado en cuerpos de agua ni para ser reutilizado en riego agrícola, por lo que se requiere un sistema que continúe el tratamiento y que remueva principalmente nitrógeno, SST, CF y DQO, para lo cual se recomienda un sistema aerobio. [13].

Este sistema puede ser una opción interesante, por ser de bajo costo de operación y mantenimiento, que puede ser operado por el mismo personal de las granjas y presentar de forma estable altas eficiencias de remoción.

Por otro lado, un estudio realizado en Guatemala, tuvo como objetivo el diseño y operación de un modelo para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la granja porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para ello se realizó un biodigestor de flujo

continuo lo cual logró que con el tratamiento de las aguas residuales se obtuviesen buenas remociones de contaminantes, ya que se disminuye considerablemente la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos: totales, disueltos y sedimentables, lo cual se comprobó por medio de un modelo de biodigestor, para así medir la eficiencia en cuanto a la remoción de los parámetros. Con ello se pudo comprobar que con un sistema de tratamiento de aguas residuales se puede bajar la carga contaminante de las aguas residuales generadas en la granja e inclusive darles un reúso; ya que de acuerdo con la experiencia en este tipo de sistema de tratamiento y con los resultados obtenidos a partir de la evaluación del modelo, se pudo comprobar que es posible remover más de un 70% de la DQO y la  $DBO_5$  y más de un 87% de los sólidos totales, disueltos y sedimentables [14].

En el Estado de Morelos (México) se realizó un estudio que tuvo como propósito el de obtener constantes cinéticas de remoción de carga orgánica y bacteriana en un tren de tratamiento piloto y realizar el diseño a escala completa para una granja pequeña ubicada en una zona con clima cálido. Para llevar a cabo este objetivo se realizó la caracterización, el diseño, la selección del sitio, el estudio del terreno, la construcción del sistema lagunar piloto. El diseño considera separación física de sólidos, laguna anaerobia, facultativa y tres lagunas de maduración. Después del arranque y estabilización del sistema, se determinaron los parámetros de pH, temperatura, olor, color, DBO, DQO, coliformes fecales y SST. La remoción de carga orgánica en el sistema fue del 93% y la bacteriana del 99.99%. Los resultados indican que el efluente del sistema lagunar en estudio cumple con la Norma Oficial Mexicana para su reúso en agricultura. De acuerdo con lo anterior el esquema recomendado para el tratamiento de efluentes porcícolas es el de separación física, laguna anaerobia, laguna facultativa y dos lagunas de maduración [15].

En el ámbito nacional también sobresalen estudios como el que se desarrolló en la finca El Porvenir, Vereda Suncunchoque, sector La Laja, Ubaté – Cundinamarca y su reutilización con fines agroambientales, el cual tuvo como objetivo principal evaluar un sistema de biorremediación biológica para el manejo de aguas residuales porcícolas, mediante un sistema de biodigestor de flujo semi-continuo, con base a la ley colombiana de vertimientos. Se tuvo como resultado la mejora de las aguas en los parámetros físicos tales como: sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos sedimentables, además de mejorar parámetros químicos tales como hierro total, DBO, DQO, conductividad eléctrica y zinc, además de obtener la producción de biogás y reutilización de la materia orgánica [9].

Por otra parte, un estudio realizado en el municipio de Tibiritá, Cundinamarca, tuvo como objetivo realizar un impacto ambiental en una granja porcícola, cuyo resultado arrojó que las aguas residuales generadas por el lavado de los corrales son lectadas a través de un canal de desagüe, el cual conduce las aguas hacia un tanque colector de aguas residuales ubicado en la parte exterior de cada módulo, el agua es conducida por gravedad a través de una tubería a un tanque intermedio provisto de

rejillas para la retención del material grueso tales como pelos, astillas y palos. Se evidenció que el vertimiento de aguas residuales provenientes del lavado de la porqueriza recibe un tratamiento físico de remoción de sólidos antes de su descarga. Actualmente, las aguas residuales que salen del tratamiento primario son utilizadas para el riego de cultivos de tomate, caña y pasto. También identificar las necesidades del tratamiento secundario considerando el reúso de las aguas residuales para uso agrícola [16].

Por otro lado, el estudio realizado en la granja San Carlos ubicada en el municipio de Yacuanquer – Nariño, que tuvo como objetivo la implementación de un humedal para tratamiento del efluente de la granja, el cual consiste en la implementación de un humedal artificial empleando carrizo (*sp. Phragmites australis*), para el tratamiento secundario del efluente de los corrales en la industria porcícola San Carlos. Al realizar el análisis de los parámetros de DBO<sub>5</sub>, nitrógeno, fósforo total y sólidos suspendidos, se logró porcentajes de remoción superiores al 50%, lo que indica que la implementación del sistema natural como tratamiento secundario del efluente del biodigestor en la etapa de arranque de la industria porcícola, sí es eficiente para la eliminación de carga orgánica y nutrientes presentes en este tipo de agua residual [17].

Asimismo, el estudio realizado en el Municipio de Cogua – Cundinamarca, tuvo como objetivo la implementación de un sistema autosostenible en la granja agropecuaria para el tratamiento de los vertimientos líquidos porcícolas, para este proyecto se combina la técnica convencional del biodigestor anaerobio y un humedal artificial. La primera fase del proyecto tuvo como finalidad el aprovechamiento energético del biogás producido por la degradación de la materia orgánica, y la disminución en las concentraciones de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, NTK y fósforo, mediante la implementación de un biodigestor construido con parámetros de diseño y características del lugar de estudio. En la segunda fase, se implementó un humedal artificial de tipo subsuperficial, que tuvo como objetivos específicos la reducción en las concentraciones de NTK y Fósforo, y el aprovechamiento del efluente para el lavado de las instalaciones porcícolas. En el sistema implementado, se obtuvieron eficiencias de remoción en concentraciones de DBO, DQO y SST entre el 89 y 93%, y para nitrógeno, fósforo y aceites y grasas se obtuvieron eficiencias entre el 65 y 77%. Para el caso del fósforo, la reducida conductividad hidráulica puede explicar la baja eficiencia en remoción que presentó el humedal, siendo que la arena en comparación con la grava presenta una mayor conductividad y se requeriría un área de terreno más grande [18].

En el ámbito local los estudios sobre el tema en cuestión también han estado presentes, como es el estudio realizado en la granja del centro agropecuario del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), el cual tuvo como objetivo principal: analizar las cargas contaminantes de un filtro biológico con Implantación de *Azolla Anabaena Pinnata*. El estudio concluye que a pesar de haber crecido en el sistema piloto, *Azolla Anabaena Pinnata*, no se adaptó al medio de la manera más

adecuada, puesto que al evaluar los porcentajes de remoción de carga contaminante para el parámetro de DBO<sub>5</sub>, se obtuvo un valor promedio de 33,3% lo cual se encuentra por fuera de lo establecido en la normatividad ambiental vigente [19].

## **2.2. Bases teóricas**

**2.2.1. Aguas residuales.** Éstas provienen de un abastecimiento contaminado, modificadas y alteradas muchas veces por varias actividades, ya sea doméstica, industrial o comunitaria. Estas aguas que previamente han sido utilizadas, modificadas en su composición química, generalmente se consideran como residuos o algo que no tiene uso directo para las personas ya que están contaminadas por sustancias orgánicas, químicas, bioquímicas, entre otras; por ello, si no son tratadas de manera adecuada, generan algunos problemas de contaminación. Este tipo de agua genera actualmente, una contaminación muy alta, y es necesario e indispensable, aplicar unas etapas de tratamiento para mejorar su calidad, ya que con esto conseguiremos un impacto positivo, y puedan ser desechadas sin implicar algún daño ambiental, o reutilizadas para cualquier otro uso doméstico o industrial [20].

De acuerdo con su origen, las aguas pueden ser clasificadas como: Domésticas o urbanas las consisten básicamente en residuos generados por acción humana, generalmente llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas hidráulicas; éstas además de ser generadas en ambientes domésticos, también son generadas en establecimientos comerciales, públicos, etc. Las aguas domésticas, conocidas como aguas negras, provenientes de inodoros, transportan material orgánico, sólidos, nitrógeno y desechos fecales, generados por personas. Las aguas grises son generadas en actividades cotidianas de aseo en el hogar, básicamente provienen de fregaderos, lavaderos, entre otros, por último, éstas también suelen ser llamadas aguas jabonosas [20].

También son clasificadas como Industriales que son líquidos generados en procesos industriales, poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria que las genera. Este tipo de aguas deben ser tratadas de manera especial, debido a sus características biológicas, y se debe tener mucho cuidado al momento de verter el agua, para no generar problemas ambientales Y por último se clasificadas como Infiltración y caudal adicionales, estas aguas producen grietas en el alcantarillado y conexiones en tuberías, por lo tanto, producen contaminación [20].

**2.2.2. Aguas residuales porcícolas.** Son aquellas aguas que resultan de las actividades relacionadas con la cría de porcinos después de realizar actividades cotidianas de limpieza de las cocheras, las cuales requieren un tratamiento previo antes de ser desechadas o reutilizadas.

Estas aguas tienen una composición muy variada de orina y grasas que sumado a los residuos de arena y tierra se convierten en una carga importante de contaminación, especialmente cuando son vertidas a las fuentes hídricas sin ningún tipo de tratamiento [19].

Siendo el agua un medio óptimo para el desarrollo y vida de todos los organismos vivos, especialmente de microorganismos como: bacterias, virus, protozoarios, hongos, rotíferos y otros, los cuales son responsables de la transmisión de enfermedades. Quienes aumentan su proliferación dependiendo las sustancias que alteren el estado natural del agua por medio del agua de abastecimiento [21].

Según la norma 0631 de 2015, los parámetros que se deben tener en cuenta para saber si estas aguas están dentro de los límites permitidos en cuanto a su composición, son:

**2.2.2.1. Demanda biológica de oxígeno (DBO).** La DBO es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. La determinación de DBO además de indicar la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales [4].

**2.2.2.2. Demanda química de oxígeno (DQO).** Es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico. Difiere de la DBO en que en esta última prueba sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable. En la determinación de DQO todo el material orgánico biodegradable y no biodegradable es químicamente oxidado por el dicromato de potasio en medio ácido en la presencia de un catalizador [4].

**2.2.2.3. Sólidos suspendidos totales (SST).** Concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante de microfibra de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros o su equivalente. Medida de los sólidos suspendidos en aguas residuales, efluentes o cuerpos de agua, determinada mediante pruebas para sólidos suspendidos no filtrables. Peso de las partículas sólidas suspendidas en un volumen de agua, retenidas en papel filtro [22].

**2.2.3. Tipos de tratamiento de las aguas residuales.** Los tratamientos de aguas residuales se clasifican de acuerdo con la capacidad de eliminación de carga del agua contaminada y la necesidad requerida. En primer lugar, se encuentra el tratamiento preliminar que se realiza como antecedente a los tratamientos primarios, secundarios, o terciarios, pues las aguas residuales pueden venir con desechos muy grandes y voluminosos que no pueden llegar a las plantas de tratamiento y sirven de igual manera para aumentar la efectividad de estos procesos. Para estos procesos se utilizan, rejillas, tamices y microfiltros. Luego de este tratamiento se realiza el primario que tiene como finalidad remover los materiales que se pueden sedimentar, para ello se recurre a un proceso físico o físico-químico. En este tipo de tratamiento se pueden retirar de un 60 a un 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. Luego del tratamiento primario se realiza el secundario cuya finalidad es eliminar desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron y para remover las demandas biológicas de oxígeno. Con estos tratamientos secundarios se pueden emitir las partículas coloidales y similares. Éste puede incluir procesos biológicos y químicos que aceleran la descomposición de los contaminantes orgánicos. Después de éste, se realiza el tratamiento terciario. Éste consiste en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más costoso que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo, para purificar desechos de algunas industrias [23].

**2.2.4. Importancia de tratar las aguas residuales en Colombia.** El tratamiento de aguas en Colombia se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes. La descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos agropecuarios están contaminando los ríos, las aguas subterráneas, los humedales y las represas de agua, causando un grave daño al medio ambiente y a la salud humana. Los vertimientos generados por el sector agrícola colombiano son los más contaminantes; por ello, el tratamiento de aguas residuales en Colombia es un problema prioritario a resolver. Las aguas residuales pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas, por ejemplo, con tanques sépticos u otros medios de depuración, de manera química como el hipoclorito sódico también se utilizan para eliminar algas y bacterias y obtener un agua pura y limpia. Por último, la otra opción para tratar las aguas residuales es utilizar un sistema de tuberías y dirigir el agua a una planta de tratamiento municipal [24].

**2.2.5. Eficiencia del sistema de depuración.** La depuración elimina casi todo en los efluentes, consiguiendo así respetar al máximo el entorno donde son vertidos, siendo además estas aguas reutilizables para el riego de jardines y zonas de cultivo [25]. Existen tres tipos de depuración que son procesos físicos, químicos, biológicos o térmicos [26].

De los cuatro procesos antes mencionados, el usado para este sistema fue el biológico, que se lleva a cabo por fangos activos, lodos o barros activados es un

proceso biológico empleado en el tratamiento de aguas residuales convencional, que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esa agua [27].

**2.2.6. Cargas contaminantes.** El propósito fundamental de la determinación de las cargas contaminantes es para poder cuantificar de alguna manera los niveles de contaminantes que las diferentes fuentes aportan a sus respectivas cuencas o zonas costeras. Es necesario disponer de un inventario y características específicas y metodología reconocida, dimensionamiento para estimar su carga potencial de contaminantes al cuerpo receptor [28].

### 2.3. Bases legales

El recurso hídrico cuenta con un marco legal muy diverso con el cual se pretende garantizar el uso eficiente del mismo. Por tanto, para la presente investigación se tomará en cuenta las siguientes normatividades como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Normatividad para aguas residuales en Colombia

Norma	Descripción de la norma	Ref.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.	[29]
Decreto 3100 de 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.	[30]
Decreto 1594 de 2010 (derogado por el decreto 3930)	Usos del agua y residuos líquidos.	[31]
Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.	[32]
Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	[33]

Norma	Descripción de la norma	Ref.
RAS 2000 Título E	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – tratamiento de aguas residuales.	[34]

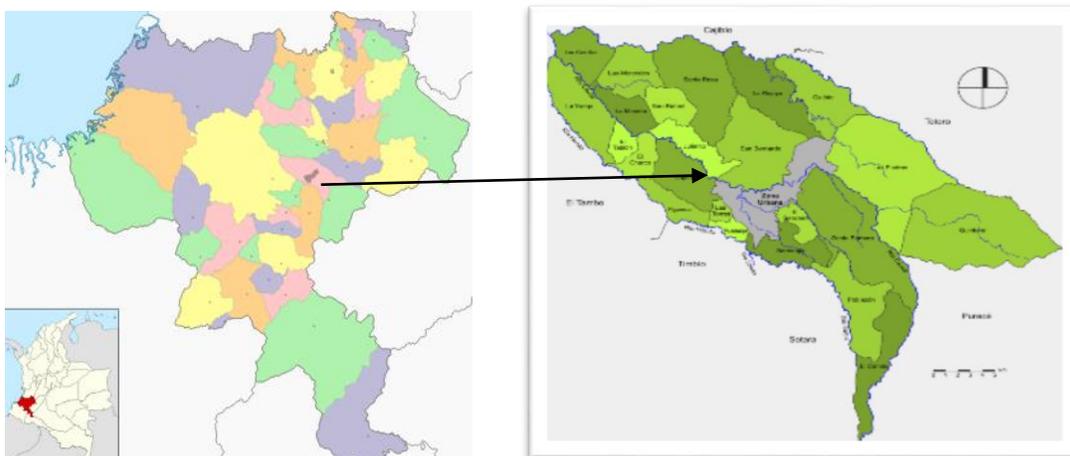
Fuente: elaboración propia

## CAPITULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Ubicación

Este proyecto se ejecutó en la vereda La Playa ubicada hacia el sur de la ciudad de Popayán - Cauca, donde forma parte del área metropolitana, específicamente en las coordenadas Lambert N 2°26'18.71352", W -76°38'27.7875", a una altitud aproximada de 1762.61 m.s.n.m. De igual forma, el clima es cálido y templado, tiende a ser una zona con presencia de precipitaciones significativas, incluso en el mes más seco hay mucha lluvia, alrededor de 2.040 mm de precipitación. La temperatura promedio es de 17.8 ° C [35].

**Figura 1.** Ubicación del área de estudio



Fuente: Google Maps

La principal actividad productiva de esta vereda es la porcicultura. Predominan los cultivos de café, plátano, aguacate, entre otros, que por lo general son utilizadas para uso personal y no como recurso primordial para recurrir a un ejercicio económico. No obstante, cerca de este sector pasa la quebrada La Buitrera, que algunas personas de la población utilizan para realizar labores domésticas [36].

Por otra parte, el municipio de Popayán a pesar de haber sido uno de los núcleos urbanos y económicos más importantes del país hacia finales del siglo XIX, consolidando una estructura tradicional política, fortalecida por el dominio económico de los medios de producción, en particular de la tierra, se ha mantenido a través del tiempo su actividad económica, concentrada en la estructura productiva heredada de la colonia, como es la agricultura, la minería, la ganadería y el comercio, este último en especial. Es por eso que nuestra región puede ser caracterizada de manera como una región preindustrial, según la categorización analítica planteada por Bell (1972), es decir, una sociedad caracterizada por mantener una economía ubicada en el sector primario, siendo su perfil ocupacional

de corte tradicional que se basa en el sentido común y en un proyecto de juego contra la naturaleza [36].

La consolidación de esta estructura tradicional económico-política, fortalecida por el dominio económico de los medios de producción, significó que los modelos de desarrollo económico y en particular el modelo ISI (Industrialización por Sustitución de Importaciones) no generaran en esta región el desarrollo esperado puesto que los proyectos de desarrollo se centraron en regiones que por lo menos tenían una estructura productiva como lo era el Departamento del Valle. Como resultado de este proceso se evidencia el rezago económico, político y social del municipio de Popayán.

Por otro lado, la finca El Guabito, vereda La Playa, centra su actividad productiva en el mantenimiento de cerdos, esta finca tiene una extensión 3780 m<sup>2</sup>, en la cual existe una inclinación de 5.5%, donde se tienen 4 cocheras en las cuales se ha llegado a tener de 25 a 30 cerdos; en el momento hay 7 cerdos grandes y 10 cerdos pequeños, estas cocheras esta ubicadas a pocos metros de la carretera principal de esta vereda.

Este trabajo se realizó en tres fases. La primera fue el diseño de la planta de tratamiento por depuración biológica para las aguas residuales porcícolas para la que fue necesario evaluar la calidad del agua residual porcícolas con base a la resolución 0631 de 2015 (Artículo 9). Por ello se realizaron los respectivos aforos de caudal, y datos de remoción para determinar tiempo de retención hidráulica y características fisicoquímicas del agua residual porcícolas.

**Aforos de caudal:** Se halló caudal mediante aforo volumétrico utilizando probetas de 100 cm<sup>3</sup> y cronometro (Anexo B), para esto se aplicó la fórmula:

$$Q = \frac{v}{t} \rightarrow \frac{l}{\text{día}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: Q = Caudal o gasto; V = Velocidad media del agua en el punto; T = tiempo.

**Tiempo de retención:** se tuvo en cuenta el lapso con el cual el líquido entra al recipiente y se tarda en salir del mismo (ver Anexo C)

$$TRH = 1,5 - 0,3 \log(p * q) \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde: P= personas/cerdos; q=producción per cápita  $\frac{L}{\text{Hab.día}}$

En esta fase se utilizó para la limpieza de las cocheras el agua del acueducto Río Negro, pero en algunas ocasiones se usó aguas lluvias.

Antes del lavado de las cocheras se recoge las excretas para realizar abono orgánico. El agua residual que sale de las cocheras está compuesta de baja cantidad de heces, orina, agua, alimento desperdiciado, paja, suelo y otras partículas.

El diseño de la planta de tratamiento se realizó de acuerdo a los datos obtenidos en la caracterización del agua residual. El diseño está basado en una investigación que se realizó en Brasil para áreas rurales, estas plantas fueron definidas por el Instituto de Tecnología Social como un conjunto de técnicas y metodologías transformadoras, desarrolladas y/o aplicadas en la interacción con la población y apropiadas por ella, que representan soluciones para inclusión social y mejora de las condiciones de vida, las tecnologías sociales consisten en alternativas creadas para solucionar algún tipo de problema social y que atiendan a los requisitos de simplicidad, bajo costo y fácil aplicabilidad. [37]

Por otro lado, la construcción de la planta se realizó al pie de las cocheras ya que por el tipo de terreno no se permite construir en otro lugar, también hay que acogerse a la inclinación que existe en la finca, asimismo adaptar nuestra planta al tipo de terreno. Los materiales que se utilizaron fueron: canecas de plástico de 220lts, arena gruesa, grava gruesa, piedra, tierra, tubería PVC de 4", tubería PVC de 2" y pegante de PVC.

Este sistema consiste en la construcción de una planta de tratamiento económica la cual se divide en dos partes: la primera consiste en excavar un agujero y la segunda en construirla.

En cuanto a la primera etapa, se seleccionó un sitio por lo menos 30 metros lejos de pozos, manantiales, cisternas o cualquier otro tipo de estructura de captación de agua, a fin de evitar la contaminación en caso de fuga ocasional. El pozo excavado en el suelo tiene las siguientes medidas: 1 metro de profundidad, 6,7 metros de largo y 1 metro de ancho. Estas medidas se toman a partir de lo establecido por el Instituto de Tecnología Social, y también teniendo en cuenta la inclinación que tiene el terreno lo cual es pertinente observar en la siguiente Figura 2.

**Figura 2.** Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas.



Fuente: elaboración propia

En la segunda etapa, se colocan las canecas plásticas de 220lts de forma secuencial y se le hacen agujeros ligeramente iguales a cada estremo de la caneca, se coloca cada caneca alrededor de 50cm a 1 m de distancia con una pequeña inclinación, de este modo los residuos fluirán por fuerza de la gravedad desde una caneca a otra. Se deben conectar a las canecas con tubos de 4", codos y derivaciones en T. Se deben cortar partes de la tubería de un tamaño tal que cada extremo va 10 cm dentro de cada caneca, en los que se instalaron las conexiones.

Se coloca la brida en la tapa de la primera caneca, sirviendo como escape para que los gases fluyan hacia fuera. Se debe conectar el tubo de 2" en la brida de manera tal que los gases sean liberados en el exterior. Dentro de la tercera caneca se introduce 30cm de tubo de PVC, también se hace un filtro en tres secciones las cuales consisten en colocar en la parte inferior de la caneca una capa de piedra, en la mitad una capa de grava gruesa y por último una capa de grava delgada. Para terminar, se conecta un tubo de PVC de 4" en la última caneca, para que el agua fluya hasta el suelo.

La socialización del diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales porcícolas se llevó a cabo con los propietarios de la finca El Guabito, donde se les explicó el funcionamiento y el alcance del proyecto para luego proceder a la instalación del sistema con base en el diseño establecido, tal y como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3. Socialización y capacitación**



Fuente: elaboración propia

Se manejó una ficha de mantenimiento entregada a los propietarios de la finca antes mencionada con el fin de dar a conocer el objetivo, funciones, descripción física y mantenimiento de la planta de tratamiento, descrita en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Ficha de mantenimiento.

<b>Integrantes:</b> Daniela Hernández Ortiz; Nancy Bolena Ortega Valencia
<b>Objetivo:</b> disminuir la contaminación que produce las aguas residuales porcícolas en el suelo y en la fuente hídrica del municipio de Popayán-Cauca

<b>Función y uso:</b> Esta planta de tratamiento ha sido diseñada y fabricada para reducir carga contaminante de las aguas residuales porcícolas de la finca El Guabito de Popayán – Cauca.
<b>Descripción física:</b> Planta de tratamiento de agua residual porcícola elaborada con materiales como tanques de PVC, tubos de PVC y codos de PVC.
<b>Mantenimiento:</b> (Se realiza cada 3 meses para evitar el colapso) 1. Abrir el primer tanque, lavar con abundante agua y cerrar. 2. Abrir el segundo tanque, lavar con abundante agua y cerrar. 3. Abrir el tercer tanque, sacar el filtro y lavar con abundante agua; luego se coloca en filtro en el tanque correspondiente y finalmente se cierra correctamente.

Fuente: elaboración propia

La segunda fase consistió en la evaluación de la eficiencia de remoción de la carga contaminante. Para esto se realizó un análisis físico – químico de las aguas en la entrada y salida del sistema, siendo necesario la recolección de muestras puntuales cada quince días durante dos meses.

En este sentido, las muestras obtenidas fueron envasadas en los respectivos recipientes debidamente rotuladas y preservadas; después se transportaron al laboratorio certificado de la CRC y otros fueron llevados al laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca, para realizar los análisis de interés, con base a protocolos establecidos por el IDEAM.

Según las muestras obtenidas en los puntos de muestreo seleccionados se midieron algunos parámetros físico-químicos y luego se realizó su respectivo análisis. Los parámetros a evaluar se toman de acuerdo a la resolución 0631 de 2015 “por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y sistemas de alcantarillados públicos y se dictan otras disposiciones” [6], con el fin de determinar el porcentaje de remoción de carga contaminante, para el caso de esta investigación se tuvo en cuenta el sector productivo de agroindustria y ganadería establecido en esta resolución donde se puede evidenciar en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros fisicoquímicos a evaluar

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Unidades</b>
pH	Unidades de pH
Temperatura	°C
Color	PCU
DBO	mg/L
DQO	mg/L
SST	mg/L
Coliformes fecales	UFC/ 100MI
Turbidez	NTU

Fuente: elaboración propia

Con el fin de determinar los porcentajes de remoción de la carga contaminante para cada uno de los parámetros. Con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:  $S_0$ : Carga contaminante de entrada; S: Carga contaminante de salida.

La tercera fase consistió en la comparación con un tratamiento convencional para el tratamiento de aguas residuales porcícolas que según los resultados obtenidos se realizó un análisis físico – químico según la normatividad colombiana, y se determinó la eficiencia de la planta de tratamiento por depuración biológica para aguas residuales porcícolas la cual es justificable en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Parámetros máximos permisibles según la Resolución 0631 del 2015

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Ganadería de porcinos</b>
		<b>Cría</b>
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	900,00
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	450,00
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	400,00

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015

Se llevó a cabo la comparación técnica de la eficiencia y económica de la planta de tratamiento por depuración biológica con una convencional para aguas residuales porcícolas. Para llegar al desarrollo de este objetivo, se realizó la implementación de la planta de tratamiento de agua residual porcícolas por depuración biológica realizada en esta investigación a una convencional, donde a partir de ésta, se tuvo en cuenta las facilidades económicas, de operación, de mantenimiento, tamaño y eficacia, para la comparación de esta planta a la convencional se tuvo en cuenta los resultados de laboratorio arrojados que permitan dar claridad frente a su eficiencia.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos para el cumplimiento de los objetivos planteados de este proyecto, nos llevó a obtener los siguientes resultados.

El diseño de la planta de tratamiento para aguas porcícolas en la finca El “Guabito”, se realizó teniendo en cuenta la información recolectada en campo donde se ejecutó la investigación, y que es necesaria posteriormente para la construcción de la planta de tratamiento de agua residual porcícola. Para ello se tuvo en cuenta las condiciones del agua, ya que es un factor relevante para la realización del diseño de este tipo de planta de tratamiento. El caudal estimado fue de  $5,218 \frac{1}{\text{día}}$ , el cual se tomó como referencia la mayor producción de cerdos obtenida en la finca siendo ésta de 30 cerdos, y utilizando información en cuanto a la constante de rendimiento y consumo de agua por el lavado diario de las cocheras.

Los resultados obtenidos en la medición de los parámetros para aguas residuales porcícolas (DBO, DQO y SST, coliformes fecales y coliformes totales) de la Tabla 5, se asemejan a los presentados por la autora Violeta E, en un estudio que se realizó en el Estado de Campeche México, donde la DQO= 32621.20mg/l; DBO= 5496.03mg; SST= 15063.9020mg/l; Coliformes totales= 2.1E+12NMP/100 ml y coliformes fecales= 3.3E+11NMP/100 ml, estos datos reflejan la realidad de las aguas porcícolas [12].

**Tabla 5.** Carga contaminante del agua de entrada a la planta

<b>DQO</b>	<b>DBO</b>	<b>SST</b>	<b>Coliformes totales</b>	<b>Coliformes fecales</b>
13650mg/L	6240mg/L	45040mg/L	12.2E6Ufc/100ml	6.1E6Ufc/100ml

Fuente: elaboración propia

La información contenida en la Tabla 5, permite demostrar que los parámetros obtenidos en los análisis de las muestras de entrada se encuentran por fuera de los límites máximos permisibles establecidos por la resolución 0631 del 2015. Por lo tanto, son aguas que no pueden ser vertidas directamente a un receptor hídrico.

La caracterización inicial de las aguas residuales porcícolas permitió determinar las concentraciones en las cuales se encontraban tanto los microorganismos como los parámetros fisicoquímicos evaluados durante el estudio. Con base en esto fue posible seleccionar las diluciones y rangos que se emplearon para su cuantificación. De igual forma, teniendo en cuenta el conjunto de los valores de los parámetros se estableció que el agua residual porcícola a tratar presenta una concentración alta de contaminantes [38].

Los análisis microbiológicos que se realizaron inicialmente al agua residual porcícola indicaron la presencia de materia orgánica, esto puede ser atribuido a que

el agua que está llegando a la planta de tratamiento contiene grandes cantidades de sólidos, ya que al hacer el lavado de las cocheras parte de su materia fecal llega a ésta. A partir de esta información, se busca que las aguas del afluente cumplan con los límites permisibles según la resolución 0631 de 2015, por tal motivo es necesario tener en cuenta los cálculos de diseño de la misma para determinar su tamaño.

En la Tabla 6, se muestran los cálculos realizados para la implantación de la planta, tiempo de retención y la capacidad de volúmenes (220lts) de agua emitido por el sistema, indicados en los Anexos B y C.

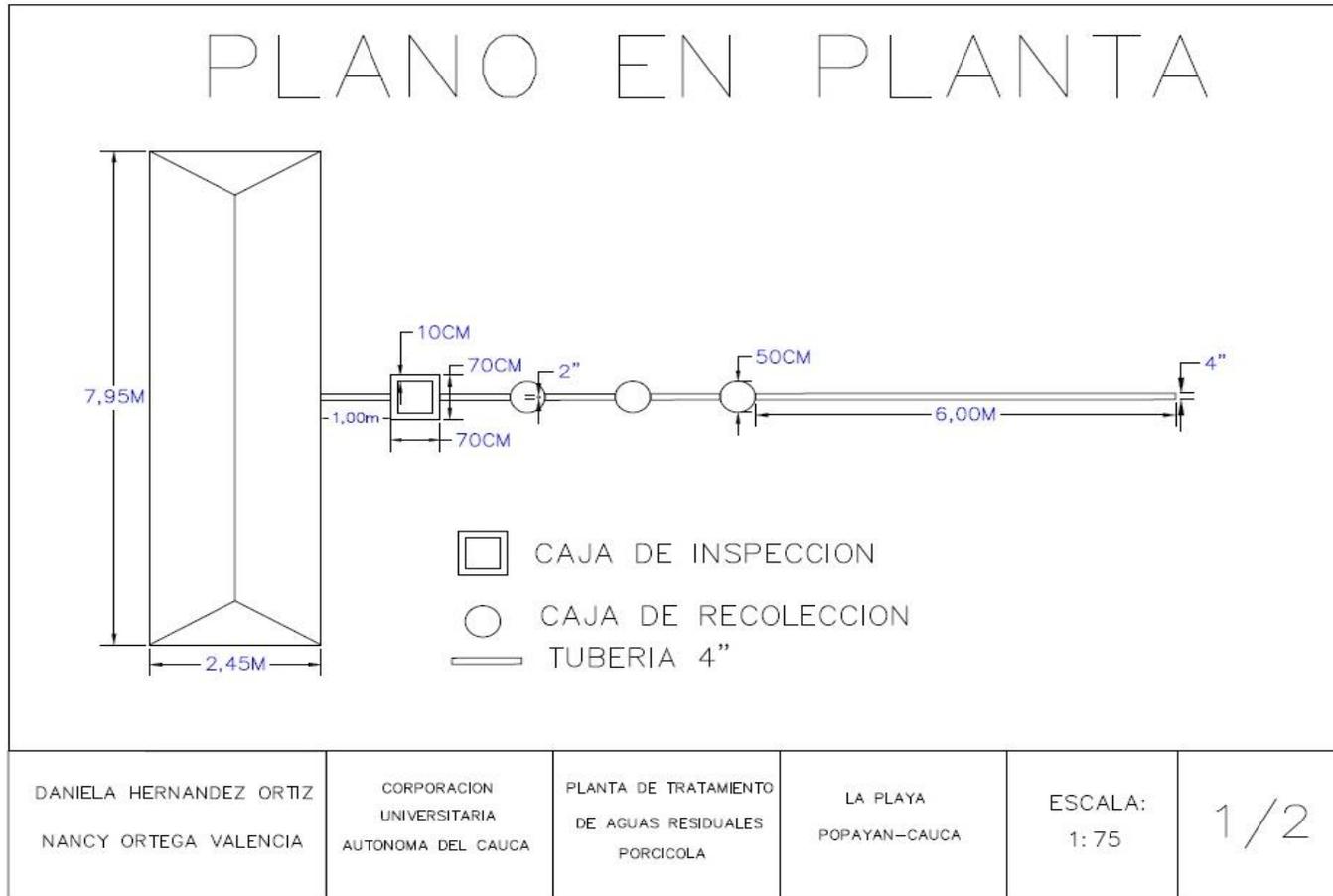
**Tabla 6.** Cálculos del diseño de la planta de tratamiento

<b>Parámetros</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Resultados</b>
Caudal entrada	$Q = \frac{v}{t} \rightarrow \frac{l}{\text{día}}$	$5,218 \frac{l}{\text{día}}$
Tiempo de retención	$Trh = 1,5 - 0,3 \log(p * q)$	$Trh = 1,5 - 0,3 \log(17 * 5,22)$ $= 1 \text{ día}$

Fuente: Elaboración propia

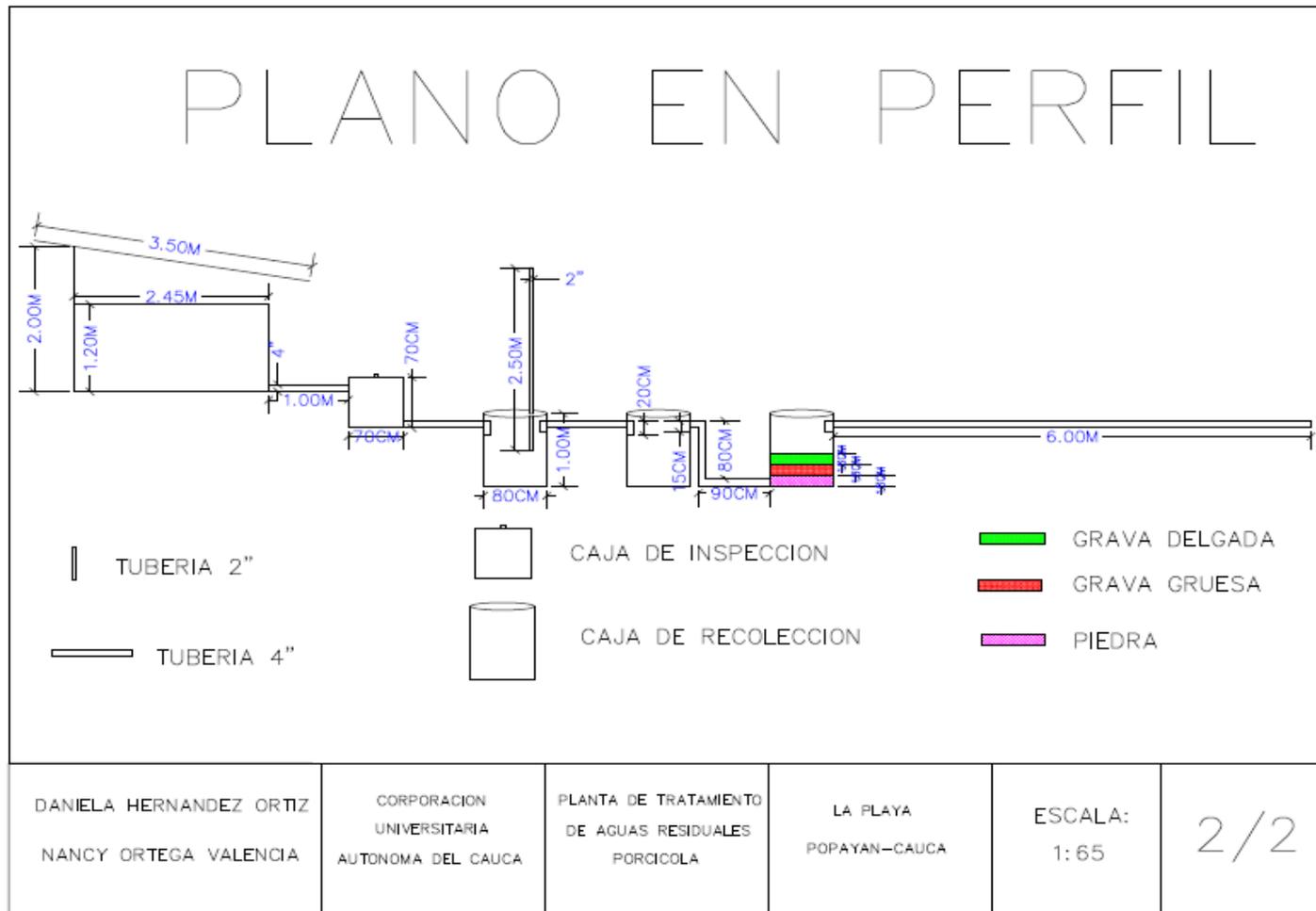
#### 4.1.1. Construcción de la planta de tratamiento.

**Figura 4.** Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas.



Fuente: elaboración propia

**Figura 5.** Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas.



Fuente: Elaboración propia

Realizado el diseño de la planta de tratamiento, se llevó a cabo la construcción de la misma siguiendo los pasos obtenidos en lo que se menciona anteriormente, haciendo la excavación y construcción correspondiente. Como también lo muestra el Instituto de Tecnología Social del Brasil, que son alternativas creadas para solucionar algún tipo de problema social y que atiendan a los requisitos de simplicidad, bajo costo y fácil aplicabilidad [37].

**Figura 6.** Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas



Fuente: elaboración propia

En la Figura 6, se muestran los pasos para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas: a) Preparación de canecas para

instalar; b) Conexión primera caneca; c) Instalación dentro de tubería dentro de las canecas; d) Instalación siguientes canecas; e) Planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas.

Cabe resalta que una vez instalada la planta se socializó y se capacitó a los propietarios de la finca El Guabito y se procedió a su instalación.

Una vez instalados los materiales de la planta de tratamiento, se dio paso a la etapa de adaptación, la cual se llevó a cabo suministrándole agua de las cocheras a la primera caneca, en un lapso de tiempo de 5 días, los volúmenes utilizados durante el periodo de adaptación fueron en la etapa inicial  $5,218 \frac{1}{\text{día}}$  de agua, el volumen fue aumentando a medida que transcurrió el tiempo, hasta el punto que todas las canecas recibieron todo el caudal de entrada.

No obstante, con el propósito de determinar la remoción, que efectuó la planta de tratamiento, se obtuvieron las concentraciones de los contaminantes a lo largo del tratamiento. Los resultados se muestran a continuación:

Respecto a las características físico-químicas del agua residual porcícola, se realizaron muestreos puntuales, que de acuerdo a esto en la Tabla 7 se indica la muestra de los resultados de efluente. Las muestras fueron analizadas para los parámetros siguientes de acuerdo con lo propuesto en la metodología.

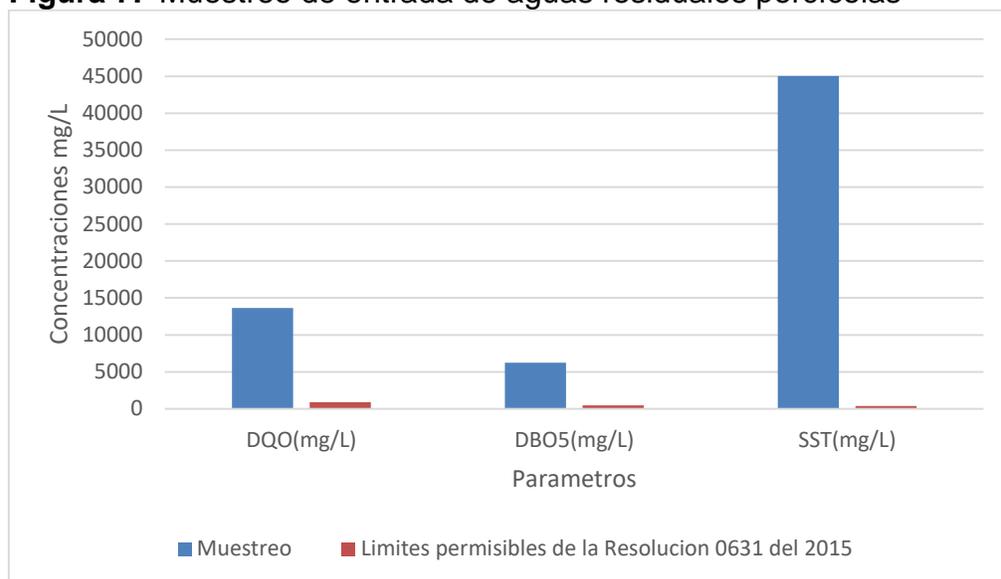
**Tabla 7.** Muestreo del agua de la entrada de la planta

<b>Parámetro/ Muestreo</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	<b>SST (mg/L)</b>
Muestreo	13650	6240	45040
Límites permisibles de la resolución 0631 del 2015	900,00	450,00	400,00

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos en los muestreos de entrada, (entre septiembre y diciembre), los parámetros estudiados DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y coliformes fecales y totales, se encuentran en niveles altos, los cuales sobrepasan los límites máximos permisibles dados por la resolución 0631 del 2015. Lo anterior debido a que las aguas residuales porcícolas contienen residuos en su mayoría orgánicos, inclusive mayores a las aguas residuales domésticas como también se evidencian en la Figura 7.

**Figura 7.** Muestreo de entrada de aguas residuales porcícolas



Fuente: elaboración propia

Definiendo así que este residuo agroindustrial es un factor importante en la contaminación de fuentes hídricas, anotando también que estos resultados se relacionan con la cantidad de cerdos puesto que en el momento de ejecutar el proyecto las instalaciones contaba con un 60% de ocupación y además no se le está dando el manejo adecuado a la limpieza de estas cocheras ya que hay un lavado que no alcanza a remover todas las heces fecales de los cerdos y también esta agua está llegando directamente a la planta sin ningún pre tratamiento.

Los resultados obtenidos una vez instalada la planta de tratamiento reflejaron el comportamiento de los parámetros en la entrada y salida de la misma, donde se evidencia una diferencia notable en todos los parámetros analizados a excepción de la temperatura. Estos resultados se describen en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Caracterización de agua residual entrada y salida del sistema

Parámetros fisicoquímicos	Promedio de datos de agua residual porcícola		Límites permisibles resolución 0631 de 2015
	Entrada	Salida	
pH	7	6.67	6,00 a 9,00
Temperatura(°C)	22.2°C	22.2°C	Análisis y Reporte
Color (PCU)	100	70	Análisis y Reporte
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	6240	1875	450,00
DQO (mg/L)	13650	3032	900,00

Parámetros fisicoquímicos	Promedio de datos de agua residual porcícola		Límites permisibles resolución 0631 de 2015
	Entrada	Salida	
SST	45040 mg/L	810 mg/L	400,00
Coliformes fecales (UFC/ 100mL)	12.2E6	9.0E6	Análisis y Reporte
Coliformes totales (UFC/ 100mL)	6.1E6	4.8E6	Análisis y Reporte
Turbidez (NTU)	960	831	Análisis y Reporte

Fuente: elaboración propia

La Tabla 8, presenta los resultados de los parámetros fisicoquímicos concernientes a la entrada y salida de la planta de tratamiento, aquí se puede observar diferencias significativas en cuanto a los valores del afluente y los valores del efluente teniendo en cuenta los límites máximos permisibles establecidos por la resolución 0631 de 2015, normatividad que muestra el no cumpliendo en los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y coliformes fecales y totales, los cuales no alcanzan a cumplir con los lineamientos establecidos en la normatividad vigente.

Dicho lo anterior, es pertinente decir que la planta diseñada no cumplió las expectativas esperadas, esto puede ser debido a que no hubo un buen tiempo de retención hidráulica y también que el agua residual porcícola tiene una gran cantidad de sólidos, así pues, se observa una diferencia significativa en SST, ya que el agua al entrar a la planta en el primer tanque está funcionando como sedimentador.

Además, se pueden evidenciar los valores obtenidos de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST, en la salida de la planta de tratamiento de aguas porcícolas, y con esto nos damos cuenta la remoción realizada por el sistema, se logró establecer que tuvo un progreso por la depuración de aguas residuales producto de los cerdos, concluyendo que la eficiencia de esta remoción de la planta de tratamiento está en un rango del (40-60%), ofreciendo una alternativa viable para su utilización en estos sistemas de tratamientos de aguas residuales porcícolas.

Los resultados de los muestreos tomados tanto en la entrada como en la salida de la planta de tratamiento, describen de esta forma, el comportamiento que presentaron los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub> y SST en la planta de tratamiento implementado en esta investigación.

Por otro lado, Buelna y Garzón, realizaron un estudio en México, donde evaluaron varios sistemas para tratamiento de aguas residuales porcícolas; la mayoría de estos sistemas de tratamiento presenta baja eficiencia de remoción debido a que no toman en cuenta la concentración de contaminantes del afluente de diferentes procesos productivos (maternidad, destete, engorda y mezcla). Ellos determinaron

que el sistema que presenta la mejor eficiencia fue el digestor anaerobio de líquido y sólidos (dalys) operado con un tiempo de retención hidráulico, Sin embargo, a pesar de las altas eficiencias de remoción que presentaron los dalys, la calidad del efluente no es adecuada para ser descargado en cuerpos de agua ni para ser reutilizado en riego agrícola [13].

En la Tabla 9 se presentan los resultados del comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO):

**Tabla 9.** Muestreo demanda química de oxígeno (DQO)

Parámetro/ Muestreo	DQO(mg/L)
Entrada	13650
Salida	3032
Límites permisibles de la resolución 0631 del 2015	900,00

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 9, se aprecia el comportamiento de los valores de entrada y salida del sistema para la variable DQO, donde se evidencia un cambio significativo del valor de entrada al de salida, lo que se puede atribuir al lavado directo de los cerdos. En relación al comportamiento de salida el cual muestra una tendencia a disminuir, probablemente a la acción metabólica presentada por los microorganismos, quienes utilizan los compuestos orgánicos presentes en el agua, para la producción de biomasa, teniendo en cuenta que también se producen reacciones químicas de óxido-reducción [39].

La DQO como es una medida de componente orgánico, en el caso de nuestra planta de tratamiento la degradación de la materia orgánica se está produciendo mediante procesos biológicos, se puede decir que la DQO está presentando materia orgánica biodegradable. También en este caso la ausencia total de oxígeno en la planta está produciendo gases que pueden ser aprovechados para el uso energético como el metano.

Por otra parte, es necesario otro tipo de tratamiento fisicoquímico para poder disminuir el contenido total de materia orgánica biodegradable, para esto se podría realizar procesos de coagulación y floculación para desestabilizar las cargas de la materia orgánica en suspensión a la vez estamos formando pequeños flóculos de materia orgánica que son fácilmente sedimentables y asimismo realiza un reactor de aireación que ayude a conseguir una mejor oxidación como complemento del proceso de coagulación y floculación disminuyendo la DQO.

Con los resultados obtenidos en los muestreos, se logra estimar que el valor de DQO no cumple con la resolución 0631 del 2015, pero muestra un comportamiento estable hasta la fecha de realización del último muestreo.

Por ejemplo, en el estudio realizado en el Municipio de Cogua – Cundinamarca por Malagón, Arévalo y Zambrano, implementaron un sistema autosostenible en la granja agropecuaria para el tratamiento de los vertimientos líquidos porcícolas, para esto combinaron técnicas convencionales de biodigestores anaerobios y humedales artificiales. tuvo como finalidad el aprovechamiento energético del biogás producido por la degradación de la materia orgánica, y la disminución en las concentraciones de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, NTK y Fósforo, en el sistema implementado, se obtuvo mayor eficiencias de remoción en concentraciones de DQO entre el 89 y 93% [18].

Para el comportamiento de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), los resultados se describen en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Muestreo demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

<b>Parámetro/ Muestreo</b>	<b>DBO<sub>5</sub>(mg/L)</b>
Entrada	6240
Salida	1875
Límites permisibles de la resolución 0631 del 2015	450,00

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 10, se muestra el comportamiento de las concentraciones de la DBO<sub>5</sub> las cuales varían durante el muestreo, sin embargo, en la salida tienden a disminuir, lo que podría indicar que el sistema se podría estar estabilizando.

Por otro lado, el nivel de DBO<sub>5</sub> que se obtiene al final del muestreo de la salida da a conocer que se encuentra fuera del rango que permite clasificarla como agua de buena calidad de acuerdo con la Resolución 0631 del 2015, ya que está por encima de lo establecido.

De igual forma, las concentraciones de DBO<sub>5</sub> están cercanas a cumplir con lo determinado en la normatividad debido a que se lograron observar cifras significativas que muestran eliminación de materia orgánica. Así pues, es pertinente resaltar que el resultado obtenido no fue el esperado lo cual puede ser debido a la retención y sedimentación de la materia orgánica que se encuentra de manera suspendida en la primera estación de la planta de tratamiento. Como resultado de lo mencionado anteriormente, la DBO<sub>5</sub> que entra al sistema se remueve a medida que el agua avanza en la planta de tratamiento.

Respecto a esto, en el estudio de Erazo realizado en la granja San Carlos ubicada en el municipio de Yacuanquer Nariño, se implementó un humedal artificial usando carrizo para tratamiento secundario del efluente de los corrales en la industria porcícola San Carlos. Al realizar el análisis del parámetro de DBO<sub>5</sub>, se logró porcentajes de remoción superiores al 50 %, lo que indica que la implementación del sistema natural como tratamiento secundario del efluente del biodigestor en la

etapa de arranque de la industria porcícola, sí es eficiente para la eliminación de carga orgánica y nutrientes presentes en este tipo de agua residual [17].

En lo concerniente a los sólidos suspendidos totales (SST), se relacionan los resultados en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Muestreo sólidos suspendidos totales (SST)

<b>Parámetro/ Muestreo</b>	<b>SST(mg/L)</b>
Entrada	45040
Salida	810
Límites permisibles de la resolución 0631 del 2015	400,00

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 11, se presentan los valores obtenidos para la variable SST, tanto en el afluente como los efluentes de la línea experimental, los cuales siguen una tendencia a disminuir notablemente, en cuanto a la calidad de agua vertida por la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas no cumple con el límite permisible de la Resolución 0631 del 2015.

En la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas, el mayor aporte de eliminación de materia en suspensión sucede en la zona de entrada y va disminuyendo a lo largo de la planta. En general la eliminación de toda la materia en suspensión podría suceder colocando un sedimentador antes de la planta de tratamiento de agua residuales porcícolas.

La eficiencia de remoción de carga contaminante de la planta, se calculó utilizando los promedios correspondientes de cada parámetro evaluado anteriormente, donde los siguientes porcentajes dan atención a lo mencionado. Como se muestra en el Anexo F.

El estudio diseño y operación de un modelo para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la granja porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizado por Ing. Villalobos arrojó que es posible remover más de un 70% de la DQO y la DBO<sub>5</sub> y más de un 87% de los sólidos totales, disueltos y sedimentables, lo cual es relevante al modelo de biodigestor que realizaron para el sistema de tratamiento de la granja porcina, aunque se debe tener en cuenta que no son aguas residuales iguales y un sistema de tratamiento diferente [40].

**Tabla 12.** Eficiencia de remoción de la planta de tratamiento residual porcícolas

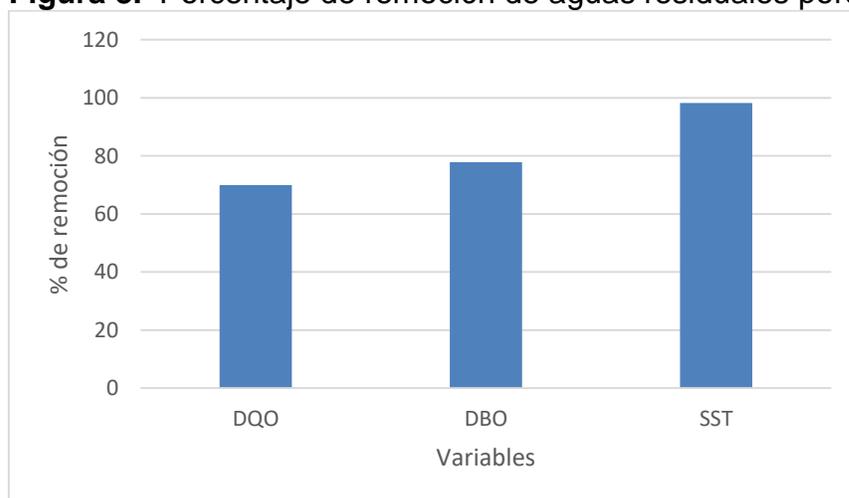
Parámetros	Promedio entrada (mg/l)	Promedio salida (mg/l)	% de remoción
DQO	6240	1875	69,95
DBO	13650	3032	77,79
SST	45040	810	98,20
Coliformes Fecales	12.2E6	9.0E6	26,23
Coliformes Totales	6.1E6	4.8E6	21,31

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 12, se puede observar los valores de los promedios de % de remoción de cada uno de los parámetros evaluados.

Se puede evidenciar en la Figura 8, los resultados obtenidos en los muestreos de entrada y salida del sistema de los parámetros DQO, DBO, SST, coliformes fecales y coliformes totales. Por lo que es pertinente decir que, según los parámetros evaluados, los valores reportados indican que el agua de entrada al sistema tiene un alto nivel de contaminación contrariamente al agua de salida que indica que tuvo un % de remoción significativo, aunque ésta no es calificada para cumplir con los límites permisibles que se encuentran establecidos en la Resolución 0631 del 2015 para tener la funcionalidad eficaz de la planta de tratamiento de agua residual porcícola realizada.

**Figura 8.** Porcentaje de remoción de aguas residuales porcícolas



Fuente: elaboración propia

Debido a lo anterior, se puede plantear que los resultados de la remoción del sistema podrían variar aplicando un pre tratamiento para que éste tuviera una ayuda en cuanto a la disminución de la materia orgánica y sólidos suspendidos consiguiendo obtener un mejor % de remoción por parte del sistema de tratamiento. Por ende, los mismos microorganismos presentes en el agua hacen un proceso de depuración biológica de degradar materia orgánica y por eso se presenta la reducción notable en las variables de DQO, DBO y SST, sin embargo, es la razón por la cual no se evidencia una disminución notable en el caso de los coliformes fecales y coliformes totales.

Por último, se realizó la comparación técnica de la eficiencia y económica de la planta de tratamiento por depuración biológica con una convencional para aguas residuales porcícolas, descrita en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Comparación de eficiencia y economía de la planta de tratamiento por depuración biológica con una convencional

	<b>Sistema por depuración biológica</b>	<b>Sistema convencional PTAR</b>
<b>Instalación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es manual.</li> <li>• No se requiere de personal especializado.</li> <li>• Su instalación es fácil.</li> <li>• No requiere de gran cantidad de personas.</li> <li>• Se necesita poco terreno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere grandes maquinarias.</li> <li>• Se necesitan operadores técnicos.</li> <li>• Demanda de material de construcción.</li> <li>• Precisa un buen terreno y con buenas hectáreas para su instalación.</li> </ul>
<b>Costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su elaboración es artesanal por lo cual su costo es bajo.</li> <li>• Puede tratar caudales bajos por lo que su precio es bajo.</li> <li>• Su valor estimado es menor a \$1.000.000.</li> <li>• Su mantenimiento es manual porque requiere de menor valor monetario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de tecnología por lo que su costo es alto.</li> <li>• Puede tratar caudales muy altos.</li> <li>• Su valor estimado es de muy alto costo por lo cual se de miles de millones para su construcción.</li> <li>• Precisa de personal especializado para realizar el mantenimiento.</li> </ul>
<b>% de remoción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El promedio de remoción de este sistema es de un 40-60%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El promedio de remoción de este sistema es de un 85-95%.</li> </ul>
<b>Mantenimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realiza su mantenimiento cada 3 meses.</li> <li>• Su mantenimiento es realizado por persona no necesariamente capacitado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su mantenimiento es realizado por personal capacitado.</li> </ul>

	<b>Sistema por depuración biológica</b>	<b>Sistema convencional PTAR</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de mantenimiento preventivo diario, mensual y anual.</li> </ul>
<b>Capacitación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de asesoría.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de técnicos especializado.</li> </ul>
<b>Tiempo de construcción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su construcción requiere sólo de un día.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su construcción requiere de un promedio de 1–3 año dado que su elaboración es magna.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 13, se puede observar las características que se tuvieron en cuenta para realizar el análisis de una planta de tratamiento convencional a la realizada en la presente investigación denominada planta de tratamiento de agua residual porcícola por depuración biológica, en la cual se evidencian diferencias significativas que dan una veracidad en cuanto a la economía que tiene una de la otra, dando una proporción reveladora en su tipo de construcción, instalación, facilidad de mantenimiento y su operatividad la cual no requiere de personal capacitado para ejercer la manipulación de la misma.

No obstante, aunque la convencional lleva una prontitud más eficaz frente a la remoción de materia orgánica y disminución de cargas contaminantes en las aguas, es reconfortante decir que la planta de tratamiento realizada en esta investigación, aunque es un plan piloto ejecutada en una finca y no cumple con los límites permisibles de la resolución 0631 del 2015, es pertinente.

Ya que, al compararla con una PTAR de tan alto nivel la cual es diseñada para estos tipos de estudios, la planta implementada para llevar a cabo esta investigación estuvo cerca de llegar a cumplir con la normatividad para ser catalogada como agua de buena calidad, la cual obtuvo unos porcentajes de remoción de materia orgánica significativas y grandes cantidades de disminución de cargas contaminantes en las aguas tratadas, donde lo peor es evacuar el agua directamente sin ningún tratamiento previo hacia el suelo o quebradas produciendo contaminación a las mismas.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

- El diseño y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas por depuración biológica, ofrece una alternativa viable para el tratamiento de las aguas porcícolas para pequeños y medianos productores por sus bajos costos de instalación y de mantenimiento, además de ofrecer a estos productores una tecnología de mitigación a los impactos ambientales generados por esta actividad agroindustrial, permitiéndoles generar productos agrícolas de tipo ecológico.
- En el presente estudio se evidencia que la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas por depuración biológica, presenta valores altos en remoción en cuanto a materia orgánica (DQO 70%, DBO 80% y SST 98%, valores promedio) los cuales pueden mejorar ya que la planta se encuentra en un proceso de crecimiento.
- La implementación de sistemas de tratamiento biológico artesanales es una muy buena opción para productores porcícolas y pequeñas fincas que no tienen recursos económicos, que pretenden cuidar el medio ambiente mediante la implementación de sistemas fáciles para tratar aguas residuales.
- El sistema artesanal implementado genera buenos resultados de remoción, pero éstos no cumplen con la normatividad debido a que es necesario complementar el sistema.
- La planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas por depuración biológica remueve bastante en DQO, DBO<sub>5</sub> y SST.

### **5.2. Recomendaciones**

- Se sugiere que los tiempos de adaptación de la planta de tratamiento de aguas residuales porcícolas por depuración biológica sea superior al mes, para con esto lograr una maduración del sistema y conseguir mejores resultados, en cuanto a las remociones.
- Se recomienda continuar realizando monitoreo al efluente, tomando muestras relativamente periódicas, con el ánimo de conocer el funcionamiento del sistema a través del tiempo.
- Se propone tener en cuenta la cantidad de lodos para hacer aprovechamiento de éstos.

- Realizar investigaciones complementarias que ayuden a establecer cómo aprovechar el gas metano que se está produciendo.
- Se requiere colocar otro tanque (caja de recolección) para tener mayor evidencia en el sistema.
- Se aconseja establecer más filtros para mayor remoción en el sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Andrade, *Alternativas facilitan tratamiento de aguas residuales en áreas rurales*, Brasil: <https://paineira.usp.br/aun/index.php/2017/12/13/alternativas-facilitam-tratamento-de-esgoto-em-areas-rurais/>, 2017.
- [2] Pérez R. (2001). Porcicultura y contaminación del agua en la Piedad, Michoacán, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 17, 5-13.
- [3] Chao R., Sosa R., Pérez A. y Cruz E. (2008). A study on pig wastewater treatment with low cost biodigesters. *Livestock Research for Rural Development* 20 article 149 (en línea). <http://www.lrrd.org/lrrd20/9/chao20149.htm>, fecha de consulta 20/12/11.
- [4] Metcalf y E. , *Ingeniería De Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización*, Tercera ed., vol. I, 1995.
- [5] Damián, *Manual de Manejo Sanitario de Animales al interior de las Fuerzas Militares*,  
<file:///C:/Users/PROFESIONAL/Downloads/MANUAL%20DE%20MANEJO%20SANITARIO%20DE%20ANIMALES%20.pdf%20OK%20PUBL%2019%20ENE%2011.pdf>, 2010.
- [6] M. d. A. y. D. Sostenible, *Resolución 631 de 2015, Disposiciones aplicables a los vertimientos puntuales*,  
[https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R\\_MADS\\_0631\\_2015.pdf](https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf), Marzo 17/2015.
- [7] V. y. T. Vidal, «Gestión de Iso procesos de desontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia,» Antioquia, 2009.
- [8] S. Lafata, *Alternativas de mejora al sistema de Tratamiento de Efluentes líquidos. caso establecimiento estancia La Maza Sebastián*, 2016.
- [9] M. y. S. Matínez, «Evaluación de un sistema de biorremediación de aguas residuales porcícolas en la finca el porvenir,» vereda suncuncho -ubaté Cundinamarca, 2015.
- [10] Taiganides y P. y. Girón, «Manual para el manejo y control de aguas residuales y excretas porcinas en México.,» México , 1996.
- [11] R. 1. c. e. R. P. Espejo, «Producción porcina y contaminación del agua en la piedad mich.,» 2001.
- [12] V. Escalante, «Tratamiento de efluentes de una granja porcícolas en el Estado de Campeche México,» <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-034.pdf>, México, 2002.
- [13] M. A. G.-Z. y. G. BuelnaA, «Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México,» <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a6.pdf>., mexico, 2014.
- [14] E. A. Villalobos, «Diseño y operación de un modelo para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la granja porcina de la facultad de medicina veterinaria y zootecnia de la universidad de San Carlos de Guatemala,» <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/andro.pdf>, Guatemala , 2013.
- [15] V. E. E. Estrada, «Tratamiento de efluentes porcícolas en lagunas de estabilización». Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e

- Ambiental,»  
<http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Archivos/Manejo%20de%20efluentes.pdf> ,  
 Mexico.
- [16] R. A. P. Hettinga, «estudio de impacto ambiental en una granja porcícolas en el municipio Tibirita Cundinamarca, Universidad Militar Nueva Granada,»  
<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15854/3/P%C3%A9rezHetti ngaRafaelAntonio2016.pdf>, Bogotá D.C, 2017.
- [17] E. G. Tania Elizabeth, «Implementación de un humedal para tratamiento del efluente de la granja San Carlos ubicada en el municipio de Yacuanquer Nariño,»  
<http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/libroseditorialunimar/article/view/1326>, Nariño, 2017.
- [18] J. J. A. P. y. L. G. Z. Malagón, «implementación de un sistema auto sostenible en la granja agropecuaria del municipio de Cogua para el tratamiento de los vertimientos líquidos porcícolas,»  
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/13963/T41.07%20A34i.pdf?sequence=1>, Bogotá, D.C, 2010
- [19] y. o. Huetio, *Análisis de la remoción de cargas contaminantes a través de un filtro biológico para tratar efluentes provenientes de procesos productivos agropecuarios de ganadería porcina desarrollado en Popayán Cauca*, Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente. Popayán Cauca:  
[http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3045/Katherine%20Huetio\\_%20%20Mauricio%20Ortiz\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3045/Katherine%20Huetio_%20%20Mauricio%20Ortiz_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y), 2016.
- [20] Fyndecol, *Tipos de tratamientode aguas residuales*, colombia:  
<https://tratamientodeagua.co/aguas-residuales/tipos-tratamiento-aguas-residuales/>, 8 de noviembre del 2017.
- [21] C. Arango Cruz, «Optimizacion del Proceso de Lodos Activados Para Reducir La Generacion De Fangos Reciduales,» 2009.
- [22] «Aguamarket,» 1894. [En línea]. Available:  
<http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3300>.
- [23] Molano, «proyecto de aula construcción de la alfabetización científica a partir del trabajo con cuestiones socio científicas problemática de la contaminación del rio Bogotá,» 2014.
- [24] N. Ivañez, *¿Es eficiente el sistema de depuracion ?*, España :  
<https://augustbioclean.com/2016/07/09/depuracion-de-aguas-residuales-espana/>, 09/07/2016.
- [25] L. electronico, *Ciencia de la tierra y el medio ambiente*,  
<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/180Depur.htm>, 2016.
- [26] *Depuracion Biologica*, 1 nov 2018.
- [27] *Determinacion de carga contaminantes*,  
<http://cep.unep.org/iwcam/documents/meeting-reports/taller-de-implementacion-del-protocolo-de-fuentes-de-contaminacion-terrestres-y->

marinas-del-convenio-de-cartagena/Anexo%2013%20-%20Espinoza%20-%20DETERMINACION%20DE%20CARGAS%20%20%20%20%20CON TAMINANTE.

- [28] Fundamentos de l política Ambiental en Colombia, ley 90 del 93.
- [29] Las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones., 2003.
- [30] Usos del agua y residuos líquidos., 26/06/1984.
- [31] Usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados., 2010.
- [32] Parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público., 2015.
- [33] Tratamiento de aguas residuales, 2000.
- [34] IDEAM. «Atlas climatológico de Colombia». Archivado desde el original el 14 de octubre de 2007.
- [35] B. Daniel, Advenimiento de la Sociedad Post-Industrial, Alianza Editorial., 1972.
- [36] D. Andrade, *Alternativas facilitam tratamento de esgoto em áreas rurais*, Brasil: <https://paineira.usp.br/aun/index.php/2017/12/13/alternativas-facilitam-tratamento-de-esgoto-em-areas-rurais/>, 13/12/2017.
- [37] D. A. Zambrano Franco, N. Rodrigez Valencia, U. Lopez Posada, P. A. Orozco R y A. J. Zambrano Giraldo, *Tratamiento anaerobio de las aguas porcinas*, Cenicafé. Boletín Técnico N° 29., 2006.
- [38] I. S. Segura Estrada , «Cinética de decaimiento de coliformes fecales en un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical,» Mexico, 2017.
- [39] E. A. VILLALOBOS, «DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN MODELO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS,» GUATEMALA, 2013.
- [40] Escalante, «Tratamiento de efluentes de una granja porcícolas en el Estado de Campeche México,» México, 2002.
- [41] y. o. Huetio, *Análisis de la remoción de cargas contaminantes a través de un filtro biologico para tratar efluentes provenientes de procesos productivos agropecuarios de ganadería porcina desarrollado en Popayán Cauca*, 2016.
- [42] Hernandez, Metodología de la investigación, 2006.
- [43] M. A. G.-Z. y. G. BUELNA, CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS Y SU TRATAMIENTO POR, mexico , 2014.
- [44] R. A. P. Hettinga, ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL EN UNA GRANJA PORCICOLA EN EL, Bogotá D.C : Universidad Militar Nueva Granada, 2017.
- [45] E. G. Tania Elizabeth, «Implementación de un humedal para tratamiento del efluente de la granja,» Nariño , 2017.
- [46] S. Sánchez, *Evaluación de opciones tecnológicas para el tratamiento de efluentes de la unidad experimental de cerdos de la UNALM*”, <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2860/T01-S8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y> , 2016.
- [47] S. Lafata, *Alternativas de mejora al sistema de Tratamiento de Efluentes líquidos. caso establecimiento estancia La Maza Sebastián*, <http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Archivos/Alternativa%20de%20Mejora%20al>

- %20Sistema%20de%20Tratamiento%20de%20Efluentes%20liquidos.pdf, 2016.
- [48] M. y. S. Martínez, «evaluación de un sistema de biorremediación de aguas residuales porcícolas en la finca El Porvenir, Vereda Suncunchoque, sector La Laja, Ubaté – Cundinamarca, y su reutilización con fines agroambientales» Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad,» <http://repository.uniminuto.edu:8080/xmlui/handle/10656/3339>, Bogotá D.C., Colombia, 2015.
- [49] R. I. c. e. R. P. Espejo, «Producción porcina y contaminación del agua en la piedad mich.,» <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/159.pdf>, 2001.
- [50] A. Molano, «proyecto de aula construcción de la alfabetización científica a partir del trabajo con cuestiones socio científicas problemática de la contaminación del río Bogotá,» <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/viewFile/3189/2998>, Bogota, 2014.
- [51] Ruiz, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México*, Mexico: en <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>, 2010.
- [52] Martínez, *una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno.*, <file:///C:/Users/PROFESIONAL/Downloads/Dialnet-Biodiscos-4835478.pdf>, 2014.
- [53] V. y. T. Vidal, «Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia,» <http://tesis.udea.edu.co/bitstream/10495/55/1/GestionProcesosDescontaminacion.pdf>, Antioquia, 2009.
- [54] R. H. Sampieri, *Metodología de la investigación*, Mexico: Sexta edición edit; Mac Graw Hill México, 2006, p. 119., 2006.
- [55] A. L. C. Espinoza, «Tratamiento de las aguas residuales porcinas mediante el uso de coagulantes y consorcios microbianos, en la granja porcina “JENNY” – SAPALLANGA, HUANCAYO,» <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1238/Cabrera%20tesis%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, HUANCAYO – PERÚ, 2015.
- [56] R. A. N. G. D. R. Viñas Alvarez Mario, «Tecnología para el tratamiento y aprovechamiento de residuales porcinos en la Habana-Cuba,» <http://www.ingenieroambiental.com/new3informes/trataaguaporcinos.pdf>, Habana, Cuba.
- [57] R. Hernandez, *Metodología de la investigación*, Mexico: sexta edición edit; Mac Graw Hill, p. 119., 2006.
- [58] N. Rodríguez Álvarez, «Evaluación Del Funcionamiento Hidráulico Y Ambiental De La Planta de Tratamiento De Aguas Residuales En El Municipio de Chia, Cundinamarca,» 2016.
- [59] A. Romero, *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseños*, 3 ed., Nuevas Ediciones Ltda, 1999, pp. 18-68, 266-278.

- [60] R. Ramos Olmos, R. Sepulveda Marques y F. Villalobos Moreno, *Agua En El Ambiente: Muestreo y analisis*, Mexicali, California, 2002, p. 212.
- [61] M. Dorado Valiño, A. Fernandez, P. Leton Garcia , R. Rosal Garcia, S. Villar Fernandez y J. Sanz Garcia , «Tratamiento Avanzados De Aguas Residuales Industriales,» Madrid, 2006.
- [62] UNESCO, «Aguas residuales industriales. Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos,» Paris, 2009.
- [63] (Scialabba 1994, Steinfeld 1998).  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/159.pdf>.
- [64] (Scialabba 1994, Steinfeld 1998).  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/159.pdf>.
- [65] J. ZULUAGA V. y D. A. ZAMBRANO F., *Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación*, Chinchiná : Avances Técnicos Cenicafé N. 187, 1993, p. 8.
- [66] J. Vymazal y L. Kropfelova, *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands With Horizontal Sub- Surface Flow*, 1 ed., Netherlands: Springer, 2008, p. 566.
- [67] F. R., «Desempenho de sistemas alagados construídos no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro.,» 2008.
- [68] A. P. Otalora Rodriguez , «Evaluacion De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas Mediante Humedales Artificiales de Alta Tasa En La Localizacion Petrolera De CAño Gandul,» Bogota D.C., 2011.
- [69] Cenicafe, «Guía Ambiental Para El Sector Cafetero,» 2008.
- [70] Chao R., Sosa R., Pérez A. y Cruz E. (2008). A study on pig wastewater treatment with low cost biodigesters. *Livestock Research for Rural Development* 20 article 149 (en línea). <http://www.lrrd.org/lrrd20/9/chao20149.htm>, fecha de consulta 20/12/11.

# **ANEXOS**

## Anexo A. Encuesta

**DETERMINAR LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA PILOTO POR  
DEPURACIÓN BIOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PORCÍCOLAS EN LA FINCA EL GUABITO UBICADA EN LA  
VEREDA LA PLAYA DEL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA.**

Buenos días/tardes/noches. Somos estudiantes de la Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca y estamos realizando un estudio de campo para la realización de un trabajo de investigación, para lo cual solicitamos el favor de diligenciar un breve cuestionario el cual no tomará más de 10 minutos.

1. ¿Actualmente cuántas personas habitan en su vivienda?
  - a) 1
  - b) 2
  - c) 3
  - d) 4
  - e) 5
  
2. ¿En que estrato se encuentra ubicada su vivienda?
  - a) 1
  - b) 2
  - c) 3
  - d) 4
  - e) 5
  
3. ¿Tiene algún conocimiento acerca de contaminación ambiental por aguas residuales porcícolas?
  - a) Muy poco
  - b) Poco
  - c) Demasiado
  
4. ¿Sabe usted el efecto que causa los vertimientos de agua residuales porcícolas a los cuerpos de agua?
  - a) Sí \_\_\_\_\_
  - b) No \_\_\_\_\_
  
5. ¿Se ha visto afectado por la contaminación por aguas residuales porcícolas?
  - a) Sí \_\_\_\_\_
  - b) No \_\_\_\_\_
  
6. ¿Qué destino tienen las aguas residuales porcícolas de su vivienda?
  - a) Pozo Séptico
  - b) Letrina
  - c) Cuerpos de Agua

- a) Campo Abierto
  - b) Alcantarillado
7. ¿Le gustaría participar en el grupo de trabajo para el mejoramiento de las aguas residuales porcolas de su casa y de su comunidad?
- a) Sí \_\_\_\_\_
  - b) No \_\_\_\_\_
8. ¿Actualmente qué tipo de agua es consumida en su vivienda?
- a) Agua potable
  - b) Agua de rio
  - c) Agua subterránea
9. ¿Actualmente le cobran por el servicio de acueducto y/o alcantarillado?
- a) Sí \_\_\_\_\_
  - b) No \_\_\_\_\_
10. ¿Estaría usted dispuesto a pagar por un servicio que le brinde una solución adecuada para el manejo de las aguas residuales porcolas de su vivienda?
- a) Sí \_\_\_\_\_
  - b) No \_\_\_\_\_
- ¿Porque sí/no?

## Anexo B. Aforos de caudal

	1er aforo 17/sep/18	2do aforo 27/sep/18	3er aforo 08/oct/18	4to aforo 09/oct/18	5to aforo 10/oct/18	6to aforo 11/oct/18
mañana(8am)	$19.35 \frac{cm^3}{s}$	$17.76 \frac{cm^3}{s}$	$46.99 \frac{cm^3}{s}$	$29.15 \frac{cm^3}{s}$	$32.6 \frac{cm^3}{s}$	$39.9 \frac{cm^3}{s}$
Tarde (5 pm)	$19.34 \frac{cm^3}{s}$	$17.89 \frac{cm^3}{s}$	$40.47 \frac{cm^3}{s}$	$29.4 \frac{cm^3}{s}$	$34.75 \frac{cm^3}{s}$	$35 \frac{cm^3}{s}$

✓ 17/sep/2018 (8 am)

$$V = 3.9cm^3$$

$$T = 0.20s$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{3.9cm^3}{0.20s} = 19.5 \frac{cm^3}{s}$$

$$V = 2.5cm^3$$

$$T = 0.13s$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{2.5cm^3}{0.13s} = 19.2 \frac{cm^3}{s}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{19.5 \frac{cm^3}{s} + 19.2 \frac{cm^3}{s}}{2} = 19.35 \frac{cm^3}{s}$$

17/sep/2018 (5 pm)

$$V = 5.2cm^3$$

$$T = 0.38s$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{5.2cm^3}{0.38s} = 13.68 \frac{cm^3}{s}$$

$$V = 3.5cm^3$$

$$T = 0.14s$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{3.5cm^3}{0.14s} = 25 \frac{cm^3}{s}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{13.68 \frac{cm^3}{s} + 25 \frac{cm^3}{s}}{2} = \frac{38.68 \frac{cm^3}{s}}{2} = 19.34 \frac{cm^3}{s}$$

✓ 27/sep/2018 (8 am)

$$V = 4.0cm^3$$

$$T = 0.22s$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{4.0cm^3}{0.22s} = 18.18 \frac{cm^3}{s}$$

$$V = 2.6cm^3$$

$$T = 0.15s$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{2.6cm^3}{0.15s} = 17.33 \frac{cm^3}{s}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{18.18 \frac{cm^3}{s} + 17.33 \frac{cm^3}{s}}{2} = \frac{35.51 \frac{cm^3}{s}}{2} = 17.76 \frac{cm^3}{s}$$

27/sep/2018 (5 pm)

$$V = 5.3cm^3$$

$$T = 0.40s$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{5.3 \text{ cm}^3}{0.40 \text{ s}} = 13.25 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

V= 3.6cm<sup>3</sup>  
T= 0.16s

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{3.6 \text{ cm}^3}{0.16 \text{ s}} = 22.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{13.25 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} + 22.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{35.75 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = 17.89 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

✓ 08/Oct/2018 (8 am)  
V= 12.15cm<sup>3</sup>  
T= 0.14s

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{12.15 \text{ cm}^3}{0.14 \text{ s}} = 86.78 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

V= 6.7cm<sup>3</sup>  
T= 0.93s

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{6.7 \text{ cm}^3}{0.93 \text{ s}} = 7.2 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{86.78 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} + 7.2 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{93.98 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = 46.99 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

08/Oct/2018 (5 pm)  
V= 4.5cm<sup>3</sup>  
T= 0.81s

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{4.5 \text{ cm}^3}{0.81 \text{ s}} = 5.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

V= 8.3cm<sup>3</sup>  
T= 0.11s

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{8.3 \text{ cm}^3}{0.11 \text{ s}} = 75.45 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{5.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} + 75.45 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{80.95 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = 40.47 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

✓ 09/Oct/2018 (8 am)  
V= 9cm<sup>3</sup>  
T= 0.18s

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{9 \text{ cm}^3}{0.18 \text{ s}} = 50 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

V= 5cm<sup>3</sup>  
T= 0.6s

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{5 \text{ cm}^3}{0.6 \text{ s}} = 8.3 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{50 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} + 8.3 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{58.3 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = 29.15 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

09/Oct/2018 (5 pm)  
V= 4.5cm<sup>3</sup>  
T= 0.9s

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{4.5 \text{ cm}^3}{0.9 \text{ s}} = 5 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$V = 7 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.13 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{7 \text{ cm}^3}{0.13 \text{ s}} = 53.8 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{\frac{5 \text{ cm}^3}{\text{s}} + \frac{53.8 \text{ cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{58.8 \text{ cm}^3}{2} = 29.4 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

✓ 10/Oct/2018 (8 am)

$$V = 6 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.8 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{6 \text{ cm}^3}{0.8 \text{ s}} = 7.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$V = 7.5 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.13 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{7.5 \text{ cm}^3}{0.13 \text{ s}} = 57.7 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{\frac{7.5 \text{ cm}^3}{\text{s}} + \frac{57.7 \text{ cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{65.2 \text{ cm}^3}{2} = 32.6 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

10/Oct/2018 (5 pm)

$$V = 7.9 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.20 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{7.9 \text{ cm}^3}{0.20 \text{ s}} = 39.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$V = 6 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.2 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{6 \text{ cm}^3}{0.2 \text{ s}} = 30 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{\frac{39.5 \text{ cm}^3}{\text{s}} + \frac{30 \text{ cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{69.5 \text{ cm}^3}{2} = 34.75 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

✓ 11/Oct/2018 (8 am)

$$V = 5.5 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.6 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{5.5 \text{ cm}^3}{0.6 \text{ s}} = 9.1 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$V = 9.9 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.14 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{9.9 \text{ cm}^3}{0.14 \text{ s}} = 70.7 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{\frac{9.1 \text{ cm}^3}{\text{s}} + \frac{70.7 \text{ cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{79.8 \text{ cm}^3}{2} = 39.9 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

11/Oct/2018 (5 pm)

$$V = 2 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.5 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{2 \text{ cm}^3}{0.5 \text{ s}} = 10 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$V = 6 \text{ cm}^3$$

$$T = 0.10 \text{ s}$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{6 \text{ cm}^3}{0.10 \text{ s}} = 60 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Sumatoria de caudales} = \frac{10 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} + 60 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = \frac{70 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}}{2} = 35 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Promedio de caudal} = 60,41 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \rightarrow 6,041 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \rightarrow 5,218 \frac{\text{l}}{\text{dia}}$$

## Anexo C. Tiempo de retención

$$60,41 \frac{cm^3}{s} \rightarrow 6,041 * 10^{-5} \frac{m^3}{dia} \rightarrow 5,218 \frac{l}{dia}$$
$$Trh = 1,5 - 0,3 \log(p * q)$$
$$Trh = 1,5 - 0,3 \log(17 * 5,218) = 1 dia$$

## Anexo D. Álbum fotográfico

Muestra de agua de entrada y salida



Muestra de pH



Muestras de DQO



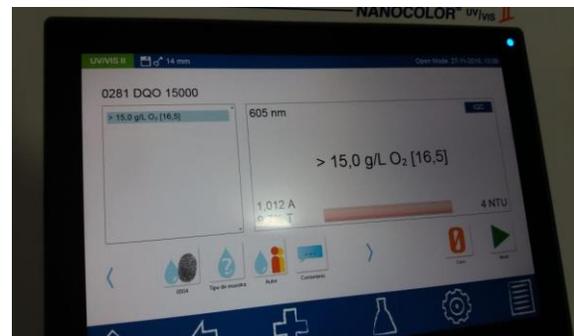
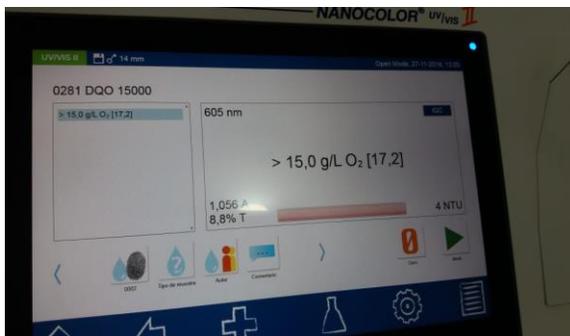
Muestra de turbidez



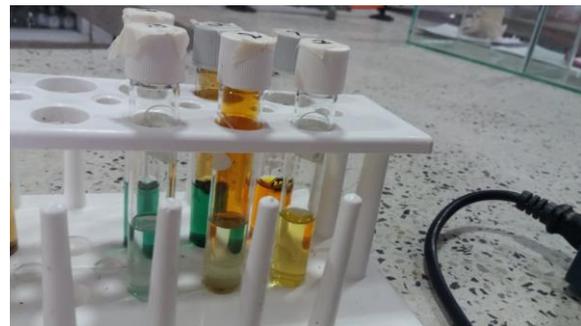
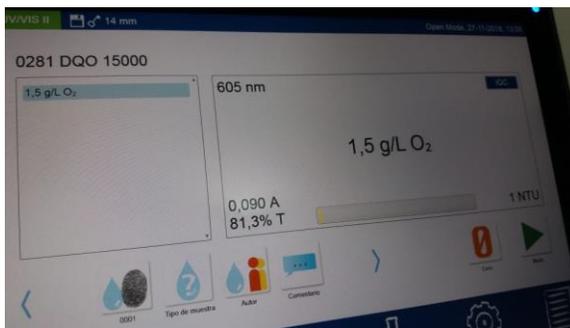
Muestra de SST



## Muestras de DQO



## Muestras de coliformes





## Anexo E. Resultados de la CRC muestras de agua

Reporte N° 537

	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL  <b>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA</b>	Código: FT-PDPA-LA027
		Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1

Fecha: Diciembre 13 de 2018.

Cliente: UNIAUTONOMA Dirección: Calle 20 N° 33-17, Popayán	Teléfono: 3227669490 Solicitud N°: 425
Municipio de muestreo: Popayán	Fecha de Recepción: Noviembre 27 de 2108. Fecha de Análisis: Noviembre 27 a diciembre 12.

Muestreo:

Plan de Muestreo N°	N/A
Fecha de Muestreo	N/A
Lugar de Muestreo	Porcícola La Playa
Procedimiento de muestreo	N/A
Condiciones ambientales	N/A

Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
1439	Entrada Porcícola
1440	Salida Porcícola

Resultados laboratorio:

Variable	Método	Unidad	Resultados	
			1439	1440
DBO <sub>5</sub>	SM5210B/SM4500-OG	mg/L	6240	1875
DQO	SM5220D	mg/L	13650	3032
SST	SM2540D	mg/L	45040	810
Coliformes Totales	SM 9223 B	Ufc/100ml	12.2E6	9.0E6
Coliformes Fecales	SM 9223 B	Ufc/100ml	6.1E6	4.8E6

Observaciones:

- Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.
- Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.

**DIEGO ZULUAGA VERA**  
 Responsable Laboratorio Ambiental

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 ext. 231

## Anexo F. Cálculos de eficiencia de remoción

$$60,41 \frac{cm^3}{s} \rightarrow 6,041 * 10^{-5} \frac{m^3}{dia} \rightarrow 5,218 \frac{l}{dia}$$
$$Trh = 1,5 - 0,3 \log(p * q)$$
$$Trh = 1,5 - 0,3 \log(17 * 5,218) = 1 dia$$