

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		(173)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	JORGE LUIS MEJIA PURÍN CRISTIAN ADRIAN GUILLIN BACCA		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA AMBIENTAL		
DIRECTOR	LUISA FERNANDA AREVALO NAVARRO		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL TIPO FRANCÉS A ESCALA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROYECTO PORCINO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER-OCAÑA, COLOMBIA.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EN ESTE PROYECTO SE DISEÑÓ Y CONSTRUYÓ UN HUMEDAL ARTIFICIAL FV FRANCÉS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROYECTO PORCINO DE UFPSO, EMPELANDO LA ESPECIE <i>TYPHA LATIFOLIA (TOTORA)</i>, COMO PLANTA FITOREMEDIODORA QUE JUNTO CON EL BIOFILMS (VIDA MICROBIANA), REALIZAN EL PROCESO DE DESCONTAMINACIÓN DE DICHAS AGUAS RESIDUALES. EL SISTEMA PILOTO CONSTA DE UN TANQUE DE 160 L QUE ES LLENADO CUATRO VECES A MEDIDA QUE SE VAN DOSIFICANDO</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 180	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL TIPO FRANCÉS A
ESCALA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL
PROYECTO PORCINO DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER-
OCAÑA, COLOMBIA.

Autores

JORGE LUIS MEJÍA PURÍN
CRISTIAN ADRIÁN GÜILLÍN BACCA

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora

Ing. LUISA FERNANDA ARÉVALO NAVARRO
Msc., Practica Pedagógica y
Esp., Gestión Ambiental

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
INGENIERIA AMBIENTAL

Dedicatoria

A nuestro señor Jesucristo, por guiarnos y conducirnos al camino correcto

A nuestros padres y familiares, por su esfuerzo y apoyo incondicional para seguir con esta experiencia a través de sus buenos consejos.

A nuestros docentes y mentores, por formarnos y enriquecernos con sus conocimientos y experiencias académicas, laborales y personales.

Agradecimientos

A todas esas personas que estuvieron con nosotros brindando una ayuda en el desarrollo investigativo: Zootecnista. Carlos Daniel Peinado Pacheco, por su atención, gestión, confianza y diligencia en el proyecto porcino de la UFPSO. A la Zootecnista de profesión y coordinadora del laboratorio de biología, Viviana Rodríguez Álvarez, por su atención y gestión de equipos para muestreos in-sitús. A la coordinadora del laboratorio de aguas, María Alejandra vergel Bermúdez, por realizar con profesionalismo y personalidad integra los análisis ex -situs Físico-químicos y microbiológicos. Al señor Ciro Alonso Guillin, por guiarnos en temas de construcción. A la estudiante de contaduría pública; Angie Barbosa Arias, por su apoyo técnico, financiero y moral.

A nuestra directora, Msc y Esp. Luisa Fernanda Arévalo Navarro, por su acompañamiento, apoyo y orientación en las diferentes fases del proceso investigativo y por su confianza y plena satisfacción por brindarnos gran parte de sus conocimientos e introducirnos en el tema de la investigación.

Resumen

En este proyecto se diseñó y construyó un humedal artificial FV francés para el tratamiento de las aguas residuales del proyecto porcino de UFPSO, empelando la especie *Typha Latifolia* (*Totora*), como planta fitoremediadora que junto con el Biofilms (Vida Microbiana), realizan el proceso de descontaminación de dichas aguas residuales. El sistema piloto consta de un tanque de 160 L que es llenado cuatro veces a medida que se van dosificando las aguas residuales al sistema, obteniendo un volumen total de agua residual de 675 L que está diseñado con un filtro de 0,57 M² en la primera y segunda etapa del sistema, recreando un humedal subsuperficial que contiene gravas de diferentes granulometrías. Se trabajaron dos tiempos de retención en todo el sistema (7 días y 10,5 días) y los medios granulares de los filtros del sistema. Se analizaron antes y después del tratamiento para determinar los porcentajes de remoción en cada parámetro. En el mejor de los casos con un tiempo de retención de 10,5 días se obtuvo una remoción de 98,43% para la DQO, 90 % para la DBO₅ y 99 % para SST%; para un tiempo de retención de 7 días en todo el sistema se obtuvo una remoción para la DQO de 91,02%, 76,09% para DBO₅ y 90% para los SST. Los resultados muestran que el sistema francés para tratar aguas residuales porcinas con un tiempo de 10,5 días es una alternativa potencial para descontaminar las aguas, ya que el sistema fue comparado con otros sistemas de tratamiento donde su eficiencia fue superior. Por tal razón, esta tecnología podría ser usada en el subsector porcícola, pero también podría ser implementado en otros sectores para reducir las concentraciones de los contaminantes.

Palabras claves: Fitorremediación, biofilms, aguas residuales, humedal subsuperficial, proyecto porcino, typha latifolia.

Abstract

In this project, a French PV artificial wetland was designed and built for the treatment of wastewater from the UFPSO pig project, starting with the *Typha Latifolia* (Totora) species, as a phytoremediation plant that, together with the Biofilms (Microbial Life), carry out the process decontamination of said wastewater. The pilot system consists of a 160 L tank that is filled four times as the wastewater is dosed into the system, obtaining a total volume of wastewater of 675 L that is designed with a 0.57 M² filter in the first and second stage of the system, recreating a subsurface wetland that contains gravels of different granulometries. Two retention times were worked throughout the system (7 days and 10.5 days) and the granular media of the system filters. They were analyzed before and after treatment to determine the removal percentages in each parameter. In the best case with a retention time of 10.5 days, a removal of 98.43% for the COD, 90% for the BOD₅ and 99% for SST% was obtained; for a retention time of 7 days throughout the system, a COD removal of 91.02%, 76.09% for BOD₅ and 90% for OSH was obtained. The results show that the French system to treat swine wastewater with a time of 10.5 days is a potential alternative to decontaminate the waters, since the system was compared with other treatment systems where its efficiency was higher. For this reason, this technology could be used in the pork subsector, but it could also be implemented in other sectors to reduce pollutant concentrations.

Keywords: Phytoremediation, biofilms, wastewater, subsurface wetland, pig project, typha latifolia.

Índice

Introducción

CAPITULO 1: Evaluación de la eficiencia de un humedal artificial tipo francés a escala piloto para el tratamiento de las aguas residuales del proyecto porcino de la universidad francisco de paula Santander-Ocaña, Colombia.....	1
1.1 Problema de investigación	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo general..	2
1.4.2 Objetivos específicos..	3
1.5 Justificación.....	3
1.6 Delimitaciones.....	4
1.6.1 Operativa.	4
1.6.2 Conceptual.	4
1.6.3 Temporal.....	5
1.6.4 Geográfica.	5
CAPITULO 2. Marco Referencial.....	5
2.1 Marco histórico	5
2.1.1 Aparición de los sistemas de tratamientos de aguas residuales a nivel global.	5
2.1.2 Tratamiento de aguas residuales en Colombia.	7
2.1.3 Tratamiento de aguas residuales a nivel regional.....	8
2.1.4 Aparición de las primeras producciones porcinas.	9
2.1.5 Historia de la producción porcina en Colombia.	10
2.1.6 Producción porcicola a nivel regional.	11
2.2 Marco contextual.....	11
2.3 Marco Conceptual	13
2.3.1 Conceptos generales.	13
2.3.2 Características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales.....	15
2.3.3 Sistemas de tratamiento centralizados.....	20
2.3.4 Humedales artificiales.	22

2.3.5 Tipos de humedales artificiales.	23
2.3.6 Fitorremediación.....	26
2.3.7 Granjas porcinas.	28
2.3.8 Característica de las excretas porcinas.	33
2.3.9 Parámetros físicos y químicos de las aguas porcinas	33
2.3.10 Lagunas de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas.	33
2.4 Marco teórico	38
2.4.1 Estudios sobre la problemática de las aguas residuales porcinas.	38
2.4.2 Características de las aguas residuales porcinas.....	39
2.4.3 Estudios realizados por humedales artificiales.....	40
2.4.4 Estudios realizados con plantas macrófitas.	46
2.4.5 Humedales artificiales de flujo Subsuperficial vertical “Sistema francés” como alternativa a los sistemas centralizados.	51
2.5 Marco legal.....	54
CAPITULO 3. Diseño Metodológico.....	57
3.1 Tipo de investigación.	57
3.2 Población.....	63
3.3 Muestra.....	63
3.4 Recolección de la información.....	66
3.5 Análisis de información.	69
CAPITULO 4. Resultado.....	70
4.1 Características del proyecto porcino de la UFPSO	70
4.2 Dimensionamiento de un humedal artificial de FV francés.....	70
4.3 Dimensionamiento de un humedal artificial de FV francés para el subsector porcicola de la UFPSO	71
4.3.1 Diseño de la primera etapa.	72
4.3.2 Diseño de la segunda etapa.....	84
4.3.3 Distribución, recogida y desagüe de las aguas residuales.	95
4.3.3.1 <i>Distribución</i>	95
4.3.3.2 <i>Recogida</i>	96
4.3.3.4 <i>Desagüe</i>	97
4.3.4 Puesta en marcha.	97

4.3.5 Mantenimiento rutinario	98
4.4 Esquema del sistema piloto FV francés.	98
4.4.1 Dimensionamiento del sistema piloto.....	98
4.4.2 Etapa de construcción del sistema piloto.....	103
4.5 Revisión bibliográfica y comparación de eficiencias con el sistema piloto.....	122
CAPITULO 5. Conclusiones	127
CAPITULO 6. Recomendaciones.....	129
Referencias.....	130
Apendice A Característica de la granja de la UFPSO.....	138
Apendice B Lavado de las porquerizas.....	140
Apendice C Saturación del Biodigestor.....	141
Apéndice D Toma de muestras para hallar el dimensionamiento del humedal artificial.	142
Apéndice E Características de las aguas residuales durante cinco (5) días.	143
Apéndice F Excavación de los filtros.	148
Apendice G Excavación de las zanjas para tubos de recogida de las aguas residuales.	148
Apéndice H Cotización del material granular de los filtros.....	149
Apéndice I Llenado de los filtros con material granular.....	149
Apéndice J Prueba del sistema de recogida de las aguas residuales.....	151
Apéndice K Extracción y plantación de la especie Typha Latifolia (totora).....	151
Apéndice L Adaptación de las plantas en los filtros.....	153
Apéndice M Toma de las muestras en los efluentes de la primera y segunda etapa.	154
Apéndice N Características de las aguas tratadas en la primera etapa pasados 3,5 días.	155
Apéndice O Características de las aguas tratadas en la segunda etapa pasados 3,5 y 7 días.....	156

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Parámetros por cada 100kg de peso vivo.....	40
Tabla 2 Contaminantes y sus procesos de remoción.....	41
Tabla 3 Las dimensiones según el clima.....	42
Tabla 4 Tamaño óptimo del lecho filtrante para un humedal artificial de flujo vertical.	43
Tabla 5 Características de funcionamiento de los humedales de flujo horizontales y verticales	44
Tabla 6 Características y Comparación de los dos tipos de humedales.....	45
Tabla 7 Grado de remoción de contaminantes por macrófitas en periodos cálidos.....	47
Tabla 8 Concentración de contaminantes en el efluente.....	48
Tabla 9 Parámetro de remoción para cada parámetro.....	49
Tabla 10 Medición según las posibles combinaciones de variables	60
Tabla 11 Parámetros fisicoquímicos que se analizan en las muestras de aguas residuales.	66
Tabla 12. Parámetros Fisicoquímicos de las aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO	8;
Error! Marcador no definido.	
Tabla 1. Cargas y concentraciones del influente.....	84
Tabla 2.Cargas de diseño máximo para el diseño de un humedal francés.....	84
Tabla 3. Especificaciones de medios filtrantes para un diseño france.....	86
Tabla 4. Dimensionamiento y rendimiento del humedal de la segunda etapa. Variables en relación con el flujo, DQO, DBO5 Y SST resultantes del proyecto.....	98
Tabla 17. Capas de los filtros de la primera y segunda etapa.....	98
Tabla 18. Parámetros y porcentajes de remoción en los efluentes de la primera y segunda etapa.....	124
Tabla 19 Porcentajes de remociones finales del sistema.....	125
Tabla 20 Porcentajes de remociones finales del sistema.....	126
Tabla 21 Sistemas de tratamientos de aguas residuales con sus porcentajes de remoción.....	129

Lista de Figuras

	Pág
<i>Figura 1.</i> Ubicación del proyecto porcino dentro del perímetro de la UFPSO.).....	13
<i>Figura 2.</i> Esquema de un humedal artificial con plantas macrófitas.....	23
<i>Figura 3.</i> Esquema típico de un humedal de flujo superficial libre.....	24
<i>Figura 4.</i> Corte transversal de un humedal artificial de flujo horizontal.....	25
<i>Figura 5.</i> Corte transversal de un humedal artificial de flujo vertical.....	25
<i>Figura 6.</i> Métodos o procesos de Fitorremediación existentes.	27
<i>Figura 7.</i> Esquema de una granja de ciclo completo.....	31
<i>Figura 8.</i> Esquema sistema de producción en un sitio.	32
<i>Figura 9.</i> Esquema de sistema de producción de dos sitios.	32
<i>Figura 10.</i> Esquema de sistema de producción en tres sitios.	32
<i>Figura 11.</i> Diagrama de laguna de estabilización aerobia.....	35
<i>Figura 12.</i> Diagrama de laguna de estabilización anaerobia.....	35
<i>Figura 13.</i> Esquema de los procesos de la laguna facultativa.	36
<i>Figura 14.</i> Esquema de los componentes de un biodigestor.	38
<i>Figura 15.</i> Clasificación taxonómica de la especie <i>Typha latifolia</i>	51
<i>Figura 16.</i> Diagrama de flujo del sistema francés de humedales artificiales.	53
<i>Figura 17.</i> Esquema de las fases del proyecto. Fuente:.....	62
<i>Figura 18.</i> Modelo de etiquetado a utilizar en los recipientes de las muestras.	65
<i>Figura 19.</i> Capas de los filtros en la primera etapa del sistema francés	82
<i>Figura 20.</i> Diseño de la primera etapa del sistema francés	84
<i>Figura 21.</i> Capas de los filtros en la segunda etapa del sistema francés.	91
<i>Figura 22.</i> Diseño de la segunda etapa del humedal artificial tipo francés.	92
<i>Figura 23.</i> Diseño del sistema completo del humedal artificial de FV francés.....	93
<i>Figura 24.</i> Tubería de distribución. Realizado con el programa de AutoCAD.....	95
<i>Figura 25.</i> Tubería de desagüe. Realizado con el programa de AutoCAD.....	97
<i>Figura 26.</i> Sistema piloto de un humedal artificial tipo francés para el tratamiento de las aguas residuales del proyecto porcino de UFPSO.).....	101

<i>Figura 27.</i> Sistema piloto implementado para el tratamiento de las aguas residuales porcinas,	102
<i>Figura 28</i> Sitio de la granja porcina de la UFPSO y lugar de construcción del sistema piloto.	103
<i>Figura 29.</i> Eficiencia del sistema piloto con tiempo de retención de 7 días vs otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.	125
<i>Figura 30.</i> Eficiencia del sistema piloto con tiempo de retención de 7 días vs otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.	126

Lista de abreviatura

ARD: Aguas Residuales Domésticas

ARnD: Aguas Residuales no Domésticas

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno, medida a los cinco (5) días

DQO: Demanda Química de Oxígeno

E. Coli: Escherichia Coli

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales

LQCI: Laboratorio Químico de Consultas Industriales

OD: Oxígeno Disuelto

pH: Potencial de Hidrógeno

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

SSED: Sólidos Sedimentables

SST: Sólidos Suspendidos Totales

UFPSO: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

UIS: Universidad Industrial de Santander

VLMP: Valor Límite Máximo Permisib

Introducción

El constante aumento de consumo de carne animal, ha generado un gran crecimiento de granjas de producción animal, el cual ha dejado un resultado adverso al medio ambiente gracias a los contaminantes que estos producen; uno de los factores que más daño y destrucción deja al ambiente, son las aguas residuales. Por esa razón, los filtros o humedales artificiales son una estrategia para mitigar los daños graves realizados por este factor.

El humedal artificial tipo francés está focalizado en tratar y expulsar de manera adecuada las aguas residuales del proyecto porcino localizado en la UFPSO, con una proyección hacia cualquier tipo de sector animal global; basados en probar y demostrar a todas las personas la calidad con la cual son expulsadas las aguas residuales luego de los procesos y observar, la gran cantidad de beneficios que lleva consigo este tipo de sistema; de igual forma, al diseñar y proponer el humedal artificial, se intenta incursionar a todas las identidades o empresas en tener una alternativa para tratar las aguas residuales de sus procesos y ser reconocido de manera global.

Este sistema sustenta una viabilidad para todas las comunidades que generen algún vertimiento y requieran de un método más eficiente para el manejo de sus aguas residuales con las exigencias de las normas estándares y contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida y al medio ambiente

CAPITULO 1: Evaluación de la eficiencia de un humedal artificial tipo francés a escala piloto para el tratamiento de las aguas residuales del proyecto porcino de la universidad francisco de paula Santander-Ocaña, Colombia.

1.1 Problema de investigación

Inadecuado tratamiento de las aguas residuales del proyecto porcino de universidad francisco de paula Santander-Ocaña, Colombia.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad la producción porcina ha estado impactando de manera significativa al ambiente. Un estudio realizado por Cervantes Duarte , Rodriguez Mata, & López López (2017), en México, arrojó un alto riesgo por la acumulación de los desechos sólidos y por ende la contaminación de los cuerpos hídricos por las descargas de sus aguas residuales (Cervantes Duarte et al., 2013).

En la UFPSO el estado de las aguas residuales por este tipo de producción se está tratando de manera inadecuada. Actualmente existe un tipo de tratamiento, el cual es realizado por un biodigestor que trabaja deficientemente. La hidrólisis y la fermentación presentes en el sistema descomponen la materia orgánica produciendo dióxido de carbono y con la ayuda de bacterias metanogénicas el gas metano Marty, (1984) (Ramón, Romero, & Simanca , 2013). Cabe resaltar que este tipo de reactores lo constituyen principalmente un contenedor de gas, con los accesorios para salida de biogás, entrada o carga de materias orgánicas primas y salida o descarga de materias orgánicas estabilizadas (Varnero Moreno , 2011). Por consiguiente, el biodigestor no

cuenta con todas las piezas fundamentales que debe tener para tratar las aguas residuales, produciendo en el medio ambiente impactos significativos, tales como la alteración en la estructura y Desertificación del suelo por las altas cargas contaminantes, así como también, la perdida y degradación del paisaje, muerte y mitigación de especies de la zona, proliferación de vectores, malos olores, plagas, entre otros. El biodigestor por otra parte no retiene el biogás que genera y por tanto es liberado a la atmosfera, en donde la contaminación por gas metano se va acumulando en el medio, lo que trae como consecuencia un aporte esencial para los gases de efecto invernadero, a esto se le adiciona el pésimo diseño de los colectores de las aguas residuales para alimentar el biodigestor, por lo que un operario debe llevar los residuos y mezclarlos de forma manual.

Las aguas residuales generadas en el proyecto porcino de la UFPSO, serán objeto de estudio del proyecto, donde se tendrá en cuenta la búsqueda de nuevas herramientas y medios de trabajo para encontrar una alternativas más eficiente a la hora de tratar este tipo de aguas residuales, trabajando conjuntamente para el logro de los objetivos ya establecidos.

1.3 Formulación del problema

¿Cuál será el rendimiento de un humedal artificial tipo francés para el tratamiento de las aguas residuales del proyecto porcino de la universidad francisco de paula Santander-Ocaña, Colombia?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general. Evaluar la eficiencia de un humedal artificial tipo francés a escala piloto para el tratamiento de las aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO.

1.4.2 Objetivos específicos. Construir un humedal artificial tipo francés a escala piloto para el tratamiento de las aguas residuales.

Realizar la caracterización de las aguas residuales en el afluente y efluente del sistema piloto.

Evaluar los valores de remoción en relación a los límites permisibles de vertimiento contemplados en la resolución 0631 del 2015.

Determinar la eficiencia del sistema en comparación con otros tipos de tratamiento de aguas residuales porcinas.

1.5 Justificación

Los humedales artificiales para tratar las aguas residuales se están implementando en muchos países en desarrollo, debido a que ofrecen una alternativa viable para muchas áreas rurales y urbanas con costos de construcción relativamente bajos (ONU-HABITAT, Manual de Humedales artificiales, 2008), donde los más utilizados son los de flujo subsuperficial, debido a que estos han sido ampliamente investigados, son replicables y es un sistema de tratamiento con alto potencial Von Mùch (2009); en especial, los humedales de flujo vertical que requieren de menor espacio y soportan altas cargas sin influir en los efluentes (Núñez Burga, 2016), sin embargo estos sistemas son utilizados como plantas de tratamiento secundario, es decir, requieren de un pretratamiento y tratamiento primario.

Por otra parte en países como Francia se ha venido implementando un nuevo sistema de tratamiento de flujo subsuperficial vertical que trata las aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento primario, denominados así “sistema francés” (Estopà Consuegra, 2018) que consta de dos etapas con filtros verticales que trabajan alternamente para no saturarse, los cuales no

generan lodos, no liberan biogás, ni costos adicionales de mantenimiento, a esto se le suma la alta eficiencia y rendimiento del sistema. Por tal razón y siendo la opción más asequible en cuanto a lo económico se pretende diseñar y construir este tipo de humedales artificiales a escala piloto para determinar la factibilidad de estos sistemas en relación con la contaminación de las aguas residuales porcinas de la UFPSO

De acuerdo a lo anteriormente dicho, este sistema sería una alternativa para descontaminar las aguas residuales del proyecto porcino de la universidad, generando nuevos métodos tecnológicos y de innovación, ya que debido a la poca información sobre estos humedales el diseño puede ser una de las tantas bases para seguir ampliando los conocimientos biotecnológicos en beneficio de la protección del medio ambiente, reducir costos de inversión, financiamiento, de infraestructura, y operacional.

1.6 Delimitaciones

1.6.1 Operativa. Para el desarrollo el proyecto se cuenta con recursos económicos presentados por los autores, recursos tecnológicos del laboratorio de la UFPSO para los respectivos análisis, asesoría externa e interna al proyecto, herramientas de trabajo y equipos de protección personal (EPP), para cada actividad a realizar. También se cuenta con personal capacitado y el espacio cedido por la universidad para la construcción del sistema piloto.

1.6.2 Conceptual. Aguas residuales, saneamiento básico, tratamiento de aguas residuales, contaminación hídrica, tratamiento primario, humedales artificiales, humedales naturales, Fitorremediación, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aireación, sifón, biodigestor, gas metano, contaminación atmosférica, plantación, vertimientos.

1.6.3 Temporal. El proyecto tendrá como plazo máximo 6 meses y medio para su diseño, ejecución y desarrollo.

1.6.4 Geográfica. El proyecto se llevará a cabo dentro de las instalaciones del proyecto porcino de la universidad francisco de paula Santander seccional Ocaña, norte de Santander, Colombia.

CAPITULO 2. Marco Referencial

2.1 Marco histórico

2.1.1 Aparición de los sistemas de tratamientos de aguas residuales a nivel global. La necesidad de buscar alternativas y maneras de no generar daños adversos al ser humano y al ambiente, produce una incógnita en el hombre para solucionar el problema.

Al comienzo las comunidades solo querían alejar todos los desperdicios generados en sus actividades cotidianas buscando una solución a su problema de sanidad. Esto se vio reflejado en las primeras apariciones que hacen referencia a la antigua ciudad de Nippur en Mesopotamia, donde hace más de 7000 años A.C, se ve por primera vez un sistema de desagüe y alcantarillado que transportaba las aguas residuales del palacio y los distritos residenciales lejos de la ciudad. (Orozco Jaramillo, 2005)

Poco a poco se fueron desarrollando mejores y más avanzadas infraestructuras que solo se focalizaban en el transporte de las aguas residuales, no se indagaba sobre la palabra “tratamiento”. Pasado los años, la civilización fue aumentando y su industrialización tuvo como consecuencia que las concentraciones de aguas residuales comenzaran a contaminar los cuerpos

hídricos, de tal manera que los microorganismos patógenos atacaban poblaciones enteras con pandemias y epidemias.

El pensamiento comienza a cambiar radicalmente gracias a Sir Edwin Chadwick, desde 1779 hasta 1819, donde el abogado y economista realiza seis volúmenes sobre los Sistema de una política médica completa, donde se enfocaban los daños a la salud pública con los problemas socioeconómicos; luego de las publicaciones de los tomos, en 1847 se hace obligatorio la conexión de todas las edificaciones a redes de alcantarillado (Ramos Gorostiza, 2013).

Las primeras apariciones de tratamiento de aguas residuales se dieron en la edad media. Europa fue el primer pionero en utilizar los pozos negros cuyo contenido se empleaba como un tipo de fertilizante; de igual manera este sistema no era en su totalidad eficiente puesto que en temporadas de precipitaciones altas colapsaba, no obstante a esto las epidemias, pestes y demás enfermedades continuaron atacando a la población y dejando muerte a su paso (Rosell Campos , 2009)

Pasado los años se comenzaron a ver las apariciones de los primeros tratamientos de tipo biológico para la eliminación y la depuración de las aguas residuales; desde 1897 hasta 1914 se dan los primeros indicios sobre sistemas como filtros percoladores y fangos activados.

Según Brix (1994), Nemo escribe el primer libro documentado que hace referencia a los humedales artificiales para el Instituto Literario de Hornsby de Sídney en Australia; propuso para las viviendas, donde se realiza una canalización de las aguas de desechos hacia pequeñas parcelas escavadas de poca profundidad, en ellas se podrían cultivar algunas planas de jardín; sus raíces se podían alimentar de las aguas residuales sin generación de olores ofensivos para ese entonces (Andreo Martínez , 2014)

Después de 49 años, en Alemania se habla de los humedales artificiales de manera científica, en 1953 en el Instituto Max-Planck, la Dra. Käthe Seidel presentaba un método de mejora para los canales navegables que se veían afectados por la sobre-fertilización, contaminación por influentes de aguas residuales empleando algunas plantas de tipo macrofitas (Andreo Martínez , 2014)

Estos dos estudios fueron el punto de inicio para los trabajos que se realizan hoy en día sobre los humedales artificiales, de igual manera poco a poco se ha avanzado sobre este tipo de tratamiento de aguas residuales que puede ser de mucha utilidad para el hoy y el después.

2.1.2 Tratamiento de aguas residuales en Colombia. En Colombia las aguas residuales se han convertido en un impacto notorio que se ha maximizado por el crecimiento de la población, la falta de tratamiento está afectando los cursos de agua que pueden ser útiles para el consumo humano.

Aproximadamente 1300 cuerpos de agua son receptores de los vertimientos municipales (...) La materia orgánica que se generó en 1999 fue de 482.193 ton, equivalente a 1.321 ton/día, medida como DBO. Para ese entonces solo se trataba el 4% de los vertimientos, lo cual arroja un vertimiento neto de 462.759 ton. En ese mismo año el sector industrial generó un total de DBO de aproximadamente 162.000 ton (Ministerio de ambiente, 2004)

La primera planta de tratamiento de agua residual en Colombia fue construida en 1993 en Bogotá llamada Vitelma, luego se fueron construyendo este tipo de sistemas en toda Colombia. En 989 localidades, en áreas con menos de 30.000 habitantes, el 78% no tiene tratamiento alguno de aguas residuales. En el 2002 en Cundinamarca operaban 38 PTARs, en el Cesar 14 PTARs, Antioquia 26, Tolima 13 y Valle del Cauca 14. (Lizarazo Becerra & Orjuela Gutierrez , 2013)

Según el CONPES 3177 (2002), en Colombia existían 237 STARs de aguas domesticas en 235 municipios, que solo trataban el 8% del vertimiento de alcantarillados, ya que sus procesos eran incompletos y presentaban poca capacidad. (Ministerio de ambiente, 2004)

El caudal estimado de aguas residuales proveniente de los centros urbanos identificados en Colombia y vertidos directamente a los cuerpos de agua es de 67m³/s, donde Bogotá representa la mayor parte de vertimientos con un 15.3%, seguida de Antioquia con el 13%, el Valle del Cauca con un 9.87% y los demás departamentos están por debajo del 5%. (Ministerio de ambiente, 2004)

Estos datos marcan un estado crítico del agua que puede ser consumible para los habitantes de las diferentes regiones en Colombia, por la contaminación que efectúan las aguas residuales vertidas a los cuerpos hídricos; por lo tanto es notoria la falta de tratamientos para la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales.

2.1.3 Tratamiento de aguas residuales a nivel regional. En el municipio de Ocaña es altamente visible la contaminación que realizan los vertimientos de aguas residuales al ambiente, más que todo los dos cuerpos de agua que atraviesan a la población. Los olores ofensivos son el problema más notorio en la zona, seguido de los innumerables vectores que genera la contaminación.

De acuerdo a la revista Primer Nombre (2017), los impactos a la salud de las personas es uno de los temas principales de esta problemática, al consumir agua contaminada por materia fecal humana o animal, las comunidades aledañas presentan enfermedades como el cólera, fiebre tiroidea, hepatitis A y E, anemia, diarrea, dengue, gastroenteritis, botulismo e infecciones en la piel y en los ojos llamadas tracoma; afirman que las dos mejores soluciones para la población

son disminuir la cantidad de suciedad y contaminación al agua, por otro lado recuperar los paisajes de los lugares más degradados .

A partir de los impactos realizados por los vertimientos en la zona, se realiza un Plan Maestro de Alcantarillado que conlleva a la construcción de la PTAR de Filipote, en la que se invierten alrededor de 1.500 millones de pesos con el fin de descontaminar la quebrada El Hatillo y corroborar la protección de sectores aledaños que cuentan con una población de más o menos 11.000 habitantes asentados en el oriente de Ocaña (La Opinion, 2017). A pesar de los intentos por descontaminar la quebrada, la problemática ambiental sigue en crecimiento por los diferentes cuerpos de agua que se siguen contaminando.

2.1.4 Aparición de las primeras producciones porcinas. La carne de cerdo es una de las más consumidas en el mundo, su gran contenido de carbohidratos y proteína, la hace una de las principales producciones a nivel mundial.

Las primeras apariciones de cerdos domesticados en el mundo ocurrió en China (5000 años A.C), luego más culturas y civilizaciones como la Griega y la Romana comenzaron a utilizar la carne de cerdo para alimentarse; los cerdos se acercaban a las poblaciones, lo que facilitaba su domesticación, observaban que su reproducción era rápida y de fácil alimentación, lo cual lo hacían un animal óptimo para el consumo (Araque, 2009)

Posteriormente el cerdo tomo mayor auge en España, a mediados del siglo XV cuando ocurrían las guerras, los soldados tomaban una dieta en el cual, la principal demanda de alimento se situaba en el cerdo; el símbolo de este animal era diferenciador entre el norte cristiano y la cultura del sur musulmán Del Rio Moreno (1996) (Pérez Iglesias & Valcárcel Rojas, 2015). A

partir de estos hechos se comenzó a conocer más sobre este tipo de carne y su distribución fue tanta, que se trasladó a todo el continente americano por la colonización de España.

2.1.5 Historia de la producción porcina en Colombia. Las primeras apariciones de cerdos en América se dieron en las primeras llegadas de Cristóbal Colón y su descubrimiento, en 1493 las primeras especies fueron llevadas a Santo Domingo, donde posteriormente se trasladaron a Colombia, Venezuela, Perú y Ecuador. La primera raza de cerdo en toda América fue la ibérica, era indispensable para las expediciones de los conquistadores como los caballos y las yeguas; este cerdo era ágil y de fácil manejo, era trasladado en el lomo de los caballos y se utilizaba principalmente como insumo o provisión para los viajeros, y de igual manera en la industria animal (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002).

En Colombia las comunidades tenían al cerdo como consumo para sus familias, en el año 1950 aparecen las primeras granjas con un gran criterio empresarial, pero a mediados de los 70 y 80 es donde se habla por primera vez como industria porcícola. Antioquia fue la primera pionera en crear grandes granjas, donde se tenía una buena tecnología y a su vez se utilizaban como uso comercial. (...). Esta actividad se distribuye con una mayor parte para Antioquia (49.3%), seguida de Cundinamarca (15.4%), Valle del Cauca y Cauca (11%), la región cafetera (7%) y por último la costa Atlántica (4.1%) (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002).

El impacto realizado hacia el ambiente por este subsector es significativo, los desechos de los cerdos son los principales problemas que arroja la práctica; su alto contenido de materia orgánica, de DBO y de DQO hace que su tratamiento sea primordial para no contaminar al medio.

2.1.6 Producción porcicola a nivel regional. En Ocaña la producción por parte de los cerdos ha crecido en los últimos años, un estudio realizado por la oficina de Desarrollo Rural de Ocaña indica que desde el año 2012 hasta el año 2018 la producción ha aumentado el doble; al principio las cuatro asociaciones presentes en la zona contaban con 5000 cerdos de cría como de ceba, pero en el último año contaban con una cifra de 10143, doblando el número inicial de cerdos.

La alcaldía y la oficina de Desarrollo Rural de Ocaña, tienen la iniciativa de realizar un proyecto para aumentar la eficiencia del programa en la zona, se constituye por 160 millones de pesos, lo que significa que se pueden entregar más o menos cinco cerdos por cada persona, de igual forma se busca ayuda técnica por parte de la UFPSO; también se desea obtener la aprobación por parte del ICA, para constatar que todas las fincas estén certificadas y trabajen de manera óptima (La Opinión , 2018)

Por otro lado, en la UFPSO también se pueden encontrar instalaciones de esta producción, las cuales pueden abarcar aproximadamente 200 cerdos con diferentes funciones (cría y ceba), pero por el momento solo hay más o menos 50 cerdos presentes en el proyecto; el profesional encargado del proyecto porcino ha especificado que estas instalaciones están aprobadas por las autoridades competentes y siguen todas las normas pertinentes.

2.2 Marco contextual.

El Municipio de Ocaña fundado el 14 de diciembre de 1570, se encuentra ubicado en la Subregión occidental del departamento de norte de Santander, a 203 Kilómetros de la ciudad de Cúcuta, y a 299 Kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, con coordenadas 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste, cuenta con aproximadamente 90.517 habitantes, el 51%

mujeres y el 49% hombres, ubicados el 13% en el sector rural y el 87% en el área urbana. La superficie de Ocaña es de 672.27 Km², con una temperatura media de 22 °C (CONSORNOC, 2010)

De igual forma la universidad francisco de paula Santander seccional Ocaña se encuentra ubicada en el municipio de Ocaña norte de Santander, con coordenadas 8°14'12,87" latitud Norte y 73°19'15.19" longitud oeste, por lo que el proyecto se realizara dentro del perímetro de la universidad, específicamente detrás del proyecto porcino, con coordenadas 8°14'38,18" Latitud norte y 73°19'07,39" Longitud oeste, ya que las aguas residuales a tratar son generadas por esta actividad. Para el tratamiento esta agua residual se llevará a cabo mediante un humedal artificial tipo francés para reducir en gran manera las cargas contaminantes de los residuos líquidos, reduciendo los impactos medioambientales ocasionados por esta problemática. ([Ver figura 1](#))

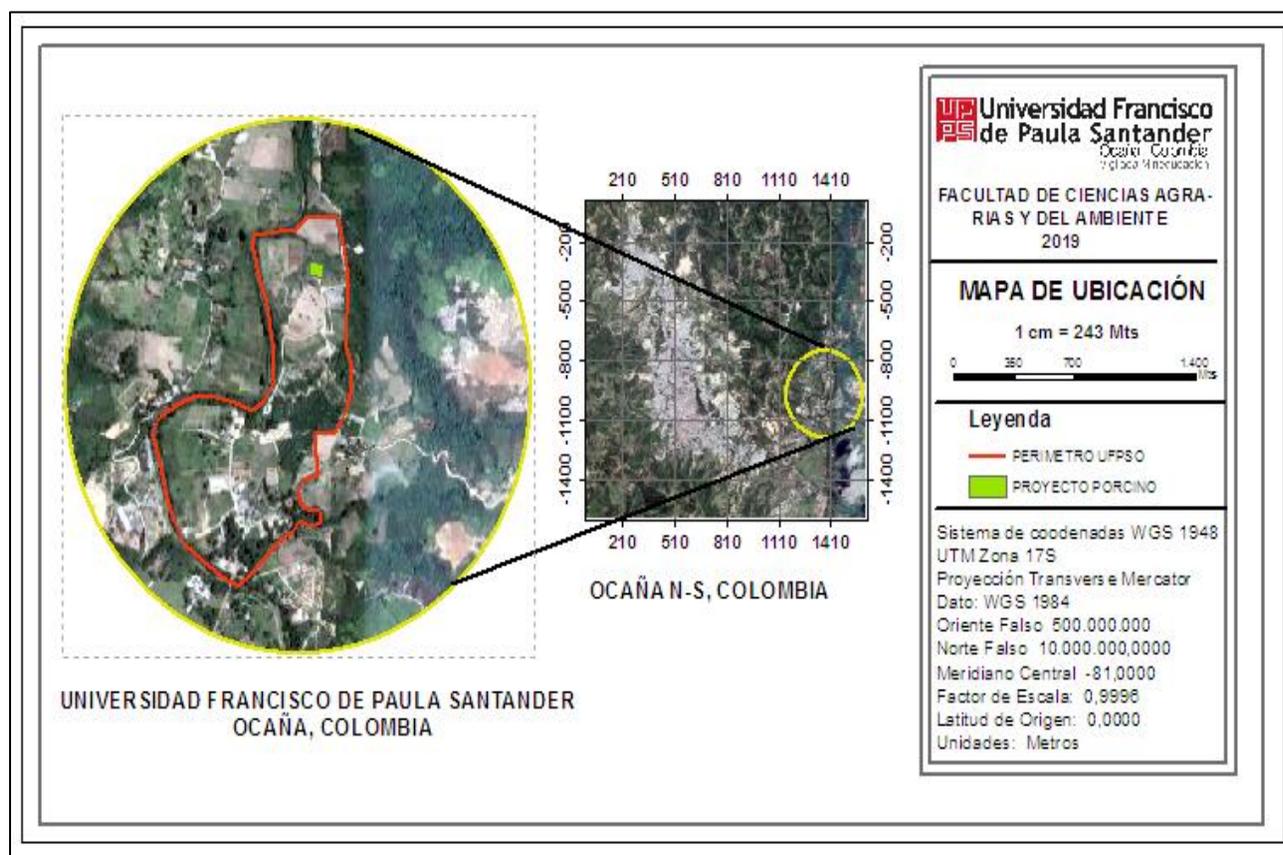


Figura 1. Ubicación del proyecto porcino dentro del perímetro de la UFPSO. Realizado con el programa de ArcGIS; SRC: WGS 1984, UTM Zona 17S. Fuente:(Diseño propio).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Conceptos generales. Aguas residuales. Según el concepto de aguas residuales la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (2014), las define como aquellas aguas que no tienen ningún valor después de haber pasado por ciertos procesos o actividades que cambian o modifican su composición física, química y microbiológica que al verterlas sin ningún tipo de tratamiento a los cuerpos hídricos y el suelo, pueden generar impactos significativos al medio ambiente.

Otras organizaciones como la organización de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA, sf). Definen las aguas residuales como aquellas cuyas características han sido

modificadas por actividades humanas y que por su estado de calidad deben ser tratadas para poder reutilizarlas o verterlas a un cuerpo de agua natural o al sistema de alcantarillado.

Por otro lado el aumento de las aguas residuales se debe principalmente al aumento en la demanda global del agua que es utilizada para las actividades del hombre. Según la (UNESCO, 2017) A medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales generadas y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo.

Clasificación de las aguas residuales. De acuerdo al concepto anterior, las aguas residuales se pueden clasificar teniendo en cuenta su lugar de origen o procedencia. A continuación se describen cada una de ellas.

Aguas residuales domesticas (ARD). Son todos los residuos líquidos de viviendas, zonas residenciales, zonas comerciales e instituciones que están compuestas por aguas fecales, aguas de lavado y limpieza.

Aguas residuales industriales (ARI). Puede decirse que son todas las aguas residuales generadas por empresas o industrias que realizan vertidos diferentes a las aguas residuales domesticas y/o aguas de escorrentía pluvial (Fernández Gonzales, 2006)

Aguas residuales agrícolas. Son aquellas que se generan por el riego de los cultivos y escorrentía de las aguas superficiales que transportan productos químicos y orgánicos empleados en dicha actividad.

Aguas residuales urbanas (ARU). Es la mezcla de todas las aguas residuales domesticas, comerciales, industriales y/o aguas de escorrentía pluvial que son recogidas por un colector hacia una EDAR (Estación depuradora de aguas residuales), Teniendo en cuenta que las aguas

residuales industriales deben estar acondicionadas antes de ser vertidas al colector (Alianza por el agua, 2008)

Aguas residuales pecuarias. Estas son producidas generalmente por la actividad ganadera (Bovinos, cerdos, caprinos, etc...). Las aguas residuales generadas por las heces fecales y orinas de los animales son vertidos directamente en los cuerpos hidricos más cercanos de forma constante y con grandes cantidades de solidos suspendidos y materia organica (DSPACE en Espol, sf), siendo estos residuos liquidos mas peligrosos que las aguas residuales domesticas, ya que al poseer poca agua de transporte la concentración de contaminantes es mucho mas alta que cualquier otra actividad

2.3.2 Características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales.

Conocido los conceptos generales de aguas residuales y su clasificación es importante conocer también sus características, las cuales permiten determinar con esa actitud el grado de contaminación de cada una de estas, identificando los constituyentes físicos, químicos y microbiológicos más relevantes para la toma de decisiones referente al manejo, transporte y disposición final.

Características físicas. Según Hemmeken & García (2005) en el capítulo 2. Fundamentos del tratamiento de agua residual, afirman que las principales características físicas en relación a las aguas residuales son aquellas que pueden percibirse, tal es el caso del olor, color, turbidez, temperatura y solidos totales. Describiendo estas características de la siguiente manera.

Olor. Generalmente los olores de las aguas residuales son poco agradables debido a la liberación de gases producto de la descomposición ó degradación biológica de sulfatos que

genera un olor a huevo podrido no tolerable para el ser humano (Hammeken Arana & Romero García, 2005)

Color. Debido a los procesos anaerobios y aerobios realizados en el transporte de las aguas residuales a través de la red de alcantarillado, estas se tornan de un color variable que va de gris hasta un color marron oscuro o negro (Hammeken Arana & Romero García, 2005)

Turbiedad. Es la cantidad de solidos disueltos en el agua residual que no permite la entrada de luz. Se determina principalmente para indicar la calidad de los vertidos en relación con la materia suspendida (Hammeken Arana & Romero García, 2005)

Temperatura. La temperatura de las aguas residuales siempre ha sido mayor que las aguas naturales, debido a las reacciones bioquimicas y a los contribuyentes de las zonas comerciales, domesticas e industriales que aportan grandes cantidades de aguas caliente mezcladas entre si (Hammeken Arana & Romero García, 2005)

Solidos totales. Según Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade (2010) Son todos los solidos disueltos o en suspensión que permanecen como residuos despues de someterse a la evaporacion de una muestra de agua a una temperatura que va desde los 103 °C y 105 °C (Delgadillo et al., 2010), Sin embargo existe una gran variedad de solidos organicos e inorganicos con diferentes diametros los cuales requieren de filtros especificos para cada uno de estos (Hammeken Arana & Romero García, 2005)

Características químicas. Las características químicas están representadas principalmente por los contenido o compuestos que ingresan a las aguas; estas se clasifican en dos grandes grupos, organicos e inorganicos.

Materia orgánica. La materia orgánica está conformada principalmente por proteínas en un 40% - 60%, hidratos de carbono que varían entre un 25% - 50% y grasas con un 10%, todo esto provenientes de las excretas y orinas de los seres humanos, desechos alimenticios, detergentes, etc. La urea y el amonio constituyen la principal fuente de nitrógeno junto con las proteínas. La materia orgánica por otra parte aporta compuestos tales como el azufre, hierro y fosforo. (DSpace en Espol, sf).

Otros compuestos orgánicos importantes son los azúcares que se encuentran disueltos en el agua, de estos podemos encontrar la glucosa, lactosa, sacarosa, lácticos y demás, de las diferentes actividades realizadas por el hombre.

Por consiguiente, existe una gran variedad de parámetros que ayudan a determinar la cantidad de materia orgánica presentes en las aguas residuales, de modo que son de gran interés para el tratamiento de las mismas. Dentro de los principales parámetros están.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable que se encuentra presente en el agua, esta prueba puede durar de 3-5 días a una temperatura promedio de 20 ° C (Raffo Lecca & Ruiz Lizama , 2014).

Demanda química de oxígeno (DQO). Es un parámetro de medida que mide la cantidad de materia orgánica del agua. Por tanto es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica químicamente (IDEAM , 2007).

Carbono orgánico total (COT). Es otro método empleado para determinar la presencia de materia orgánica en el agua, pero solo es implementado para pequeñas cantidades de materia orgánica. (Espigares García et al., 1985).

Identificados y definidos los principales parámetros para determinar el contenido de materia orgánica, continuamos con las características químicas de las aguas residuales.

Materia inorganica. Dentro de los compuestos inorganicos se encuentran todas las sales minerales disueltas en las aguas residuales asi como tambien, los cloruros, el nitrógeno, fósforo, azufre, metales pesados, gases, grasas, Ph, etc. Los de mayor importancia son.

Potencial de hidrogeno (PH). Las aguas residuales se encuentran a niveles neutros que van de los 6.5 – 8.5, estos son medidos por un pH-metro con disoluciones de pH conocidas llamados tampones o buffer (Torres, 2015).

Metales pesados. Estos se encuentran presentes por las diferentes actividades realizadas por el hombre en el sector industrial, donde se encuentran elementos o metales trazas como el mercurio, hierro, zinc, cobre, magnesio, cadmio, cromo y plomo. Algunos de estos presentan en cierta manera un grado de toxicidad que puede generar daños graves a los seres humanos y al medio ambiente (Londoño Franco , Londoño Muñoz , & Muñoz Garcia , 2016).

Gases. Las reacciones químicas realizadas por los microorganismos en las aguas residuales desprenden y consumen una serie de gases los cuales deben ser identificados y caracterizados para su posterior control (Universidad De Piura-UDEP, sf)

Los gases que se encuentran en las aguas residuales algunos pueden llegar hacer tóxicos para los seres humanos, pero otros como el oxígeno disuelto son importantes para degradar o descomponer la materia orgánica. Los de mayor interés son los siguientes.

Oxigeno disuelto. Es el oxigeno presente en el agua residual que evita la generacion de olores desagradables, pero que es consumido por las diferentes reacciones biologicas de los microorganismos. La cantidad de oxigeno por otro lado, tambien depende de algunos factores

como la temperatura, altitud, movimiento biológico, movimiento químico, luz etc (Peña Puya , 2007).

Ácido sulfhídrico. Se generan comúnmente por la degradación de la materia orgánica que contiene cantidades significativas de azufre o generados por la reducción de sulfitos y sulfatos. Los olores de estos compuestos representan la evolución y calidad de las aguas residuales, (Universidad De Piura-UDEP, sf)

Anhídrido carbónico. Se producen por la degradación y fermentación de los compuestos orgánicos de las aguas negras. (Universidad De Piura-UDEP, sf)

Metano. Es producido por la degradación de la materia orgánica a través de reacciones anaerobias y reducción bacteriana del dióxido de carbono. (Universidad De Piura-UDEP, sf)

Pueden obtenerse muchos más gases en las aguas residuales, pero en menor proporción. Algunos de estos son los ácidos grasos volátiles y derivados del nitrógeno.

Características Microbiológicas. Los microorganismos son todos aquellos que solo pueden visualizarse por microscopios, estos en su mayoría son unicelulares, los cuales presentan una estructura u organización elemental, aunque en muchas ocasiones se encuentran organismos eucarióticos multicelulares (Torres Martínez, 2011), siendo los más usuales las bacterias, virus y en algunos casos los hongos.

Bacterias. Son microorganismos unicelulares con tamaños diminutos que oscilan entre los 0.5 – 5 micrómetros, la mayor parte de las bacterias pueden ser inocuas para los seres humanos, donde su forma o estructura es cilíndrica, esférica, hélices, entre muchas más. Estas bacterias son consideradas procariotas dado que carecen de núcleo y orgánulos internos a diferencia de los eucariotas como las células de los seres humanos (Torres Martínez, 2011).

Virus. Los virus son considerados en gran manera como organismos intracelulares, es decir, que para poder desarrollarse o multiplicarse necesitan de un medio como las células para realizar dicha función. Estos a su vez presentan tamaños menores a las bacterias por lo que se necesitan de microscopios más eficientes como los microscopios electrónicos (Torres Martínez, 2011).

Hongos. Los hongos son protistas eucariotas aerobios, multicelulares no fotosintéticos, estos grupos basan su alimentación en materia orgánica muerta. Sin la ayuda de los hongos los procesos de degradación de la materia orgánica se detendrían y empezaría a acumularse, debido a que el ciclo del carbono se vería interrumpido (ETAP, sf)

De esta manera y teniendo en cuenta los conceptos generales de aguas residuales, clasificación y características físicas, químicas y microbiológicas, es importante determinar los sistemas de tratamiento, ya sea para las aguas residuales urbanas o de cualquier otro sector.

2.3.3 Sistemas de tratamiento centralizados. En el tratamiento de las aguas residuales se realizan procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los contaminantes en el agua. El objetivo principal del sistema de tratamiento centralizado es producir aguas limpias, cumpliendo con la normatividad vigente de vertimiento, reduciendo los impactos medioambientales para el goce de un ambiente sano.

Sin embargo, las plantas de tratamiento de aguas residuales centralizadas son las más complejas y costosas, debido a su diseño y construcción, dentro de estos sistemas de tratamiento podemos identificar una serie de etapas que son importantes para la descontaminación de las aguas residuales como el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento anaerobio, y demás,

Pretratamiento. El pretratamiento tiene la finalidad de extraer los sólidos gruesos a través de procesos físicos y/o mecánicos que pueden interferir en las etapas posteriores, pueden utilizarse diferentes métodos como rejillas, desarenadores y trampas de grasas (RAS, 2000).

Tratamiento primario. Seguido del pretratamiento en esta etapa se realizan procesos de sedimentación primaria, donde los sólidos en suspensión se asientan en el fondo por la acción de la gravedad o en algunos casos asistidos por la floculación y coagulación, eliminando alrededor del 60% - 70% de los sólidos con un tiempo de retención de 1 hora. En este proceso los lodos generados son conducidos hacia una tolva, donde son bombeados a una planta de asimilación de lodos para su respectiva disposición final. (RAS, 2000)

Tratamiento secundario. Los procesos más comunes son los lodos activos, que consta de un reactor con microorganismos en la superficie, a los cuales se les suministra oxígeno suficiente para que puedan realizar los respectivos procesos a través de un sistema de difusión o aireación mecánica, ya cumplido el tiempo de retención el líquido mezclado con las bacterias son conducidos a un sedimentador, donde son separados del agua (RAS, 2000)

Otros procesos empleados son los filtros percoladores que constan de un filtro cilíndrico o rectangular con un lecho filtrante con materiales de grava gruesa, donde el agua residual es regada sobre el filtro (Menéndez Gutierrez et al., 2005), el cual está cubierto por una capa de bacterias que descomponen la materia orgánica a medida que se va percollando el agua residual.

Tratamiento anaerobio. Es la etapa en donde los microorganismos degradan la materia orgánica por oxidación en ausencia de oxígeno, es decir, por procesos anaerobios o por otros oxidantes, que como consecuencia de esto se producen algunos subproductos de las reacciones oxidantes como el biogas, el cual, está compuesto principalmente por gas metano (CH_4) y

dioxido de carbono (CO₂) con un porcentaje equivalente al 95 % , pero con algunas cantidades bajas de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno en 1 % (RAS, 2000).

Por otro lado, la disposición final de los lodos que se producen en los reactores son procesados a través de lechos de secados o deshidratación que posterior a estos pueden ser utilizados como abonos orgánicos.

Dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales seguidos de los tratamientos primarios, secundarios o anaerobios son el pos-tratamiento o tratamiento terciario, que constan de lagunas de oxidación para una mejor remoción de contaminantes.

2.3.4 Humedales artificiales. Dejando a un lado los sistemas de tratamiento centralizados y sus etapas, continuamos con otro tipo de tratamiento de aguas residuales que son utilizados en pequeñas y medianas poblaciones, como los humedales artificiales utilizados en gran parte del mundo para reducir cargas contaminantes eficientemente.

Los humedales artificiales son sistemas de tratamientos biológicos secundarios, es decir, necesitan de un pretratamiento y sistema primario que hayan removido cantidad suficiente de materia orgánica, entre otros contaminantes para que el sistema pueda realizar adecuadamente el tratamiento de las aguas residuales. Según Delgadillo , Camacho , Pérez , & Andrade (2010) Estos humedales constan de un lecho filtrante con gravas de diferentes granulometrías impermeabilizados con plantas macrófitas, ya sean flotantes, Sumergidas o enraizadas emergente en el lecho, donde ocurren interacciones físicas, químicas y biológicas que ayudan a descontaminar las aguas residuales muy lentamente (Delgadillo et al., 2010)

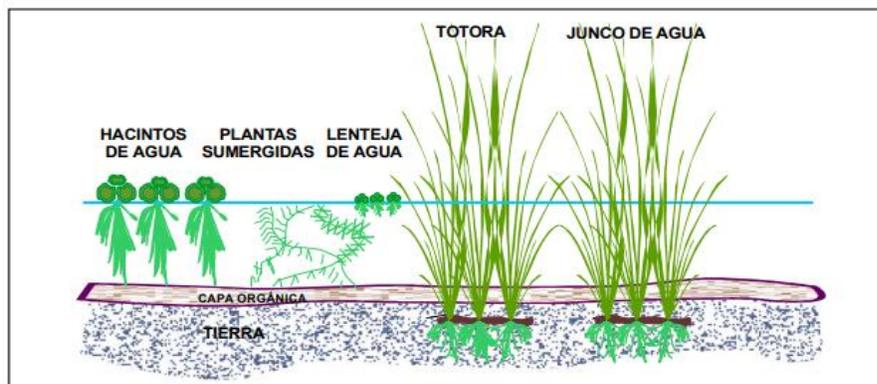


Figura 2. Esquema de un humedal artificial con plantas macrofitas flotantes, sumergidas y enraizadas emergentes. Fuente: (Chafloque & Guadalupe, 2006)

2.3.5 Tipos de humedales artificiales. Según el régimen hídrico se puede distinguir dos tipos de sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales, estos son los humedales artificiales de flujo superficial (FS) y los humedales de flujo subsuperficial (FSS), en este último se pueden distinguir el horizontal (FSSH) y vertical (FSSV).

Humedal artificial de flujo superficial. Este tipo de humedales consiste en canales o estanques que van desde los 0.1 m – 0.6 m de profundidad. Tienen barreras en el fondo y geomembranas para evitar la filtración de las aguas residuales al suelo. Estos sistemas a su vez cuentan con un medio de soporte para la vegetación, de igual forma las aguas residuales se encuentran expuestas a la atmosfera y fluyen horizontalmente en contacto con los tallos de las plantas, sin embargo estos sistemas son utilizados como sistemas terciarios debido al rendimiento que presenta (Mena Sanz, 2008)

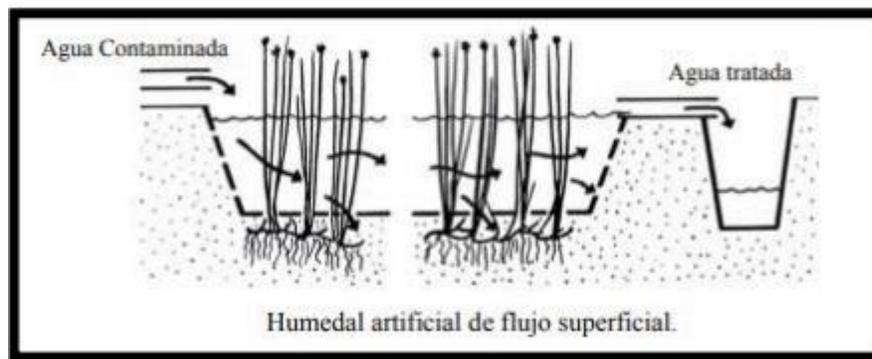


Figura 3. Esquema típico de un humedal de flujo superficial libre. Fuente: (Roig, 2016)

Humedal de flujo subsuperficial. Estos sistemas se distinguen de los superficiales dado que la circulación de las aguas residuales se realiza a través de un medio poroso (Subterráneo), donde se encuentran plantas macrófitas. Las aguas están en contacto directo con los rizomas y raíces de la vegetación que crean espacios aerobios, anaerobios, y anóxicos, donde los microorganismos realizan distintos procesos que junto con la vegetación aceleran la descontaminación de las aguas residuales. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos; humedales de flujo horizontal y vertical (Delgadillo et al., 2010).

Humedal de flujo subsuperficial horizontal. En estos humedales las aguas pretratadas son descargadas en la entrada del sistema que fluye a través de un medio poroso que va en dirección horizontal hasta llegar a la zona de salida, en este transcurso las aguas residuales entran en contacto con espacios aerobios cercanos a la superficie, en los rizomas y las raíces de las plantas; y espacios anaerobios, donde se encuentran microorganismos que crecen en ausencia de oxígeno. La materia orgánica es descompuesta por organismos que se desarrollan en estas condiciones junto con los procesos realizados por la vegetación (ONU-HABITAT, Manual de humedales artificiales, 2008)

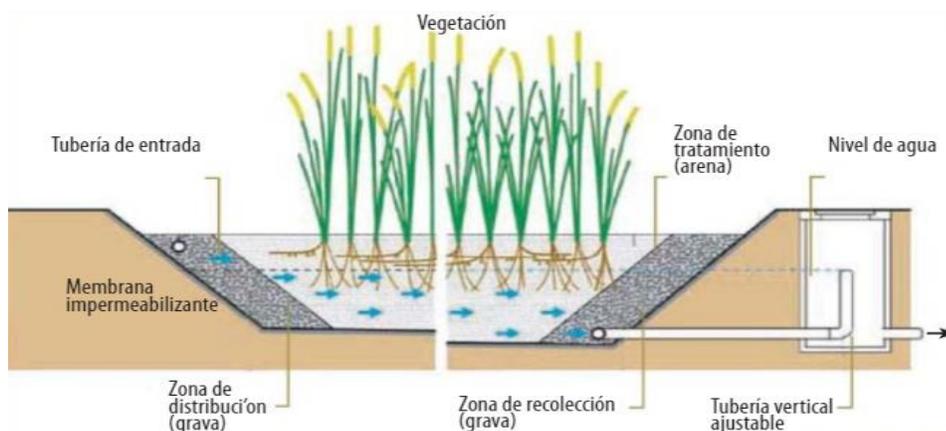


Figura 4. Corte transversal de un humedal artificial de flujo horizontal. Fuente: (Morel & Diener, 2006)

Humedal de flujo subsuperficial vertical. En estos humedales el agua residual es descargada de forma descendente, de tal forma que atraviesa un lecho filtrante compuesto por un medio granular con plantas macrófitas. Tienen una profundidad de 0.5-1 m, pero lo recomendable según estudios realizados es de 0.70 m, también cuenta con tubos perforados introducidos de forma vertical en el medio filtrante para mantener condiciones aerobias y anaerobias que ayudan a los microorganismos a degradar la materia orgánica. En el fondo se debe mantener una pendiente 0.5%-1% que contiene una tubería perforada para recoger las aguas ya tratadas (Arias & Hans Brix, 2003)

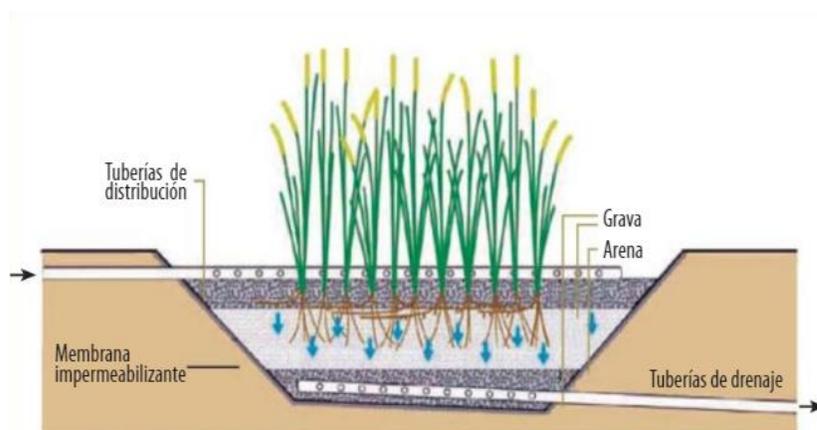


Figura 5. Corte transversal de un humedal artificial de flujo vertical. Fuente: (Moriel & Diener, 2006)

Estos dos tipos de humedales, o la combinación de ambos, se emplean fundamentalmente como tratamiento secundario, estando precedidos por un tratamiento primario que elimine la mayor cantidad de sólidos sedimentables y otras sustancias que puedan provocar problemas de atasques o colmatación del lecho

2.3.6 Fitorremediación. En los sistemas de tratamientos con humedales artificiales de flujo libre y flujo subsuperficial se ha hablado de las plantas macrófitas y lo importante que son para el tratamiento de las aguas residuales. Por tal motivo la Fitorremediación consiste en la depuración de las aguas residuales basadas en la utilización de humedales donde se desarrollan plantas acuáticas que eliminan grandes cantidades de contaminantes, principalmente la materia orgánica, metales pesados, compuestos tóxicos, volátiles, entre otros (Fernández Gonzales, 2006)

Según Nuñez Lopez et al (2004) describen cinco métodos de Fitorremediación realizados por las plantas para descontaminar las aguas residuales.

Fitoestimulación. Es donde las raíces de las plantas generan las condiciones requeridas para que ciertos microorganismos (Hongos y bacterias) que reciben azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, generados por la metabolización de las plantas degraden los contaminantes orgánicos, mineralizando los contaminantes presentes en el agua residual (Nuñez Lopez et al.,2004)

Fitovolatilización. Los contaminantes volátiles como el mercurio y selenio son absorbidos, metabolizados y conducidos desde las raíces de las plantas hasta la parte superior de la misma, liberando estos contaminantes a la atmósfera de forma volátil pero en pequeñas cantidades y menor grado de toxicidad (Nuñez Lopez et al., 2004)

Fitoestabilización. Es donde se realiza la inmovilización o retención de los metales pesados impidiendo el desplazamiento de los mismos para que no afecten a otros seres vivos (Nuñez Lopez et al., 2004)

Fitoextracción o fitoacumulación. Las plantas absorben y acumulan contaminantes en sus raíces, tallos o follajes, extraer principalmente metales pesados y en algunos casos contaminantes orgánicos e isótopos radiactivos (Nuñez Lopez et al., 2004)

Rizofiltración. La rizofiltración absorbe, concentra y precipita metales pesados a través de un cultivo hidropónico (Nuñez Lopez et al., 2004)

En la figura 5 se muestra una imagen detallada en cuanto a los procesos o métodos realizados por las plantas para la depuración de las aguas residuales.

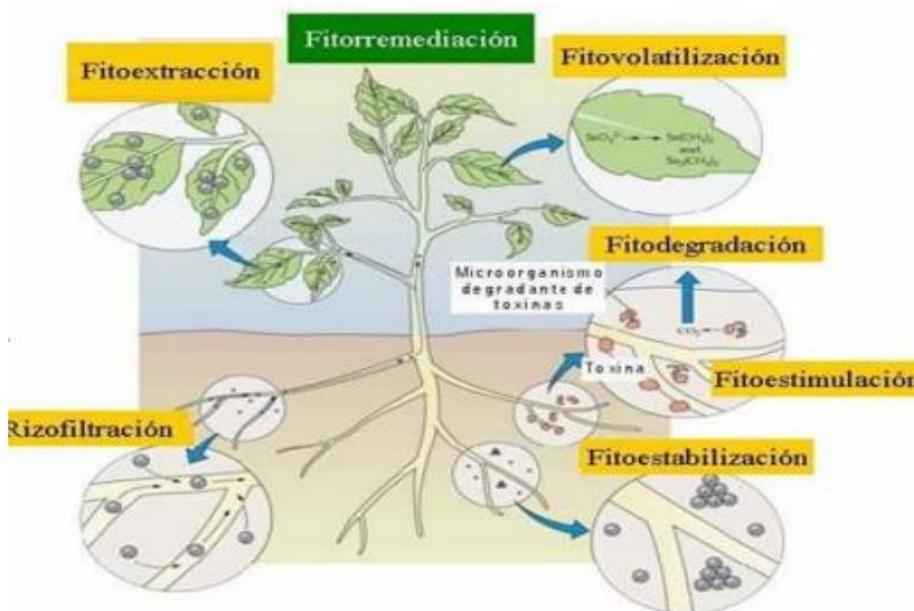


Figura 6. Métodos o procesos de Fitorremediación existentes. Fuente: (Alegria Coto, 2013)

Todos estos procesos son realizados adecuadamente por las plantas que dependen de la temperatura, altitud, precipitaciones, pH, y demás factores que inciden sobre las plantas, de acuerdo a esto para que el rendimiento en los humedales artificiales sea óptimo se debe contar con un buen diseño y plantas locales de la región.

2.3.7 Granjas porcinas. Las granjas porcinas o granjas para cerdos son establecimientos o unidades agropecuarias especializadas en cuanto a la cría del ganado porcino que atiende la demanda para consumo humano. Estas granjas por lo general cuentan con un área de 20-50 m² de corral y se pueden clasificar dependiendo de su objetivo de producción.

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018). Afirma que Dependiendo de su objetivo de producción las granjas se clasifican en cuatro tipos, de las que se describen a continuación.

Granjas de pie de cría. Se presenta la Producción y mejora genética de los cerdos para venderlos como vientres y semejantes.

Granjas productoras de lechones. La finalidad de este tipo de granjas es producir lechones hasta que tienen un peso adecuado que luego son vendidos a otros productores quienes se encargan de engordarlos.

Granjas de engorde. Estas reciben los lechones machos y hembras seleccionadas cuidadosamente, donde se realiza el engorde de dichos lechones hasta que tienen el peso adecuado de sacrificio.

Granjas de ciclo completo. En estas granjas se tienen los lechones a partir de vientres de cerdas, los cuales son engordados y llevados al sacrificio cuando tienen el peso ideal.

Por otra parte, en las granjas de ciclo completo se puede encontrar una gran variedad de cerdos que tienen diferentes funciones importantes. Según el Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia (2002) describen los tipos de cerdos de la siguiente manera.

Productores. Son aquellos cerdos donde son seleccionados cuidadosamente con base a su comportamiento y propiedades genéticas para obtener lechones de calidad.

Hembras de reemplazo. Son cerdas provenientes de la misma granja o de granjas genéticas que alcanzan su etapa sexual a los siete (7) meses de edad.

Hembras en gestación. Cuando las cerdas están listas para su etapa de reproducción siguen a la etapa de gestación, donde se tienen entre 114-115 días, aproximadamente.

Hembras en lactancia. En esta etapa la hembra permanece todo el tiempo en la camada amamantando a sus crías hasta su destete. En algunas granjas tecnificadas el destete puede durar hasta 24 días y en granjas con baja tecnología este puede durar 35 días, aproximadamente.

Hembras vacías. Es cuando la hembra o cerda ha dejado de amamantar al lechón y se prepara para una nueva gestación, a esto se le conoce como días infértiles en donde la hembra no está gestando ni lactando, esta fase puede durar 28 días, aproximadamente.

Hembras de descartes. Son aquellas hembras que han cumplido con el ciclo productivo de gestación y lactancia, razón por la cual son descartadas.

Lechones lactantes. En esta etapa el lechón es amantado por la madre obteniendo a través de la leche materna los nutrientes necesarios para su desarrollo durante los primeros días de vida del mismo. Los lechones por lo general dejan la lactancia a los 24 días.

Lechones en precebo. En esta etapa los lechones son apartados de su madre y criados bajo condiciones ambientales, de alimentación, manejo o cuidado especial hasta que alcanzan un peso de 22-25 kg con un tiempo de 42 días para alcanzar dicho peso. Posterior a esto los lechones pasan a los corrales de levante.

Cerdo de levante. En esta etapa entran los animales con un peso de 22-25 kg con dos meses de vida, donde son alimentados con formulación especial durante siete semanas hasta alcanzar un peso cercano a los 55 kg.

Cerdos de engorde. Es donde se obtienen cerdos de 55 kg a los 95-105 kg para ser vendidos en el mercado, los cerdos en esta etapa tienen una duración de siete semanas que junto con la etapa de levante se pueden realizar en el mismo corral.

Identificados los tipos de cerdos en las granjas porcicola es conveniente conocer por otra parte las instalaciones por cada actividad a realizar, estas instalaciones pueden ser de ciclo completo y flujo continuo.

Las granjas de ciclo completo se encuentran completamente cercadas para evitar la entrada de personal no autorizado u otros animales. Las naves o galpones pueden estar ubicadas en un solo sitio, dos o tres (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002)



Figura 7. Esquema de una granja de ciclo completo. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002)

Por otra parte las granjas de flujo continuo son aquellas en donde los animales entran y salen continuamente en las diferentes áreas de una granja, ya sea porque están ubicadas en un mismo galpón o en diferentes galpones (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002)

Cuando los animales se encuentran ausentes en los galpones, es decir, cuando los corrales estén vacíos, se realiza una limpieza y desinfección para evitar las posibilidades de transmisión de enfermedades entre animales. En las instalaciones de las granjas como se dijo anteriormente puede haber galpones o naves de uno, dos y tres sitios,

Las granjas de un sitio son aquellas que en un solo galpón tienen diferentes etapas o fases fisiológicas, las más comunes son gestación, parideras, precebo, levante y engorde (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002) ([Ver figura 8](#))

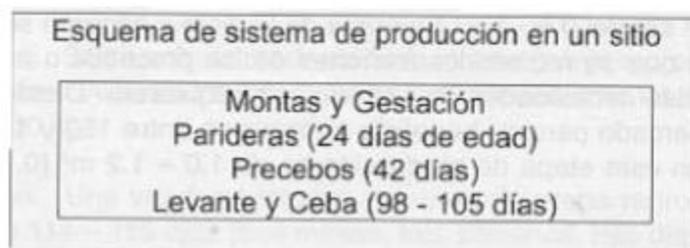


Figura 8. Esquema sistema de producción en un sitio. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002)

Las granjas de dos o tres sitios son aquellas que tienen naves o galpones especializados por cada una de las etapas realizadas en una granja porcícola, donde cada uno de estos galpones se encuentra alejado por lo menos doscientos metros uno del otro

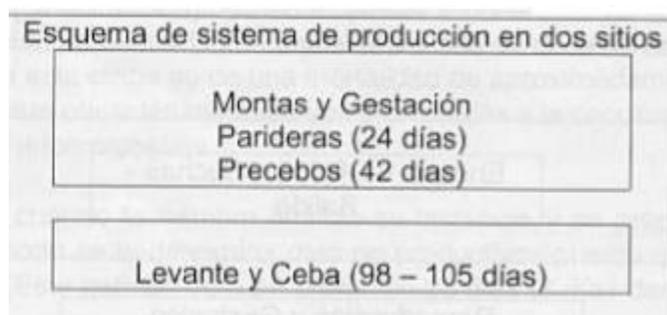


Figura 9. Esquema de sistema de producción de dos sitios. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002)

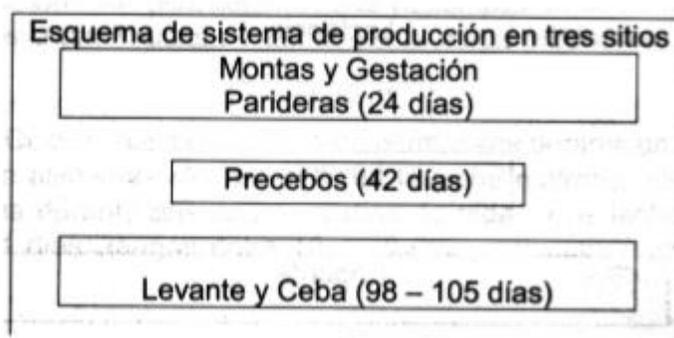


Figura 10. Esquema de sistema de producción en tres sitios. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002)

2.3.8 Característica de las excretas porcinas. De acuerdo a los aspectos identificados anteriormente en la producción porcina se generan aguas residuales de las porcizas que por lo general están formadas por heces y orina mezclados con otros tipos de residuos (alimentos, polvo, otras partículas, y cantidades significativas de aguas provenientes de las labores de limpieza). Cuantitativamente las orinas representan un 45% de las excretas y las heces el 55%. La humedad que contienen las excretas es aproximadamente el 88% con un contenido de materia seca del 12%. La mayor parte de los sólidos son excretados por las heces con un 90% mientras que el 10% restante se encuentra en la orina. La densidad de la excreta fresca es menor a 1 y los sólidos totales presentan una densidad baja de 0.84 kg/l, las excretas contienen sólidos flotantes y sólidos sedimentados, además de sólidos suspendidos (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002) estos valores son representados por cada 100 kg de peso vivo en las granjas de producción

2.3.9 Parámetros físicos y químicos de las aguas porcinas. Según estudios realizados se ha estimado que diariamente se generan 0.25 kg de DBO y un 0.75 kg de DQO por cada 100 kg de peso vivo, por lo general la DBO siempre es la tercera parte de la DQO y cerca de un tercio de los sólidos totales en las excretas frescas. El pH se encuentra en un rango de 6-8 esto depende de si las excretas son relativamente frescas o no, entre más frescas sean más neutro será su pH. Por otro lado el nitrógeno que se encuentra presente en las excretas se compone principalmente de nitrógeno orgánico y amoniacal, este último tiene una concentración del 60% y el otro 40% de forma orgánica (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002)

2.3.10 Lagunas de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales como las lagunas de estabilización son la más utilizada para pequeñas poblaciones y en gran parte también son implementados en el

sector porcícola, ya que son el método más simple de tratamiento de las aguas residuales que existe. Estas están construidas por excavaciones poco profundas y por lo general tienen forma rectangular o cuadradas.

Por otro lado en las lagunas de estabilización según Mercado (2013) la función real es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las respectivas aguas residuales a través de medios biológicos. Sin embargo también se diseñan estos sistemas con el fin de remover DBO y sólidos suspendidos.

Las lagunas de estabilización se clasifican de acuerdo a la función biológica de las bacterias para remover dichos contaminantes, dentro de las más utilizadas están las lagunas aerobias, anaerobias, facultativas y lagunas de maduración de las que hablaremos a continuación a excepción de las lagunas de maduración dado que estas no son muy frecuentes en el tratamiento de las aguas residuales de la industria porcina.

Lagunas aerobias. Las aguas residuales en estas lagunas deben haber pasado por un pretratamiento y tratamiento primario de modo que los sólidos en suspensión sean relativamente bajos. En estas lagunas se produce la degradación de la materia orgánica biodegradable mediante procesos biológicos realizados por las bacterias aerobias, es decir, aquellas que requieren de determinadas concentraciones de oxígeno para realizar tal proceso. La aireación o inyección del oxígeno es generado principalmente por las algas presentes en estas lagunas, las cuales por medio de procesos fotosintéticos introducen el oxígeno que requieren las bacterias, y por procesos de mezclado periódico con bomba o aireación mecánica (Mercado, 2013). Estas lagunas por otro lado tienen una profundidad según algunos autores de 1 a 1.5 m o de 1 a 1.3 m de profundidad. Pero siendo estas las que requieren de grandes áreas de terreno para su construcción, así como también el costo que esto implica.

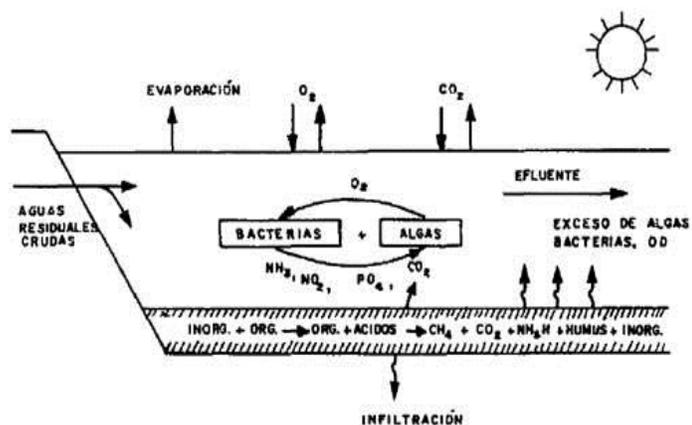


Figura 11. Diagrama de laguna de estabilización aerobia. Fuente: (Márquez Toledo, 2017)

Lagunas anaerobias. Estas lagunas tienen una profundidad de 2.5 a 5 m que contienen condiciones anaerobias, es decir, ausencia de oxígeno a excepción de la parte superficial que presenta condiciones aerobias hasta una profundidad de 50 cm, dependiendo de las condiciones del viento. La estabilización de la materia orgánica se realiza mediante un proceso combinado de sedimentación y de conversión biológica de los desechos orgánicos en gases, siendo los principales el gas metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2). Las bacterias formadoras de ácido orgánico transforman o convierten las moléculas complejas en moléculas más simples que sirven de alimento para las bacterias metanogénicas, donde posterior a esto producen los gases anteriormente dichos (Comisión nacional del agua, 2007)

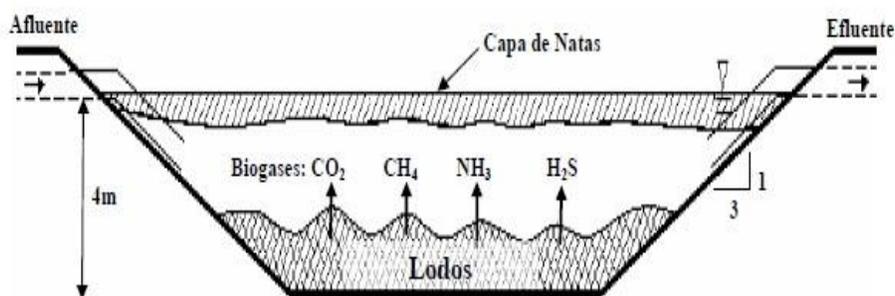


Figura 12. Diagrama de laguna de estabilización anaerobia. Fuente: (Oakley, 2005)

de los animales en gas metano, el cual es un gas natural producido por los diferentes procesos que realizan las bacterias o microorganismos anaerobios como las bacterias metanogénicas. Estos gases pueden ser utilizados para la producción de energía o para calentar calderas y cocinas (Elizondo , 2005)

Estos biodigestores deben de tener un buen diseño y materiales resistentes a las diferentes condiciones que se presentan en determinadas localidades. Los residuos líquidos deben estar bien diluidos para que se realice adecuadamente el proceso de transformación de la materia orgánica. Según Elizondo (2005) el biodigestor cuenta con cinco partes fundamentales como la pila de carga, el biodigestor, pila de descarga, cubierta plastica y Tubería, válvula y llave de paso

La pila de carga. Es donde se depositan los residuos líquidos y se realiza un mezclado periódico de homogenización de los mismos para diluir completamente el material solido de las heces fecales, que posteriormente alimentan el biodigestor.

El biodigestor. Es un tanque alargado excavado en la tierra, donde los residuos líquidos son descompuestos y transformados en biogás. El biodigestor está conectado con una tubería en la entrada por la pila de carga que recibe los residuos y en la parte baja se encuentra conectado al tubo de pila de descarga.

Pila de descarga. Es la parte en donde se retiran los residuos del biodigestor que fueron digeridos, en esta zona el nivel del terreno es menor que la pila de carga.

Cubierta plástica. Es un material utilizado como capote en el biodigestor de modo que los procesos anaerobios sean los apropiados para retener y almacenar el biogás generado.

Tubería, válvula y llave de paso. En esta parte se conecta una tubería en la parte superior de la cubierta plástica con la finalidad de trasportar el biogás para poder ser aprovechado,

además de esto se coloca una válvula de seguridad que evita la sobre presión interna en la cubierta plástica y una llave que permite el paso del gas cuando sea necesario.

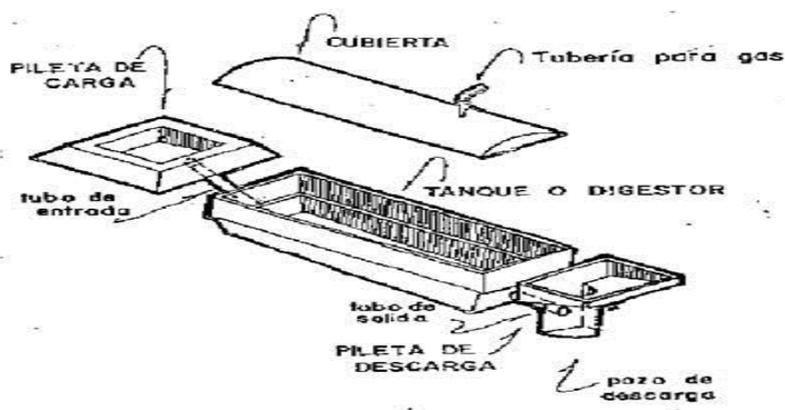


Figura 14. Esquema de los componentes de un biodigestor. Fuente: (Cáceres, 2011)

2.4 Marco teórico

2.4.1 Estudios sobre la problemática de las aguas residuales porcinas. A medida que pasa el tiempo, el aumento de la producción porcina en Colombia ha crecido de manera exponencial dejando más problemas en el ambiente y en las personas. El mayor inconveniente presentado en la práctica se da por el inadecuado manejo de los residuos orgánicos; las características físico-química de la excreta del cerdo es un contaminante que impacta significativamente al ambiente.

Los altos contenidos de gases, compuestos orgánicos, macronutrientes y micronutrientes conllevan a problemas como la eutrofización de aguas superficiales, contaminación de las aguas subterráneas, vectores en la zona y un punto bastante importante como lo es el efecto

invernadero, generados por los gases liberados a la atmosfera (Piñero Noquera & Moltalvo Bermejo, 2015). Intentando buscar alternativas para tratar el agua residual del sector porcino en la Universidad Francisco de Paula Santander, se propone elaborar un sistema piloto de un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical tipo francés; de igual forma se observa de manera profunda su funcionamiento y si su proceso es óptimo para ser implementando a nivel regional o global. Por otra parte, se soluciona la problemática relacionada con el biodigestor que opera de forma inadecuada.

2.4.2 Características de las aguas residuales porcinas. Para llevar a cabo el diseño de un humedal artificial es necesario e importante entender cómo se caracterizan las aguas a tratar. Los dos componentes principales de las aguas residuales en un proyecto porcicola son las heces y la orina, mezcladas constituyen la mayor parte de contenido. La orina apodera un 45% mientras que las heces un 55%; la excreta está constituida por 88% de humedad y un 12% de sólidos, la orina solo está compuesta por 10% de sólidos, el resto es de humedad (Arias martinez et al., 2010)

Según el Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia (2002), el total de los sólidos suspendidos en las heces se tienen una densidad de 0.84 kg/l, es una densidad relativamente baja, por lo tanto, la excreta porcina contiene solidos suspendidos, solidos flotantes y solidos que se sedimentan.

Por otro lado se estima que por cada 100 kg de peso vivo la demanda biológica de oxigeno (DBO) es de 0.25 kg /día y la demanda química de oxigeno (DQO) es de 0.75 kg /día, con esto se deduce que la DBO es solo un tercio de la DQO; el pH al que puede llegar las aguas residuales es de 6 y 8, se considera que entre más fresca sean las excretas, el valor del pH será más neutro; mientras que el valor estimado de carbón orgánico total (COT), es de 0.30 kg /día (Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia, 2002).

La siguiente tabla muestra otro estudio de caracterización de las aguas residuales porcinas realizado por la Agencia de medio ambiente & CIGEA (1998)

Tabla 5

Parámetros por cada 100kg de peso vivo

INDICADOR	CERDO EQUIVALENTE
DBO ₅	0.968
DQO	2.005
Nt	0.074
PT	0.036
SST	0.58
Grasas	0.139
Consumo de aguas	50l/animal/d piso convencional 30l/animal/d piso ranurado

Nota: La tabla muestra la caracterización de las aguas residuales porcina por cada cerdo equivalente de 100kg. Fuente: (Agencia de medio ambiente & CIGEA, 1998)

De acuerdo a los estudios realizados se puede deducir que la caracterización de las aguas residuales debe realizarse antes de destinar cualquier sistema de tratamiento para obtener datos veraces, ya que los parámetros de referencia pueden variar e inferir en los efluentes, de modo que la calidad de las aguas residuales pasaría hacer inestable y el objetivo de cumplir con los límites permisibles de vertimiento no llegue a cumplirse.

2.4.3 Estudios realizados por humedales artificiales. El propósito fundamental y principal por los cuales se elaboran los humedales artificiales son el factor ambiental y la salud pública, la problemática que arroja la falta de tratamiento de las aguas residuales conlleva a que los ingenieros proyecten soluciones para acabar el problema de raíz.

En los humedales artificiales ocurren procesos físico-químicos y biológicos, en ellos pueden habitar muchos tipos de vegetación, microorganismo y algunos animales; los conjuntos

de todos esos seres vivos son capaces de lograr la depuración del agua residual disminuyendo o siendo capaz de eliminar en un gran tamaño los sólidos suspendidos, la materia orgánica, nitrógeno, fosforo y en algunos casos metales pesados. Los sistemas de humedales son tecnologías simples, fáciles de elaborar y de operar, sin necesidad de utilizar consumo energético y sin producir ningún tipo de lodo; adicional a lo dicho anteriormente, no necesitan de reactivos químicos ni la necesidad de incluir procesos de aireación o de recirculación del agua, siendo una de las tecnologías más óptimas para los proyectos de restauración (Soto Fuster, 2016).

Tabla 6

Contaminantes y sus procesos de remoción

CONTAMINANTES	PROCESOS
Materia orgánica (MO)(Medida como DQO o DBO ₅)	Las partículas de MO son eliminadas por la Sedimentación y filtración, luego convertidas a DBO ₅ soluble. La MO soluble es fijada y absorbida por el biofilm y degradadas por las bacterias adheridas en este.
Solidos suspendidos totales (SST)	Sedimentación y filtración. Descomposición durante los largos tiempos de retención por bacterias especializadas en el lecho de arena.
Nitrógeno	Nitrificación/Desnitrificación por el biofilm Absorción de las plantas (Influencia limitada)
Fosforo	Retención en el lecho de arena (adsorción) Precipitación de aluminio, hierro y calcio Absorción de las plantas (influencia limitada)
Metales pesados	Ambientales desfavorables (Temperatura y Ph) Precipitación y adsorción.

Tabla 7” “Continuación”

	Adsorción de las plantas (influencia limitada)
Contaminantes orgánicos	Adsorción por el biofilm
	Descomposición debido a lo largo del tiempo de retención y a las bacterias especializadas
Patógenos	Sedimentación y filtración
	Absorción por el biofilm
	Depredación por protozoarios
	Eliminación de bacterias por condiciones

Nota: La tabla muestra los Procesos dados en un humedal artificial capaces de eliminar los contaminantes presentes en el agua residual. Cuando se habla de Biofilm, se hace referencia a la película o tapiz formada por un número de bacterias de diferentes especies localizadas a una superficie que puede ser viva o inerte. Fuente: (Hoffmann, et al., 2011).

El clima es un factor muy influyente al hablar del dimensionamiento del humedal y el rendimiento de los microorganismos, algunas veces influye en su longitud y en su profundidad. Por tanto se han hecho estudios considerando los climas calidos y los climas frios para el tamaño que requieren los humedales.

Tabla 8

Las dimensiones según el clima.

Agua residual comunal 50 pe.	Clima frío		Clima caliente	
	Promedio anual		Promedio anual	
	<10°C		>20°C	
	FH	FV	FH	FV
m ² /pe	8	4	3	1,2
Area m ²	400	200	150	60

Nota: En la tabla se muestra el dimensionamiento para cada humedal de flujo horizontal y flujo vertical para una población de 50 personas. En climas menores a 10 ° C el area por persona equivalente en cada humedal es mayor que en los climas mayores a 20 ° C, esto se debe a que la acción fitorremediadora de las plantas y las funciones biológicas de los microorganismos se ven afectados a menor temperatura. Fuente: (Hoffmann, et al., 2011).

Las pendientes de los humedales artificiales en general deben ser de 0.5% a 2%, pero se recomienda una pendiente estándar del 1%. Estudios realizados en diferentes partes del mundo Como el continente europeo arrojan que los humedales horizontales presentan una profundidad en el substrato de 60 cm (Cooper, 1999); en los Estados Unidos la profundidades de los humedales horizontales varían de 30 y 45 cm, mientras que en España se demostró a partir de un estudio realizado que los humedales de tipo horizontal con 27 cm de profundidad son más óptimos que los humedales horizontales que presentan una profundidad mayor a los 50 cm (García Gil et al., 2011). podemos concluir entonces que los humedales artificiales horizontales deben tener 40 cm de profundidad para ser mas eficientes a la hora de tratar las aguas residuales.

Ahora bien, si nos referimos a los humedales de flujo vertical podemos asegurar de que sus profundidades son mayores a diferencia de los humedales de tipo horizontal. Estudios realizados en el Reino Unido arrojan que la profundidad de este sistema es de aproximadamente 50cm a 80 cm (Cooper, 1999); mientras que en Alemania es de 80cm (ATV, 1998), por otro lado en Dinamarca y en Nepal los humedales de flujo vertical son construidos con una profundidad de 1 m. De esta manera los humedales que presentan profundidades de 75cm son mucho más eficientes que aquellos que presentan una profundidad de lecho de 45cm; de esta manera podemos concluir que la profundidad mas optima para un humedal de flujo vertical es de 70 cm, lo que permite una mejor nitrificación y una remoción de materia orgánica mas adecuada (ONU-HABITAT, Manual de humedales artificiales, 2008).

Por otro lado la selección de lecho filtrante es un punto bastante importante para aumentar la eficiencia del humedal, sus funciones principales son las de distribuir de manera adecuada el caudal dentro del sistema, atrapar y filtrar cualquier tipo de partícula presente y por último, el lecho filtrante contribuye con su área superficial el crecimiento de microorganismos

Tabla 9

Tamaño óptimo del lecho filtrante para un humedal artificial de flujo vertical.

TIPO DE MATERIAL	GRANULOMETRIA	PROFUNDIDAD DE
		LECHO
Grava fina	2-8 mm	30 cm
Grava de transición	10-20 mm	10-20 cm
Grava gruesa	20-40 mm o 30-60mm	10-20 cm
Arena	0.25mm-0.4mm	30 cm

Nota: En la tabla podemos apreciar cual es el tamaño y profundidad óptima para un humedal artificial de flujo vertical; cabe resaltar que la arena no siempre es necesaria pero se puede utilizar como una alternativa y agregarla al humedal. Fuente: (Diseño propio).

Tabla 10

Características de funcionamiento de los humedales de flujo horizontal y vertical

	HORIZONTAL	VERTICAL
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo
Estado de oxidación	Más reducido	Más oxidado
Eficiencia	Mas superficie	Menor superficie
Carga superficial (DBO ₅ /M ² *Dia)	4-6	20-40
Nitrificación	Compleja	Se consigue
Operación	Sencilla	Más compleja

Nota: En la tabla se muestra un resumen comparativo entre estos dos tipos de humedales artificiales de flujo subsuperficial en cuanto a las características de funcionamiento. Fuente (Latorre et al., 2017)

Tabla 11*Características y Comparación de los dos tipos de humedales*

Humedales artificiales		
	Flujo superficial	Flujo subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundario	Tratamiento de flujos primario
Carga organica	Operación con baja Carga organica	Operación con alta Carga organica
Olor	Puede darse el caso	No da problemas
Insectos	Control más caro	No aparecen
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan a los procesos	Buena, por la protección que ofrece la vegetación y el flujo subterneo la temperatura constante
Superficie	Requiere superficie de mayor tamaño	Requiere superficie de menor tamaño
Coste	Menor gasto	Mayor coste por el material granular
Valor como ecosistema	Mayor valor como ecosistema para la vida	Menor valor debido a que el agua es difícilmente

Tabla 6” “Continuación”

	salvaje, el agua es accesible	accesible
Usos generales	Restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento principal de las aguas residuales
Operación	Tratamiento adicional a sistemas convencionales	Tratamiento secundario

Nota: En la tabla se muestran las características más importantes de los humedales de flujo superficial y flujo subsuperficial y un resumen comparativo entre ambos. Fuente: (Delgadillo et al., 2000)

2.4.4 Estudios realizados con plantas macrófitas. En el estudio investigativo se requiere utilizar la planta *Phragmites australis* para el tratamiento de las aguas porcinas de la UFPSO, debido a que esta especie es perenne de la región y fácil de encontrar para tal fin. Por otro lado su estructura y funcionalidad permite obtener excelentes resultados Fitorremediadores, ya que sus mecanismos de asimilación de nutriente en condiciones propias de las aguas residuales les permiten trabajar sin ningún tipo de inconvenientes.

En un estudio realizado sobre la especie *typha latifolia (totora)* se evaluó el grado de remoción de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas. Según (Castañeda villanueva & Flores López, 2013). Los resultados obtenidos fueron favorables dado que la variación del pH en este tipo de aguas presento una tendencia casi uniforme de ligeramente alcalino a neutro. La demanda bioquímica de oxígeno (DQO) con un tiempo de retención de siete (7) días alcanzo un porcentaje de remoción mayor de 86%. En referencia a la concentración del nitrógeno total (N) llego hasta un 53% de remoción. Por otro lado, en cuanto a la disminución del fosforo total, también arrojó excelente resultados con un grado de remoción

del 76%, por último, la disminución de los aceites y grasas fue distintiva en mayor cantidad de las demás plantas con un 60%.

El propósito de este estudio era evaluar los porcentajes de remoción de las macrófitas *Typha latifolia* (totora), *Gladiolus spp* (gladiolo) y *Phragmites australis* (carrizo) en tiempos prolongados de tres, cinco y siete días en diferentes meses del año para determinar que especie era idónea para el tratamiento de las aguas residuales en los altos de Jalisco, México, demostrando entonces que el carrizo y la totora son plantas potenciales para remover cantidades significativas de contaminantes en tiempos largos de retención, ya que los mayores porcentajes de remoción se obtuvieron a los siete días y en periodos cálidos. [\(Ver tabla 7\)](#)

Tabla 12

Grado de remoción de contaminantes por macrófitas en periodos cálidos

Macrófitas grasas	TR (días)	pH	%R DQO	%R N	%R P	%R aceites y
Carrizo	Siete	7.2	>86%	64%	65%	58%
Totora	Siete	7.5	>86%	53%	76 %	60%
Gladiolo	Siete	6.9	<86%	34%	68%	50%

Nota: En la tabla se muestra los porcentajes de remoción %R de cada contaminante por plantas macrófitas con un tiempo de retención TR de siete días. La DQO es la demanda bioquímica de oxígeno, (N) nitrógeno total y (P) fosforo total. Fuente: (Diseño propio, 2019)

La temperatura es uno de los factores que influye directamente en el desempeño de las plantas macrófitas para la remoción de contaminantes de las aguas residuales domésticas, independientemente de cual sea la especie, ya que en este estudio quedo claro que los mayores

niveles de remoción fueron en periodos cálidos con temperaturas mayores a los 25 ° C. En climas fríos los porcentajes de remoción fueron notables por debajo de los anteriormente dichos.

Por otra parte en el estudio realizado por (Erazo Gesama & Revelo Calvache, 2017) utilizaron el carrizo para el tratamiento de las aguas porcinas en la granja San Carlos, ubicada en el municipio de Yacuanquer (Nariño), como sistema secundario del efluente de un biodigestor que no cumplía con los límites permisibles de vertimiento. El análisis de los parámetros del afluente en el humedal artificial que contenía el carrizo arrojó resultados de DBO₅ (5944 mg O₂/L), nitrógeno (867 mg /L), fósforo (120 mg /L) y sólidos suspendidos (1983 mg/L), demostrando que la planta introducida en el humedal realiza el proceso de remoción de contaminantes notoriamente. En la tabla 8 y 9 se muestra la concentración de contaminantes en el efluente del sistema y el porcentaje de remoción para cada parámetro.

Tabla 13

Concentración de contaminantes en el efluente

Parámetros	Concentración en la salida (mg/l)
DBO ₅	466.55
Nitrógeno total	339.92
Fosforo total	29.43
Sólidos suspendidos	210

Nota: En la tabla se muestra las concentraciones de contaminantes para cada parámetro en el efluente de un humedal que contiene la planta *Phragmites australis* (carrizo), teniendo en cuenta que la concentración es un promedio obtenido en días de alta, media y bajo producción. Fuente: (Diseño propio, 2019)

Tabla 14*Parámetro de remoción para cada parámetro*

Parámetro	Porcentaje de remoción (%)
DBO ₅	93
Nitrógeno total	59
Fosforo total	76
Solidos suspendidos	89

Nota: En la tabla se muestra el porcentaje promedio de remoción para cada parámetro en el efluente de un humedal con la planta *Phragmites australis* (carrizo), en días de alta, media y baja producción. Fuente: (Diseño propio, 2019)

Dentro del estudio realizado por estos autores los parámetros de DBO₅, nitrógeno total y fosforo no cumple con los límites permisibles de vertimiento por la gran cantidad de materia orgánica de las excretas que presentan los animales a excepción de las solidos suspendidos que según la resolución 0631 del 2015, los valores permisibles son de 400 mg/l, lo cual cumple a cabalidad con el rango establecido por dicha resolución. Por otro lado, en cuanto a los porcentajes de remoción llevados a cabo por el carrizo, los resultados obtenidos fueron los esperados con un 93 % de DBO₅, por tal motivo es una planta con capacidades adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales en la industria porcina. Pero se pueden obtener mejores resultados en el transcurso del tiempo hasta que la planta y el humedal se desarrollen completamente, ya que el sistema se encontraba en la etapa de arranque.

Seguidamente se puede decir que las *Phragmites Australis* y la *typha latifolia* han demostrado ser muy útiles para el tratamiento de las aguas residuales debido a sus características, condiciones de adaptabilidad y asimilación de contaminantes. Sin embargo y debido a las

condiciones del municipio de Ocaña la presencia del carrizo es muy escasa y difícil de encontrar, por lo tanto, se ha tomado a la totora como planta principal fitoremediadora a utilizar en el sistema piloto, ya que es abunda en la mayor parte del municipio y porque en los estudios realizados ha presentado mayores porcentajes de remoción. Esta planta es una hierba acuática perenne, de escaso porte y fasciculada, que puede llegar a medir hasta 4 m de altura, de los cuales al menos la mitad está sumergida bajo el agua y la otra parte se halla por encima de la superficie. Posee un tallo erecto, liso, flexible, liviano, rollizo, triangular, similar al césped y sin tuberosidades en la base. Las hojas de la totora forman una vaina que rodea al tallo en la base. Están distribuidas en dos sectores: las hojas de la parte inferior de la planta presentan vainas foliares carentes de láminas, mientras que las superiores las desarrollan ocasionalmente. (Duno de Stefano, 2012)

Según el diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú (sf) las pequeñas flores de la totora son hermafroditas, es decir, reúnen en sí ambos sexos, y la envoltura floral está compuesta por 2 a 6 escamas y produce frutos secos biconvexos o aplanados convexos, lisos o transversalmente rugosos, con un pericarpio no soldado a ellos. El fruto contiene una sola semilla de forma similar a la lenteja. ([Ver figura 15](#))

Clasificación	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida,
Familia	Cyperaceae
Genero	Typha
Especie	Typha latifolia



Figura 15. Clasificación taxonómica de la especie *Typha latifolia*. Fuente: (Elizabeth Ciget, 2017)

2.4.5 Humedales artificiales de flujo Subsuperficial vertical “Sistema francés” como alternativa a los sistemas centralizados. En el continente europeo específicamente en Francia en los años 1990 se empezó a implementar un nuevo sistema de tratamiento de las aguas residuales con humedales verticales de flujo Subsuperficial. Uno de los principales aspectos más interesante de estos humedales es que no requiere de un pretratamiento y tratamiento primario, dado que estos procesos hacen parte de este sistema, no genera olores desagradables, no genera lodos, no libera biogás, ni mucho menos genera costos adicionales de mantenimiento. Estos sistemas por otra parte son altamente eficientes y pueden ser implementados para comunidades que presentan grandes áreas de terreno (Estopà Consuegra, 2018)

Según el reporte realizado por molle (2005) el sistema francés está constituido por dos etapas de las cuales la primera consta de un lecho filtrante con grava que actúa como tratamiento

primario. Con cargas muy altas de contaminantes pueden removerse hasta un 80% de DQO, 86% de SST Y hasta un 50% de nitrógeno y fosforo total, siendo solo esta etapa más eficiente que cualquier otro sistema de tratamiento convencional primerio, tanto así que en algunos países el agua tratada en esta etapa podría descargarse a los cuerpos hídricos. La generación de lodos es muy escasa, debido a que quedan retenidos en el filtro formando una capa de 1.5 cm en un año, aproximadamente y deben retirarse cada 10-15 años cuando alcanza un espesor de 20 cm. El agua residual pre-tratada en la etapa primaria es conducida hacia la siguiente etapa de tratamiento secundario para complementar la nitrificación y reducción de los demás contaminantes en un humedal con filtros (Núñez Burga, 2016)

Dentro de este estudio los resultados de los análisis de los parámetros para cada contaminante sobrepasaron las expectativas en cuanto al tratamiento de las aguas residuales. En total la doble etapa del sistema francés remueve el 90% de DQO, el 96% de los SST y el 85% de nitrógeno y fosforo, dando excelentes resultados en Alemania en el año 2009 para el tratamiento de las aguas residuales municipales.

De esta manera molle (2005) recomienda que en la primera etapa del sistema francés se divida en tres partes iguales del área total determinada, es decir, tres humedales verticales del área total, y para la segunda etapa recomienda construir dos humedales igualmente verticales del área determinada.

Los tres humedales o compartimentos en la primera etapa son operados en alterno, de modo que se controle eficazmente el crecimiento de la biomasa, manteniendo las condiciones aerobias en el medio poroso, permitiendo a su vez que el lodo se seque. Cada humedal artificial recibe las aguas residuales crudas durante 3-4 días y luego descansan de 6-8 días, mientras que los demás compartimentos son utilizados. El agua residual cruda desciende verticalmente a

través del medio granular que pasa primeramente por una capa de 30 cm con grava fina (D 2-8 mm), luego sobre una capa de transición de 10-20 cm con gravas de (D 5-20 mm), hasta llegar a la capa de drenaje con grava de (D 20-40 mm o incluso de 40-60 mm) en la parte inferior del filtro, por otra parte los sólidos retenidos en la superficie son mineralizados (Núñez Burga, 2016)

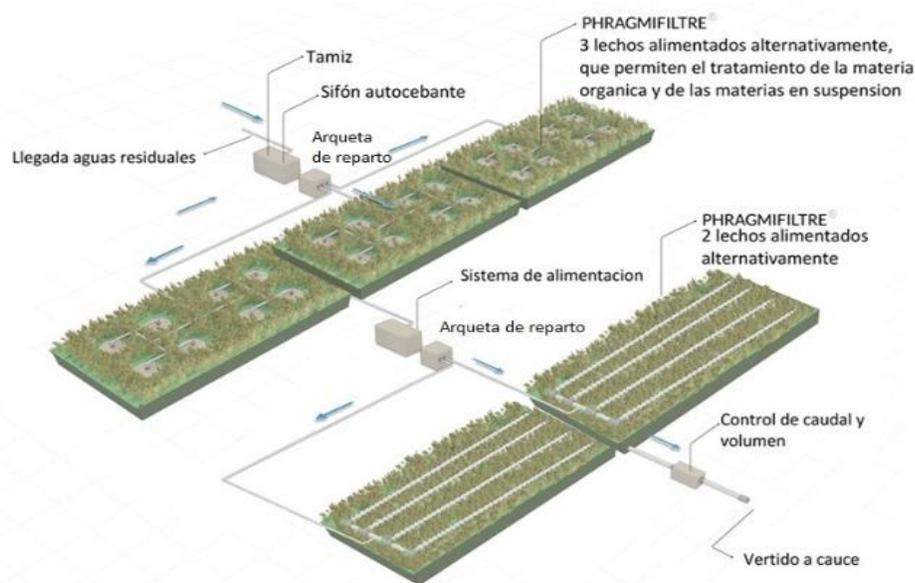


Figura 16. Diagrama de flujo del sistema francés de humedales artificiales. Fuente: (salas, 2018)

Los dos filtros verticales para el tratamiento secundarios de las aguas residuales son operados alternamente para evitar la saturación de los mismos, utilizándose en paralelos. Estos humedales contienen una capa de arena de 30 cm (D 0.25-0.4 mm), de igual manera en Francia, país natal de estos sistemas de tratamiento en los filtros primarios y secundarios se utiliza la especie *Phragmites australis* como planta fitoremediadora para acelerar los procesos de degradación de los contaminantes, planta que es conocida en gran parte del mundo por sus grandes resultados en el tratamiento de las aguas residuales.

De conformidad con lo anteriormente mencionado estos sistemas son una alternativa de tratamiento de las aguas residuales para medianas y pequeñas comunidades, ya que son fáciles de

construir y operar, añadiéndole el costo de construcción y funcionamiento que son relativamente bajos en comparación con otros sistemas biológicos como las lagunas de oxidación, filtros percoladores entre muchos más. Por otro lado evita las desventajas de los pretratamientos convencionales, es decir, la producción de lodos y las emisiones de biogás (Estopà Consuegra, 2018)

2.5 Marco legal

Para cumplir con la normatividad colombiana es necesario realizar una línea de tiempo en donde se exprese de manera concisa los lineamientos jurídicos en pro de la conservación y protección del medio ambiente en cuanto al saneamiento básico.

Decreto-ley 2811 de 1974. Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al medio ambiente. Es una de las fuentes principales de la política ambiental del país.

Ley 9 de 1979. Código Sanitario Nacional, por el cual se dictan medidas sanitarias.

Decreto 1594 de 1984. Se reglamenta los usos del agua y residuos líquidos, y se dictan otras disposiciones.

Constitución política de 1991. Establece disposiciones sobre prestación del servicio público, derechos colectivos y del ambiente. Dicha constitución incluye los siguientes artículos en pro del cuidado del medio ambiente.

Artículo 8: Es obligación del estado y de las personas proteger las riquezas naturales y culturales de la nación.

Artículo 79: Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica.

Artículo 313: Todo municipio debe expedir los acuerdos necesarios para el control, preservación y defensa del patrimonio ecológico.

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.

Ley 142 de 1994. Por el cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios.

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

Resolución 1096 del 2000. Reglamento técnico del RAS. Por la cual se adopta el Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Resolución 240 del 2004. Por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas.

Resolución 1433 de 2004. Por la cual reglamenta los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV, y sus modificaciones.

Resolución 2145 del 2005. Por el cual se modifica parcialmente la resolución 1433 del 2004.

Decreto 1323 del 2007. Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico –SIRH.

Ley 1333 del 2009. Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.

Decreto 3930 del 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 2667 del 2012. Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

Resolución 1207 del 2014. Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

Resolución 0631 del 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1076 del 2015. Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

CAPITULO 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación.

Según Guffante Naranjo, Guffante Naranjo, & Chávez Hernández (2016) el concepto de investigación científica hace referencia a un proceso de búsqueda metódica, que genera conocimientos nuevos con diferentes niveles de complejidad (exploratorio, descriptivo, correlacional, analítico), para el investigador y para la comunidad científica, y que puede ser llevado a cabo mediante diferentes métodos y abordajes (Guffante Naranjo et al., 2016)

En este caso la investigación es dirigida a diseñar y construir un sistema que permita descontaminar las aguas residuales del proyecto porcino de la Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña, evaluando la eficiencia que pueda presentar para mitigar los impactos adversos que ocasionan este tipo de agua residual. Según Cortés Cortés & Iglesias León (2004) los enfoques más comunes en la metodología de la investigación son el enfoque cuantitativo, cualitativo y mixto, por lo que para este proyecto se tendrá en cuenta el enfoque cuantitativo, dado que los parámetros para cada contaminante a identificar en los afluentes y efluentes del sistema, es decir, el humedal artificial de flujo vertical tipo francés, los datos correspondientes serán numéricos, y con ellos determinar la eficiencia del sistema.

Para el proyecto se define el enfoque como una investigación cuantitativa, con un alcance descriptivo, exploratorio, y correlacional; descriptivo porque se pretende realizar la caracterización de las aguas residuales porcinas, identificando los niveles de contaminación de cada contaminante en el afluente y efluente del sistema; exploratorio ya que el sistema de tratamiento o humedal artificial de flujo subsuperficial vertical tipo francés solo se ha implementado en algunos países europeos como Francia, Alemania, España y Portugal, pero para

el tratamiento de las aguas residuales urbanas, lo que quiere decir que el sistema no ha sido implementado en el sector pecuario, específicamente en el área porcícola, lo que conlleva a generar nuevos conocimientos; correlativo, debido a que se analizarán las variables que trataremos en la ejecución del proyecto.

Según el propósito o finalidad de la investigación el proyecto se clasifica como una investigación aplicada, puesto que toda la información recopilada y estudiada es llevada a la práctica para la solución de una problemática específica, que en este caso es el de diseñar un sistema de tratamiento que elimine el problema de la contaminación por aguas residuales porcinas.

El diseño metodológico acoge la investigación experimental, por lo que se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo de control, con las mediciones de un grupo experimental, utilizando variables dependientes, es decir, las que se pueden medir, y variables independientes que son las que se utilizan para ver la relación con las dependientes para la evaluación del sistema piloto.

Ahora bien, para la realización del proyecto se llevará a cabo tres fases, de las que se describen a continuación.

Fase 1. Se realiza el diseño del humedal artificial tipo francés a escala real para el tratamiento de las aguas residuales, teniendo en cuenta el dimensionamiento, sustrato y su cantidad, vegetación, tiempo de retención, materiales a utilizar, funcionalidad y demás accesorios para posteriormente pasar el sistema a escala piloto.

Esta primera fase consiste básicamente en identificar el diseño de un humedal artificial tipo francés para el tratamiento de las aguas residuales por cada persona equivalente basados en un

reportaje realizado en el año 2005 que sirve como base referencial para determinar el dimensionamiento del mismo tipo de humedal pero para el tratamiento de las aguas porcinas de la UFPSO a escala real, ya que estos sistemas solo han sido implementados para el tratamiento de las aguas residuales municipales en el continente europeo y no se tiene una idea clara de las dimensiones para este tipo de aguas residuales.

Posterior a esto se realizan los cálculos necesarios para pasar el sistema de escala real a escala piloto, debido a que se tiene una mejor manipulación de los componentes del sistema de tratamiento. Una vez establecido el diseño se realiza el plano en AutoCAD que permita identificar sus componentes principales. Seguidamente se procederá a la construcción del sistema en las instalaciones del proyecto porcino de la UFPSO; los demás componentes a utilizar son los ya establecidos por el diseño original del humedal a excepción de la vegetación que deben ser especies locales, propias de la región las cuales tengan la facilidad de adaptarse al sistema.

Fase 2. Se realiza la caracterización de las aguas residuales del sistema ya construido en los afluentes y efluentes, evaluando los niveles de remoción en relación con los niveles permisibles de vertimiento.

En esta fase se evaluará la eficiencia del humedal artificial ya construido durante su operación en cuanto a la descontaminación de las aguas residuales del proyecto porcino, para esto es necesario conocer el estado de las aguas residuales antes y después de haber pasado por el humedal artificial, mediante los parámetros físicos, químicos y microbiológicos contemplados en la resolución 0631 del 2015.

La variable dependiente de la investigación es el porcentaje de remoción en cada fase del humedal artificial vertical tipo francés empleando la especie *Typha latifolia* (Totora) extraída en

la vía Ocaña aguas claras norte de Santander; también se definen las variables independientes como el caudal diario, tiempo de retención del agua residual en el sistema piloto, tipo y cantidad de sustrato, forma y volumen del recipiente, la fuente del agua residual, y el volumen del agua utilizada en el tratamiento; Las variables modificadas intencionalmente en la investigación son el tiempo de retención del agua residual en el sistema piloto y el tipo de sustrato. Es de aclarar que el humedal artificial consta de dos fases las cuales la primera posee tres compartimientos o humedales y la segunda fase solo dos compartimientos, estas dos fases poseen las mismas condiciones con la excepción de que la granulometría del sustrato es diferente.

De esta manera se plantean dos variables para el tiempo de retención, identificadas como (T_1 y T_2), y el tipo de sustrato como (S_1 y S_2), teniendo en cuenta que el sustrato (S_1) es de la primera etapa del sistema de tratamiento y (S_2) de la segunda etapa. La combinación de estas variables permite cuatro posibles resultados dos en cada fase, teniendo en cuenta que en la primera fase se toman las respectivas muestras en cualquiera de los tres (3) compartimientos, al igual que en la segunda fase.

Tabla 15

Medición según las posibles combinaciones de variables

Medición	Tipo de sustrato	Tiempo de retención
Medición 1	S_1	T_1
Medición 2	S_2	T_1
Medición 3	S_1	T_2
Medición 4	S_2	T_2

Nota: La tabla muestra las variables empleadas para evaluar la calidad del agua residual en los efluentes de la primera y segunda fase del humedal artificial, Fuente: (Diseño propio).

La variación en las mediciones arrojará distintos resultados de remoción en cada fase del humedal por lo que se determinará con esa actitud el tiempo y tipo de sustrato con mejor rendimiento, cabe resaltar que las dos fases hacen parte del mismo sistema, lo que quiere decir que el análisis y comparación de estas variables tienen la finalidad de determinar los porcentajes de remoción en cada etapa en dos tiempos distintos, partiendo del tiempo de referencia, estipulado por el diseño propio del humedal artificial y un tiempo prolongado escogido al azar, para estimar mejores resultados.

Fase 3. Para la tercera fase, se determina la eficiencia del sistema en comparación con otros tipos de tratamiento de aguas residuales porcinas para completar la evaluación del sistema.

Esta última fase consiste en realizar una revisión bibliográfica en cuanto a otros sistemas de tratamiento de aguas residuales porcinas para determinar qué tan eficiente es el humedal artificial frente a estos tipos de tratamientos, en donde se da la posibilidad de poder sustituir o no dichos tratamientos. Basados en el diseño, construcción y coste de implementación, así como el nivel de remoción. [Ver figura 18.](#)

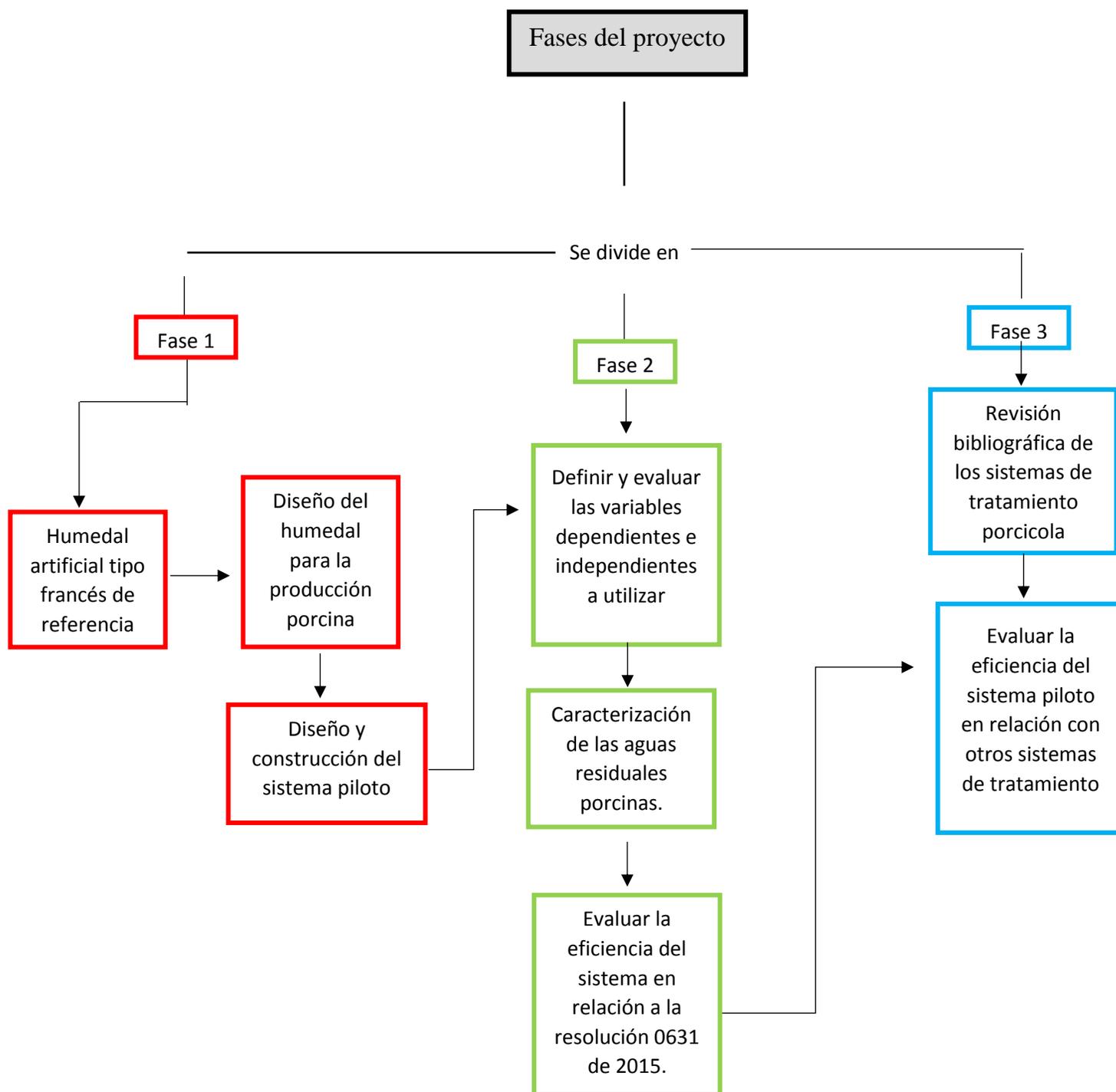


Figura 17. Esquema de las fases del proyecto. Fuente: (Diseño propio)

3.2 Población

El objeto de estudio o la unidad de análisis de esta investigación son definidas por las aguas residuales. La población a estudiar se delimita como todas las aguas vertidas que no tienen tratamiento en la producción porcina de la Universidad Francisco de Paulas Santander seccional Ocaña.

De esta manera se debe analizar las aguas residuales vertidas dentro de esta producción, los vertimientos no han sido estudiados, caracterizados y por esa razón no tienen ningún tipo de medidor. En este proyecto se cuentan con los tres tipos de ciclos: ceba, cría y levante, con un total de aproximadamente 94 cerdos, pero con la infraestructura presente se puede alojar 200 cerdos en total; las especies con sus actividades son las generadoras de las aguas residuales.

3.3 Muestra

Es primordial entender de donde provienen las aguas residuales que vamos a utilizar para la evaluación del sistema piloto, saber que actividades las genera y de donde surgen sus vertimientos. La muestra tomada para la población está ubicada detrás del proyecto porcino de la UFPSO y se puede deducir que su vertimiento es puntual.

El caudal de agua residual necesario para los estudios se debe tomar en los días donde se haga un lavado a toda la instalación de la producción, para tener una aproximación de la cantidad de desechos totales que producen todos los cerdos ahí presentes.

El tipo de muestreo más conveniente para este proyecto es el muestreo simple, se tomará una muestra diaria en un periodo determinado de tiempo, lo cual, en una semana se intentará caracterizar las condiciones que tiene el vertimiento generado en el proyecto porcino, que son necesarias para la determinación del dimensionamiento del humedal artificial a diseñar. Ya

construido el humedal, se tomarán muestras en cada efluente de cada fase del sistema para sus respectivos análisis y evaluación.

La manera de cómo se van a transportar las muestras para sus respectivos análisis, es un punto de vital importancia en esta actividad. Consiste básicamente en trasladar las muestras tomadas en el proyecto porcino hasta los laboratorios presentes en la UFPSO; de igual manera el tiempo que toma llevar de un sitio a otro las muestras, infligen en los parámetros obtenidos en los análisis, por lo que es recomendable llevarlas lo más pronto posible.

Para evitar errores y conseguir la precisión y aproximación adecuada, se tomó como referencia lo estipulado en el RAS 2000 en su sección II, título E, capítulo E2, donde se muestra de qué manera se debe realizar la recolección y preservación de muestras (Ministerio de desarrollo económico, 2000).

Por otro lado, lo requerido para la seguridad personal al tomar las muestras, procedimientos y demás, fue adquirido por el instructivo para la toma de muestras de aguas residuales (IDEAM , 2007).

Etiquetado de muestra. Las muestras deben estar etiquetadas correctamente para evitar desorden o equivocaciones en el proceso, para ello se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Número de muestra.
- Nombre del responsable(s) de la recolección.
- Firma del responsable(s) del muestreo.
- Fecha.
- Hora.
- Sitio o dirección de muestreo.
- Tipo de muestra.

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigilada Mineducación		
<h2>Muestra de agua para analizar</h2>		
Muestreador:	Fecha:	Hora:
Lugar de muestreo:		
Número de muestra:	Tipo de muestra:	
Firma del responsables:		
Observaciones:		

Figura 18. Modelo de etiquetado a utilizar en los recipientes de las muestras. Fuente (Diseño propio)

Cuaderno de campo. Todas las muestras llevarán consigo una ficha técnica, en la cual se describirán datos para evitar equivocaciones y obtener una lectura e identificación más sencilla.

La ficha debe ser llenada a la par con el cuaderno de campo, que contendrá lo siguiente:

- Número de muestra.
- Nombre del muestreador.
- Fecha.
- Hora.
- Tipo de análisis.
- Propósito de muestreo.
- Sitio de muestreo.
- Volumen de muestra.
- Parámetros determinados en campo.
- Observaciones.

3.4 Recolección de la información.

Según (Chávez de Paz, 2008) La recolección de datos tiene que hacer con el concepto de medición, proceso mediante el cual se obtiene el dato, valor o respuesta para la variable que se investiga. En esta investigación se calculan los parámetros de las aguas residuales porcinas a través de la práctica de laboratorio que se realiza con base a lo establecido en el método estándar (Standard Method), donde es inspeccionada y admitida para esta clase de estudios.

Para realizar el muestreo se debe tener en cuenta que cada botella debe ir rotulada y acompañada por el cuaderno de campo en la que se relacionan los datos y circunstancias necesarios para su identificación inequívoca y que permita una mejor interpretación de los resultados obtenidos, así mismo debe organizarse los reactivos a utilizar en el laboratorio, como

Por otra parte, para el estudio de los demás parámetros que no puedan ser medidos in-situs, se procede a tomar el volumen de agua residual necesario que por lo general es de (2 litros), conduciendo la muestra cuidadosamente al laboratorio de la UFPSO antes de las 24 horas, cabe destacar que la muestra debe estar acondicionada a una temperatura de 4°C para que no hayan variaciones en los resultados.

De acuerdo a la establecido en la resolución 0631 del 2015 los parámetros fisicoquímicos en la calidad del agua que se analizan en esta investigación son los relacionados en la [\(Tabla 11\)](#).

Tabla 16

Parámetros fisicoquímicos que se analizan en las muestras de aguas residuales.

PARÁMETRO	UNIDADES	GANADERÍA DE PORCINOS
RESOLUCION 0631 DEL 2015		“Parámetros físico-químicos y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (arnd) a cuerpos de aguas superficiales”. Actividad productiva de Ganadería “capitulo VI artículo 9”
Generales		
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	900,00
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	450,00
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	400,00
Sólidos sedimentables (SSED)	mg/L	5,00
Grasas y aceites	mg/L	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de fosforo		
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte

Tabla 11” “Continuación”

Otros parámetros para análisis y reporte		
Acidez Tota	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de Absorbancia a las Siguietes longitudes de Onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte

Nota: En la tabla se muestran los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (Arnd) a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería. Fuente; (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible)

En cuanto a la temperatura. Según la Resolución 0631 (2015) en el artículo 5. Afirma que todas las actividades industriales, comerciales o de servicios que realicen vertimientos puntuales de aguas residuales a un cuerpo de agua superficial o a los sistemas de alcantarillado público, tendrán en el parámetro de temperatura como valor límite máximo permisible el de 40,00 °C.

Por otra parte, en el artículo 6 de dicha resolución se debe realizar el análisis y reporte de los valores de la concentración en Número Más Probable (NMP/100mL) de los Coliformes Termotolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) mediante las cuales se gestionen excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO₅.

3.5 Análisis de información.

El análisis de la información es dependiente del enfoque del proyecto y del tipo de investigación utilizado, de igual forma también se rige por los objetivos que se quieren alcanzar. Según sea el enfoque (cualitativo o cuantitativo); se utilizan herramientas de estadística fundamental para poder encontrar las escalas de variación de las variables (Gallardo De Parada & Moreno Garzón , 1999).

Con los datos obtenidos de los análisis de laboratorio, se utilizará estadística simple y con la ayuda de gráficas y tabulación se evalúa el objetivo planteado; se comprobara la eficiencia del humedal artificial tipo francés para el tratamiento de las aguas residuales porcinas en las dos etapas del sistema, teniendo en cuenta las variables modificadas en el proyecto, y se verifica el cumplimiento de acuerdo con la normatividad vigente, mediante una comparación entre los resultados ya obtenidos de la remoción de los contaminantes por parte del sistema y el valor límite permisible para los vertimientos.

Identificada la eficiencia del humedal en el estudio realizado por los autores, es necesario comparar dichos resultados frente a otros sistemas de tratamientos de agua residual utilizada en el sector porcino y determinar la competitividad que pueda presentar en cuanto al grado de remoción de contaminantes, diseño, construcción y costo de los mismos mediante una revisión bibliográfica.

CAPÍTULO 4. Resultados

4.1 Características del proyecto porcino de la UFPSO.

Antes de determinar las dimensiones del humedal artificial, es importante conocer con exactitud las características de la granja donde se pretende llevar a cabo el proyecto. El proyecto porcino de la UFPSO, es una granja de ciclo completo que cuenta con una gran variedad de cerdos de diferentes funciones. Actualmente cuenta con: (1) cerdo productor, (3) hembras de reemplazo, (19) hembras en gestación, (3) hembras en lactancia, (0) hembras vacías, (0) hembras de descartes, (28) lechones lactantes, (10) lechones en precebo , (29) cerdos de levante y de engorde, y (1) macho de reemplazo; para un total de 94 cerdos con una capacidad máxima de 200 cerdos y con un área de 680m².

De igual manera, la granja cuenta con un Protocolo de Bioseguridad para el manejo adecuado de las actividades realizadas en cada una de las fases del proyecto porcino, cuenta con un laboratorio, almacén, oficina, sala de gestación, sala de lactancia porqueriza del macho reproductor, sala monta, zona de precebo, sala de engorde y sala de levante.

Por otra parte, se lleva a cabo un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) para el manejo adecuado de las sustancias y residuos peligrosos que se generan dentro de la granja.

4.2 Dimensionamiento de un humedal artificial de FV francés.

Para esta primera fase se tiene en cuenta el dimensionamiento a estala real de un humedal artificial tipo francés que según molle (2005) lo describe de la siguiente manera. (Estopà Consuegra, 2018)

- **Primera etapa** (Pretratamiento). 1,2 m²/PE (equivalente a una carga promedio de 100g DQO/m²/d, 50g de SST/m²/d, 10 g NTK/m²/d y 120 L/m/d dividido en tres unidades idénticas alineadas en alterno, por lo que cada unidad corresponde a 0.4 m²/PE
- **Segunda etapa** (Tratamiento secundario). 1.6 m²/PE, dividido en dos líneas paralelas o lechos alimentados en alterno de 0.8 m²/PE. Esto resulta en una carga media baja del efluente de 25g DQO/m²/d.

La primera etapa del humedal actúa como pretratamiento, lo que quiere decir que el sistema no necesita de más área para la construcción de un pretratamiento y tratamiento primario convencional como los demás humedales artificiales de flujo vertical y horizontal. Para la segunda etapa esta se encarga de terminar el proceso de descontaminación de las aguas residuales provenientes de la primera etapa. Considerado como un único sistema, donde se realizan todos los procesos para el tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, las dimensiones anteriormente expuestas son para el tratamiento de las aguas residuales municipales, siendo necesario realizar cálculos pertinentes para el diseño del sistema piloto que tiene como fin, depurar las aguas residuales o porcínaza de la UFPSO.

4.3 Dimensionamiento de un humedal artificial de FV francés para el subsector porcícola de la UFPSO

Para llevar a cabo el dimensionamiento del humedal artificial es necesario realizar una serie de pasos para la primera y segunda etapa del sistema FV francés que según Molle et al, 2017; los describe de la siguiente manera.

4.3.1 Diseño de la primera etapa. Paso 1. Se define el flujo de influentes y las concentraciones de contaminantes

En este paso es necesario conocer las características del agua residual del punto exacto de vertimiento. De acuerdo a la metodología del proyecto se muestro durante cinco días (5) para el correcto diseño del humedal artificial, así como también, el caudal promedio del influente calculado en esos cinco días (5) respectivamente. De esta manera para la correcta toma de muestras se tuvo en cuenta lo siguiente.

1. Se localizó el punto exacto de vertimiento. La granja porcina de la UFPSO realiza lavados de las porquerizas diariamente con un gasto de agua demasiado elevado realizado con mangueras que, al mezclarse con las heces de los animales, polvo y demás residuos, dichas aguas residuales son dirigidas a un tubo colector vertiéndolas en la parte trasera de la granja sin ningún tipo de tratamiento [Ver imagen 1](#).



Imagen 1. Punto de vertimiento de las aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO.
Fuente: (Autores del proyecto)

2. Se procede a determinar el caudal promedio de vertimiento, utilizando el método volumétrico con un tanque de 160 litros y un cronometro de pulso, donde se estimó un flujo en el influente de más de $2.7 \text{ m}^3/\text{Día}$.



Imagen 2. Medición del caudal promedio en el punto de vertimiento utilizando el método volumétrico. Fuente: (autores del proyecto).

3. Se tomaron muestras para determinar los parámetros correspondientes de las aguas residuales del subsector porcícola según la resolución 0631 del 2015, teniendo en cuenta que las primeras muestras fueron tomadas con botellas plásticas de 2-3 litros y en algunas ocasiones se utilizaron bolsas que el laboratorio brindó para seguir tomando las respectivas muestras, que posterior a esto fueron rotuladas para tomar todos los datos necesarios y así evitar equivocaciones, sin embargo cada muestra iba acompañada del cuaderno de campo, hay que resaltar que mediante el muestreo se utilizaron los equipos de protección personal para mantener la seguridad de los muestreadores.



Imagen 3. Toma de muestras en el punto de vertimiento. Fuente: (autores del proyecto)

4. Se toman algunos parámetros in-situs como el ph, arrojando valores neutros entre 7-8 y la temperatura con un termómetro ambiental que el laboratorio de biología de la universidad facilito para la toma de estos datos en el lugar de muestreo con valores de 22-24 °C.



Imagen 4. Análisis in-situs de PH y temperatura de las aguas residuales del proyecto porcino. Fuente: (autores del proyecto)

Así mismo se organizaron los reactivos a utilizar en el laboratorio y los materiales necesarios para llevar a cabo los análisis Ex situ de forma inmediata antes de las 24 horas del día, teniendo en cuenta que las muestras debían mantenerse refrigeradas a una temperatura de 4 °C para no alterar los resultados.



Imagen 5. Almacenamiento de las muestras antes de ser transportadas al laboratorio de la UFPSO.
Fuente: (autores del proyecto)

Una vez conducida las muestras al laboratorio se realizaron los análisis físico-químicos y microbiológicos durante 5 días para tener valores promedios reales que conduzcan a un correcto diseño del humedal artificial.



Imagen 6. Análisis de las muestras en el laboratorio de aguas de la UFPSO. Fuente: (autores del proyecto).

De esta manera se lograron obtener los parámetros de las aguas residuales del proyecto porcino, donde el rango de cada uno de estos no cumple con los límites máximos permisibles de vertimiento según la normativa ambiental. [Ver tabla 12.](#)

Tabla 17.*Parámetros Fisicoquímicos de las aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO*

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Caudal	m ³ /día	2.7
Ph	-	7.21
DQO	mg/L.O ₂	2940
DBO ₅	mg/L.O ₂	46
SST	mg/L	2483
SSED	mg/L	50
Nitratos	mg/L	352
Nitritos	mg/L	8778
Nitrógeno amoniacal	mg/L	>3.5
Acidez total	mg/L	1100
Alcalinidad total	mg/L	1650
Dureza total	mg/L	980
Color real	UPTC	1157
Turbidez	mg/L	4570
Coliformes totales	NMP/100mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100mL	>1100

Nota: La tabla 12 muestra la caracterización de las aguas residuales y el caudal promedio del proyecto porcino de la UFPSO. Fuente: (Diseño propio, 2019).

Siguiendo con el paso 1, obtenidos los resultados de la caracterización de las aguas residuales y el caudal promedio se deben tener en cuenta los parámetros de DBO₅, DQO, SST y el HLR, en unidades de g/día y las concentraciones del influente en mg/día. Para esto se debe tener en cuenta las siguientes conversiones:

Cargas del influente para la DQO:

- DQO = 2940 mg/L.O₂

Donde:

$$DQO = \frac{2940mg}{L} \cdot O_2 * \left(\frac{1g}{1000mg} \right) = 2,940gDQO/dia$$

Concentración del influente con respecto al caudal promedio de 2.7 m³/día

Donde:

$$C_i = \frac{4,645g/diaDQO}{2,7 m^3/dia} = 1,72g/m^3 = 1,72mg/L$$

Se realiza el mismo procedimiento para el cálculo de todos los parámetros a utilizar en el diseño del humedal artificial, como la DBO₅ y los sólidos suspendidos totales.

- DBO₅ = 46 mg/L.O₂

$$DBO = \frac{46mg}{L} \cdot O_2 * \left(\frac{1g}{1000mg} \right) = 0.05gDQO/dia$$

$$C_i = \frac{0.05g/diaDBO_5}{2.7 m^3/dia} = 0.018g/m^3 = 0.02g/m^3 = 0.02mg/L$$

- SST= 2483 mg/L

$$SST = \frac{2483mg}{L} * \left(\frac{1g}{1000mg} \right) = \frac{2,483g}{dia} . SST$$

$$C_i = \frac{2.483g/diaSST}{2.7m^3/dia} = 0.92g/m^3 = 0.92mg/L$$

Tabla 18.

Cargas y concentraciones del influente

VARIABLE	DQO	DBO ₅	SST
Carga influente (g/día)	0,05	2.940	2,483
Concentración influente (mg/L)	0,02	1,72	0,92

Nota: En la tabla 13 Se pueden apreciar las cargas del influente en (g/día) y las concentraciones de DQO, DBO₅, y SST en (mg/l) (Diseño propio, 2019).

Pasó 2. Una vez determinadas las cargas y concentraciones del influente Se calculan las áreas que se necesitan para las tasas recomendadas de carga hidráulica y de igual forma para la superficie de masa.

Para lo que es la primera etapa del sistema francés de flujo vertical se utilizan las siguientes recomendaciones. Son utilizadas para proporcionar el dimensionamiento inicial de las unidades de filtro. [Ver tabla 14.](#)

Tabla 19.

Cargas de diseño máximo para el diseño de un humedal francés.

TRATAMIENTO	HLR	DQO	DBO ₅	SST
Escenario	(m ³ /m ² .dia)	(g/m ² .dia)	(g/m ² .dia)	(g/m ² .dia)
Primera etapa	0.37	350	150	150
Eliminación	-	0.8*M _i	0.90*M _i	0.90*M _i
Segunda etapa	0.37	70	20	30
Eliminación		0.72*M _i	0.80*M _i	0.80*M _i

Nota: La tabla muestra los valores dados por m² de la cama de operación, todas las correlaciones de Molle et al (2005), excepto TKN de Molle et al (2008). (Molle et al, 2017).

De esta manera se determina el área de la superficie (AS) requerida de un filtro basada inicialmente en el HLR como se mencionó anteriormente.

Donde;

$$AS_{HLR} = \frac{2.7m^3/dia}{0.37m^3/m^2.dia} = 7,3m^2$$

DE igual forma, obtenemos las superficies de áreas necesarias para un filtro a partir de las tasas de carga de masa superficial de DQO, DBO₅ y SST.

- $SA_{DBO_5} = \frac{0.05g/dia}{150g/m^2.dia} = 0,00033m^2$
- $SA_{DQO} = \frac{2,940g/dia}{350g/m^2.dia} = 0,0084m^2$
- $SA_{SST} = \frac{2.483g/dia}{150g/m^2.dia} = 0,016m^2$

Luego de conocer las cargas hidráulicas de los parámetros (DQO, DBO₅, SST Y HLR), se adopta el número mayor para poder cumplir con los criterios del diseño (7.3m²). Para las células cuadradas tenemos una relación de longitud y anchura de 1/w=1 dando lugar a:

$$UNA = L * W \rightarrow UNA = W^2$$

UNA=Área de una célula, es decir el área de un filtro.

De lo anterior se procede a determinar la longitud y anchura del filtro

$$\text{Donde; } \sqrt{W^2} = \sqrt{7.3m^2} \rightarrow W = 2.70m = 3m$$

La adopción de valores de longitud L=3m y ancho W=3m conducirá a un área de 9m² por cada unidad. Teniendo en cuenta que la primera fase del sistema francés de flujo vertical consta de tres unidades paralelas (n=3) entre sí, alternándose en funcionamiento (una en funcionamiento y dos en reposo), por lo tanto, el área total para la primera etapa es de:

$$AT = n * Ac = 3 * 9m^2 = 27m^2$$

AT= Área total; n= Número de unidades; Ac= Área de una celda

Con lo realizado anteriormente podemos concluir que, para una población de 94 cerdos, se requerirá de un valor neto de tierra per capital igual a 27m² (0.3m²/cerdo equivalente); se estima que el terreno de uso podría ser más bajo que la práctica habitual de humedales franceses de flujo vertical utilizada en las personas (1.2m²/personas equivalentes).

Pasó 3. Especificar las características de las capas del filtro. Calculada el área requerida se procede a determinar las profundidades de las capas de los filtros que según molle et al, (2005) las describe en la siguiente tabla.

Tabla 20.

Especificaciones de medios filtrantes para un diseño francés.

CAPA	PRIMERA ETAPA		SEGUNDA ETAPA	
	Profundidad	Material	Profundidad	Material
Francobordo	> 30 cm	-	> 20 cm	-
Capa principal	30 a 80 cm	(2-6mm grava)	30 a 80 cm	(0.25-0.4 mm arena)
Capa de transición	10 a 20 cm	(5-15mm grava)	10 a 20 cm	(3-12 mm grava)
Capa de drenaje	20 a 30 cm	(20-60 mm grava)	20 a 30 cm	(20-60 mm grava)

Nota. En la tabla se muestran las recomendaciones de las capas del filtro de la primera y segunda etapa (Molle et al 2016).

Las capas seguirán las especificaciones francesas con los valores intermedios de los rangos de altura para cada capa. En este proyecto las profundidades de cada capa en la primera etapa son las siguientes.

- Francobordo: $h=0.5\text{m}$
- Capa principal: $h=0.5\text{m}$ (grava de 2-6mm).
- Capa de transición: $h=0.15\text{m}$ (grava de 5-15mm).
- Capa drenaje: $h=0.25$ (grava 20-60mm).
- Altura total del filtro: $h=1.40\text{m}$

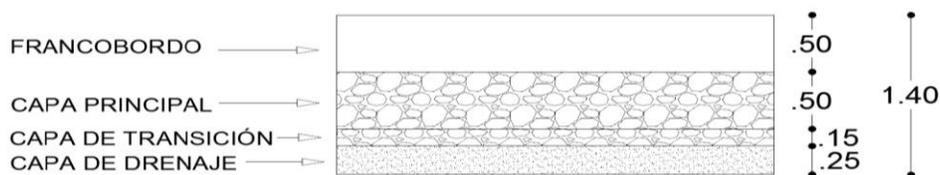


Figura 19 Capas de los filtros en la primera etapa del sistema francés, realizado con el programa AutoCAD. Fuente: (Diseño propio).

Posterior a esto se determinan las características de cada lote, es decir, el nivel de agua que cubrirá el filtro durante cada lote (pulsación) correspondiente. Las recomendaciones francesas de humedales de flujo vertical son para una capa líquida entre 2 y 5 cm.

Para los fines de este proyecto se consideran 3cm para la carga del lote. En primer lugar, el volumen por lote se calcula de la siguiente manera:

$$VPL = Area\ lote(m^2) * 0.03m \rightarrow VPL = 9m^2 * 0.03m = 0.3m^3 \cdot lote$$

VPL: Volumen por lote

A continuación, el número de lotes requeridos por día se calcula de la siguiente manera:

$$NLD = \frac{Q_i}{VPL} \rightarrow NLD = \frac{2.7\ m^3/dia}{0.3m^3/lote} = 9lotes/dia$$

NLD: Numero de lotes por día

Para calcular el flujo de agua residual (caudal) durante el lote se utiliza el HLR instantáneo mínimo de $0.5m^3/m^2 \cdot hora$, utilizado como una constante. Teniendo en cuenta este valor se procede a determinar el flujo del lote de agua residual.

Dónde:

$$FL = AL * 0.5m^3/m^2 \cdot hora \rightarrow FL = 9m^2 * 0.5m^3/m^2 \cdot hora = 4.5m^3/hora$$

FL: Flujo de lote; AL: Área del lote

Se utiliza un valor redondeado de $5m^3/hora$. Para este sistema se tiene un HLR instantáneo de $0.53m^3/m^2 \cdot hora$, lo que proporciona un factor de seguridad adicional y es un número de trabajo mucho más fácil.

El flujo de $5\text{m}^3/\text{hora}$ es equivalente a:

$$\text{Flujo} = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * \left(\frac{1\text{ hora}}{60\text{ minutos}} \right) = 0.08\text{m}^3/\text{minutos}$$

Dado que el volumen de cada lote es de 0.3m^3 , la duración entre cada pulsación será la siguiente:

$$\text{Pulsación} = \frac{0.3\text{m}^3.\text{lote}}{0.08\text{m}^3/\text{min}} = 3.8\text{min} * \text{lote}$$

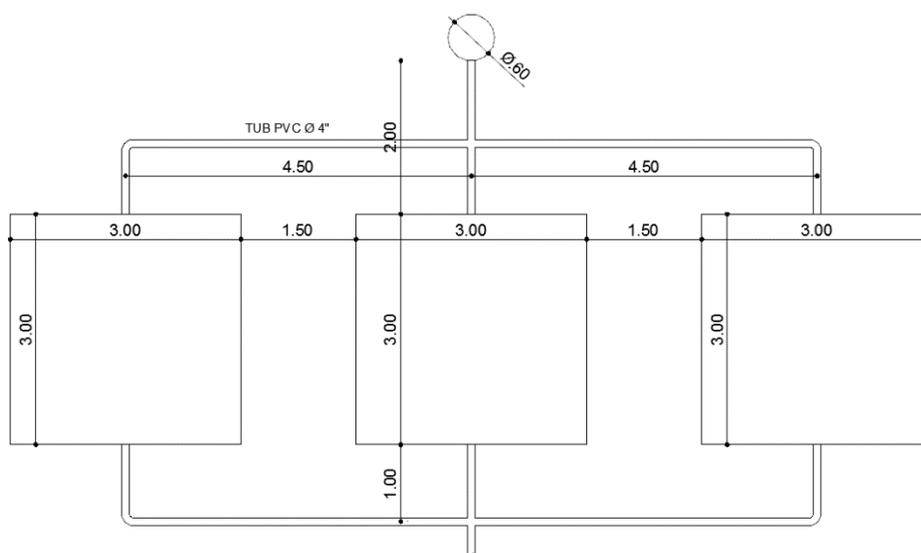


Figura 20. Diseño de la primera etapa del sistema francés, elaborado con el programa de AutoCAD 2014. Fuente: (Diseño propio).

4.3.2 Diseño de la segunda etapa. Pasó 4. Calcular las características del influente

Es necesario saber la calidad del efluente de la primera etapa para poder utilizarlo como influente en los filtros de la segunda etapa. La calidad que se espera se calcula utilizando las tasas de eliminación (Ver tabla 14), de la siguiente manera

- Para la DBO_5 eliminado en la primera etapa se tiene que:

$$DBO_5 = 0.9 * 150g/m^2.dia = 135g/m^2.dia$$

Con este valor se determina la masa diaria en el efluente de la DBO_5 desde la primera etapa

Donde:

$$DBO = 150g/m^2.dia - 135g/m^2.dia = 15g/m^2.dia$$

Luego se calcula el Flujo de masa en el efluente de la DBO_5 .

Donde:

$$DBO = 15g/m^2.dia * 0.0003m^2 = 0.005g/dia$$

Posteriormente se determina la Concentración en el efluente de la DBO_5 .

Donde:

$$DBO = \frac{\frac{0.005gDBO}{dia}}{\frac{2.7m^3}{dia}} = \frac{0.002gDBO}{m^3} = \frac{0.002mgDBO}{L}$$

Se realiza el mismo procedimiento para los demás parámetros como la DQO y los SST en efluente de la primera etapa.

- Para la DQO eliminado en la primera etapa

$$DQO = 0.8 * 350g/m^2.dia = 280g/m^2.dia$$

Masa diaria de la DQO

$$DQO = 350g/m^2 \cdot dia - 280g/m^2 \cdot dia = 70g/m^2 \cdot dia$$

Flujo de masa de la DQO

$$DQO = 70g/m^2 \cdot dia * 0.0084m^2 = 0,56gDQO/dia$$

Concentración de la DQO en la primera etapa

$$DQO = \frac{0.56gDQO/dia}{2.7m^3/dia} = 0,2gDQO/m^3 = 0,2 mgDQO/L$$

- Para los SST eliminados en la primera etapa

$$SST = 150g/m^2 \cdot dia * 0.9 = 135g/m^2 \cdot dia$$

Masa diaria de los SST.

$$SST = 150g/m^2 \cdot dia - 135g/m^2 \cdot dia = 15g/m^2 \cdot dia$$

Flujo de masa de los SST

$$SST = 15g/m^2 \cdot dia * 0.016m^2 = 0.24g/dia$$

Concentración de los SST.

$$SST = \frac{0.24g/dia}{2.7m^3/dia} = 0.08g/m^3 = 0.08mg/m^3$$

La calidad del efluente resultante de la primera etapa es de 0.005 mg DBO₅/L, 0.23 mg DQO/L y 0.08 mg SST/L respectivamente. Estas concentraciones finales de la primera etapa son las cargas orgánicas que recibe la segunda etapa.

Pasó 5. Dimensiones de los filtros y cálculo de las concentraciones finales de efluente.

La segunda etapa típica del sistema francés de flujo vertical tiene dos filtros paralelos alternando su funcionamiento cada 3.5 días. Las dimensiones de cada filtro se basan en las velocidades de carga máxima; para la segunda etapa se toman los mismos procedimientos realizados en la primera etapa, incluyendo las interacciones y el dimensionamiento final en función del área limite.

Al igual que la primera etapa, se halla el área de la superficie (AS) requerida de un filtro basada en el HLR de la tabla anterior.

Donde;

$$SA_{HLR} = \frac{2.7}{0.37} = 7.3m^2$$

Luego, se halla la superficie de área necesaria para un filtro de la segunda etapa con los parámetros de DBO₅, DQO Y SST

$$SA_{DBO_5} = \frac{0.005gDBO/dia}{20g/m^2.dia} = 0.00025m^2$$

$$SA_{DQO} = \frac{0,56gDBO/dia}{70g/m^2.dia} = 0.008m^2$$

$$SA_{SST} = \frac{0.24gDBO/dia}{30g/m^2.dia} = 0.008m^2$$

Después de conocer las cargas hidráulicas de la segunda etapa con los parámetros (DQO, DBO₅, SST Y HLR), se adopta el número mayor para poder cumplir con los criterios del diseño (7.3m²). Para las células cuadradas tenemos una relación de longitud y anchura de l/w=1 dará lugar a:

$$UNA = L * W \rightarrow UNA = W^2$$

UNA=Área de una célula, es decir el área de un filtro.

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a determinar la longitud y anchura del filtro

Entonces;
$$\sqrt{W^2} = \sqrt{7.3m^2} \rightarrow W = 2.70m = 3m$$

La adopción de valores de longitud L=3m y ancho W=3m conducirá a un área de 9m² por cada unidad. Teniendo en cuenta que la segunda fase del sistema francés de flujo vertical consta de dos unidades paralelas (n=2) entre sí, alternándose en funcionamiento (una en funcionamiento y una en reposo), por lo tanto, el área total para la segunda etapa es de:

$$AT = n * Ac = 2 * 9m^2 = 18m^2$$

AT= Área total; n= Número de unidades; Ac= Área de una celda

Con lo realizado anteriormente podemos concluir que para una población de 94 cerdos en la segunda etapa se requerirá de un valor neto de tierra per capital igual a 18m² (0.2 m²/cerdo equivalente); se estima que el terreno de uso podría ser más bajo que la práctica habitual de humedales franceses de flujo vertical utilizada en las personas (0.8 m²/personas equivalentes); los datos obtenidos son de primera mano, para así poder brindar una mejor aplicación de estos humedales.

En cuanto a las concentraciones finales del efluente de la segunda etapa del humedal artificial de FV francés se tiene lo siguiente:

- Para la DBO₅ eliminado en la segunda etapa

$$DBO_5 = 0.8 * 20g/m^2 \cdot dia = 16g/m^2 \cdot dia$$

Masa diaria de DBO₅

$$DBO_5 = 20g/m^2 \cdot dia - 16g/m^2 \cdot dia = 4g/m^2 \cdot dia$$

Flujo del efluente de DBO₅

$$DBO_5 = 4g/m^2 \cdot dia * 0.00025m^2 = 0.001g/dia \cdot DBO_5$$

Concentración de DBO₅ en el efluente en la segunda etapa

$$DBO_5 = \frac{0.001g/dia}{2.7m^3/dia} = 0.0004g/m^3 = 0.0004mg/L \cdot DBO_5$$

- Para la DQO eliminado en la segunda etapa

$$DQO = 0.75 * 70g/m^2 \cdot dia = 52.5g/m^2 \cdot dia$$

Masa diaria de la DQO

$$DQO = 70g/m^2 \cdot dia - 52.5g/m^2 \cdot dia = 17.5g/m^2 \cdot dia$$

Flujo del efluente de la DQO

$$DQO = 17,5g/m^2 \cdot dia * 0.008m^2 = 0.14g/dia \cdot DQO$$

Concentración de la DQO

$$DQO = \frac{0.14g/dia}{2.7m^3/dia} = 0,052g/m^3 = 0.052mg/L. DQO$$

- Para el SST eliminado en la segunda etapa

$$SST = 0.8 * \frac{30g}{m^2} \cdot dia = \frac{24g}{m^2} \cdot dia$$

Masa diaria de los SST.

$$SST = 30g/m^2 \cdot dia - 24g/m^2 \cdot dia = 6g/m^2 \cdot dia$$

Flujo del efluente de los SST.

$$SST = \frac{6g}{m^2} \cdot dia * 0.008m^2 = 0,048g/dia. SST$$

Concentración de los SST

$$SST = \frac{0.048g/dia}{2.7m^3/dia} = 0.018g/m^3 = 0.018mg/L. SST$$

Pasó 6. Una vez determinadas las concentraciones finales del efluente de la segunda etapa se especifica las características de las capas de los filtros. Las capas seguirán las especificaciones francesas con los valores intermedios de los rangos de altura para cada capa (Ver tabla 15.). Las alturas de las capas serán las mismas que las de la primera etapa con la excepción del francobordo, que será más pequeño (0.30 m), lo que dará como resultado:

- Francobordo: h= 0.30m
- Capa principal: h= 0.5 m (grava de $0.25mm < d_{10} < 0.4mm$ y $d_{60}/d_{10} < 5$ y menos del 3% partículas finas).

- Capa de transición: h=0.15m (grava de 3-12mm).
- Capa drenaje: h=0.25m (grava 20-60mm).
- Altura total del filtro: h=0.30m+0.5 m+0.15 m+0.25 m= 1.2 m

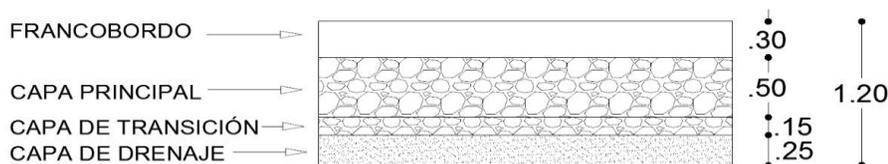


Figura 21. Capas de los filtros en la segunda etapa del sistema francés, realizado con el programa AutoCAD. Fuente: (Diseño propio).

Se determinan las características de cada lote, es decir, el nivel de agua que cubrirá el filtro durante cada lote (pulsaciones) correspondiente, Las recomendaciones francesas de humedales de flujo vertical son para una capa líquida dentro de 2 y 5 cm.

Para los fines de este proyecto se consideran 3cm para la carga del lote. El volumen por cada lote se calcula de la siguiente manera:

$$VPL = Area\ lote(m^2) * 0.03m \rightarrow VPL = 9m^2 * 0.03m = 0.3m^3 \cdot lote$$

VPL: Volumen por lote

Luego el número de lotes requeridos por día se calcula de la siguiente manera:

$$NLD = \frac{Q_i}{VPL} \rightarrow NLD = \frac{2.7\ m^3/dia}{0.3m^3/lote} = 9lotes/dia$$

Para calcular el flujo de agua residual durante el lote se utiliza el HLR instantáneo mínimo de $0.5m^3/m^2 \cdot hora$. Teniendo en cuenta el dato anterior se procede a determinar el flujo del lote.

Dónde:

$$FL = AL * 0.5m^3/m^2.hora \rightarrow FL = 9m^2 * 0.5m^3/m^2.hora = 4.5m^3/hora$$

Se utiliza un valor redondeado de $5m^3/hora$ para este sistema da como resultado un HLR instantáneo de $0.53m^3/m^2.hora$, lo que proporciona un factor de seguridad adicional y es número de trabajo mucho más fácil.

El flujo de $5m^3/hora$ es equivalente a:

$$Flujo = 5 \frac{m^3}{hora} * \left(\frac{1hora}{60 minutos} \right) = 0.08m^3/minutos$$

Dado que el volumen de cada lote es de $0.3m^3.lote$, la duración de cada pulso será:

$$Pulsación = \frac{0.3m^3.lote}{0.08m^3/min} = 3.8min * lote$$

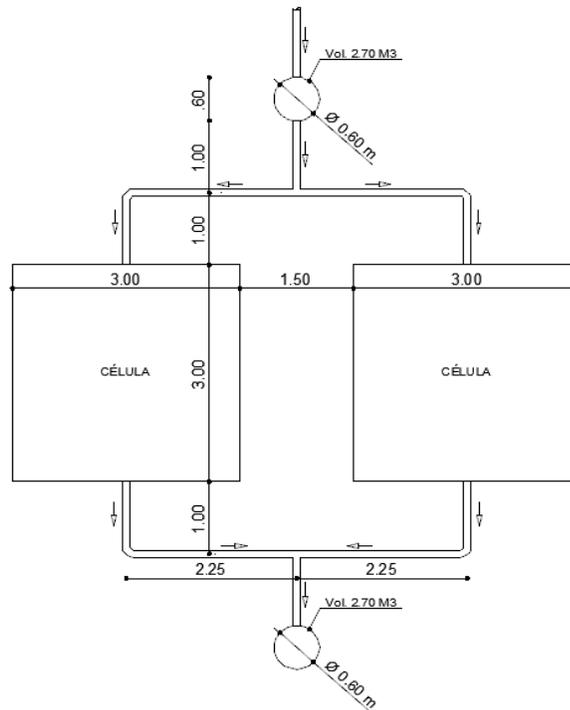


Figura 22, Diseño de la segunda etapa del humedal artificial tipo francés. Elaborado con el programa de AutoCAD. Fuente: (Diseño propio).

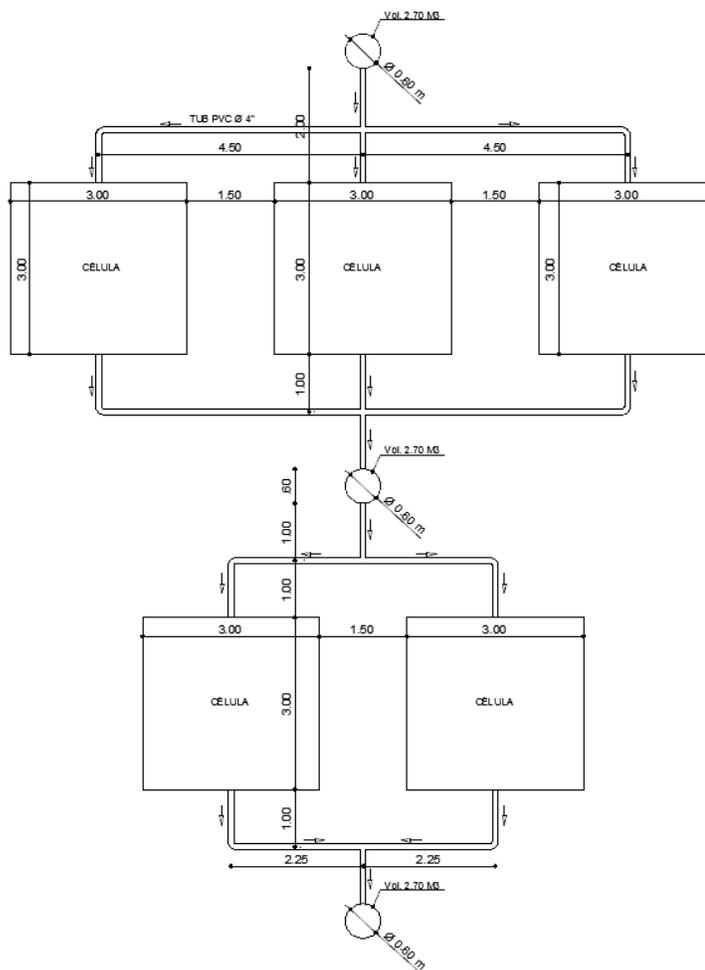


Figura 23. Diseño del sistema completo del humedal artificial de FV francés, elaborado con el programa de AutoCAD. Fuente: (Diseño propio).

Tabla 21.

Dimensionamiento y rendimiento del humedal de la segunda etapa.

VARIABLE	Flujo	DQO	DBO ₅	SST
Flujo influente (m ³ /día)				
y concentración	2.7	0.052	0.0004	0.018

Tabla 16” “Continuación”

Segunda etapa (mg/L).				
Máxima				
Superficie recomendada	0.37m ³ /m ² .dia	20g/m ² .dia	70g/m ² .dia	30g/m ² .dia
De acuerdo a				
Especificaciones francesas				
Área requerida para	7.3	0.013	0.00025	0.007
Filtrar en operación (m ²)				
Área real cargado para	0.37m ³ /m ² .dia	4g/m ² .dia	17.6g/m ² .dia	6g/m ² .dia
Un filtro en operación				
Efluente final (m ³ /día) y	2.7	0.052	0.0004	0.018
Concentraciones (mg/L)				

Nota: la tabla 16 muestra el dimensionamiento y el rendimiento del filtro de la segunda etapa fuente: (Diseño propio)

Tabla 17.

Capas de los filtros de la primera y segunda etapa.

Capa	Primera etapa		Segunda etapa	
	Profundidad	Material	Profundidad	Material
Francobordo	50 cm	-	30 cm	-
Capa principal	50 cm	(2-6mm grava)	50cm	(0.25-0.4 mm arena)
Capa de transición	15 cm	(5-15mm grava)	25 cm	(3-12 mm grava)
Capa de drenaje	25 cm	(20-60 mm grava)	15 cm	(20-60 mm grava)

Nota: la tabla 17 muestra las profundidades de los filtros de la primera y segunda etapa del humedal artificial con la granulometría correspondiente de cada capa. Fuentes: (Diseño propio)

4.3.3 Distribución, recogida y desagüe de las aguas residuales.

4.3.3.1 Distribución. El sistema de vertido implementado para este tipo de humedales estará constituido por tuberías perforadas con disposición lineal, su objetivo principal es distribuir homogéneamente el agua residual en toda la superficie de la celda. Las tuberías se ubicaran sobre el medio granular, puesto que las temperaturas en el municipio de Ocaña están en un promedio de 22°C, ya que según Molle et al, 2017 estas tuberías deben estar asentadas sobre el medio granular o a una altura considerable del medio en climas cálidos, mientras, que para cimias fríos las tuberías deben ir enterradas en el medio granular entre 0.05-0.1 m por debajo de la superficie con el fin de evitar la congelación (Estopà Consuegra, 2018).

Para la distribución del agua residual cruda en la primera etapa del sistema, se implementarán tubos de 100 mm de diámetro. En la segunda etapa se utilizan el mismo número de diámetro de la primera etapa; para las tuberías de la primera y segunda etapa se harán orificios taladrados (8mm de diámetro).

Para una correcta distribución de las aguas residuales en los filtros de la primera etapa se necesita un caudal mínimo de $0.5\text{m}^3/\text{hora}\cdot\text{m}^2$ por lote, para que se cumpla lo anterior las tuberías deben estar sobre la superficie del medio granular mientras que para los filtros de la segunda etapa la presión del agua residual debe tener una elevación mayor o igual a 30 cm.



Figura 24. Tubería de distribución. Realizado con el programa de AutoCAD. Fuente: (Diseño propio)

4.3.3.2 Recogida. En el sistema de las recogidas del agua residual tratada se tiene una red de tuberías perforadas que se encuentra situada sobre el fondo de cada una de las celdas. Estas tuberías se cubrirán con una capa de grava gruesa (20-60mm) que eviten que el medio granular entre por las perforaciones y ocurra un taponamiento a causa de esto

En el medio granular se suelen instalar tuberías verticales perforadas que ayuden a mantener aireadas las capas más profundas del medio, con el fin de mejorar y mantener los procesos de degradación aeróbica y de nitrificación, en general se recomienda instalar una tubería por cada metro cuadrado (m^2) (Estopà Consuegra, 2018). Las tuberías de acuerdo a las recomendaciones dadas por el autor se situarán en las dos etapas del sistema

Donde;

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ tubería} & \longrightarrow & 4m^2 \\ X & \longleftarrow & 9m^2 \end{array}$$

Entonces:

$$Tc = \frac{9m^2 * 1 \text{ tubería}}{4m^2} = 2.25 \text{ tubería} = 2 \text{ tuberías} * \text{ celda}$$

Tc=Tuberías por celda

Como en la primera etapa se tienen tres celdas, se deben instalar 6 tuberías en total, de igual manera, con la misma fórmula utilizada para hallar las tuberías de recogida, se van a hallar las tuberías de aireación.

4.3.3.4 Desagüe. Para seguir manteniendo condiciones anaeróbicas dentro o en el interior del filtro se realiza una oxigenación pasiva por medio de tuberías de desagües, esta tubería tiene como grosor un diámetro mínimo de 100 mm, a parte los tubos deben contener unas ranuras con una longitud de un tercio ($1/3$) del diámetro o circunferencia del tubo y un ancho superior a los 8mm. Las ranuras deben realizarse cada 10 cm a lo largo del tubo de desagüe, estas ranuras permiten que el aire entre a través de ellos



Figura 25. Tubería de desagüe. Realizado con el programa de AutoCAD. Fuente: (Diseño propio)

4.3.4 Puesta en marcha. Se considera que la puesta en marcha ha finalizado cuando la vegetación está bien consolidada, es decir aproximadamente un año o ciclo biológico. Las poblaciones bacterianas responsables en gran parte de la eliminación de los contaminantes se desarrollan en un periodo que va de 3 a 6 meses. Durante la puesta en marcha, y generalmente después de la plantación, es conveniente que el nivel de agua aflore en la superficie de los humedales unos centímetros (por ejemplo, 2cm.) para evitar el crecimiento de malas hierbas. No obstante, esto puede provocar malos olores y presencia de insectos con lo que es probable que se tenga que disminuir el nivel. Se puede entonces intentar alternar periodos de encharcamiento y otros de nivel normal. Los conejos pueden causar daños serios al junco o totora cuando este está recién plantado ya que arrancan los nuevos brotes antes de que las raíces y rizomas hayan crecido suficientemente como para fijar bien la planta al medio granular.

4.3.5 Mantenimiento rutinario. Es muy importante que los tratamientos previos funcionen correctamente de forma continuada ya que en caso contrario se acelerará el proceso de colmatación de los humedales. Por tanto, es necesario revisar por lo menos dos veces por semana los procesos unitarios de pretratamiento y tratamiento primario. En saneamientos autónomos esta revisión puede realizarse una vez cada dos semanas. También durante esa revisión semanal se comprobará que el agua fluya adecuadamente por todos los elementos del sistema para observar si hay obturaciones. Los sistemas de vertido a las celdas deberán limpiarse con una periodicidad comprendida entre 1 y 6 meses.

La revisión semanal también incluirá un control del nivel de inundación del humedal. No debe permitirse en ningún caso que las raíces de las plantas se queden sin agua y por tanto se vigilará que el nivel de agua se mantenga unos 5 cm por debajo de la superficie del medio granular. La extracción de lodos del tratamiento primario se empezará a realizar después de que el sistema haya estado en marcha como mínimo un año. Se estimará que cantidad de lodos hay que extraer cada 3-6 meses para que el tiempo de digestión de los lodos sea el proyectado.

4.4 Esquema del sistema piloto FV francés.

4.4.1 Dimensionamiento del sistema piloto. A partir del dimensionamiento a escala real del humedal artificial de FV francés para el tratamiento de aguas residuales del proyecto porcino, es necesario llevar a cabo estas dimensiones a escala piloto para un mejor manejo del sistema y determinar si es viable o no para el tratamiento de las aguas residuales. Para esto se lleva a cabo el siguiente procedimiento.

Determinar la L=longitud y W=anchura del filtro que según el humedal artificial dimensionado anteriormente son de (3m), para convertir estas dimensiones y las demás se tiene que:

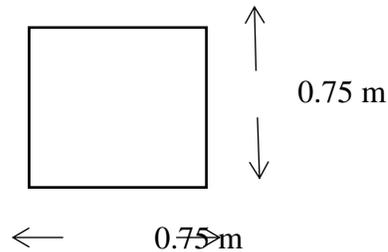
$$\frac{E}{1} = \frac{DT}{dp} \quad \text{Donde; E: Escala; DT: Distancia en terreno: dp: Distancia en papel}$$

Pasado a una escala de 1:4 las dimensiones en la primera y segunda etapa se tiene lo siguiente:

- Primera etapa

$$dp = \frac{DT \cdot 1}{E} \rightarrow dp = \frac{3m}{4} = 0.75m = 75 \text{ cm}$$

El área de la primera etapa para el sistema piloto es:



Dando como resultado una célula cuadrada y/o unidad de 0.5625 m^2

Teniendo en cuenta que la primera etapa del sistema francés de flujo vertical consta de tres unidades paralelas el área total en esta etapa es igual a:

$$AT_1 = 0.75 \text{ m}^2 * 3 = 3 \text{ m}^2 \quad \text{Donde; AT}_1 = \text{Área total}$$

El material granular de las capas de los filtros se mantienen iguales, dado que son rangos promedios del sistema independientemente del área que se utilice. En cuanto al caudal a utilizar

en el prototipo se tiene que de los 2.7 m³/día a una escala de 1:4 el flujo de agua residual es de 0.675 m³/día. Las pulsaciones por otra parte se determinan mediante el caudal promedio, por lo que el número de lotes se determina de siguiente manera:

$$NL = \frac{0.675 \text{ m}^3 / \text{día}}{0.3 \text{ m}^3 * \text{lote}} = 2.25 \text{ lotes/ día} \longrightarrow NL = 2 \text{ Lotes /día}$$

Teniendo en cuenta el dato anterior se requiere determinar el flujo del lote del sistema piloto.

Dónde:

El flujo de 5 m³/hora a una escala de 1:4 es equivalente a:

$$\text{Flujo} = \frac{5 \text{ m}^3}{\text{horas}} * \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} \right) = 0.025 \text{ m}^3 / \text{minutos}$$

La duración para realizar cada pulsación será de::

$$\text{Pulsación} = \frac{0.3}{0.025} = 12 \text{ min} * \text{lote}$$

Para una alimentación de 0.3 m³ se tiene un rango de pulsación de 12 min*lote, lo que quiere decir, que para un caudal de 0.675 m³ día se requiere de dos pulsaciones cada una con un lapso de tiempo de reposo de 12 minutos.

Por otra parte, en cuanto a las tuberías de desagüe y distribución se conserva el mismo dimensionamiento, dado que dichas dimensiones son aplicadas para distribuir y recoger las aguas uniformemente independientemente del área a utilizar.

Ya teniendo la obtención del paso a paso para la construcción y la eficiencia del humedal artificial a una escala de 1:4, queda por definir la pendiente a utilizar para la construcción en el terreno, aunque no es imprescindible su utilización sería de mucha ayuda para que se dé una mejor conducción de las aguas residuales por el sistema. Por medio de la revisión bibliográfica obtenida de los humedales artificiales de flujo vertical y el sistema francés FV, la pendiente que se utilizará para este proyecto será del 1%, ya que se encuentra dentro del rango de 0.5% y 2%.

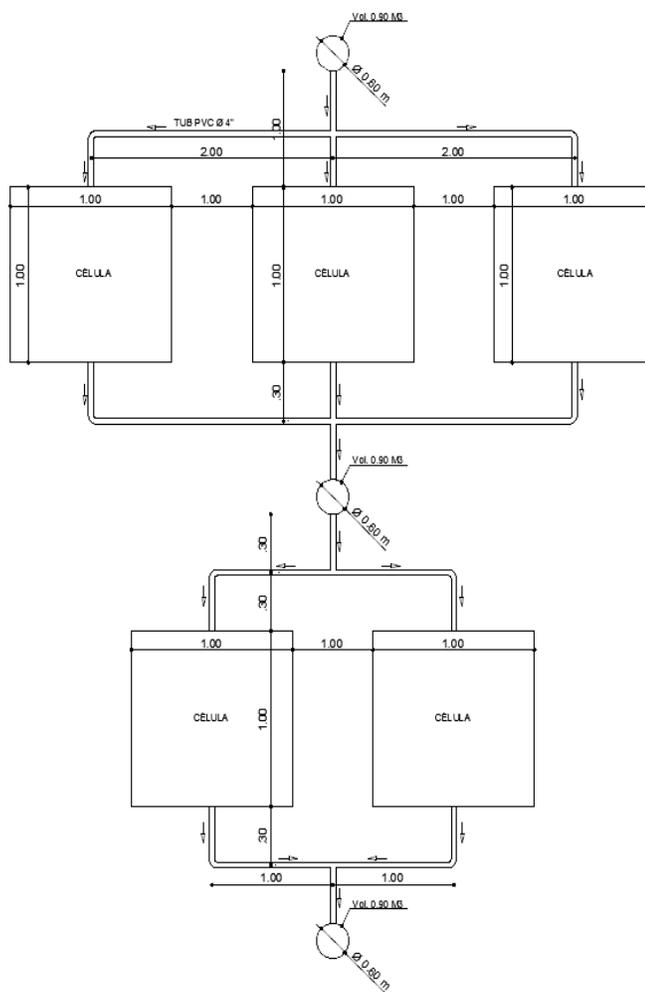


Figura 26. Sistema piloto de un humedal artificial tipo francés para el tratamiento de las aguas residuales del proyecto porcino de UFPSO. Realizado con el programa de AutoCAD. Fuente: (Diseño propio)

Como se puede observar en la figura 25 el sistema piloto implementado para medir la eficiencia de estos humedales requiere de un área considerable y materiales que los autores del proyecto no pueden costear. Por tal motivo se procede a construir solamente dos filtros uno correspondiente a la primera etapa y otro a la segunda fase del proyecto, cabe resaltar que el procedimiento a llevar a cabo es válido dado que se va a muestrear correspondientemente como está estipulado en la metodología del proyecto. Por ende, el sistema a construir puede observarse en la siguiente figura.

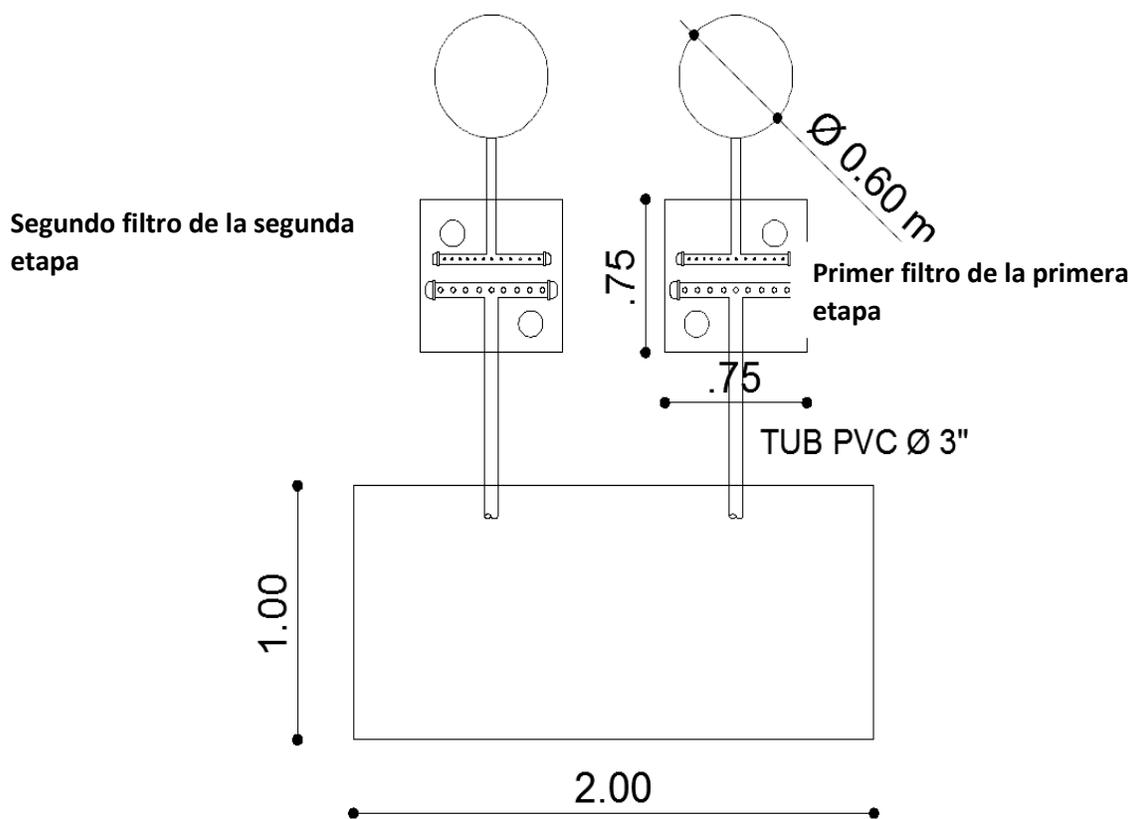


Figura 27. Sistema piloto implementado para el tratamiento de las aguas residuales porcinas, realizado con el programa de AutoCAD. Fuente: (Diseño propio)

4.4.2 Etapa de construcción del sistema piloto. En esta fase del proyecto se determinó como primera instancia un terreno adecuado con suficiente pendiente del 1% para poder distribuir y recoger las aguas residuales provenientes del proyecto porcino. En la siguiente figura se puede observar el lugar donde se llevó a cabo la construcción del sistema piloto.



Figura 28 Sitio de la granja porcina de la UFPSO y lugar de construcción del sistema piloto.
Fuente: (google earth)

Después de haber identificado el lugar donde se pretendía llevar a cabo la construcción del sistema piloto, se adecuo el sitio que estaba cubierto con material vegetal y se tomaron las medidas correspondientes de cada unidad de filtro de acuerdo a los cálculos anteriores, donde en la primera y segunda etapa se tuvieron unas dimensiones de $0.75\text{m} \times 0.75\text{m}$ con un espaciado de 35 cm de ambos filtros y con una profundidad de 1.40 m en la primera fase y 1.20 en la segunda.



Imagen 1. Dimensiones de 0.75m*0.75m del primero y segundo filtro del sistema piloto con profundidades de 1.40m y 1.20m. Fuente:(Autores del proyecto)

Una vez realizado los dos compartimentos se hizo una zanja en cada uno de estos por donde iría la tubería de 4 pulgadas que recoge las aguas tratadas, seguidamente se realizó otro compartimento en la parte baja con una profundidad de 2 metros para poder recoger las aguas de los efluentes de cada filtro.



Imagen 2. Zanjas de los filtros para la tubería de desagüe. Fuente: (autores del proyecto)



Imagen 3. Compartimento de 2 metros de profundidad. Fuente: (autores del proyecto)



Imagen 4. Filtros de la primera y segunda etapa del sistema piloto, zanjas de desagüe de las tuberías y compartimento de vertimiento. Fuente: (autores del proyecto).

Realizados los filtros y las zanjas de desagüe de la primera y segunda etapa del sistema francés, se utilizó un plástico de 3m*3m en cada compartimento como geo-membrana para evitar la filtración de las aguas residuales al suelo, de la misma manera se dispuso a colocar la tubería de desagüe en forma de t con perforaciones de 8 milímetros de diámetro. [\(Ver imagen 5\)](#)



Imagen 5. tubería de desagüe de 4 pulgadas en forma de t con perforaciones de 8 ml de diámetro.
Fuente: (autores del proyecto)



Imagen 6. Geo membrana y Sistema de desagüe de los filtros de la primera y segunda etapa.
Fuente: (autores del proyecto).

Instalada la geo-membrana y la tubería de desagüe en los filtros se tomaron las medidas correspondientes de cada capa con el material granular y con sus respectivos diámetros, dichos materiales fueron obtenidos del triturador guayabal E.A.T. ubicada en la vía Ocaña-Abrego. Norte de Santander.



Imagen 7. Trituradora Guayabal E.A.T vía Ocaña- Abrego norte de Santander. Fuente: (autores del proyecto)

Los volúmenes del material de cada capa se calcularon multiplicando las dimensiones del sistema piloto, es decir, el área de 0.57 m^2 * la profundidad de las capas, donde el primero y segundo filtro al tener las mismas dimensiones sus volúmenes serán idénticos. De esta manera dichos volúmenes fueron los siguientes:

- Francobordo: $h=0.5\text{m}$
- Capa principal: $h=0.5\text{m}$ (grava de 2-6mm). ($V= 0.3 \text{ m}^3$)
- Capa de transición: $h=0.15\text{m}$ (grava de 5-15mm). ($V= 0.08 \text{ m}^3$)
- Capa drenaje: $h=0.25$ (grava 20-60mm). ($V= 0.15 \text{ m}^3$)

Después de comprado el material granular, estos fueron adecuados en cada uno de los filtros, teniendo en cuenta que se debían situar los tubos de aireación de 4 pulgadas con agujeros de 8 ml de diámetros alrededor y una altura proporcional a cada filtro. Para este caso se entiende que debía instalarse una tubería por cada 4m², pero para mantener una mejor producción de bacterias aerobias se utilizaron 2 tubos en cada uno de los filtros. [\(Ver imagen 8\).](#)



Imagen 8. Filtros de la primera y segunda etapa del sistema piloto. Fuente: Autores del proyecto)

Luego de terminar los filtros se realizó una prueba agregando constante agua para determinar el funcionamiento de los mismos y verificar que no hubiesen fugas y cualquier otro tipo de inconsistencias en cada uno de estos.



Imagen 9. Fase de prueba del sistema de desagüe del sistema piloto. Fuente: (autores del proyecto).

Posteriormente se lleva a cabo el paso de trasplantar la especie *typha latifolia* (totora), la cual fue localizada en un predio ubicado en la vía Ocaña-Aguas Claras en un humedal natural, donde se extrajeron seis (6) individuos, escogiendo las especies más pequeñas con el fin de facilitar la extracción de la planta, dado que poseen raíces demasiado profundas y frágiles al tacto, por tal motivo se actuó con delicadeza para no maltratarlas, ya que estas son las encargadas de realizar el proceso de Fitorremediación. Por otro lado, al escoger plantas menos maduras se entiende que será más eficiente el alto crecimiento de sus raíces y con ello la propagación de la misma especie, debido a que la planta es hermafrodita, es decir, que posee ambos sexos, aumentando la eficiencia del sistema a medida que transcurre el tiempo.



Imagen 10. Extracción de la especie *typha latifolia* (totora) de un humedal natural ubicado en la vía Ocaña-aguas claras. Fuente: (autores del proyecto).

Después de ubicadas y extraídas las plantas, fueron conducidas al proyecto porcino de la UFPSO en bolsas plásticas con material y suelo del mismo lugar, donde se encontraron, de tal forma que no se estropearan sus raíces.



Imagen 11. Almacenamiento de plantas en bolsas plásticas para ser transportadas al proyecto porcino de la UFPSO. Fuente: (Autores del proyecto).

Transportadas las especies al sistema piloto, se realizó la debida plantación con un número de tres (3) plantas en cada filtro teniendo cuidado en no ocasionar ningún tipo de lesión a las raíces o al tallo, con una profundidad igual a superior de cómo fueron encontradas inicialmente en su habitat.



Imagen 12. Plantación de la especie *typha latifolia* (totoras) en los filtros de la primera y segunda etapa del sistema. Fuente: (Autores del proyecto)

Para asegurar que los individuos plantados en los filtros del sistema sobrevivieran y se adaptaran de forma rápida, entendiéndose que son plantas semiacuáticas, es decir, enraizadas emergentes, se taparon las tuberías de desagüe y se llenaron los dos filtros de forma que el agua cubriera el tallo de las plantas durante 7 días, en donde en los espacios porosos del medio granular se desarrollaba el biofilm (vida microbiana), que ayudaría a las plantas a realizar el

proceso de descontaminación de las aguas residuales. Es importante resaltar que los filtros fueron llenados a través del sistema de distribución de las aguas que contaba con un tanque de 160 litros que se alimentaba constante mente hasta conseguir un volumen de 675 litros que abarcaba el sistema piloto como tal. Dicho tanque estaba conectado a una tubería de 2 pulgadas en forma de T con perforaciones de ranuras de 1/3 del diámetro de la tubería de largo y 8 mm de ancho. Que proporcionaba un flujo de HLR instantáneo de $0.53\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hora}$.



Imagen 13, Sistema de distribución y llenado de los filtros para la adaptación de la especie typha latifolia (totora). Fuente: (Autores del proyecto)

Pasado los 7 días de adaptación de las plantas pudo observarse que el medio en el que se encontraban brindaban las condiciones necesarias para su desarrollo, posteriormente se alimentó 4 veces el tanque de 160 litros con el agua residual provenientes del proyecto porcino de la UFPSO, obteniendo un volumen de 675 litros, dosificando en el primer filtro 300 litros de agua residual dos veces cada 12 minutos para no saturar el sistema y pudiesen fluir en el medio granular los $0.53\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$. Reteniendo dichas aguas durante 3.5 días.



Imagen 14 Dosificación de las aguas residuales en el filtro de la primera etapa del sistema piloto.
Fuente: (Autores del proyecto)

Por otra parte, y con el fin de evitar que entraran sedimentos al sistema por la escorrentía producto de las lluvias y el regadío de los cultivos, en la parte superior se realizó una zanja de coronación que re direccionara las aguas fuera del humedal artificial para no alterar las muestra durante el tiempo de retención estipulado.



Imagen 15, zanja de coronación para re direccionar las aguas lluvias y del regadío de los cultivos en la parte alta. Fuente: (Autores de proyecto)

Transcurridos los 3.5 días en la primera etapa del sistema, se realizó la respectiva toma de muestras en el efluente, teniendo en cuenta la metodología anterior para la toma de muestras con todos los equipos de protección personal (EPP). En esta parte se tomó como primera instancia abrir el tubo de desagüe para tomar la muestra en un recipiente plástico de 3 litros para análisis físico-químicos y otra muestra en una bolsa plástica de 100 ml para análisis microbiológicos, donde se observó un cambio significativo en el color y el contenido del agua residual en el efluente de la primera etapa en comparación con el agua residual inicial, pasando de un color marrón oscuro a marrón pardo y sin ningún tipo de sedimentos gruesos, también se notó un cambio bastante drástico en el olor, donde pasó de un olor intolerable a un olor tolerable, luego dichas muestras fueron rotularon y trasladados de forma inmediata al laboratorio de la UFPSO. Para realizar los respectivos análisis. Es importante comunicarle al lector que, al realizar la toma de muestra, no se tomaron en cuenta los análisis *In situ* (temperatura y Ph), como se realizó en la primera toma de muestras para calcular el dimensionamiento del sistema piloto, debido a que estos análisis fueron realizados de manera inmediata en el laboratorio.



Imagen 16. Toma de muestra en el efluente de la primera etapa pasados 3,5 días. Fuente: (Autores del proyecto).

Luego de tomadas y transportadas las muestras al laboratorio, en la primera etapa se extrajo completamente el agua del filtro con dos baldes de 20 litros cada uno, de tal forma que mientras uno se estaba llenando el otro disponía el agua nuevamente en el tanque de 160 litros consecutivamente y dosificando de igual manera 300 litros dos pulsaciones cada 12 minutos en el segundo filtro. dejando el agua estancada durante 3.5 días.



Imagen 17. Dosificación del segundo filtro en la segunda etapa del sistema piloto. Fuente (Autores del proyecto)

Al igual que en el primer filtro en el segundo se tomaron dos muestras una en un recipiente de 3 litros para análisis físico-químicos y otra en una bolsa plástica de 100 ml para análisis microbiológicos rotuladas y acompañadas del cuaderno de campo y llevadas de forma inmediata al laboratorio. En la toma de muestra se pudo observar que el color y concentración del agua tratada paso de un color marrón pardo a un color más claro, donde los sólidos suspendidos habían disminuido considerablemente, por otra parte, el olor del agua había reducido su percepción, de tal manera que podía ser soportable al tacto.



Imagen 18. toma de muestra en el efluente de la segunda etapa pasado 3,5 días. fuente (Autores del proyecto).

Una vez obtenidas las muestras en el primero y segundo filtro con un tiempo de retención igual a 3,5 días cada uno, se realizó lo estipulado en la metodología del proyecto, es decir, llevar a cabo el mismo procedimiento en ambos filtros pero con un tiempo de retención de 7 días, hay que tener en cuenta que debido a la demanda de análisis en el laboratorio de la UFPSO se optó por tomar únicamente una sola muestra en el segundo filtro para determinar si las variables del medio granular y tiempo de retención favorecen o no al tratamiento de las aguas residuales, de esta manera se entiende que se puede generar el mismo efecto en el primer filtro de la primera etapa del sistema piloto.

En esta parte se pudo observar un cambio drástico en el color del agua tratada durante los 7 días de retención tomando un color aparentemente mucho más claro y más transparente, disminuyendo los sólidos suspendidos a diferencia de las demás muestras tomadas en los 3,5 días. por otra parte, los olores de dichas aguas también se hicieron notar, pasando a un olor de lodo o fango.



Imagen 19. muestra tomada en el efluente de la segunda etapa pasado 7 días. Fuente: (Autores del proyecto).



Imagen 20. muestras tomadas en los filtros de la primera y segunda etapa del sistema piloto. Fuente: (Autores del proyecto)

Una vez llevadas cada una de las muestras al laboratorio se realizaron los análisis pertinentes de cada parámetro para determinar las características de las aguas residuales tratadas

permitiendo cuantificar la eficiencia de los humedales artificiales de FV francés en el subsector porcícola, donde los parámetros de remoción en la primera etapa pasados 3,5 días de la DQO, DBO₅ y los SST fueron de 91,02 %, 56,52 % y en la segunda etapa del sistema pasados 3,5 días los principales parámetros de remoción como la DQO, DBO₅ y SST Fueron de 34,53 %, 55 % y, en relación con el efluente de la primera etapa, mientras que con un tiempo de retención de 7 días en el mismo filtro se tuvo un %, % y % . de la misma manera los demás análisis y porcentajes de remoción tuvieron un cambio notorio y significativo que demuestra que tan eficiente es el sistema para tratar este tipo de aguas residuales. ([Ver tabla 18](#)).

Tabla 18

Parámetros y porcentajes de remoción en los efluentes de la primera y segunda etapa.

PARÁMETROS DE LAS AGUAS RESIDUALES															
	PH	Turbidez	DQO	DB05	SST	SSED	Nitritos	Nitratos	NA	Acides	Alcalinidad	Dureza	Color Real	Coliformes T	Coliformes F
Concentraciones Iniciales	7,21	4570 NTU	2940 mg/L.O ₂	46 mg/L.O ₂	2483 mg/L	50 mg/L	8778 mg/L	352 mg/L	>3,5 mg/L	1100 mg/L	1650 mg/L	980 mg/L	1157 UPtCo	>1100 NMP/100mL	>1100 NMP/100MI
Primera Etapa (M ₁) (3,5 días)	7,35	469 NTU	417 mg/L.O ₂	17 mg/L.O ₂	479 mg/l	0,3 mg/L	3,245 mg/L	726 mg/L	>3,5 mg/L	130 mg/L	256 mg/L	170 mg/L	723 UPtCo	>1100 NMP/100mL	>1100 NMP/100mL
M ₁ (%)	0	89,79	85,81	63,04	80,70	99,4	99,96	0	0	88,19	83,94	82,66	37,52	0	0
Segunda Etapa (M ₂) (3,5 días)	6,54	294 NTU	273 mg/L.O ₂	11 mg/L.O ₂	200 mg/L	0,2 mg/L	2,508 mg/L	369 mg/L	>3,5 mg/L	100 mg/L	150 mg/L	100 mg/L	315 UPtCo	>1100 NMP/100mL	>1100 NMP/100mL
M ₂ (%)	11,02	37,31	34,53	35,29	58,24	33,33	22,71	49,17	----	23,07	41,40	41,17	56,43	0	0
(M ₃) (7 días)	6,68	15 NTU	73 mg/L.O ₂	5,5 mg/L O ₂	116 mg/L	0,3 mg/L	0,2574 mg/L	77 mg/L	3,5 mg/L	95 mg/L	95 mg/L	80 mg/L	85 UPtCo	>1100 NMP/100mL	>1100 NMP/100mL
M ₃ (%)	9,11	97,68	82,49	67,64	75,78	0	92,06	89,39	---	26,92	62,89	52,94	88,24	0	0

Nota: la tabla 18 muestra los parámetros y concentraciones iniciales, en el filtro de la primera y segunda etapa del sistema piloto con sus respectivos porcentajes de remoción (%) en tiempos de retención de 3.5 días como lo establecen los humedales artificiales de FV francés y 7 días en el segundo filtro como prueba. Fuente: (diseño propio)

Los porcentajes de remoción estimados en la tabla anterior corresponden a cada efluente del sistema, es decir, en el efluente de la primera etapa la remoción se determinó con relación a las características de las aguas residuales del influente inicial, mientras que en el efluente de la segunda etapa los porcentajes de remoción se determinaron a partir de las características de las aguas tratadas en la primera etapa para los 3,5 y 7 días correspondientes.

Luego se determinó la eficiencia total del sistema con relación a los análisis iniciales, obteniendo los porcentajes de remoción de todo el sistema de acuerdo al tiempo de retención de las aguas residuales finales, donde se tiene en cuenta el tiempo de retención de los humedales artificiales de FV francés y el tiempo de prueba del proyecto. [\(Ver las siguientes tablas\)](#)

Tabla 19

Porcentajes de remociones finales del sistema.

PARÁMETROS	CONCENTRACIONES	PORCENTAJE DE REMOCIÓN (%)
PH	7,21	9,29
Turbidez	4570 NTU	93,57
DQO	4645 mg/L O ₂	90,71
DBO ₅	46 mg/L O ₂	76,09
SST	212 mg/L	91,94
SSED	50 mg/L	99,6
Nitritos	8778 mg/L	99,97
Nitratos	352mg/L	0
NA	>3,5 mg/L	0
Acidez	1100mg/L	90,90
Alcalinidad	1650 mg/L	90,90
Dureza	980 mg/L	89,80
Color Real	1157 UPtCo	72,77
Coliformes T	>1100	0
Coliformes F	>1100	0

Nota: la tabla muestra las concentraciones iniciales de las aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO y los porcentajes de remoción final del humedal artificial de FV francés piloto pasados 3,5 días en la primera etapa y 3,5 días en la segunda para un total de 7 días en el sistema Fuente: (Diseño propio)

Tabla 20*Porcentajes de remociones finales del sistema*

PARÁMETROS	CONCENTRACIONES	PORCENTAJE DE REMOCIÓN (%)
PH	7,21	7,35
Turbidez	4570 NTU	99,67
DQO	4645 mg/L O ₂	97,51
DBO ₅	46 mg/L O ₂	88,04
SST	212 mg/L	95,32
SSED	50 mg/L	99,4
Nitritos	8778 mg/L	99,99
Nitratos	352mg/L	78,13
NA	>3,5 mg/L	0
Acidez	1100mg/L	91,36
Alcalinidad	1650 mg/L	94,24
Dureza	980 mg/L	91,83
Color Real	1157 UPtCo	92,65
Coliformes T	>1100	0
Coliformes F	>1100	0

Nota: la tabla muestra las concentraciones iniciales de las aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO y los porcentajes de remoción final del humedal artificial de FV francés piloto pasados 3,5 días en primera etapa y 7 días en la segunda para un total de 10 días. Fuente: (Diseño propio)

De lo anterior se pudo comprobar que el sistema es eficiente en todos los aspectos removiendo en gran manera los contaminantes de las aguas residuales del subsector porcino, reduciendo los efectos adversos al medio ambiente, cumpliendo con los estándares de vertimiento que según la normativa ambiental ha establecido. La primera prueba realizada arroja porcentajes de remoción en la primera etapa superando cualquier expectativa, puesto que los efluentes de los primeros filtros pueden ser vertidos sin ningún inconvenientes a cualquier cuerpo de agua puesto que las concentraciones se encuentran por debajo de los límites máximos de vertimientos según la resolución 0631 del 2015, de igual forma en la segunda etapa las concentraciones disminuyeron radicalmente en relación a las características de las aguas tratadas en el primer filtro, dando una eficiencia total del sistema en un tiempo de retención utilizado en estos sistemas de 3,5 en la primera etapa y 3,5 días en la segunda muy completa,

Para la segunda prueba del sistema se determinó que al aumentar el tiempo de retención en el segundo filtro, es decir, de 7 días, también aumenta la capacidad de las bacterias y las plantas para remover y degradar las concentraciones de los contaminantes en las aguas residuales, Por ello se entiende que, si en el segundo filtro las aguas residuales disminuyeron sus concentraciones en el primer filtro también pueden haber buenos resultados pero puede seguir aumentando su eficiencia, ya que el sistema se encontraba en una etapa de niñez, eso quiere decir, que al dejar el sistema madurando va a ver mucho más incremento del biofilm (vida microbiana) y el desarrollo propio de las plantas para degradar los compuestos, llegando a las tasas de remoción calculadas en el dimensionamiento del sistema piloto tanto para la primera prueba como en la segunda. Dicho de esta manera ambas pruebas resultaron exitosas tanto así, que pueden ser implementadas confiablemente para tratar las aguas residuales del proyecto porcino de la UFPSO.

4.5 Revisión bibliográfica y comparación de eficiencias con el sistema piloto.

Con el fin de concluir de manera adecuada el proyecto y cumplir con cada uno de los objetivos planteados, se realiza una búsqueda exhaustiva a partir de revisión bibliográfica, de los porcentajes de remoción en aguas residuales de otros sistemas utilizados comúnmente por la comunidad, principalmente en Colombia. Los parámetros a tener en cuenta para comparar resultados de porcentaje son: DQO, DBO₅ y SST.

Es de aclarar que no todos los porcentajes de remoción encontrados se basan en aguas residuales porcinas, sino también, de aguas residuales domésticas, debido a que los vertimientos tienen un contenido bastante similar entre sí y no hay ningún inconveniente en hacer comparaciones entre ellos.

Uno de los sistemas más utilizados para el tratamiento de aguas residuales es realizado por el biodigestor, su TRH o tiempo de trabajo se basa en días; la eficiencia de este tipo de sistemas es bastante alta. Los sólidos suspendidos totales (SST), presentan un porcentaje del 81,04% de funcionamiento; para la demanda biológica de oxígeno (DBO_5), el estándar mínimo es de 52,02% y su porcentaje normal es de 84,57% y para la demanda química de oxígeno (DQO), tenemos una remoción del 88,74%. Cabe resaltar que el biodigestor para este caso trabaja 8 días y fue utilizado para tratar aguas residuales porcinas (Cubillos Sierra & Huertas Huertas , 2018).

El segundo sistema para el tratamiento de aguas residuales más usados, son las fosas sépticas, el índice de remoción para este sistema es suficientemente elevado para categorizarlo como un sistema bastante eficiente, los SST están en un porcentaje del 76,92% de remoción y son el parámetro más bajo de este sistema; para la DBO_5 el índice de remoción es de 89% y la DQO es de 87,41%, el TRH funciona por días y en este caso el porcentaje de remoción fue escogido con el mejor número dado por el estudio (Tecnología y Ciencias del Agua, 2013).

Los reactores UASB tienen una variedad en el porcentaje de remoción, los SST van desde 60-70%, la DBO_5 varía en un 65-80% y la DQO desde los 60-80% (Alvis Yepes , 2015).

El sistema FAFA (Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente), es el utilizado en la UFPSO para tratar los vertimientos desechados por los estudiantes, provienen de baños, restaurante y aguas grises del aseo. Este sistema es fácil de implementar y tiene un alto grado de remoción. Los SST son removidos en un 90%, la DBO_5 con un 81,65% y la DQO con un 70% respectivamente (Cárdenas Calvichi & Ramos Ramos , 2009).

Por último, el tanque Imhoff elimina entre un 40-50% de SST, reduce un 25-40% de DBO_5 y remueve un 70-90% de DQO (Moreno Jabo , 2017).

Tabla 21

Sistemas de tratamientos de aguas residuales con sus porcentajes de remoción

SISTEMAS	PORCENTAJES DE REMOCIÓN		
	SST (%)	DBO ₅ (%)	DQO (%)

Biodigestor	81,04	52,02	88,74
Fosas sépticas	76,92	89	87,41
Reactor UASB	75	70	70
Sistema FAFA	90	81,65	70
Tanque Imhoff	50	30	80

Nota: la tabla muestra los sistemas implementados para el tratamiento de las aguas residuales comparando la efectividad de los mismos con los parámetros de DQO, DBO₅ y SST. Fuente: (autores del proyecto)

Revisada la información secundaria y teniendo en cuenta la tabla anterior se compararon las eficiencias de los sistemas utilizados para el tratamiento de las aguas residuales con el humedal artificial FV francés implementado para tratar los residuos líquidos del subsector porcícola de la UFPSO, de acuerdo a los principales parámetros de DQO, DBO₅ y SST, es importante resaltar que dicha comparación se hizo de acuerdo a los porcentajes de remoción del prototipo en cada pruebas con tiempos de retención total de 7 y 10,5 días respectivamente ([Ver figura 29](#))

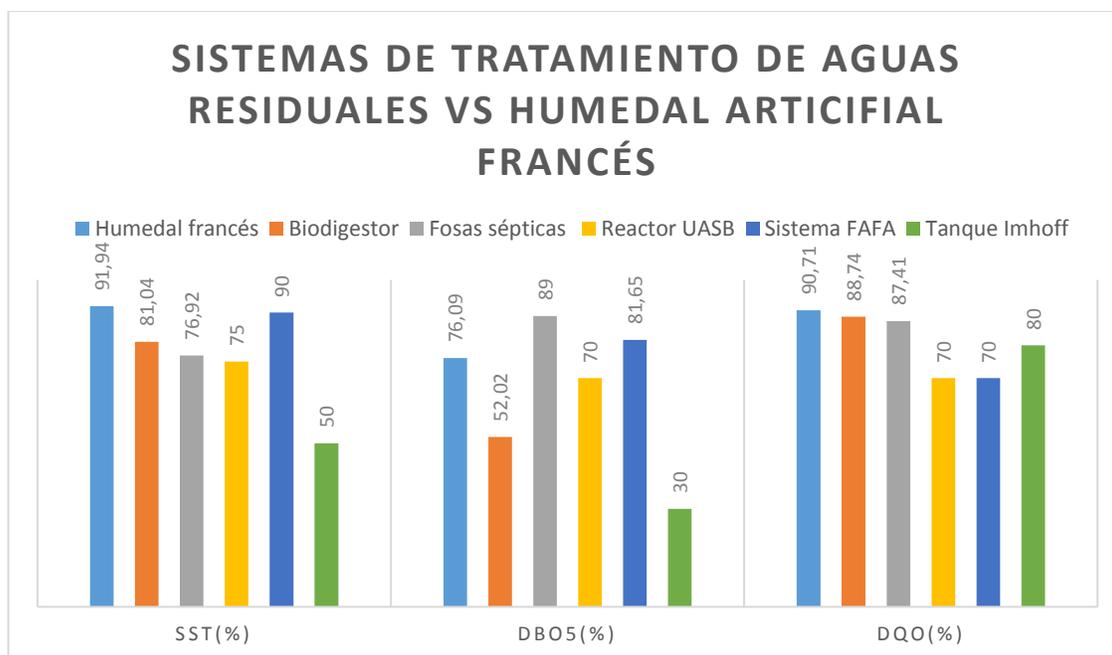


Figura 29. Eficiencia del sistema piloto con tiempo de retención de 7 días vs otros sistemas de tratamiento de aguas residuales. Fuente: (autores del proyecto)

Como se puede observar en la figura 29 el humedal artificial con tiempos de retención total de 7 días en comparación con otros sistemas de tratamiento posee un alto nivel de remoción en cuanto a la DQO con un 90,71% superando el biodigestor con un 88,74 % y a las fosas sépticas con un 87,41%, por otra parte en cuanto a la DBO₅ el sistema tuvo una remoción menor de 76,09%, quedando en un tercer lugar, puesto que las fosas sépticas remueven hasta un 89% y los sistemas FAFA un 81,65% , mientras que los SST en todos los sistemas son superados por el humedal FV francés, ya que removió las concentraciones hasta un 91,94%, sin embargo, es imprescindible aclarar que el sistema fue evaluado en una etapa temprana, es decir, en una etapa de niñez, dado que si el sistema continúa operando los niveles de remoción serán mucho más altos que los porcentajes anteriores.

De la misma manera se evaluaron las eficiencias de los sistemas de tratamientos con el humedal artificial con un tiempo de retención de prueba de 10,5 días, donde los resultados de la

DQO fueron superiores con un 97,51%, DBO₅, 88,04% y SST 95,32%, por lo que el sistema al tener un tiempo de retención mayor va a seguir aumentando su eficiencia y capacidad de remoción de contaminantes a esto se le adiciona lo anteriormente dicho que el sistema se evaluó en una edad muy temprana, puesto que si dejamos madurar el sistema con un tiempo de retención mayor el sistema será más que perfecto para el tratamiento de las aguas residuales porcinas, domésticas y de cualquier otro sector importante.

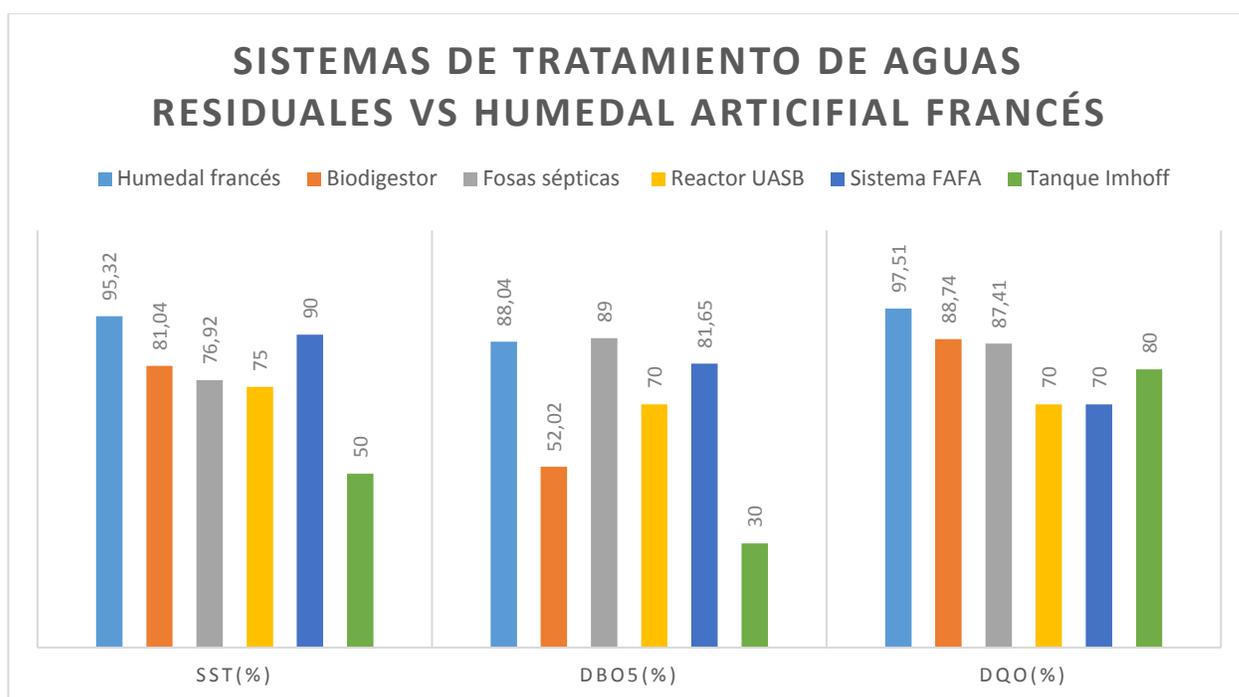


Figura 30. Eficiencia del sistema piloto con tiempo de retención de 7 días vs otros sistemas de tratamiento de aguas residuales. Fuente: (autores del proyecto)

Es por ello que se sustenta la idea que los humedales de flujo vertical francés son una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales y que pueden enfocarse hacia otros sectores donde se requieran disminuir considerablemente los niveles de remoción de DQO, DBO₅, SST y demás parámetros analizados en el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO 5. Conclusiones

El humedal artificial de flujo vertical francés es un sistema de alta eficiencia que compete con otros sistemas de tratamientos convencionales y no convencionales, obteniendo mejores rendimientos para remover concentraciones significativas de las aguas residuales del subsector porcícola como la DBO₅, SST, DQO y demás parámetros para análisis y reporte.

Las plantas tuvieron una adaptación rápida en el humedal arterial, puesto que se generaron los espacios y las condiciones que requieren para su desarrollo, donde pudieron realizar todos los procesos fitorremediadores como lo hacen en su estado natural, sin embargo, en el sistema implementado se introdujeron especies pequeñas pero que aun así llegaron a niveles de remoción muy altos en conjunto con el material granular y las bacterias que hay reposaban,

El ph tuvo variaciones de 7,21 y 7,35 en la primera etapa manteniendo niveles neutros, mientras que en el segundo filtro de la segunda etapa. el ph bajo de 7,35 a 6,54 en los tiempos de retención de 3,5 días reduciendo su valor a niveles un poco ácidos, para un tiempo de retención de 7 días se pudo observar que el ph empezó a controlarse pasando de 6,54 a 6,68, esto indica que las plantas al estar en una etapa temprana en el sistema se les dificulta mantener los niveles de ph, pero aun así se encuentran dentro de los limititos máximos permisibles.

El sistema como tal no necesita de más área para realizar la construcción de un tratamiento primario convencional, ya que se pudo comprobar que el mismo sistema realiza dichos procesos, es decir, realiza el pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.

El agua residual tratada en la primera etapa ya cumple con los límites máximos permisibles de vertimientos según la resolución 0631 del 2015, puesto que pueden disponerse directamente a un cuerpo de agua o al suelo si así se requiere.

En la primera etapa se pudo observar el proceso de nitrificación, es decir, la conversión del amoníaco en nitritos, mientras que en la segunda etapa se pudo llevar a cabo la desnitrificación, es decir, la conversión de los nitratos a nitrógeno gaseoso, Por lo que el sistema contaba con espacios en presencia y ausencia de oxígeno, dando como resultado un buen diseño del humedal artificial.

En las pruebas realizadas en el sistema se pudo comprobar que los humedales de FV francés son eficientes en un tiempo de retención de 3,5 días en la primera y segunda etapa, pero pueden aumentar su eficiencia al aumentar los tiempos de retención hasta llegar a las tasas de eliminación calculadas en el diseño del humedal.

Por otra parte, puede decirse que cuando el sistema en operación alcance la etapa de madurez, puede aumentar su eficiencia, dado que las plantas van a tener mayor capacidad de absorber y expulsar los contaminantes del agua residual al igual que las bacterias para degradar y oxidar la materia orgánica.

CAPÍTULO 6. Recomendaciones

Si se desea implementar el humedal artificial de flujo vertical francés para el tratamiento de las aguas residuales porcinas de la UFPSO, se debe determinar un espacio con suficiente pendiente para transportar las aguas residuales de un filtro a otro o si se quiere se pueden utilizar motos bomba.

Para la construcción del humedal artificial se recomienda diseñar una cubierta en todo el sistema para evitar que las aguas lluvias y el regadío de los cultivos saturen el sistema y alteren los resultados de los análisis en cada efluente.

Si se desea se puede construir únicamente la primera etapa del sistema francés, puesto que los efluentes de los filtros ya cumplen con los límites máximos permisibles de vertimiento, como el ph, Turbidez, DQO, DBO₅, SST y SSED.

Para introducir las especies en el humedal arterial se debe de tener en cuenta que las plantas deben ser pequeñas para que su adaptación sea mucho más rápida y las raíces se vayan introduciendo en todo medio granular a medida que va pasando el tiempo

En cuanto a la adaptación de la planta se recomienda brindarle todos los medios y condiciones para su desarrollo de 2 a 3 meses como máximo, esto debido a que la planta se fortalece y tiene mucha más capacidad para soportar las cargas contaminantes de los efluentes

A medida que las plantas crecen en el medio va aumentando también su volumen, es por eso que se deben podar las plantas y retirar las hojas, ramas y demás residuos para evitar el aumento de materia orgánica en las aguas residuales.

Referencias

- Alianza por el agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- Cortés Cortés , M. E., & Iglesias León, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la investigación* . Obtenido de Universidad Autónoma del carmen : http://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf
- Erazo Gesama, T. E., & Revelo Calvache, L. T. (1 de Octubre de 2017). *Implementación de un humedal para tratamiento del efluente de la granja san carlos*. Obtenido de [file:///C:/Users/User-Pc/Downloads/1326-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2751-1-10-20170802%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User-Pc/Downloads/1326-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2751-1-10-20170802%20(1).pdf)
- Agencia de medio ambiente & CIGEA . (Diciembre de 1998). *METODOLOGIA PARA LA EVALUACION APROXIMADA DE LA CARGA CONTAMINANTE*. Obtenido de [file:///C:/Users/User-Pc/Downloads/cargaorgmetodol%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User-Pc/Downloads/cargaorgmetodol%20(1).pdf)
- Alvis Yepes , C. (28 de Agosto de 2015). *Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Complejo Urbanístico Barcelona de Indias*. Recuperado el 13 de Febrero de 2020, de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/305/1/Alvis%20Yepes%2C%20Cristhian%20-%202015.pdf>
- Andreo Martínez , P. (30 de Octubre de 2014). *Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas*. Obtenido de Universidad de mursia: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/286327/TPAM.pdf;sequence=1>
- anónimo. (sf). *Lagunas de estabilizacion*. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/capitulo4.pdf>
- Araque, H. (Noviembre de 2009). *Sistema de produccion de cerdos* . Obtenido de Universidad central de venezuela: https://www.academia.edu/10770697/Origen_porcino_pdf
- Arias martinez , S. A., Betancur Toro, F., Gómez Rojas , G., Salazar Gonzalo , J. P., & Hernández Angel , M. L. (19 de 10 de 2010). *Fitorremediacion con humedales artificiales Para el tratamiento de aguas residuales porcinas*. Obtenido de <file:///C:/Users/YesidPerez/Downloads/5-5-1-PB.pdf>
- Arias, C., & Hans Brix. (13 de Julio de 2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101302.pdf>
- ATV. (1998). *Principles For The Dimensioning, Construction And Operation Of Plant Beds For Communal Wastewater With Capacities Up To 1000 Total Number Of Inhabitants And Population Equivalentents*. ATV-A.
- Bixquert Ariño, , F. (Septiembre de 2013). *ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL TANCAT DE LA PIPA Y EN EL FILTRO VERDE V30: DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA VEGETAL Y SU CONTENIDO NUTRITIVO, EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO Y ASIMILACIÓN DE*

- NUTRIENTES*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35383/TFM.pdf?sequence=1>
- Cárdenas Calvichi , G. L., & Ramos Ramos , R. M. (11 de Junio de 2009). *Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales*. Recuperado el 13 de Febrero de 2020, de Ciencia e Ingeniería Neogranadina: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v19n1/v19n1a02.pdf>
- Castañeda villanueva , A. A., & Flores López, H. E. (9 de Septiembre de 2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México*. Obtenido de file:///C:/Users/User-Pc/Downloads/Dialnet-TratamientoDeAguasResidualesDomesticasMediantePlan-5815442.pdf
- Cervantes Duarte , R., Rodriguez Mata, L. M., & Lopéz Lopéz , S. (Agosto de 2017). *Efecto de la marea en la concentración de nutrientes, clorofila a y parámetros físicos y químicos en una laguna costera subtropical (Bahía Magdalena, México)*. Recuperado el 21 de 06 de 2019 , de Scielo : http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972017000200253&script=sci_arttext&tlng=en
- Chávez de Paz, D. (21 de Mayo de 2008). *CONCEPTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN LA INVESTIGACIÓN JURIDICO SOCIAL*. Obtenido de Universidad Nacional mayor de San Marcos: https://www.unifr.ch/ddp1/derechopenal/articulos/a_20080521_56.pdf
- Comisión nacional del agua. (Diciembre de 2007). *MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO. DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION*. Obtenido de Conagua: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>
- CONSORNOC. (Abril de 2010). *Contribuyendo al Desarrollo Regional*. Obtenido de http://consornoc.org.co/wp-content/uploads/2014/11/cartilla-ocana_1.pdf
- CONSORNOC. (Abril de 2010). *Contribuyendo al desarrollo regional* . Obtenido de http://consornoc.org.co/wp-content/uploads/2014/11/cartilla-ocana_1.pdf
- Cooper, P. (1999). *A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems*. ELSERVIER.
- Cooper, Paul. (1999). *A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems*. ELSERVIER.
- Cubillos Sierra, D. F., & Huertas Huertas , D. M. (7 de Diciembre de 2018). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales porcinas en la institución educativa agrícola Guacavia, Cumural-Meta*. Recuperado el 13 de Febrero de 2020, de Universidad Santo Tomas: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15536/2019dayanacubillos.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

- Delgadillo , O., Camacho , A., Pérez , L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Obtenido de Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA): <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- DSpace en Espol. (sf). *Aguas residuales: Clasificación, características y composición*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>
- Duno de Stefano, R. (5 de Julio de 2012). *PHRAGMITES AUSTRALIS (CAV.) STEUD (CARRIZO) Y EL DISEÑO EN LOS PAÍSES ESCANDINAVOS* . Obtenido de https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2012/2012-07-05-Duno-Phragmites.pdf
- Elizondo , D. (2005). *El biodigestor* . Obtenido de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/brochure-biodigestor.pdf
- Estopà Consuegra, S. (7 de Septiembre de 2018). *ESTUDIO COMPARATIVO Y DIMENSIONAMIENTO BÁSICO DE DIVERSAS TIPOLOGÍAS DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL POLÍGONO INDUSTRIAL MONCADA III (MONCADA, VALENCIA)*. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/109253/00_Memoria.docx.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ETAP. (sf). *Características de las aguas residuales* . Obtenido de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>
- Fernández Gonzales, J. (23 de Marzo de 2006). *La fitodepuración mediante humedales artificiales*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/informacionidi/analisis/analisis/analisis.asp?id=25006>
- Gallardo De Parada, Y., & Moreno Garzón , A. (1999). *Análisis de la información* . Recuperado el 18 de Abril de 2019, de ICFES : <http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/images/CEUL/mod4analisisinform.pdf>
- García Gil, M. J., Ruiz Zapata , M. B., Mediavilla López , R., Santiesteban, J. I., Dominguez Castro, F., & Dabrio Gónzales , C. (2011). *Registro de los cambios humanos y naturales en el humedal de las tablas de Dimiel* . Obtenido de Universidad de Alcalá: http://eprints.ucm.es/10707/1/2008_6_Registro_cambios_Daimiel_GEOTEMAS.pdf
- Guffante Naranjo, T., Guffante Naranjo, F., & Chávez Hernández, P. (2016). *Investigación científica. El proyecto de investigación*. Obtenido de http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/342/3/Investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica_el%20proyecto%20de%20investigaci%C3%B3n.pdf
- Hammeken Arana, A. M., & Romero García, E. (13 de Mayo de 2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. Obtenido de Universidad de las Américas Puebla: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo2.pdf
- IDEAM . (28 de Diciembre de 2007). *Demanda química de oxígeno por reflujos cerrados y volumétrica*. Recuperado el 21 de Junio de 2019, de IDEAM:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

- IDEAM . (10 de Septiembre de 2007). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. Recuperado el 17 de Abril de 2019, de IDEAM :
http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428
- La Opinión . (2 de Febrero de 2018). *Duplicaron la cria de cerdos en la provincia de Ocaña*. Obtenido de <https://www.laopinion.com.co/ocana/duplicaron-la-cria-de-cerdos-en-la-provincia-de-ocana-148303#OP>
- La Opinion. (Marzo de 2017). *Culmina la primera fase de la planta de tratamiento de ocaña*. Obtenido de <https://www.laopinion.com.co/ocana/culmina-primera-fase-de-la-planta-de-tratamiento-de-ocana-130240#OP>
- Lizarazo Becerra , J. M., & Orjuela Gutierrez , M. I. (2013). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia* . Obtenido de Universidad nacional de Colombia :
https://www.academia.edu/36795135/SISTEMAS_DE_PLANTAS_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_EN_COLOMBIA
- Londoño Franco , L. F., Londoño Muñoz , P., & Muñoz Garcia , F. G. (Diciembre de 2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal* . Recuperado el 21 de Junio de 2019, de Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial :
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- Mena Sanz, J. (2008). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: ventajas de los sistemas híbridos*. Obtenido de User Files:
http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643_JMena.pdf
- Menéndez Gutierrez, C., Perez Olmo, J., & Garcia, J. (Octubre de 2005). *INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES MEDIANTE FILTROS PERCOLADORES CONTROL DE LA OPERACIÓN MANTENIMIENTO Y MUESTREO*. Obtenido de Researchgate:
https://www.researchgate.net/publication/284446077_Plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales_Filtros_percoladores
- Mercado , A. (agosto de 2013). *Lagunas de estabilizacion* . Obtenido de Aquaknow:
https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas_de_estabilizacion_0.pdf
- Ministerio de ambiente, v. y. (Junio de 2004). *Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en colombia* . Obtenido de Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial:
http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES MUNICIPALES EN COLOMBIA.pdf
- Ministerio de desarrollo económico. (11 de 2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico*. Recuperado el 17 de Abril de 2019, de Ministerio de desarrollo económico:

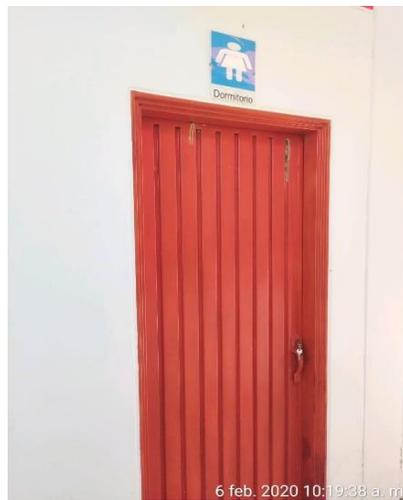
- http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente & Sociedad de Agricultores de Colombia. (2002). *Guía ambiental para el subsector porcícola*. Obtenido de file:///C:/Users/User-Pc/Downloads/GUIA-AMBIENTAL-PORCICOLA%20(1).pdf
- Moreno Jabo , S. N. (9 de Febrero de 2017). *Tratamientos de aguas residuales en el tanque Imhoff para disminuir la contaminación en la quebrada Sicacate del distrito de Montero*. Recuperado el 13 de Febrero de 2020, de Universidad nacional de Piura : <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1154/IND-MOR-JAB-18.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Núñez Burga, R. M. (2016). *Tratamiento de agua residuales domésticas a nivel familiar, con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, mediante la especie macrofita emergente Cyperus Papyrus(Papiro)*. Recuperado el 21 de Junio de 2019, de Universidad Peruana Unión : file:///C:/Users/User-Pc/Downloads/Reyna_Tesis_bachiller_2016.pdf
- Núñez Lopez, R. A., Meas Vong, Y., Ortigas Borges, R., & Olguin, E. (Septiembre de 2004). *Fitorremediación: Fundamentos y aplicación*. Obtenido de Revista ciencia: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- OEFA. (sf). *Aguas residuales* . Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- ONU-HABITAT. (2008). *Manual de humedales artificiales*. Obtenido de https://issuu.com/frederys1712doc/docs/manual_de_humedales_artificiales
- ONU-HABITAT. (2008). *Manual de Humedales artificiales*. Recuperado el 4 de Abril de 2019, de issuu: https://issuu.com/frederys1712doc/docs/manual_de_humedales_artificiales
- Organización de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura-FAO. (2014). *Agua residual*. Obtenido de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/glossary/search.html?lang=es&keywords=Agu+a+residual&submit=Buscar&subjectId=-1&submitBtn=-1&p=100&termId=-1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura,. (2017). *Aguas residuales: el recurso desaprovechado*. Obtenido de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)
- Orozco Jaramillo, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Recuperado el 21 de Junio de 2019, de ACODAL: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=t5w5EZf1VhMC&oi=fnd&pg=PP17&dq=Bioingenieria+de+aguas+residuales,+Orozco+1996+&ots=MxZ4izAtP9&sig=WV3xi87rLLEg3vVD-Is1SZZGthg#v=onepage&q&f=false>
- Peña Puya , E. (26 de Junio de 2007). *Trabajo investigativo oxígeno disuelto (OD)*. Recuperado el 21 de Junio de 2019 , de Escuela superior politecnica del litoral : <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Peréz Iglesias , L., & Valcárcel Rojas, R. (2015). *Restos de cerdo en los contextos arqueológicos de el chorro de Maíta, Holguín, Cuba* . Recuperado el 21 de Junio de 2019, de

- Asociación etnobiológica :
<http://asociacionetnobiologica.org.mx/revista/index.php/etno/article/view/9/13>
- Piñero Noguera , C., & Moltalvo Bermejo , G. (2015). *Guía de mejores técnicas disponibles para el sector porcícola en Colombia* . Obtenido de Asociación de porcicultores en Colombia :
<https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/images/porcicultores/tramites-ambientales/Guia-MTD-Porcino.pdf>
- Piñero Noquera , C., & Moltalvo Bermejo, G. (2015). *Guía de mejores técnicas disponibles para el sector pocícola en Colombia*. Obtenido de Asociación de poicultores en Colombia:
<https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/images/porcicultores/tramites-ambientales/Guia-MTD-Porcino.pdf>
- Primer Normbre. (2017). *Ocaña vive entre sus propios desechos* . Obtenido de
<https://primernombre.com/2016/11/04/ed0015/>
- Programa de las naciones unidas para los asentamientos humanos, ONU-HABITA. (2008).
https://issuu.com/frederys1712doc/docs/manual_de_humedales_artificiales. Nepal, kadmandú: Victor arroyo.
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama , E. (3 de Abril de 2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno* . Recuperado el 21 de Junio de 2019, de Revista de la facultad de Ingeniería ambiental :
<http://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramón, J. A., Romero, L. F., & Simanca , J. L. (2013). *Diseño de un biodigestor de canecas en una serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo*. (Elsevier, Ed.) Recuperado el 21 de Junio de 2019, de Revista ambiental Agua, Aire y suelo :
http://ojs.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/viewFile/110/107
- Ramos Gorostiza, J. (2013). *Edwin chadwick. El movimiento británico de salud pública y el higienismo español*. Recuperado el 26 de Marzo de 2019, de Historia industrial:
<https://www.raco.cat/index.php/HistoriaIndustrial/article/view/280098>
- RAS. (Noviembre de 2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000*. Obtenido de
http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf
- Resolución 0631. (17 de Marzo de 2015). *Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. Obtenido de MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE:
https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
- Rosell Campos , F. (2009). *Libro de la historia de saneamiento de valladoli*. Recuperado el 26 de Marzo de 2019, de Aguas de valladoli:
http://www.aguasdevalladolid.com/DOC/3_3_historia_alcantarillado.pdf

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (18 de Diciembre de 2018). *Tipos de granjas porcinas* . Obtenido de Gob.mx: <https://www.gob.mx/siap/articulos/tipos-de-granjas-porcinas>
- Soto Fuster, J. L. (6 de 2016). *Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abandonados del rio segura*. Obtenido de Universidad politecnica de venezuela:
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/70818/01_Estudio%20de%20aplicabilidad%20de%20humedales%20artificiales%20para%20la%20mejora%20de%20la%20calidad%20de%20las%20aguas%20en%20los%20meandros%20abandonados%20del%20r%C3%ADo%20Segura.pdf?sequence=1
- Tecnología y Ciencias del Agua. (Julio de 2013). *Tratamiento de efluentes de fosas sépticas mediante el uso de un sistema de contactor biológico rotatorio*. Recuperado el 13 de Febrero de 2020, de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua México:
<https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531983008.pdf>
- Torres Martinez, D. (Septiembre de 2011). *CARACTERIZACION MICROBIOLOGICA DEL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR), UBICADA EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA – SEDE CAJICÁ*. Obtenido de
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9344/TorresMartinezDarwinLeandro2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Torres, A. (2015). *Análisis de aguas residuales* . Obtenido de http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf
- UNESCO. (2017). *Aguas residuales el recurso no explotado*. Obtenido de <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2017/03/247647S.pdf>
- Universidad De Piura-UDEP. (sf). *Naturaleza del agua residual domestica*. Obtenido de UDEP:
http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_135_183_88_1242.pdf
- Varnero Moreno , M. (2011). *Manual de biogas*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

APÉNDICES

Apendice A Característica de la granja de la UFPSO



/



6 feb. 2020 10:20:32 a. m.



6 feb. 2020 10:20:38 a. m.



6 feb. 2020 10:21:05 a. m.



6 feb. 2020 10:21:27 a. m.



6 feb. 2020 10:22:06 a. m.



6 feb. 2020 10:22:12 a. m.



6 feb. 2020 10:29:54 a. m.



6 feb. 2020 10:30:08 a. m.



Apendice B Lavado de las porquerizas.



Apéndice C Saturación del Biodigestor.



Apéndice D Toma de muestras para hallar el dimensionamiento del humedal artificial.



Apéndice E Características de las aguas residuales en el punto de vertimiento durante cinco (5) días.

RESULTADOS ANALISIS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: Proyecto porcino, Granja Experimental UFPSO.

PUNTO: punto 1

TOMADA POR: Cristian Guillin.

HORA: 10:35 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 06/09/19

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 06/09/19

HORA: 11:20 a.m.

ANALISIS SOLICITADOS: pH, DQO, DBO₅, Sólidos suspendidos totales, Sólidos Sedimentables, Nitritos, Nitratos, Nitrogeno amoniacal, Acidez total, Alcalinidad total, Dureza total, Color real, Turbidez.

OBSERVACIONES: Ninguna.

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	pH	7,21
DQO	mg/L O ₂	4645
DBO ₅	mg/L O ₂	48
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2120
Sólidos sedimentables	mg/L	50
Nitritos	mg/L	352
Nitratos	mg/L	8778
Nitrogeno amoniacal	mg/L	>3,5
Acidez total	mg/L	1100
Alcalinidad total	mg/L	1650
Dureza total	mg/L	980
Color real	UPTCO	1157
Turbidez	NTU	4570
Coliformes totales	NMP/100mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100mL	>1100

H^a Alejandra Uetzel

RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

2

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.**TIPO DE MUESTRA:** Simple.**LUGAR DE MUESTREO:** Proyecto porcino, Granja Experimental UFPSO.**PUNTO:** punto 2**TOMADA POR:** Cristian Guillin.**HORA:** 10:26 a.m.**FECHA TOMA DE MUESTRA:** 09/09/19**FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS:** 06/09/19**HORA:** 11:20 a.m.**ANÁLISIS SOLICITADOS:** pH, DQO, DBO₅, Sólidos suspendidos totales, Sólidos Sedimentables, Nitritos, Nitratos, Nitrogeno amoniacal, Acidez total, Alcalinidad total, Dureza total, Color real, Turbidez.**OBSERVACIONES:** Ninguna.

Parámetro	Unidad	Resultado
pH		7,54
DQO	mg/L O ₂	3041
DBO ₅	mg/L O ₂	47
Sólidos suspendidos totales	mg/L	5028
Sólidos sedimentables	mg/L	60
Nitratos	mg/L	2560
Nitritos	mg/L	2140
Nitrogeno amoniacal	mg/L	>3,5
Acidez total	mg/L	250
Alcalinidad total	mg/L	3500
Dureza total	mg/L	650
Color real	UPtCO	1650
Turbidez	NTU	4340
Coliformes totales	NMP/100mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100mL	>1100



María Alejandra Vergel Bermúdez
 Coordinador Laboratorio de Aguas

RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

3

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: Proyecto porcino, Granja Experimental UFPSO.

PUNTO: punto 3

TOMADA POR: Cristian Guillin.

HORA: 10:40 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 10/09/19

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 10/09/19

HORA: 11:14 a.m.

ANÁLISIS SOLICITADOS: pH, DQO, DBO₅, Sólidos suspendidos totales, Sólidos Sedimentables, Nitritos, Nitratos, Nitrogeno amoniacal, Acidez total, Alcalinidad total, Dureza total, Color real, Turbidez.

OBSERVACIONES: Ninguna.

Parámetro	Unidad	Resultado
pH		8,72
DQO	mg/L O ₂	3793
DBO ₅	mg/L O ₂	46
Sólidos suspendidos totales	mg/L	834
Sólidos sedimentables	mg/L	32
Nitratos	mg/L	900
Nitritos	mg/L	1230
Nitrogeno amoniacal	mg/L	>3,5
Acidez total	mg/L	82,5
Alcalinidad total	mg/L	1800
Dureza total	mg/L	600
Color real	UPTCO	1276
Turbidez	NTU	2650
Coliformes totales	NMP/100mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100mL	>1100

M^a Alejandra Vergel

Maria Alejandra Vergel Bermúdez
Coordinador Laboratorio de Aguas

RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

4

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.

TIPO DE MUESTRA: Simple.

LUGAR DE MUESTREO: Proyecto porcino, Granja Experimental UFPSO.

PUNTO: punto 4

TOMADA POR: Cristian Guillín.

HORA: 10:22 a.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 12/09/19

FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS: 12/09/19

HORA: 11:15 a.m.

ANÁLISIS SOLICITADOS: pH, DQO, DBO₅, Sólidos suspendidos totales, Sólidos Sedimentables, Nitritos, Nitratos, Nitrogeno amoniacal, Acidez total, Alcalinidad total, Dureza total, Color real, Turbidez.

OBSERVACIONES: Ninguna.

Parámetro	Unidad	Resultado
pH		8,35
DQO	mg/L O ₂	730
DBO ₅	mg/L O ₂	44
Sólidos suspendidos totales	mg/L	947
Sólidos sedimentables	mg/L	35
Nitratos	mg/L	539
Nitritos	mg/L	6072
Nitrogeno amoniacal	mg/L	>3,5
Acidez total	mg/L	500
Alcalinidad total	mg/L	2100
Dureza total	mg/L	540
Color real	UPiCO	2105
Turbidez	NTU	2680
Coliformes totales	NMP/100mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100mL	>1100

M^a Alejandra Vergel

María Alejandra Vergel Bermúdez
Coordinador Laboratorio de Aguas

RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

5

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua Residual.**TIPO DE MUESTRA:** Simple.**LUGAR DE MUESTREO:** Proyecto porcino, Granja Experimental UFPSO.**PUNTO:** punto 5**TOMADA POR:** Cristian Guillin.**HORA:** 10:40 a.m.**FECHA TOMA DE MUESTRA:** 13/09/19**FECHA ENTREGA LABORATORIO AGUAS:** 13/09/19**HORA:** 11:20 a.m.**ANÁLISIS SOLICITADOS:** pH, DQO, DBO₅, Sólidos suspendidos totales, Sólidos Sedimentables, Nitritos, Nitratos, Nitrogeno amoniacal, Acidez total, Alcalinidad total, Dureza total, Color real, Turbidez.**OBSERVACIONES:** Ninguna.

Parámetro	Unidad	Resultado
pH		6,68
DQO	mg/L O ₂	2503
DBO ₅	mg/L O ₂	46
Sólidos suspendidos totales	mg/L	3486
Sólidos sedimentables	mg/L	45
Nitratos	mg/L	20,002
Nitritos	mg/L	14388
Nitrogeno amoniacal	mg/L	>3,5
Acidez total	mg/L	2300
Alcalinidad total	mg/L	2250
Dureza total	mg/L	350
Color real	UPtCO	3457
Turbidez	NTU	7200
Coliformes totales	NMP/100mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100mL	>1100

M^a Alejandra Vergel

María Alejandra Vergel Bermúdez
Coordinador Laboratorio de Aguas

Apéndice F Excavación de los filtros.



Apéndice G Excavación de las zanjas para tubos de recogida de las aguas residuales.



Apéndice H Cotización del material granular de los filtros.



Apéndice I Llenado de los filtros con material granular.





Apéndice J Prueba del sistema de recogida de las aguas residuales.



Apéndice K Extracción y plantación de la especie *Typha Latifolia* (totora).





Apéndice L Adaptación de las plantas en los filtros.



Apéndice M Toma de las muestras en los efluentes de la primera y segunda etapa.



Apéndice N Características de las aguas tratadas en la primera etapa pasados 3,5 días.

RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual

TIPO DE MUESTRA: Puntual.

LUGAR DE MUESTRA: Proyecto porcino, Granja Experimental UFPSO.

TOMADA POR: Cristian Guillin.

HORA: 12:00 p.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 03 de Febrero del 2020.

FECHA ENTREGA AL LABORATORIO: 03 de Febrero del 2020.

HORA: 12:15 p.m.

ANÁLISIS SOLICITADOS: Potencial de hidrogeno, DQO, DBO₅, Solidos suspendidos totales, Solidos sedimentables, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Acidez, Alcalinidad, Dureza, Color real, Turbiedad, Coliformes totales, Coliformes fecales.

OBSERVACIONES: Ninguna.

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	pH	7.35
DQO	mg/L O ₂	417
DBO ₅	mg/L O ₂	17
SST	mg/L	479
Solidos sedimentables	mg/L	0.3
Nitrógeno amoniacal	mg/L	>3.5
Nitritos	mg/L	3.245
Nitratos	mg/L	726
Acidez total	mg/L CaCO ₃	130
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	265
Dureza	mg/L CaCO ₃	170
Color real	UPtCo	723
Turbiedad	NTU	469
Coliformes totales	NMP/100 mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100 mL	>1100

M^a Alejandra Vergel

María Alejandra Vergel Bermúdez
Coordinador Laboratorio de Aguas



Apéndice O Características de las aguas tratadas en la segunda etapa pasados 3,5 y 7 días.

RESULTADOS ANÁLISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual

TIPO DE MUESTRA: Puntual.

LUGAR DE MUESTRA: Proyecto porcino, Granja Experimental UFPSO.

TOMADA POR: Cristian Guillin.

HORA: 12:00 p.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 06 de Febrero del 2020.

FECHA ENTREGA AL LABORATORIO: 06 de Febrero del 2020.

HORA: 12:15 p.m.

ANALISIS SOLICITADOS: Potencial de hidrogeno, DQO, DBO₅, Solidos suspendidos totales, Solidos sedimentables, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Acidez, Alcalinidad, Dureza, Color real, Turbiedad, Coliformes totales, Coliformes fecales.

OBSERVACIONES: Ninguna.

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	pH	6.54
DQO	mg/L O ₂	273
DBO ₅	mg/L O ₂	11
SST	mg/L	200
Solidos sedimentables	mg/L	0.2
Nitrógeno amoniacal	mg/L	>3.5
Nitritos	mg/L	2.508
Nitratos	mg/L	369.6
Acidez total	mg/L CaCO ₃	100
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	150
Dureza	mg/L CaCO ₃	100
Color real	UPtCo	315
Turbiedad	NTU	294
Coliformes totales	NMP/100 mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100 mL	>1100

M^a Alejandra Vergel

María Alejandra Vergel Bermúdez
Coordinador Laboratorio de Aguas



RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

MATRIZ DE LA MUESTRA: Agua residual

TIPO DE MUESTRA: Puntual.

LUGAR DE MUESTRA: Proyecto porcino, Granja Experimental UFPSO.

TOMADA POR: Cristian Guillin.

HORA: 12:00 p.m.

FECHA TOMA DE MUESTRA: 10 de Febrero del 2020.

FECHA ENTREGA AL LABORATORIO: 10 de Febrero del 2020.

HORA: 12:15 p.m.

ANÁLISIS SOLICITADOS: Potencial de hidrogeno, DQO, DBO₅, Solidos suspendidos totales, Solidos sedimentables, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Acidez, Alcalinidad, Dureza, Color real, Turbiedad, Coliformes totales, Coliformes fecales.

OBSERVACIONES: Ninguna.

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	pH	6.68
DQO	mg/L O ₂	73
DBO ₅	mg/L O ₂	5.5
SST	mg/L	116
Solidos sedimentables	mg/L	0.3
Nitrógeno amoniacal	mg/L	3.50
Nitritos	mg/L	0.2574
Nitratos	mg/L	77
Acidez total	mg/L CaCO ₃	95
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	95
Dureza	mg/L CaCO ₃	80
Color real	UPtCo	85
Turbiedad	NTU	15
Coliformes totales	NMP/100 mL	>1100
Coliformes fecales	NMP/100 mL	>1100

M^a Alejandra Vergel

María Alejandra Vergel Bermúdez
Coordinador Laboratorio de Aguas

