



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Diseño de una planta piloto de filtros naturales para aguas residuales domésticas.

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

Autores:

**CHRISTIAN RENÉ IÑIGUEZ IÑIGUEZ
PABLO EMILIO RIVADENEIRA RODRÍGUEZ**

Director:

ING. FABIAN EDUARDO CAZAR ALMACHE

CUENCA, ECUADOR

2021

DEDICATORIAS

A Dios por darme la fuerza para levantarme cada que caía.

A mis padres Sixto y Lida por darme la vida, aconsejarme y guiarme por el camino correcto.

A mi esposa Pamela por haberme brindado apoyo emocional y nunca permitir que me rindiera.

A mi hijo Christopher por ser el motor de mi vida y dar sentido a mi existir.

A mis hermanas Diana, Alexandra y Tania por siempre estar presentes apoyándome y alentándome a cumplir mis sueños.

A mi hermano Martín por haberme hecho sentir su gran apoyo a lo largo de mi carrera.

A mis mejores amigos Jonnathan, Erik, Vicente, Josué, David, Emilio, Brandon y Patricio ya que con ellos he convivido gran parte de la carrera en donde hemos tenido buenos y malos momentos, pero siempre estábamos apoyándonos unos a otros.

Christian Iñiguez Iñiguez

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por darme la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre por ser la persona que me brindo su apoyo y amor a pesar de nuestras diferencias. A mi esposa e hijo que son la razón de esforzarme por superarme cada día. A mis abuelos que han estado presentes incondicionalmente en toda mi vida. A mi hermana que siempre me dio fuerzas para continuar a pesar de las adversidades. Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas esas personas que han estado junto a mi desde el comienzo y a aquellas que se sumaron en el camino y que han hecho posible la culminación de esta etapa de mi vida.

Pablo Rivadeneira Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Para empezar, agradecemos a Dios por guiarnos y bendecirnos a lo largo de nuestra vida y por ser nuestra fortaleza en momentos de debilidad.

También queremos agradecer a nuestro director de tesis, el Ing. Fabian Cazar y a nuestra codirectora la Ing. Verónica Rodas, principales colaboradores durante la elaboración de esta tesis, quienes con su dirección, enseñanza y conocimiento permitieron el desarrollo de este trabajo.

Por otro lado, agradecemos a los miembros del tribunal, el Ing. Josué Larriva y la Ing. Belén Arévalo por su tiempo y apoyo prestados para la culminación de este proyecto.

Finalmente agradecemos a nuestros padres: Rebeca; y, Sixto y Lidia, por ser las personas que nos han apoyado en nuestros sueños y por confiar y creer en nosotros durante estos años, por los consejos, principios y valores que nos han inculcado.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Estructura del trabajo de Titulación	3
2 CAPITULO 2: MARCO TEORICO	4
2.1 Sistemas de tratamientos de aguas residuales	4
2.1.1 Fundamentos básicos para el tratamiento de aguas residuales	4
2.1.1.1 Recogida y conducción	5
2.1.1.2 Tratamiento	5
2.1.1.2.1 Línea de agua.....	5
2.1.1.2.1.1 Pretratamiento	6
2.1.1.2.1.2 Tratamiento primario.....	8
2.1.1.2.1.3 Tratamiento secundario	10
2.1.1.2.1.4 Tratamiento terciario	13
2.1.1.2.2 Línea de lodos.....	14
2.2 Sistema descentralizado (no convencional) de tratamiento de aguas residuales	15
2.3 Saneamiento en zonas rurales	16
2.4 Tecnología alternativa de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas ...	16
2.4.1 Sistemas Naturales de Tratamiento.....	17
2.4.1.1 Tratamiento en el terreno	17
2.4.1.2 Sistemas Acuáticos.....	19
2.4.1.2.1 Lagunaje	19
2.4.1.2.2 Cultivos acuáticos	20
2.4.1.2.3 Humedales	20
2.4.1.2.3.1 Clasificación de los Humedales Artificiales	21

2.4.1.2.3.1.1	Humedales Artificiales de flujo Superficial (HAFS).....	21
2.4.1.2.3.1.2	Humedales Artificiales de flujo Subsuperficial (HAFSS)	22
2.4.1.2.3.2	Factores que condicionan el establecimiento de humedales artificiales	24
2.4.1.2.3.3	Partes de los humedales de flujo subsuperficial.....	25
2.4.1.2.3.4	Flujo superficial vs Flujo subsuperficial	27
2.5	Filtros de turba	28
2.6	Peat filter	29
2.6.1	Caracterización general del Austro Ecuatoriano.....	30
2.6.1.1	Andosoles	31
2.6.1.2	Histosoles	32
2.7	Caracterización del Agua Residual	34
2.7.1	Contaminantes de importancia en el tratamiento de agua residual.....	36
2.8	Normativa de descarga para efluentes de una PTAR.....	37
2.9	Operación y mantenimiento de PTARs.....	38
2.10	Análisis de suelos	38
2.10.1	Fases para la realización de los análisis de suelos	39
2.10.1.1	Toma de muestras	39
2.10.1.2	Profundidad de muestreo	40
2.10.2	Realización del análisis.....	40
3	MATERIALES Y METODOS.....	41
3.1	Descripción general del estudio	41
3.1.1	Ubicación de la turba para lechos filtrantes.....	42
3.1.1.1	Primer Análisis.....	42
3.1.1.1.1	Geología.....	42
3.1.1.1.2	Clima.....	43
3.1.1.1.3	Uso y Cobertura del suelo.....	43
3.1.1.2	Segundo Análisis.....	44
3.1.1.2.1	Geología.....	45
3.1.1.2.2	Clima.....	45
3.1.1.2.3	Uso y Cobertura del suelo.....	45
3.1.1.3	Tercer Análisis	45
3.2	Estudios de campo.....	46
3.2.1	Análisis de laboratorio	47

3.3	Comparación entre histosol y sphagnum	50
3.4	Desarrollo de propuesta integral de diseño	52
3.4.1	Parámetros de diseño	52
3.4.1.1	Caudales	52
3.4.1.2	Carga contaminante.....	52
3.4.1.3	Temperatura	52
3.4.1.4	Medios filtrantes.....	53
3.4.1.5	Profundidad del filtro de turba	53
3.4.1.6	Gradiente hidráulico.....	53
3.4.2	Memoria de cálculo.....	53
3.4.2.1	Tratamiento secundario	53
3.4.2.1.1	Diseño del filtro natural de turba	53
3.4.2.1.1.1	Ecuaciones.....	54
3.4.2.1.1.2	Cálculos.....	56
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1	Resultados primer análisis.....	61
4.2	Resultados segundo análisis.....	61
4.3	Resultados Filtro natural de turba	64
5	PRESUPUESTO.....	69
6	CONCLUSIONES.....	70
7	RECOMENDACIONES	71
8	REFERENCIAS	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Área de criba o rastrillos.....	6
Figura 2.2 Desarenador.....	7
Figura 2.3 Desengrasadores.....	7
Figura 2.4 Medición de caudal en vertedero triangular.....	8
Figura 2.5 Estructura del tanque imhoff.....	9
Figura 2.6 Tanque de sedimentación.....	10
Figura 2.7 Tanque de flotación.....	10
Figura 2.8 Fangos Activos.....	11
Figura 2.9 Lecho bacteriano.....	11
Figura 2.10 Filtro verde.....	12
Figura 2.11 Digestión anaerobia.....	13
Figura 2.12 Tratamiento terciario.....	14
Figura 2.13 Tecnologías convencionales vs tecnologías no convencionales.....	15
Figura 2.14 De izquierda a derecha: Esquema del método de filtro verde, Esquema del método de infiltración rápido RI, Esquema del método de flujo superficial OF.....	18
Figura 2.15 Turba de musgo sphagnum.....	19
Figura 2.16 Lagunaje.....	19
Figura 2.17 Cultivos acuáticos.....	20
Figura 2.18 Esquema de aplicación de los sistemas de depuración con vegetación (macrófitas).....	21
Figura 2.19 Humedal artificial de flujo superficial.....	22
Figura 2.20 Humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	23
Figura 2.21 Humedal subsuperficial de flujo vertical.....	24
Figura 2.22 Totora.....	26
Figura 2.23 Carrizo.....	26
Figura 2.24 Ventajas y desventajas.....	27
Figura 2.25 Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical.....	27
Figura 2.26 Filtro de turba.....	28
Figura 2.27 Sección transversal de filtro de turba.....	29
Figura 2.28 Perfil de andosol.....	32
Figura 2.29 Perfil del histosol.....	32
Figura 2.30 Histosol proveniente de Soldados - San Joaquín - Azuay.....	32
Figura 3.1 Ubicación del área de estudio (primer análisis).....	42
Figura 3.2 Área de estudio y cobertura del suelo.....	44
Figura 3.3 Ubicación del área de estudio (segundo análisis).....	44
Figura 3.4 Histosoles en Ecuador.....	46
Figura 3.5 Histosoles y zonas protegidas en Ecuador.....	49
Figura 3.6 Histosoles y zonas protegidas en suelos del Austro.....	49
Figura 4.1 Capas del filtro de turba.....	65
Figura 4.2 Filtro de Turba (Vistas).....	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Etapas de la línea de agua, ordenadas secuencialmente de izquierda a derecha, en el tratamiento de las aguas residuales	5
Tabla 2.2 Tratamiento en la línea de lodos	14
Tabla 2.3 Caracterización física de una unidad de lecho filtrante turba	29
Tabla 2.4 Caracterización física de una unidad de lecho filtrante turba.....	30
Tabla 2.5 Tipos de materia orgánica.....	33
Tabla 2.6 Características físicas, químicas y morfológicas de suelos orgánicos presentes en los EEUU	34
Tabla 2.7 Propiedades físicas de las aguas residuales	35
Tabla 2.8 Propiedades químicas de las aguas residuales	35
Tabla 2.9 Propiedades biológicas de las aguas residuales	36
Tabla 2.10 Contaminantes importantes de las aguas residuales	36
Tabla 2.11 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	37
Tabla 3.1 Ficha técnica Sustrato Premix 8.....	47
Tabla 3.2 Método para parámetros físicos y químicos	50
Tabla 3.3 Propiedades y características material de soporte.....	53
Tabla 3.4 Datos de entrada para planta piloto.....	56
Tabla 4.1 Características físicas según horizontes H, Ah y C	61
Tabla 4.2 Características químicas según horizontes H, Ah y C	61
Tabla 4.3 Características físicas.....	62
Tabla 4.4 Características químicas	62
Tabla 4.5 Tabla comparativa.....	62
Tabla 5.1 Presupuesto	69

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	54
Ecuación 2.....	54
Ecuación 3.....	55
Ecuación 4.....	55
Ecuación 5.....	55
Ecuación 6.....	55
Ecuación 7.....	55
Ecuación 8.....	55
Ecuación 9.....	56
Ecuación 10.....	56
Ecuación 11.....	56

Diseño de una planta piloto de filtros naturales para aguas residuales domésticas.

RESUMEN

En la actualidad, para el tratamiento de aguas residuales domésticas son considerados los sistemas naturales, con el propósito de conservar los recursos asociados a estos; debido a que no se utilizan químicos y energía como en los tratamientos convencionales. Dentro de estos sistemas naturales se encuentra el lecho de turba, que funciona como un humedal artificial y la forma de trabajar es similar a los procesos biológicos que se dan en la naturaleza. De esta manera se busca encontrar un suelo de características similares al lecho de turba con la finalidad de poder plantear un modelo de filtro que se acople a los requerimientos de saneamiento de nuestra región y poder contribuir a la descentralización de métodos de tratamiento de aguas residuales.

Palabras claves: turba, histosoles, andosoles, tratamientos naturales, análisis de suelos.



Firmado electrónicamente por:
**JOSE FERNANDO
VAZQUEZ CALERO**

Ing. José Fernando Vázquez Calero

Coordinador de Escuela

Ing. Fabian Eduardo Cazar Almache

Director de Tesis

Christian Rene Iñiguez Iñiguez

Autor

Pablo Emilio Rivadeneira Rodríguez

Autor

Design of a pilot plant of natural filters for domestic wastewater.

ABSTRACT

Nowadays, natural systems are considered for the treatment of domestic wastewaters with the purpose of conserving the resources associated with them because no chemicals and energy are used as in conventional treatment. Within these natural systems is the peat bed which functions as an artificial wetland and the way of working is similar to the processes that occur in nature. In this way, it is important to find soil with similar characteristics to the peat bed in order to be able to propose a filter that fits the sanitation requirements of our region and to be able to contribute to the decentralization of the wastewater treatment methods.

Keywords: peat, histosols, andosols, natural treatments, soil analysis.

Translated by



Firmado digitalmente por:
JOSE FERNANDO
VAZQUEZ CALERO

Ing. José Fernando Vázquez Calero

Faculty Coordinator

Ing. Fabian Eduardo Cazar Almache

Thesis Director

Christian Rene Iñiguez Iñiguez

Author

Pablo Emilio Rivadeneira Rodríguez

Author

Language Unit

Iñiguez Iñiguez Christian René

Rivadeneira Rodríguez Pablo Emilio

Trabajo de titulación

Ing. Fabián Eduardo Cazar Almache

Julio, 2021

DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE FILTROS NATURALES PARA AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El agua es el eje principal de supervivencia de los seres humanos; es por ello que cuando aparecieron los primeros asentamientos estos se instalaban cerca de los ríos para así obtener el líquido vital, pero a medida que las civilizaciones crecen el control de la disposición de la misma va menguando debido a que toda comunidad produce residuos como consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos.

Por otro lado, los problemas de abastecimiento se agravan cuando la infiltración de aguas residuales procedentes de los pueblos así como el vertido a las corrientes y fuentes de agua utilizadas para consumo humano sin ningún tipo de tratamiento ocasiona daños, que en ocasiones resultan irreversibles al medio ambiente y suponen varios riesgos ya que si estas aguas residuales se encuentran estancadas por cierto tiempo se produce la descomposición de la materia orgánica que contiene y suele producir grandes cantidades de gases malolientes y atraer cantidades de insectos, así como también suelen contener numerosos microorganismos patógenos causantes de enfermedades como diarrea, gastroenteritis, fiebre, etc.

No obstante, las aguas residuales domésticas deben ser tratadas, pero las tecnologías empleadas requieren el cumplimiento de requisitos estrictos y soluciones sostenibles como son: bajo costo de inversión y mantenimiento, bajo consumo de energía, de operaciones sencillas y que sean aceptados por los usuarios y órganos de control de la contaminación. Es por ello que la alternativa que da solución a estos requisitos consiste

en la construcción de sistema de humedales naturales que funcionan como filtros de turba.

El filtro de turba es un sistema descentralizado integrado y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, debido a que reducen significativamente la contaminación de ríos y quebradas, además minimizan los riesgos sobre la salud de los habitantes mejorando su calidad de vida y el entorno.

Se trata de un sistema que con efectividad elimina la concentración de los parámetros de DBO (78.90%) y sólidos suspendidos (89.4%) y no genera lodos después del tratamiento, ya que todo material suspendido queda retenido en el lecho e inmediatamente los microorganismos comienzan con la descomposición, además resulta ecológicamente positivo y pueden contribuir a la protección de humedales naturales y zonas sensibles, especialmente en espacios naturales protegidos con hábitats para la fauna y buena integración paisajística.

1.2 Justificación

En la actualidad existe un gran incremento de la población en los sectores rurales en la ciudad de Cuenca; superando así los límites máximos permisibles de descargas líquidas domésticas, por lo que es indispensable proponer un tratamiento de aguas residuales en el sitio haciendo uso directo de los subproductos (agua, lodos), permitiendo un manejo de agua más sostenible, donde el agua y los problemas de higienización están volviéndose un problema importante.

La ejecución de este proyecto representa un gran beneficio para los sectores rurales, ya que, se buscarán nuevas alternativas ideales para implementar una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, la cual pretende ayudar a reducir el problema de contaminación ambiental hacia el sistema de alcantarillado y posteriormente a ríos y quebradas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar de manera definitiva y a detalle una planta piloto para el saneamiento de aguas residuales domésticas, esto mediante el uso de filtros naturales como nueva tecnología distribuyendo las capas de lecho entre grava, arena y un suelo heterogéneo (turba) compuesto de material vegetal descompuesto para filtrar las aguas residuales. Este

suelo proveniente del Austro Ecuatoriano, para analizar el beneficio de implementar una nueva tecnología y no centralizar los procesos de saneamiento a las plantas matrices.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Buscar un suelo andino que posea la capacidad de retención de líquidos como el sphagnum.
- Analizar el tratamiento de la turba para lugares descentralizados.
- Diseñar la planta piloto para el tipo de tratamiento elegido.
- Plantear un modelo con tres tipos de suelo diferentes para la elaboración de los planos para una planta piloto de filtros naturales.
- Emplazar geográficamente el diseño final dentro de un espacio determinado de la planta principal de Ucubamba.

1.4 Estructura del trabajo de Titulación

El trabajo de titulación presenta siete capítulos, desarrollados de manera lógica en función de los objetivos del estudio. A continuación, se detallan de manera breve los diferentes capítulos.

El capítulo uno describe los antecedentes, justificación, los objetivos de estudio y la estructura del trabajo de titulación.

El capítulo dos presenta un marco teórico, en el cual se describirán los respectivos conceptos, así como los diferentes sistemas a usarse en PTARs.

El capítulo tres realiza una descripción del proyecto; es decir, ubicación, toma de muestras, parámetros de diseños y una memoria de cálculo de la propuesta de diseño.

El capítulo cuatro muestra los resultados obtenidos de algunos análisis de tipo de suelo encontrado en varias investigaciones realizadas en paramos del austro ecuatoriano y que se usaría como lecho filtrante, formando parte de un filtro de turba.

En el capítulo cinco se hace un análisis del presupuesto para el desarrollo del proyecto.

El capítulo seis presenta las conclusiones del trabajo de titulación.

Finalmente, en el capítulo siete se realizan ciertas recomendaciones para futuras investigaciones.

2 CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1 Sistemas de tratamientos de aguas residuales

Por aguas residuales se entiende a la acción y efecto en la que el hombre introduce materias contaminantes en el agua de modo directo o indirecto; implicando alteraciones perjudiciales de su calidad con relación a los usos posteriores. Estas aguas provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos ya sea en actividades domésticas e industriales (Díaz Cuenca, Alvarado Granados, & Camacho Calzada, 2012, pág. 5).

De manera específica, las aguas residuales domesticas hacen referencia a aquellas que son producto del uso de baño, cocina y lavandería. Se estima que las aguas residuales domésticas están constituidas por agua, cerca de 99.9% y apenas 0.1% de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es la que representa los mayores problemas en su tratamiento y disposición (Díaz Cuenca, Alvarado Granados, & Camacho Calzada, 2012, pág. 5).

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es usado para la remoción y depuración de contaminantes del agua, siendo estos, orgánicos e inorgánicos, el cual puede presentarse en forma de partículas en suspensión y/o disueltas; con la finalidad de alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales, de manera que se pueda reutilizar en actividades diversas como la recreación, la industria, riego de áreas verdes, la agricultura, lavado de automóviles, etc.

El objetivo de implementar este sistema es proteger la salud pública, el ambiente, el equilibrio ecológico y la conservación de la fauna y flora presentes en el cuerpo receptor (mar, ríos, lagos), mediante la incorporación de operaciones físicas (sólidos totales, sólidos suspendidos) procesos químicos y biológicos (DQO, DBO, pH, bacterias) unitarios, todo ello en función de las características y calidad deseada del agua residual a tratar, pudiendo generar emisiones gaseosas a la atmósfera y la creación de un residuo sólido o semisólido en forma de lodos (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013, pág. 19).

2.1.1 Fundamentos básicos para el tratamiento de aguas residuales

Las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales constan de tres elementos principales:

2.1.1.1 Recogida y conducción

Las aguas residuales desde donde se generan hasta la estación de tratamiento se realizan a través de un sistema de alcantarillado, por lo general este sistema es unitario es decir además de las aguas residuales recogen aguas lluvia. Con el objetivo de que a la estación depuradora no llegue más caudal del proyectado, se instalan aliviaderos que permiten derivar los excesos de caudal, esto principalmente cuando se registran periodos de lluvias fuertes.

2.1.1.2 Tratamiento

Consiste en un conjunto de operaciones tanto físicas, químicas y biológicas; cuyo fin es el de eliminar la mayor cantidad de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que quedan en los efluentes cumplan los límites permisibles y puedan ser asimilados de manera natural por los cauces receptores.

Los tratamientos de aguas residuales pueden ser de manera convencional o no convencional, entre ellos se distinguen dos líneas de tratamiento:

2.1.1.2.1 Línea de agua

Tabla 2.1 Etapas de la línea de agua, ordenadas secuencialmente de izquierda a derecha, en el tratamiento de las aguas residuales

Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Objetivo	Objetivo	Objetivo	Objetivo
Eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas.	Eliminación de materia sedimentable y flotante.	Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal.	Eliminación de sólidos en suspensión, material orgánico residual, nutrientes y patógenos.
Operaciones básicas	Operaciones básicas	Operaciones básicas	Operaciones básicas
<ul style="list-style-type: none"> - Cribado - Desarenador - Desengrasado 	<ul style="list-style-type: none"> - Decantación primaria - Tratamientos físico-químicos (coagulación-floculación) 	<ul style="list-style-type: none"> - Degradación bacteriana - Decantación secundaria 	<ul style="list-style-type: none"> - Floculación - Filtración - Eliminación de N y P - Desinfección
Procesos Físicos	Procesos físicos y químicos	Procesos biológicos	Procesos físicos, químicos y biológicos

Fuente: (Alianza por el agua, 2008, pág. 27)

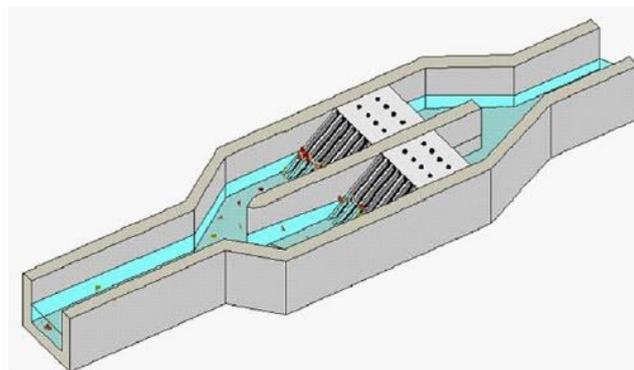
2.1.1.2.1.1 Pretratamiento

Con este proceso se busca eliminar partículas sólidas que puedan causar problemas a los procesos tanto físicos como biológicos. Esto quiere decir que se busca separar mediante procesos físicos y mecánicos los elementos no orgánicos y descomponerlos a un tamaño considerable, para de esta manera evitar posibles obstrucciones en los accesorios del sistema de tratamiento de agua residual como son tuberías, válvulas, etc. (Salas Rodriguez, Pidre Bocado, & Cuenca Fernandez, pág. 36)

La fase de pretratamiento pasa por las siguientes operaciones:

- **Áreas de Cribas:** Estos mecanismos se colocan generalmente en el canal de entrada de una planta de tratamiento y consisten en redes o placas metálicas perforadas cuya función es la de separar o reducir solidos de distintos tamaños antes de que estos puedan alcanzar las bombas de aguas residuales u otros equipos mecánicos. La distancia y abertura de estos mecanismos depende de los materiales que se quiera interceptar y su limpieza se puede hacer de manera mecánica o manual (Ramalho R. , 2003, pág. 96). Los productos recogidos que incluyen madera, piedras, telas, plásticos entre otros se destruyen por incineración o se envían directamente al vertedero. Estas cribas las podemos encontrar en dos tipos según su uso:
 - Cribado fino: la separación libre entre barrotos va desde 10 a 25 mm.
 - Cribado grueso: estos tienen una separación libre entre barrotos de 50 a 100 mm, y en este tipo de cribado se debe considerar el ancho de los barrotos los cuales van desde 12-25 mm si el rejado es grueso y 6-12 mm si el rejado es fino (Arce, 2013, pág. 12).

Figura 2.1 Área de criba o rastrillos



Fuente: (Belzona, 2010, pág. 18)

- **Desarenadores:** El objetivo de este proceso es la eliminación de partículas con tamaño mayor a 0.2 mm, para así evitar la sedimentación en canales y proteger a las bombas. Aunque el objetivo es la eliminación de arenas, en estos procesos también se puede detener gravas y partículas minerales que no hayan sido interceptadas por las cribas (Salas Rodriguez, Pidre Bocado, & Cuenca Fernandez, 2007, pág. 40).

Figura 2.2 Desarenador



Fuente: (Salas Rodriguez, Pidre Bocado, & Cuenca Fernandez, 2007, pág. 40)

- **Desengrasadores o trampas de grasa:** Son tanques en la que las aguas residuales tienen poca permanencia y en los cuales se produce la flotación de partículas con densidad específica menor a la del agua (Secretaría del Agua, 1992, pág. 339). El objetivo de estos tanques es la eliminación de grasas, aceites y partículas ligeras flotantes mediante separación sólido-líquido con un proceso de insuflación de aire, que permite des emulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad (Arce, 2013, pág. 13).

Figura 2.3 Desengrasadores



Fuente: (Salas Rodriguez, Pidre Bocado, & Cuenca Fernandez, 2007, pág. 41)

- **Medidor de caudal:** Aunque los dispositivos empleados para la medición de caudales no proporcionan ningún tipo de depuración a las aguas residuales, si nos permiten determinar los caudales de agua a tratar y de esta manera ajustar las operaciones a realizar en los procesos que pueda haber a continuación y así estimar un coste por unidad de volumen (Salas Rodriguez, Pidre Bocado, & Cuenca Fernandez, 2007, pág. 42).

Figura 2.4 Medición de caudal en vertedero triangular



Fuente: (Salas Rodriguez, Pidre Bocado, & Cuenca Fernandez, 2007, pág. 43)

2.1.1.2.1.2 Tratamiento primario

Los tratamientos primarios más habituales son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación-floculación y filtración (Chavez Vera, 2017, pág. 13).

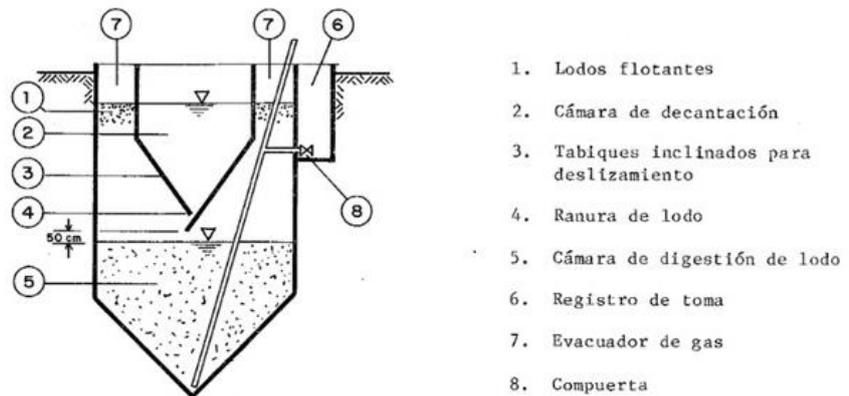
- **Sedimentación:** En este nivel se busca separar gran parte de sólidos en suspensión y materia orgánica, usando a favor la fuerza de gravedad. Su objetivo principal es retirar sedimentos flotantes o en suspensión para que de esta manera no se logren entorpecer los procedimientos posteriores. Este tratamiento es capaz de remover una carga orgánica de entre un 25% a 35% de DBO y entre el 40%-50% de los sólidos suspendidos (Organización Panamericana de la Salud, 2005, pág. 13).

- **Coagulación – Floculación:** La coagulación es un proceso en el que se utiliza un reactivo químico llamado coagulante; el cual puede ser alumbre o cloruro de hierro, el mismo que trata de retirar las partículas más grandes convirtiéndolas en flóculos, generando una desestabilización de la suspensión coloidal.
La floculación es el proceso de separación de líquido-sólido de las partículas suspendidas residuales, es decir las partículas pequeñas (Arce, 2013, pág. 14).

Las unidades en donde se evidencian estos procedimientos son:

- **Tanques Imhoff:** Es una unidad de tratamiento primario cuyo objetivo es el de remover sólidos suspendidos. Es de gran utilidad para comunidades entre los 5000 habitantes o menos debido que ofrecen grandes ventajas para el tratamiento de aguas residuales, ya que integran tanto la sedimentación como la digestión de lodos sedimentados en una misma unidad.
Estos tanques son de muy fácil operación y tienen una gran ventaja al no requerir partes mecánicas, consta de tres compartimentos los cuales son la cámara de sedimentación, cámara de digestión de lodos y área de ventilación (Organización Panamericana de la Salud, 2005, pág. 11).

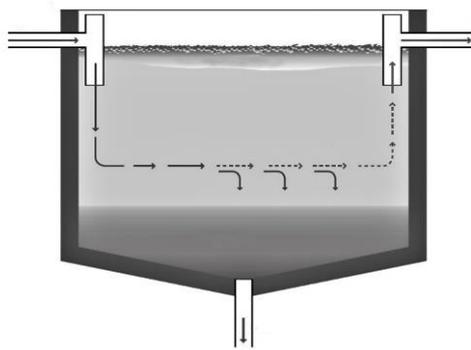
Figura 2.5 Estructura del tanque imhoff



Fuente: (blogdeltratamientodelaguaresidual.blogspot.com)

- **Tanques de Sedimentación:** Estos tanques son de gran ayuda para poder separar los sólidos de los líquidos en los lodos fecales, su funcionamiento es muy similar al de los tanques sépticos. De acuerdo a su tamaño estos pueden incluir o no equipos mecánicos y otros procesos de transporte de lodos los cuales pueden llegar a aumentar en gran medida su precio (Dodane & Magalie, 2014).

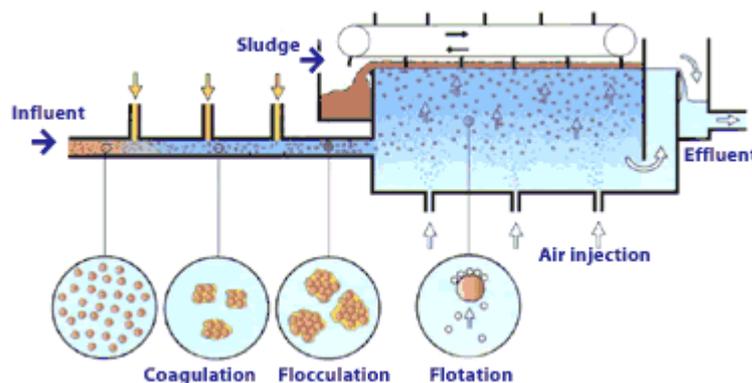
Figura 2.6 Tanque de sedimentación



Fuente: (sswm.info)

- **Tanques de Flotación:** En estos tanques se produce un proceso determinado de manera sencilla como un asentamiento en reversa. Se ingresa al sistema muchas burbujas de aire de diámetro muy pequeño que van elevando la materia suspendida para luego ser limpiadas en la parte superior del tanque.

Figura 2.7 Tanque de flotación



Fuente: (www.elaguapotable.com)

2.1.1.2.1.3 Tratamiento secundario

Son procesos de naturaleza biológica en donde se utilizan microorganismos para eliminar materia orgánica biodegradable. Este tratamiento consiste puramente en procesos biológicos, y para que sea aún más efectivo se debe lograr un balance entre el nivel de desperdicios orgánicos, el oxígeno disuelto y los niveles bacterianos.

Los procesos biológicos se dividen en dos grupos: aerobios y anaerobios.

- **Procesos aerobios:** La parte determinante de este proceso es que se realiza en presencia de oxígeno para que de esta manera las bacterias cumplan con su tarea de descomponer el material orgánico dañado de las aguas residuales a tratar; en el fondo del tanque se depositan desechos sólidos tomando el nombre de lodo activo.

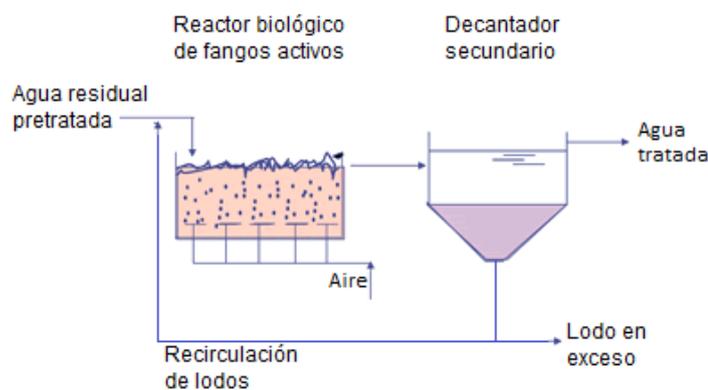
Una vez que las aguas residuales pasan por este proceso de aireación, estas son depositadas en tanques de sedimentación secundario, aquí se les otorga tiempo a los microorganismos para que cumplan con la función de permitir que tanto los flóculos como las impurezas adicionales sean retiradas de la superficie antes de salir al siguiente tratamiento (Belzona, 2010, pág. 27).

- **Procesos anaerobios:** En este proceso la materia orgánica es descompuesta con microorganismos sin la presencia de oxígeno. Es un proceso de fermentación en donde la materia orgánica de manera mayoritaria se converge en metano y CO_2 sin oxígeno y aquí la producción de lodo es baja, a diferencia del proceso aeróbico este es más lento y más sensible a tóxicos inhibidores.

A continuación, se presentan las siguientes opciones de depuración que son utilizadas para realizar un tratamiento secundario.

- **Lodos Activos:** Se trata de un proceso aerobio, el cual consiste en añadir flóculos o grupos de materia orgánica con microorganismos al agua residual e infiltrar constantemente oxígeno para que se produzcan las reacciones.

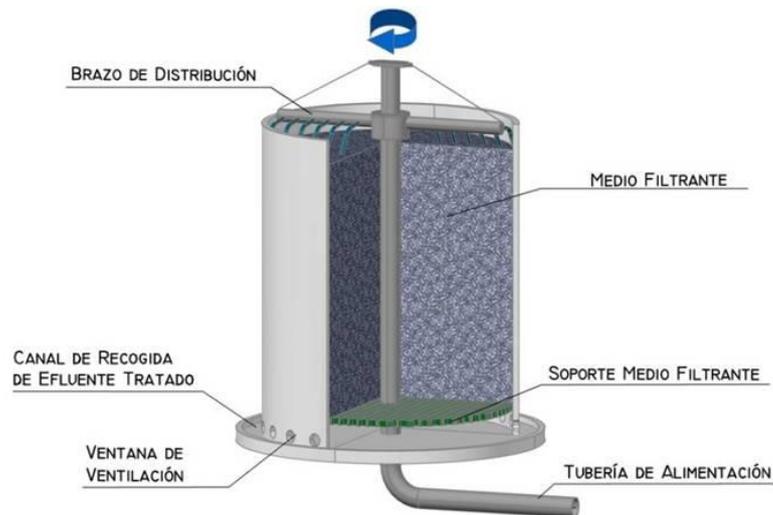
Figura 2.8 Fangos Activos



Fuente: (www.gedar.com)

- **Lechos bacterianos:** También conocidos como filtros biológicos, realiza un proceso aerobio. Se trata de soportes donde se encuentran los microorganismos, donde el agua residual se va echando en pocas cantidades para mantener las condiciones aeróbicas.

Figura 2.9 Lecho bacteriano



Fuente: (www.iagua.es)

- **Filtros verdes:** Se basan en la propiedad que tiene el suelo de depurar física y biológicamente las aguas que le son aplicadas en forma de riego, ya que estos tienen la capacidad de absorber sus compuestos.

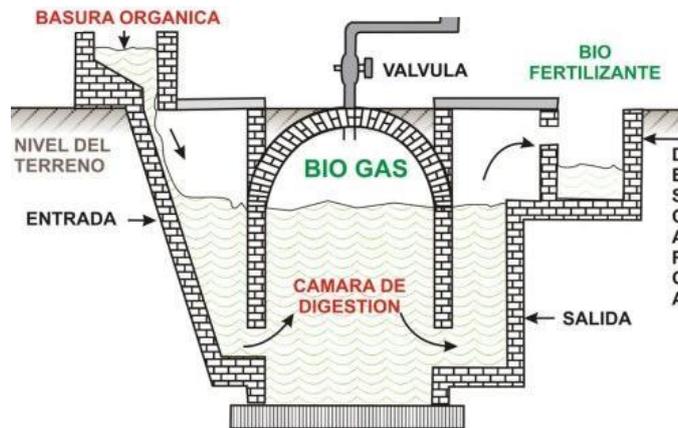
Figura 2.10 Filtro verde



Fuente: (siegua.com, 2017)

- **Digestión Anaerobia:** Corresponde a un proceso anaeróbico que se realiza en tanques completamente cerrados, se utiliza especialmente cuando las aguas residuales tienen una gran carga contaminante.

Figura 2.11 Digestión anaerobia



Fuente: (www.biodisol.com)

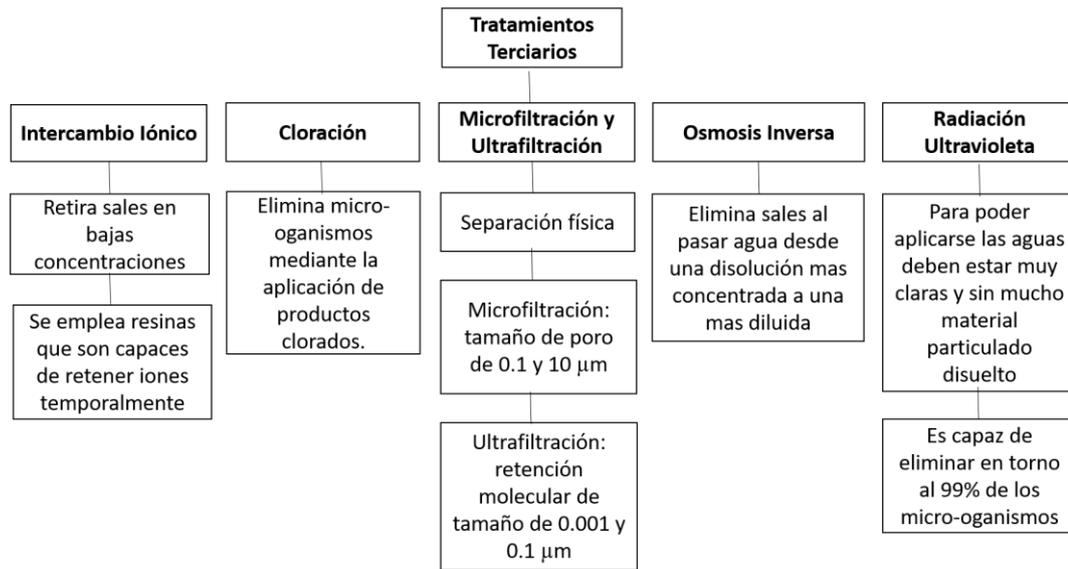
- **Otros:** Entre ellos están biodiscos, biocilindros, electrocoagulación, etc. (www.cyclucid.com).

2.1.1.2.1.4 Tratamiento terciario

Es el procedimiento más completo para tratar el contenido de las aguas residuales. En este tratamiento se eliminan los sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica remanente no biodegradable, es vital pasar por este tratamiento cuando el agua va a tener un uso específico en particular como, por ejemplo, jardines u otros espacios públicos que supongan un riesgo para la salud humana, por ello implica una diversidad de combinación de operaciones y trabajos unitarios; pudiendo ser una filtración con arena, procesos de filtración con membrana, tratamientos de desinfección, etc. (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013, pág. 25).

El proceso de este tratamiento terciario tiene como finalidad reducir considerablemente los nutrientes inorgánicos en especial los fosfatos y nitratos, y es un proceso netamente físico-químico (Belzona, 2010, pág. 28).

Figura 2.12 Tratamiento terciario



Fuente: (Iñiguez & Rivadeneira)

2.1.1.2.2 Línea de lodos

El fango o lodo pasa también por una serie de procesos, siendo la última etapa la deshidratación del mismo.

Al deshidratar el fango; es decir retirar el contenido de agua, al fango se le debe dar una disposición final, en estos casos puede ser conducido a un depósito de basuras, incinerarlo, mezclarlo con desechos domésticos sólidos o en todo caso emplearlo para mejorar suelos a manera de estiércol de animal, aunque se debe analizar bien estos casos ya que unos pueden resultar más costosos.

Tabla 2.2 Tratamiento en la línea de lodos

Espesamiento	Estabilización	Acondicionamiento	Deshidratación
Objetivo	Objetivo	Objetivo	Objetivo
Incrementar la concentración de sólidos.	Reducir la fracción de biodegradable de los lodos.	Mejorar las características del lodo para facilitar su deshidratación.	Reducir el contenido en agua.
Operaciones básicas	Operaciones básicas	Operaciones básicas	Operaciones básicas
<ul style="list-style-type: none"> - Espesado por gravedad - Espesado por flotación - Centrifugación 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilización aerobia - Estabilización anaerobia 	<ul style="list-style-type: none"> - Adición de floculantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Secado mecánico - Secado térmico - Eras de secado

	– Estabilización química		
Procesos Físicos	Procesos físicos, químicos y biológicos	Procesos biológicos	Procesos físicos

Fuente: (Alianza por el agua, 2008, pág. 27)

En resumen, las tecnologías convencionales/no convencionales usadas para la depuración de aguas residuales se diferencian en:

En las tecnologías convencionales los procesos transcurren de forma secuencial en tanques y reactores, y a velocidades aceleradas gracias al aporte de energía, mientras tanto en las tecnologías no convencionales estas son operadas a velocidades “naturales”; esto quiere decir, que no hay aporte de energía, desarrollándose los procesos en un único reactor-sistema. El ahorro de energía que se tiene de este tipo de tratamiento se compensa al requerir mayores superficies.

Figura 2.13 Tecnologías convencionales vs tecnologías no convencionales



Fuente: (Salas Rodriguez, Pidre Bocado, & Cuenca Fernandez, 2007, pág. 81)

2.2 Sistema descentralizado (no convencional) de tratamiento de aguas residuales

El objetivo principal de una estación depuradora de aguas residuales es lograr el tratamiento de estas aguas, al objeto de evacuar unos efluentes depurados, que cumplan los requisitos de calidad establecidos en la normativa vigente, con el mínimo coste económico y medioambiental posible.

Por ello a pesar de existir sistemas de tratamiento convencionales, se evidencian otro tipo de tratamientos que son denominados sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales. Estos a pesar de ser una tecnología emergente han logrado integrarse de buena manera como sistemas de saneamiento para zonas urbanas de rápido

crecimiento y para comunidades aisladas (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, 2017).

Una razón por la cual los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales no tienen éxito en países en vías de desarrollo es el alto costo que requiere su construcción, consumo de energía, de operación y de mantenimiento, por lo que estos sistemas de tratamiento convencionales no son sostenibles para poblaciones pequeñas y con bajos recursos. Ante dichas características es importante considerar la implementación de nuevas tecnologías alternativas basadas en procesos naturales.

Un gran beneficio que nos aporta el tratamiento descentralizado es poder tratar las aguas residuales cerca de su origen y en pequeñas comunidades con la ventaja de una reducción en los costos de inversión, operación, mantenimiento y consumo energético, lo que daría como resultado una solución muy viable para países en vías de desarrollo (Hernández, Mena-Ulecia, & Rovirosal, 2009, pág. 1).

2.3 Saneamiento en zonas rurales

Las principales causas de mortalidad en Latinoamérica tienen que ver con enfermedades producidas por el contacto con desechos humanos, ya sea en agua o en alimentos; es por ello que, contar con agua potable y saneamiento es esencial para la calidad de vida, el desarrollo económico de los pueblos y la sostenibilidad de los recursos naturales (Useche Melo, 2012, pág. 7).

En las áreas rurales el estilo de vida de las personas es distinta a los sectores urbanos, la diferencia parte desde la cultura (costumbres), aspecto geográfico, distancias de entre una casa a otra etc., por ello el saneamiento e higiene tiene que ser pensada desde sus necesidades y el entorno, de allí la importancia de conjugar la tecnología y el entorno natural, para sostener procesos de construcción más naturales, robustas y de bajo costo (UNESCO, 2014).

2.4 Tecnología alternativa de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

El crecimiento poblacional y los avances tecnológicos han aportado un gran número de ventajas a la sociedad, pero con ello también han producido una gran cantidad de contaminación generada por aguas residuales domésticas o industriales que son vertidas en fuentes de agua limpia de forma inapropiada o incluso sin tratamiento

alguno, generando impactos negativos en la salud y al medio ambiente (Bernal, Cardona, Galvis, & Peña, 2003, pág. 2).

Los procesos utilizados para la correcta remoción de contaminantes dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales son seleccionados en función de:

- Presupuesto
- Espacio
- Clima
- Características del agua a tratar
- Calidad del agua que se desea obtener.

El método seleccionado constituye la tecnología a utilizar para el tratamiento de las aguas residuales de los asentamientos humanos rurales, y puede clasificarse según el proceso biológico que realiza en: sistemas anaerobios, aerobios y naturales.

Los procesos anaerobios y aerobios fueron mencionados anteriormente, es por ello que a continuación profundizaremos en sistemas naturales.

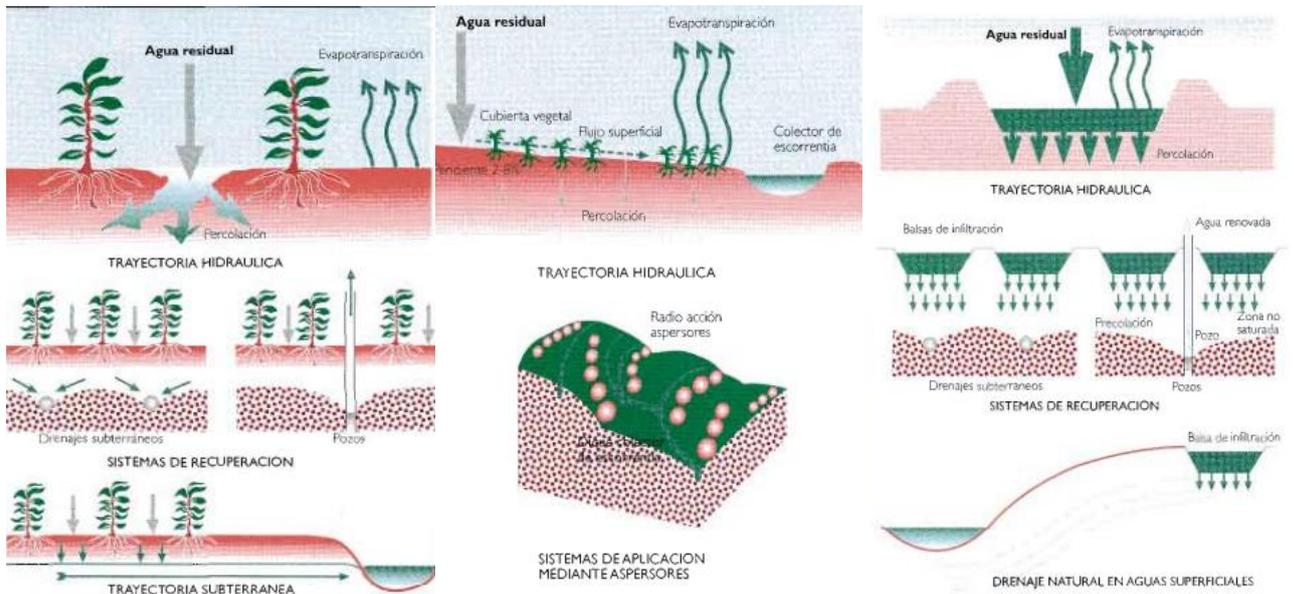
2.4.1 Sistemas Naturales de Tratamiento

Habitualmente se diferencian dos grandes grupos, en todos ellos, el efecto depurador se debe a la acción de la vegetación, suelo, microorganismos (terrestres y acuáticos) y, en menor medida a la acción de animales superiores.

2.4.1.1 Tratamiento en el terreno

- Filtro Verde
- Infiltración rápida
- Flujo superficial

Figura 2.14 De izquierda a derecha: Esquema del método de filtro verde, Esquema del método de infiltración rápida RI, Esquema del método de flujo superficial OF



Fuente: (igme.es, págs. 3,4)

- Lecho de turba

Turbera

Las turberas son un tipo de humedal donde el agua es un elemento determinante del paisaje y el factor principal que regula todas las formas de vida que se desarrollan en estos ecosistemas (Domínguez Díaz & Bahamonde Aguilar, 2012, pág. 11).

Las turberas tienen importantes funciones ecológicas, entre ellas están:

- Prevenir inundaciones
- Condicionan características de drenaje en las cuencas hídricas en las que se encuentran, pues absorben la precipitación y la escorrentía
- Proveen de hábitats críticos para comunidades únicas de plantas y animales

Debido a todo lo mencionado, es que se consideran a las turberas como importantes reservorios de agua dulce.

Turba de musgo sphagnum

La turba de musgo canadiense *sphagnum* se deriva de la lenta descomposición de musgos del género *sphagnum* que se acumula en los pantanos de Canadá, siendo este país el segundo productor mundial de turba de musgo *sphagnum* (López Garrido, 2004, pág. 23).

Figura 2.15 Turba de musgo sphagnum



Fuente: (Domínguez Díaz & Bahamonde Aguilar, 2012, pág. 19)

Las características más importantes a considerar de turbas de musgo *sphagnum* son: fácil aireación de las raíces evitando que se pudran, retiene grandes cantidades de agua en sus células, no se compacta como la tierra aprovechando de esta manera el rápido crecimiento de las raíces y por lo tanto de sus plantas, pH ácido, contiene más del 95% de materia orgánica (menos de 2% de ceniza) lo que mejora la estructura del suelo y la actividad de los microorganismos que habitan en él, el volumen de poro que indica la capacidad de un suelo para retener agua y aire, es mayor del 96% (Martínez, 2014, pág. 155).

La existencia de turba de musgo *sphagnum* es la característica principal que define a las turberas (humedal), y edafológicamente las turbas no son más que suelos orgánicos o también conocido como histosoles.

2.4.1.2 Sistemas Acuáticos

2.4.1.2.1 Lagunaje

Figura 2.16 Lagunaje



Fuente: igme.es

2.4.1.2.2 Cultivos acuáticos

Figura 2.17 Cultivos acuáticos



Fuente: igme.es

2.4.1.2.3 Humedales

Los humedales naturales son zonas inundadas o saturadas, ya sea por aguas superficiales o por aguas subterráneas y cuya frecuencia, duración son suficientes para mantener especies de plantas adaptadas a crecer en suelos saturados. Además, brindan beneficios ambientales como lo es al mejorar la calidad ambiental, generan mejoramientos paisajísticos, entre otros. Se debe considerar que existen humedales creados a partir de zonas húmedas naturales y humedales construidos artificialmente (igme.es, pág. 8).

Los humedales artificiales o filtros “wetland”, son sistemas de tratamiento de aguas residuales construidos mecánicamente por el hombre, constituidos principalmente por materiales granulares (grava generalmente) sobre los cuales se desarrolla un sistema de raíces conocidos como carrizos o totora en los países andinos. A través de estos filtros fluye el agua a tratar y en el cual se producen diversos procesos de tratamiento (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013, pág. 46).

Estos sistemas son utilizados para tratar las aguas residuales, lixiviados de rellenos sanitarios, residuos de tanques sépticos, etc., mediante la interacción químico-biológica del suelo, plantas y microorganismos, en conjunto con métodos físico-químicos como lo son la precipitación y la adsorción. Además, tienen la capacidad de remover nutrientes y cargas orgánicas presentes en los efluentes, siendo considerados como tratamientos de bajo costo en lo que a mantenimiento y operación se refiere, por lo que son muy utilizados por países en vías de desarrollo. Se recomienda su utilización cuando se dispone de grandes extensiones de tierra, aunque actualmente se están probando variaciones que permiten la reducción del área requerida (Nitin Kumar Singh, 2015).

La vegetación empleada en estos humedales corresponde a la misma que se encuentra en los humedales naturales (carrizos y totoras) que son plantas anfibias que pueden desarrollar su crecimiento en aguas poco profundas y arraigadas al subsuelo. Estas plantas tienen una productividad elevada (50-70 ton. de materia seca al año) y toleran de muy buena manera la falta de oxígeno en suelos pantanosos, ya que cuentan con canales de aireación que facilitan el paso de oxígeno hacia la raíz (Alianza por el Agua, 2008, pág. 223).

2.4.1.2.3.1 Clasificación de los Humedales Artificiales

Existen diferentes criterios para clasificar los sistemas de depuración con humedales artificiales, uno de los más habituales es en función de la vegetación y del tipo de flujo.

Figura 2.18 Esquema de aplicación de los sistemas de depuración con vegetación (macrófitas)



Fuente: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 17)

2.4.1.2.3.1.1 Humedales Artificiales de flujo Superficial (HAFS)

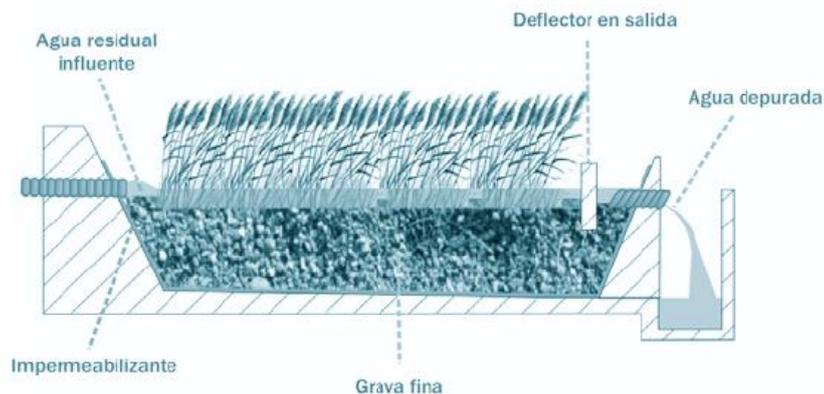
El agua generalmente se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula a través de los tallos de las plantas. Este tipo de humedales es una modificación del sistema de lagunas convencionales, cuya diferencia es que tienen menores profundidades de lámina de agua y se encuentran colonizadas de plantas acuáticas emergentes. Este tipo de tratamiento suelen necesitar de varias hectáreas de terreno para su implementación debido a que principalmente tratan efluentes que provienen de tratamientos secundarios, y que pueden ser empleados para restaurar y crear ecosistemas acuáticos (Alianza por el Agua, 2008, pág. 224).

Los HAFS se consideran como una ciénaga o pantano en la cual la vegetación se encuentra enterrada entre una altura de 10 a 45 cm. Se construyen generalmente con revestimientos de materiales impermeables (como puede ser la geomembrana) que

impiden la infiltración del líquido hacia otros acuíferos subterráneos o adyacentes, también para la retención total del afluente y para evitar pérdidas por evapotranspiración. La vegetación que se encuentra en estos humedales sirve como soporte del crecimiento bacterial y evitan el crecimiento de algas. Es recomendable que para que la reacción sea apropiada las cargas de DBO deben tener un valor máximo de 112 kg DBO/ha.d. Un humedal de flujo superficial permite remociones altas de DBO, SST, nitrógeno, patógenos y metales. El tiempo es un factor primordial debido a que entre mayor tiempo de retención mayor es la remoción (Romero, 1999, pág. 452).

En términos de paisaje, este sistema es muy recomendable ya que puede albergar a una gran diversidad de especies de aves, anfibios, peces. (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 17).

Figura 2.19 Humedal artificial de flujo superficial



Fuente: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 17)

2.4.1.2.3.1.2 Humedales Artificiales de flujo Subsuperficial (HAFSS)

En los HAFSS el agua trata de circular a través de capas de materiales granulares (grava, gravilla y arena) confinados en un recinto impermeabilizado y sobre el cual la vegetación produce su enraizamiento. Estos sistemas son empleados para tratamiento de aguas residuales en poblaciones no mayores a 2000 habitantes (Alianza por el Agua, 2008, pág. 225).

Una de sus características principales es que requieren una menor cantidad de área para su funcionamiento y no generan olores o la proliferación de mosquitos. Así como ventajas tiene desventajas y estas son que resultan más costosas debido a los materiales de construcción y tienen un riesgo de taponamiento. La vegetación que lo compone es

semejante a la de los humedales de flujo superficial (Alianza por el Agua, 2008, pág. 225).

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial se pueden clasificar de acuerdo a la forma de ingreso del agua al sistema y estos son:

- **Humedales Subsuperficiales de flujo horizontal:** Su diseño consiste generalmente en una cama de arena, tierra y grava; que es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones y plantada con macrófitas acuáticas (generalmente carrizos).

El agua que ingresa lo hace de forma permanente mediante una tubería ubicada en la parte superior de uno de sus extremos y es recogida por un tubo de drenaje colocado en la parte inferior opuesta. Este sistema tiene una profundidad de lecho de 0.45 a 1 m y una pendiente que puede ir de 0.5 a 1%.

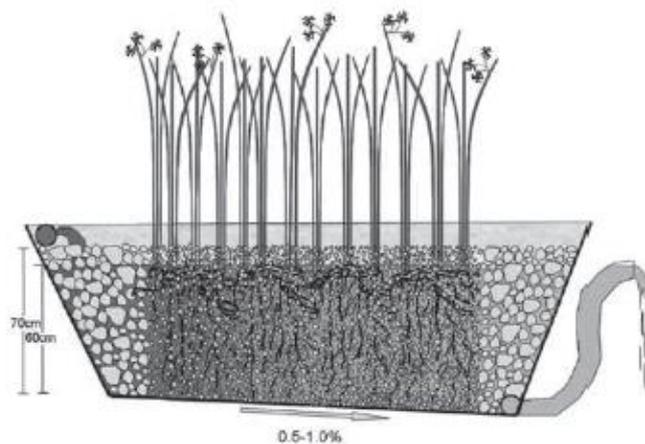
El agua a tratar no ingresa directamente al cuerpo (medio granular principal), sino que pasa primero por una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño.

Para la recolección del líquido se utiliza un tubo de drenaje cribado, rodeado de grava del mismo diámetro que la usada en la zona de amortiguación (este diámetro puede oscilar entre 50 y 100 mm). La zona de plantación se encuentra constituida por grava fina con un solo diámetro entre 3 a 32 mm.

Es de fundamental importancia que el agua que ingresa mantenga un nivel inferior a la superficie de 5-10 cm, lo cual se logra regulando el caudal de salida (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 18).

Los tiempos de retención hidráulica con que operan son de varios días.

Figura 2.20 Humedal subsuperficial de flujo horizontal



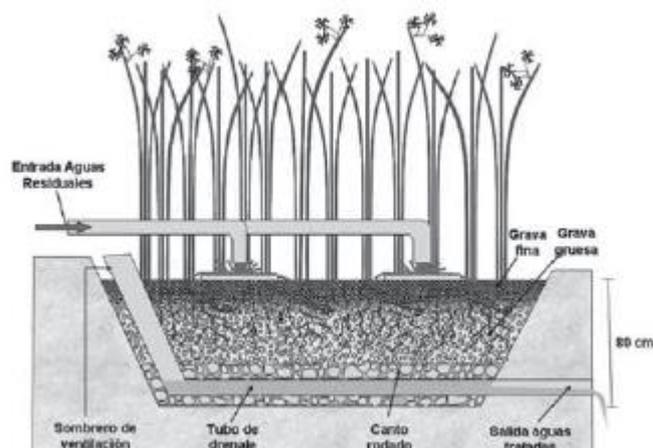
Fuente: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 18)

- **Humedales Subsuperficiales de flujo vertical:** El agua que ingresa lo hace de forma intermitente. De esta manera, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas de períodos de insaturación, estimulando así el suministro de oxígeno.

Este tipo de humedales reciben las aguas residuales desde la parte superior que son ingresadas a través de un sistema de tuberías. Las aguas residuales (infiltradas verticalmente) pasan a través de un sustrato inerte de arena y grava de espesor aproximado de 1m y se recogen a través de un sistema de drenaje ubicado en la parte inferior del humedal. Debido a que las aguas son ingresadas intermitentemente al sistema estimulan y preservan al máximo las condiciones aerobias.

También se puede colocar adicionalmente sistemas de aireación por chimenea para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, mediante tuberías cribadas con salida a la superficie. La diferencia que existe con los humedales de flujo horizontal consiste en la constitución por capas, las cuales se encuentran con diámetros menores en la parte superior y aumentando su diámetro a medida que se va profundizando (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 19). Los tiempos de retención con que operan los HAFSS verticales son de unas pocas horas, pero sus cargas superficiales orgánicas son muy superiores a la de los HAFSS horizontales.

Figura 2.21 Humedal subsuperficial de flujo vertical



Fuente: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 18)

2.4.1.2.3.2 Factores que condicionan el establecimiento de humedales artificiales

- **Dimensiones del humedal**

Para dimensionar el humedal se determinan las condiciones existentes de DBO, SST del afluente, temperatura promedio y promedio del flujo diario del afluente.

- **Topografía y características del suelo**

Se debe buscar terrenos con pendientes ligeras del 1%, además es recomendable que los suelos sean de baja permeabilidad caso contrario se tendría que impermeabilizar. De esta manera se reducirán los costos.

- **Inundabilidad del terreno**

Es recomendable instalar los humedales artificiales en terrenos fácilmente inundables o en aquellos donde el efluente llegue por gravedad.

2.4.1.2.3.3 Partes de los humedales de flujo subsuperficial

- **Agua residual**

Es recogida por medio de redes de alcantarillado; estas han sufrido modificaciones por diversos usos en actividades domésticas, y son enviadas hacia el humedal.

- **Sustrato**

O también conocido como medio granular, puede estar conformado por arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. Son importantes por varias razones; entre ellas es que muchas de las transformaciones químicas y biológicas tienen lugar dentro del sustrato.

Estos materiales deben tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a tratar.

- **Vegetación**

La vegetación (Macrófitas) es de gran importancia debido a que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Cuando se mueren y deterioran dan lugar a restos de vegetación.

Las especies que frecuentemente se encuentran en los humedales incluyen:

Totora

- Es ubicua en distribución y robusta.
- Asimilación directa de nutrientes.
- Transportan grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces.

- Se caracterizan por crecer en grupos, especialmente en aguas costeras y humedales.
- Crecen desde los 5cm hasta los 3m de profundidad.

Figura 2.22 Totora



Fuente: (<https://es.wikipedia.org>, 2020)

Carrizo

- Son eficaces en la transferencia de oxígeno porque sus rizomas penetran verticalmente y más profundamente.

Figura 2.23 Carrizo



Fuente: (<https://www.elblogdelatabla.com>, 2013)

- **Microorganismos**

Se encargan de realizar tratamiento biológico. Actúan de diferente manera; es decir en la superficie abundan microorganismos aerobios debido a que predomina el oxígeno de la atmósfera, mientras tanto en el resto del lecho granular predominan microorganismos anaerobios. Algunos microorganismos presentes son: bacterias, hongos y protozoarios.

- **Animales**

Los humedales proveen un hábitat para una rica diversidad de animales. Entre ellos los animales invertebrados como insectos y gusanos ya que contribuyen al proceso de consumir materia orgánica y los animales vertebrados constituidos por pájaros e incluso patos silvestres.

2.4.1.2.3.4 Flujo superficial vs Flujo subsuperficial

Figura 2.24 Ventajas y desventajas

	Flujo superficial	Flujo subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ej. Lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera).	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ej. Tanques IMHOFF, pozos sépticos).
Operación	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de carga orgánica.
Olor	Puede ser controlado	No existe
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante
Área	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño
Costo	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar el precio hasta un 30%
Valor ecosistema	Mayor valor como ecosistemas para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna.
Usos generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente para casas aisladas y núcleos menores de 200 habitantes.
Operación	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua)	Puede usarse como tratamiento secundario.

Fuente: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 27)

Figura 2.25 Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical

	HORIZONTAL	VERTICAL
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo
Estado oxidación	Más reducido	Más oxidado
Eficiencia	Más superficie	Menos superficie
Carga superficial	4-6 g DBO5/m2-d	20-40 g DBO5/m2-d
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Más compleja

Fuente: (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade , 2010, pág. 28)

2.5 Filtros de turba

Las aguas residuales que provienen de la etapa de pretratamiento alimentan los filtros mediante una serie de tuberías que reparte el agua, de la forma más homogénea, sobre la superficie de la turba. Estos a su vez son recogidos en el fondo de los filtros mediante canales o tuberías de drenaje.

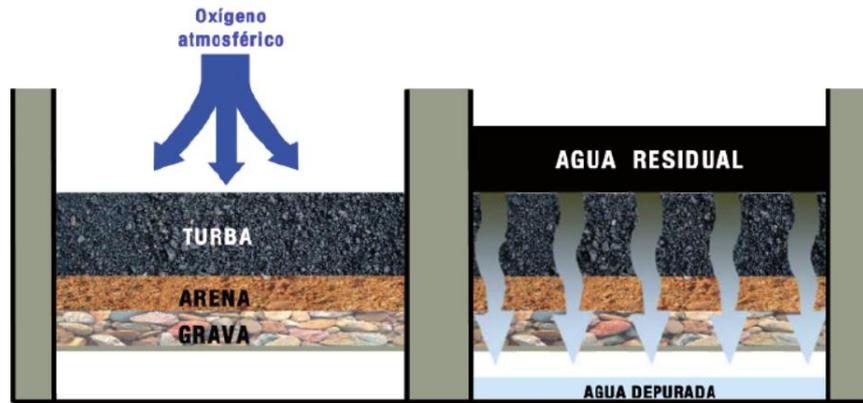
Los filtros de turba se encuentran integrados por las siguientes capas filtrantes: turba, gravilla y grava, estas distribuidas de arriba hacia abajo como se muestra en la Figura 2.26. Estos filtros tienen ciclos operativos de 10 y 12 días, y consisten en retener sólidos en la superficie; formándose una capa que con el tiempo se seca y puede ser eliminada mediante rastrillos, mientras el agua comienza su proceso de filtrado.

La acción de depuración se realiza en la capa de turba, las capas restantes solamente detienen al inmediato superior. La depuración se consigue gracias a la combinación de una serie de acciones estas son:

- **Acciones físicas:** La turba ejerce una acción de filtro mecánico, esta acción resulta efectiva cuando menor sea la granulometría de la turba a usarse; es decir, las propiedades físicas de la turba varían con la distribución de tamaño de las partículas que las constituyen.
- **Acciones químicas:** Se refiere principalmente a las reacciones de oxidación-reducción que se dan a consecuencia de las condiciones de aireación y encharcamiento del sustrato filtrante que sucede a lo largo del ciclo operativo de los filtros de turba.
- **Acciones biológicas:** La turba actúa como un medio en el que se desarrolla y mantiene una actividad bacteriana, que le permite al lecho filtrante la capacidad de depuración biológica de aguas residuales.

El filtro de turba dependiendo del tiempo y del mantenimiento, va perdiendo sus propiedades especialmente la capacidad de filtración, por lo que requerirá un cambio de turba. Este tiempo hace referencia a 7 -8 años, que es la duración media de una turba si cumple adecuadamente con los requisitos exigibles de funcionamiento (Salas Rodríguez, Pidre Bocado, & Cuenca Fernandez, 2007).

Figura 2.26 Filtro de turba

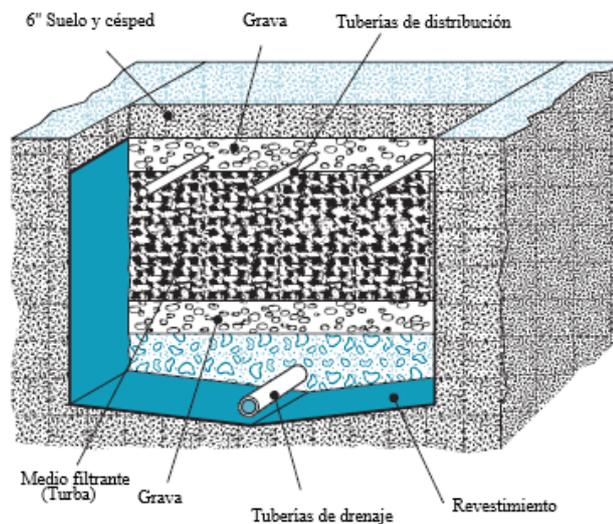


Fuente: http://depuranat.itccanarias.org/index2.php?option=com_tecnologias&func=ver&id=10

2.6 Peat filter

El peat filter se encuentra configurado como se muestra en la Figura 2.27, siendo los componentes más importantes la turba (peat), tuberías de distribución y tuberías de recolección. El medio filtrante de este sistema corresponde a una almohadilla de sphagnum. Una unidad de turba no es más que la mezcla de varios componentes cuyos porcentajes conformadores se detallan en la Tabla 2.3. Este tipo de filtro resulta muy eficaz al eliminar los sólidos en suspensión.

Figura 2.27 Sección transversal de filtro de turba



Fuente: (Gustafson, Anderson , & Chistopherson , 2001)

Tabla 2.3 Caracterización física de una unidad de lecho filtrante turba

Histosol	30 %
Madera	30 %
Herbáceas y raíces	5 %
Carbón vegetal	3 %
Detritos	32 %
Contenido de fibra sin frotar	69 %
Contenido de fibra frotada	42 %

Fibra Gruesa (8.5 – 15 mm)	34 %
Fibra mediana (2.36 – 8.5 mm)	37 %
Fibra fina (< 2.36 mm)	29 %
Contenido orgánico	88 %
Contenido de cenizas	12 %
pH (agua)	4.4
pH (Cloruro de calcio)	3.6
Contenido de humedad	60 %

Fuente: (Gustafson, Anderson , & Chistopherson , 2001)

La configuración del medio filtrante para el filtro de turba se detalla en la Tabla 2.4, esta configuración es de acuerdo al caudal que se desea tratar. Una alternativa como medio filtrante sería el histosol ya que sería el elemento representativo con el cual se relacionaría el sphagnum, logrando un rendimiento de tratamiento muy similar al de un filtro de turba.

Además, estudios anteriores han demostrado que la profundidad de un filtro de turba de 20 a 30 cm realiza una excelente remoción de DBO, DQO y TSS, pero para garantizar una buena eliminación de nitrógeno y fosforo se recomienda una altura de 50 cm (Headley, 2006). Por ello y sabiendo que la mayor parte del tratamiento ocurre dentro de los 30 cm superiores de turba se toma una profundidad de 40 cm para el presente estudio.

Tabla 2.4 Caracterización física de una unidad de lecho filtrante turba

Entrada de caudal	Q= 86.4	m ³ /día
Musgo	h= 5	cm
Histosol	h= 35	cm
Arena	h= 10	cm
Grava mediana	h= 10	cm

Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021)

2.6.1 Caracterización general del Austro Ecuatoriano

El Ecuador se caracteriza por su ubicación especial, dando como resultado diferentes zonas climáticas como lo es en la Costa que es húmeda y seca, el Oriente predomina el clima cálido, tropical y siempre húmedo; mientras tanto, la Sierra es muy variado ya que depende de la influencia de la Costa o del Oriente, causando variaciones de temperatura y de precipitaciones. Además, debido al paso de la cordillera de los Andes por el país, se puede encontrar complejos de paramos, dispuestos en el sur del país menos húmedos y de menor altitud que en la zona norte (Llambí et al., 2012, pág. 28).

Los paramos mas bajos presentan suelos oscuros, con acidez moderada, alto contenido de agua, nutrientes como potasio y nitrogeno y altos contenidos de materia organica asi como la capacidad de retener agua (Llambí et al., 2012, pág. 31).

Los factores de formación de suelo son:

- Material parental: la cordillera de los andes está formada geológicamente por rocas que han sido expulsadas en forma de lava, todos estos fragmentos de roca son materiales que dan origen al suelo.
- Clima: la velocidad con la que se forman los suelos está condicionada por las lluvias, en paramos la lluvia puede ir desde los 500 a 3000 mm/año y con temperaturas que varían entre 15°C a 20°C en el día.
- Vegetación: es un buen indicador del tipo de suelo que hay en el sector, debido a que al morir la vegetación estas aportan al suelo materia orgánica alta.
- Relieve: se debe esclarecer que mientras menor es la pendiente, mayor será la profundidad del suelo y contenido de humedad, por lo tanto, aquellas zonas planas y depresiones favorecen la existencia de pantanos (Llambí et al., 2012, págs. 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199).

La zona del austro ecuatoriano ocupa alrededor de 8000 km² en la sierra Sur del Ecuador. Los suelos del páramo andino se clasifican a nivel mundial de acuerdo a la composición y estructura por lo tanto los suelos dominantes en este ecosistema son andosoles e histosoles.

2.6.1.1 Andosoles

Se derivan de cenizas volcánicas y presentan propiedades físicas como drenaje y fertilidad. Se caracterizan por tener densidades de 0.24-0.94 ($g * cm^{-3}$) y pH de 4-5.1 (Borja , y otros, pág. 1).

Figura 2.28 Perfil de andosol



Fuente: (Borja , y otros, pág. 2)

2.6.1.2 Histosoles

Son suelos provenientes de zonas húmedas con elevados contenidos de materiales orgánicos más o menos descompuestos por condiciones de baja temperatura, bajas densidades ($0.04 - 0.27 \text{ g} * \text{cm}^{-3}$) y bajo pH (Histosoles 4-7). De este tipo de suelo dependen la regulación hídrica de los páramos y el abastecimiento de agua.

Se encuentran en zonas planas o depresiones en donde se forman pantanos con vegetación que se adapta a condiciones de extrema humedad y acidez.

Figura 2.29 Perfil del histosol



Fuente: (Borja , y otros, pág. 2)

Figura 2.30 Histosol proveniente de Soldados - San Joaquín - Azuay



Fuente: (Rodas Ochoa)

Se debe tener en cuenta que el histosol también incluye suelos con menos materia orgánica que los suelos de turberas; es decir, que el histosol a su vez se clasifica de acuerdo al grado de descomposición de la materia orgánica (RAMSAR, pág. 4) y se identifican tres tipos: fábriico, hémico y sáprico.

Tabla 2.5 Tipos de materia orgánica

	Histosoles		
	Fábriico	Hémico	Sáprico
Densidad peso húmedo (g/cm³)	<0.1	0.07 – 0.18	>0.2
Contenido de fibras	2/3% del volumen antes de frotar 3/4% del volumen después de frotar	1/3 – 2/3% volumen antes de frotar	<1/3% volumen antes de frotar
Color	Levemente amarillo-marrón o rojizo marrón	Gris-marrón oscuro a rojo marrón oscuro	Gris muy oscuro a negro
Contenido de agua en % material seco a estufa	850-3000 % del peso del material secado	450-850 % del peso del material secado	>450 % del peso del material secado

Fuente: (Martínez Rodríguez, 2014, pág. 24)

Distribución regional de histosoles: Ocupan alrededor de 325 – 375 millones de hectáreas en el mundo, siendo la mayoría encontrada en regiones boreales subárticas y árticas bajas del hemisferio norte; como lo es en los Estados Unidos de América, Canadá y Europa occidental, los histosoles restantes se encuentran en tierras bajas templadas y frías como la plataforma de la Sonda en el sudeste Asiático y en la desembocadura de los ríos Orinoco y Mekong (Food and agriculture organization of the United Nations, 2006, pág. 93).

Tabla 2.6 Características físicas, químicas y morfológicas de suelos orgánicos presentes en los EEUU

Físicas, Químicas y Morfológicas	
Perfiles	H, C
Materia Orgánica (%)	>20-35
Carbón orgánico (%)	>12-20
pH	Acido
Densidad aparente	Baja
Porosidad (%)	Alta
Conductividad Hidráulica	Baja a Alta
Capacidad de campo	Alta
Disposición de nutrientes	Usualmente baja
Capacidad de intercambio catiónico	Alta, dominada por iones de Hidrogeno
Disposición de nutrientes	Usualmente baja

Fuente: (Martínez Rodríguez, 2014, pág. 25)

El objetivo de una caracterización de suelo es tener una visión general de las condiciones físicas, con el propósito de definir zonas aptas para las inversiones en mejoramiento agrícola, conservación natural y conocer las relaciones de uso entre las diferentes zonas, en nuestro caso es definir zonas aptas para la ubicación de humedales artificiales.

2.7 Caracterización del Agua Residual

La caracterización de las aguas residuales es una de las consideraciones básicas para seleccionar un proceso y los requerimientos para su implementación y operación. Es necesario considerar los nutrientes disponibles en los procesos biológicos y de la misma manera conocer que compuestos presentes en el influente pueden ser inhibidores y de qué manera afectan el proceso. Cabe recalcar que para una buena caracterización de aguas residuales es necesario un apropiado programa de muestreo y un análisis de laboratorio que cuente con normas estándar que puedan asegurar precisión y exactitud en los resultados obtenidos. En general esto supone un control

cuidadoso del tipo, número y parámetros de muestra a analizar (Romero Rojas, 1999, pág. 13).

En la Tabla 2.7, Tabla 2.8 y Tabla 2.9 se describe los constituyentes físicos, químicos y biológicos de aguas residuales, los contaminantes importantes a tomar en cuenta y las unidades para la correcta caracterización de las mismas (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 55).

Tabla 2.7 Propiedades físicas de las aguas residuales

CARACTERISTICAS	PROCEDENCIA
Propiedades físicas:	
Color	Aguas residuales domesticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Solidos	Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Temperatura	Aguas residuales domesticas e industriales

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Tabla 2.8 Propiedades químicas de las aguas residuales

CARACTERISTICAS	PROCEDENCIA
Constituyentes Químicos:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Grasas animales, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos Agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteína	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Otros	Degradación natural de materia orgánica
Inorgánicos:	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, aguas de suministro, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, aguas de suministro, infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domesticas

pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fosforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Azufre	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Gases:	
Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxigeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

Tabla 2.9 Propiedades biológicas de las aguas residuales

CARACTERISTICAS	PROCEDENCIA
Constituyentes Biológicos:	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas:	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Virus	Aguas residuales domesticas

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

2.7.1 Contaminantes de importancia en el tratamiento de agua residual

Las normas regulatorias de los tratamientos secundarios se basan en la tasa de eliminación de los sólidos en suspensión y materia orgánica. Muchas normas de las más exigentes también incluyen la eliminación de nutrientes y contaminantes prioritarios. En el caso de que el agua residual se pretenda reutilizar, las normativas exigen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos solidos inorgánicos disueltos (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 55).

Tabla 2.10 Contaminantes importantes de las aguas residuales

CONTAMINANTES	RAZON DE LA IMPORTANCIA
Sólidos en suspensión	Estos pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando las aguas residuales se vierten sin tratar al entorno acuático

Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de grasas animales, carbohidratos, proteínas, la materia orgánica se mide en función de la DBO y DQO. Si son descargadas sin tratar su estabilidad biológica al entorno produce agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Puede transmitir enfermedades contagiosas por medio de los organismos presentes en las aguas residuales
Nutrientes	El nitrógeno, fosforo y carbono son esenciales para el crecimiento; por lo que cuando son vertidas al entorno acuático puede favorecer al crecimiento de vida acuática no deseada y cuando son vertidas en exceso en terreno pueden provocar la contaminación de aguas subterráneas
Contaminantes Prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguada conocida o sospechada. Muchos de estos se encuentran en aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia puede resistir los métodos convencionales de tratamiento como son los agentes tensoactivos, pesticidas agrícolas y fenoles.
Metales pesados	Estos son añadidos al agua residual como producto de ciertas actividades comerciales e industriales y es de mucha importancia eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Son aquellos como el calcio, sodio y sulfatos que se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y se deben utilizar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

2.8 Normativa de descarga parra efluentes de una PTAR

Los contaminantes presentes en el efluente de una planta de tratamiento de agua residuales deben satisfacer los mínimos requerimientos establecidos por normas, esto con el objeto de mantener un control sobre las descargas en cuerpo receptor.

Tabla 2.11 Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite Máximo permisible
Coliformes termo tolerantes o coliformes fecales	CTE	NMP/100ml	2000

Demanda bioquímica de oxígeno (5días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	200
Fosforo total	P	mg/l	10.0
Materia flotante	Visibles	-	Ausencia
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30.0
Nitrógeno total Kjeldahl	TKN	mg/l	50.0
Potencial de hidrogeno	pH	-	6-9
Solidos suspendidos	SS	mg/l	130
Solidos totales	ST	mg/l	1600

Fuente: (Norma de Calidad ambiental y de descarga de efluente: recurso agua, 2017)

2.9 Operación y mantenimiento de PTARs

Para tener una operación y mantenimiento adecuado de las PTARs es necesario contar con varios recursos tanto humanos como operativos, siendo así el personal que trabaje en dichas instalaciones deben ser altamente competentes, ello incluye capacidad y responsabilidad para ejecutar a cabalidad los protocolos establecidos.

El sistema de tratamiento de aguas residuales debe garantizar una caudal constante que permita operar aún en casos que se tenga que realizar mantenimiento, por ello siempre se debe a manera de prevención tener reservas de accesorios que nos faciliten intervenir de manera oportuna cuando la situación lo amerite, sin causar interrupciones del servicio.

El mantenimiento debe ser manejado con responsabilidad y ser plasmado en un programa que sirva como guía en el que se puede establecer pautas tales como: objetivos del mantenimiento, mismo que pueden ser preventivos o correctivos; delegación de funciones; dotación de herramientas y repuestos utilizables; realizar un plan de contingencia; se debe llevar un registro que permita dar seguimiento a las actividades; incluir un presupuesto que cubra los gastos corrientes y los gastos emergentes; además garantizar un trabajo seguro en campo. (Romero, 1999, pág. 96).

2.10 Análisis de suelos

El suelo es un elemento ambiental formado por una variedad de minerales y seres vivos, adoptando formas muy variadas. Su origen se debe ya sea a la alteración de la roca en contacto con las condiciones atmosféricas o provenir de la acumulación de

materiales en zonas bajas que ya habían sido en cierta forma alterado en lugares más elevados (Garrido , 1994, pág. 3).

Un análisis de suelo puede ser muy extenso e incluir muchos parámetros, entre estos análisis se tienen físicos y químicos.

2.10.1 Fases para la realización de los análisis de suelos

2.10.1.1 Toma de muestras

Para conseguir un buen análisis es importante conseguir una buena muestra, ya que no es lo mismo analizar la superficie que el suelo a cierta profundidad.

Los suelos no en su mayoría son homogéneos también los hay heterogéneos esto quiere decir que sus propiedades varían incluso dentro de parcelas de reducidas dimensiones. Para ello es primordial recoger muestras de más de un punto de la parcela o grupo de parcelas, pero a mayor número de muestras mayor es el presupuesto. Por eso es vital saber elegir bien las muestras, para tomar el menor número posible y de esta manera resulte factible el proyecto.

Las observaciones a tener para la toma de datos son:

- **Color del suelo:** el color es producido por los componentes del suelo. Entre ellos óxido de hierro (Fe^{3+}) que da coloraciones desde rojas, pasando por amarillas y hasta verdosas y materia orgánica que produce tonos más o menos grises hasta el negro. Mayor contenido de óxido de hierro dan como resultado un suelo rojo, mientras que menor contenido de óxido de hierro más verde se encuentra.
- **Textura:** significa la composición granulométrica del suelo, la cual se mide en laboratorio obteniendo porcentajes de arena gruesa, fina, limos y arcillas.
- **Estructura:** el grado de estructura del suelo da una idea de su permeabilidad y capacidad de aireación., los suelos que son bien estructurados tienen sus mejores propiedades hídricas, mayor permeabilidad, mayor aireación y están más definidos contra la erosión.

Para un análisis completo de suelos se debe recoger 500 g o 1000 g de tierra por cada muestra y una vez recogidas debe colocarse en bolsas limpias de plástico y etiquetadas convenientemente.

2.10.1.2 Profundidad de muestreo

En suelos donde la planta desarrolla sus raíces la profundidad óptima sería de 0 y 40cm.

En suelos de fácil penetración es recomendable tomar muestras hasta los 60 o 70cm.
(www.agroptima.com, 2017)

2.10.2 Realización del análisis

- **Análisis físico:** Composición granulométrica o textura, contenido de materia orgánica, pH del suelo, carbonatos totales.
- **Análisis químico:** Nitrógeno mineral, fósforo asimilable, potasio, magnesio, etc.
- **Interpretación de los resultados:** finalmente con los análisis realizados, estos deben ser interpretados de manera que se pueda emitir un resultado adecuado con respecto a la zona de estudio, de esta manera se podrá llegar a un diseño óptimo.

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción general del estudio

Actualmente las plantas rurales construidas por ETAPA presentan disminución de su eficiencia; incluso algunas no se encuentran ya en funcionamiento (González Tello & Narvaéz Torres, 2019), por ello se plantea el presente estudio: plantas pilotos de filtros naturales para aguas domésticas, con el fin de aprovechar los recursos que brindan los suelos en la provincia del Azuay.

Estas aguas de origen domestico son descargadas a un colector sanitario, posteriormente son tratadas en una pequeña plata de tratamiento de aguas residuales; sin embargo, la configuración de la mayoría consiste en fosa séptica y filtro anaerobio o fosa séptica y humedal horizontal. Por lo que, si se revisa la teoría sobre estas configuraciones no tratan eficazmente los coliformes fecales, ni eliminan sustancias contaminantes como nutrientes inorgánicos; especialmente fosfatos y nitratos, causando un impacto al medio ambiente, es por esta razón que se recurren a procesos un poco más avanzados, implementando tratamientos terciarios los cuales se encargaran a través de procesos biológicos eliminar los nutrientes antes mencionados (Alianza por el Agua, 2008). En base a esta información recopilada y con la ventaja que presenta la turba probada en otros países como lechos filtrantes para tratamiento de aguas residuales; esta investigación pretende realizar un análisis del uso de la turba que se encuentra en los suelos del austro ecuatoriano, para ello, se toma como referencia el proyecto de Quichimbo et al, (2012) sobre “Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador”, y el proyecto de Lahuate & Recalde, (2015) sobre “Propiedades físico -químicas del suelo como instrumentos de evaluación a las estrategias de restauración implementadas en areas degradadas de páramo, caso de estudio: Microcuencas Antisana y Pita”, entre los cuales se podrá analizar y procesar sus propiedades, posterior a ello establecer comparaciones entre los suelos analizados como histosoles y la turba de musgo sphagnum, para finalmente construir un diseño óptimo de filtros naturales.

3.1.1 Ubicación de la turba para lechos filtrantes

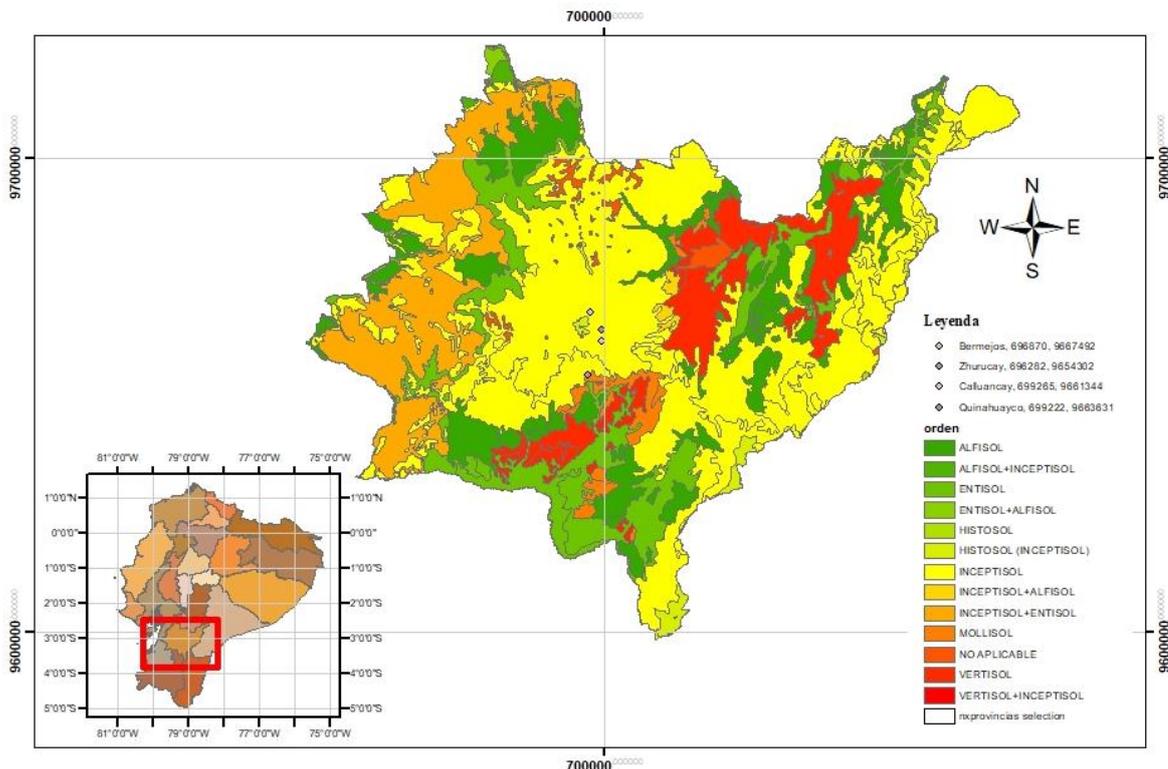
Para poder realizar un diseño sostenible aprovechando las altas cargas orgánicas que ofrecen los suelos, se debe tomar en cuenta sitios que tengan características similares, para ello el estudio contempla dos análisis.

3.1.1.1 Primer Análisis

Para un primer análisis se contempla como área de estudio el páramo de Quimsacocha, del cual se despliegan las microcuencas del Rio Zhurucay, Quinahuaycu, Calluancay y Bermejos, y que tiene una superficie aproximada de 13.92 km², ubicándose al sur oeste de la ciudad de Cuenca, correspondiente a las áreas de los cantones Cuenca, Girón y San Fernando; en la provincia del Azuay.

El observatorio Eco hidrológico de Zhurucay se expande en un rango altitudinal entre 3400 m s.n.m. y 3900 m s.n.m..

Figura 3.1 Ubicación del área de estudio (primer análisis)



Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021)

3.1.1.1.1 Geología

Esta es una zona característica de páramo constituida por valles y llanuras accidentados, principalmente de formación de glaciario. Dos formaciones geológicas dominan el sitio: la formación Quimsacocha, representa a la parte norte y está

compuesta por flujos basálticos con plagioclasas, feldespatos y piroclastos andesíticos y la formación Turi, perteneciente a la parte sur, compuesta por conglomerados y arenas de estratificación horizontal (Quichimbo et al., 2012, pág.140).

3.1.1.1.2 Clima

El clima es influenciado por el régimen de la costa del pacifico oeste y por las masas de aire provenientes del atlántico al este. La temperatura promedio diaria en la microcuenca es de 6°C, con precipitaciones bimodales, es decir temporadas de lluvias importantes de diciembre a febrero y a una época de lluvia menos pronunciada en los meses de agosto a septiembre. La precipitación media anual de acuerdo al INAMHI va de 900 a 1600mm (Quichimbo et al., 2012, pág.140).

El clima juega un papel importante en la formación de los histosoles, debido a que los climas frios y húmedos llegan a atrasar la descomposición de la materia orgánica.

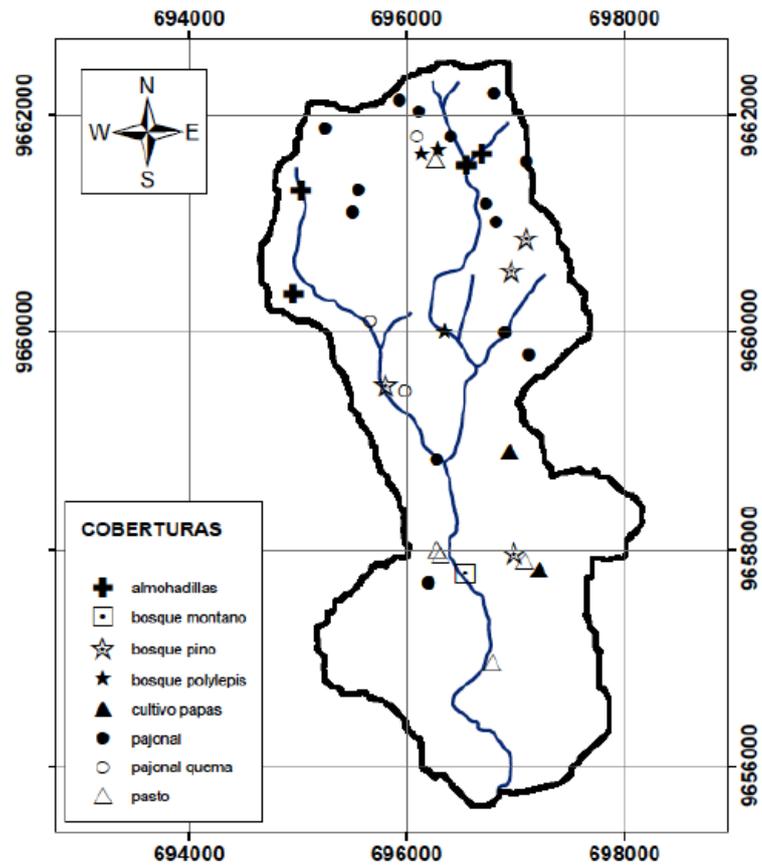
La turba de sphagnum presenta un crecimiento eficiente cuando tanto el pH del agua es ácido, también tiene bajo contenido de nutrientes y de por si el clima frio del sector (PROMIX, 2020).

3.1.1.1.3 Uso y Cobertura del suelo

La cobertura y el uso del suelo hace referencia a los cuerpos naturales o artificiales que cubren la superficie de un territorio determinado.

Dentro del observatorio la cobertura del suelo es no antropizada con especies endémicas típicas de ecosistemas húmedos y de páramo como: pajonal en suelos andosoles (*Calamagrostis intermedia*) que cubren alrededor del 76% del observatorio y las almohadillas en suelos histosoles (*Azorella pedunculata*) las cuales cubren el 24% restante (Borja Ramón , Iñiguez, Crespo, Cisneros, & Cisneros , 2008, pág. 3). Las almohadillas que se forman en los suelos histosoles dan lugar a la formación de humedales andinos.

Figura 3.2 Área de estudio y cobertura del suelo



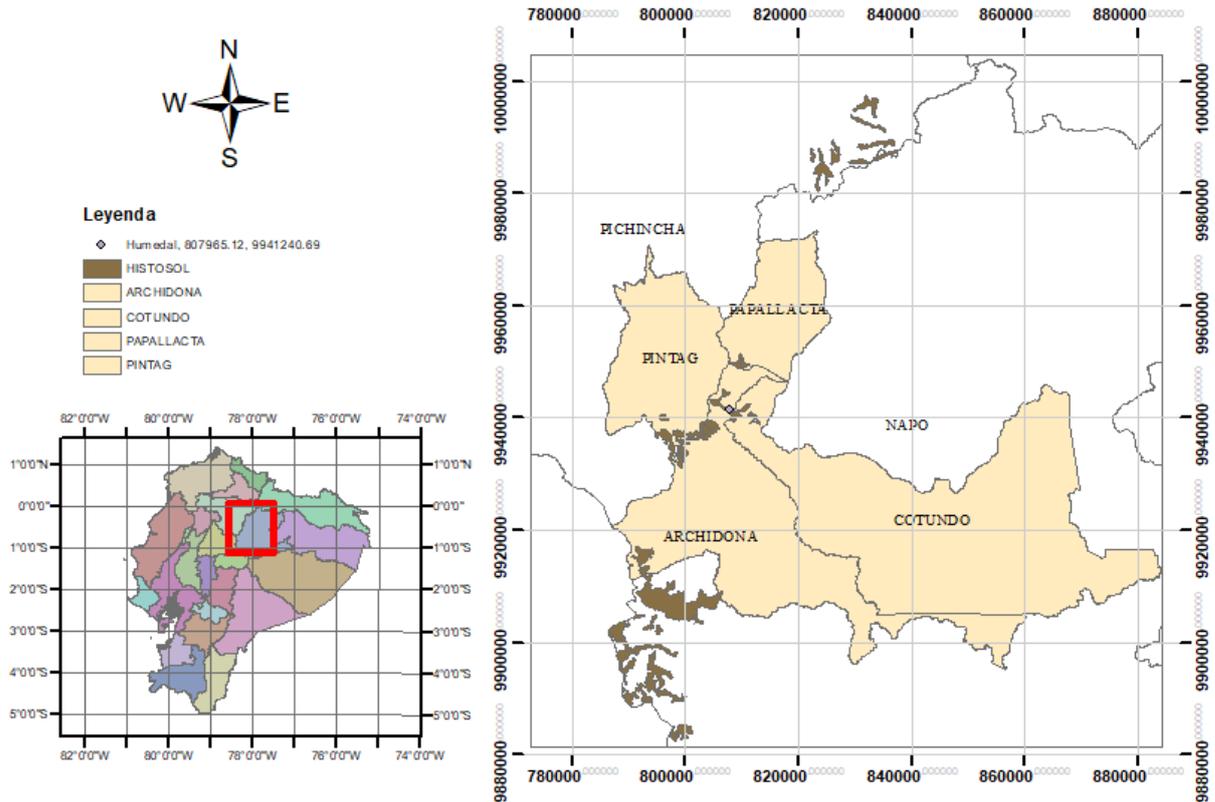
Fuente: (Quichimbo et al., 2012, pág.140)

El clima húmedo-frío y la baja presión atmosférica, favorece la acumulación de materia orgánica y en conjunto con la acumulación de cenizas volcánicas y la geomorfología de la zona, son responsables de la formación de suelos negros, húmicos y ácidos con una estructura porosa. Estos suelos aportan características particulares como son: alto contenido de materia orgánica, baja densidad aparente, pH bajo y disponibilidad baja de fósforo (Quichimbo et al., 2012, pág.140).

3.1.1.2 Segundo Análisis

Para un segundo análisis se contempla como área de estudio la zona de la Reserva Ecológica Antisana, en la microcuenca Antisana, y que tiene una superficie aproximada de 75.5 km², ubicándose dentro de cuatro parroquias (Pintag, Papallacta, Archidona y Cotundo) entre las provincias de Napo y Pichincha.

Figura 3.3 Ubicación del área de estudio (segundo análisis)



Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021)

3.1.1.2.1 Geología

El predio se encuentra sobre la formación Pisayambo; formada por rocas ígneas como andesita y basaltos, y la formación Antisana constituida por andesitas y dacitas (Lahuatte & Recalde, 2015, pág. 95).

3.1.1.2.2 Clima

La temperatura media mensual en la microcuenca no supera los 1.5°C, con precipitaciones que varían de 1300 a 1500mm/año (Lahuatte & Recalde, 2015, pág. 96).

3.1.1.2.3 Uso y Cobertura del suelo

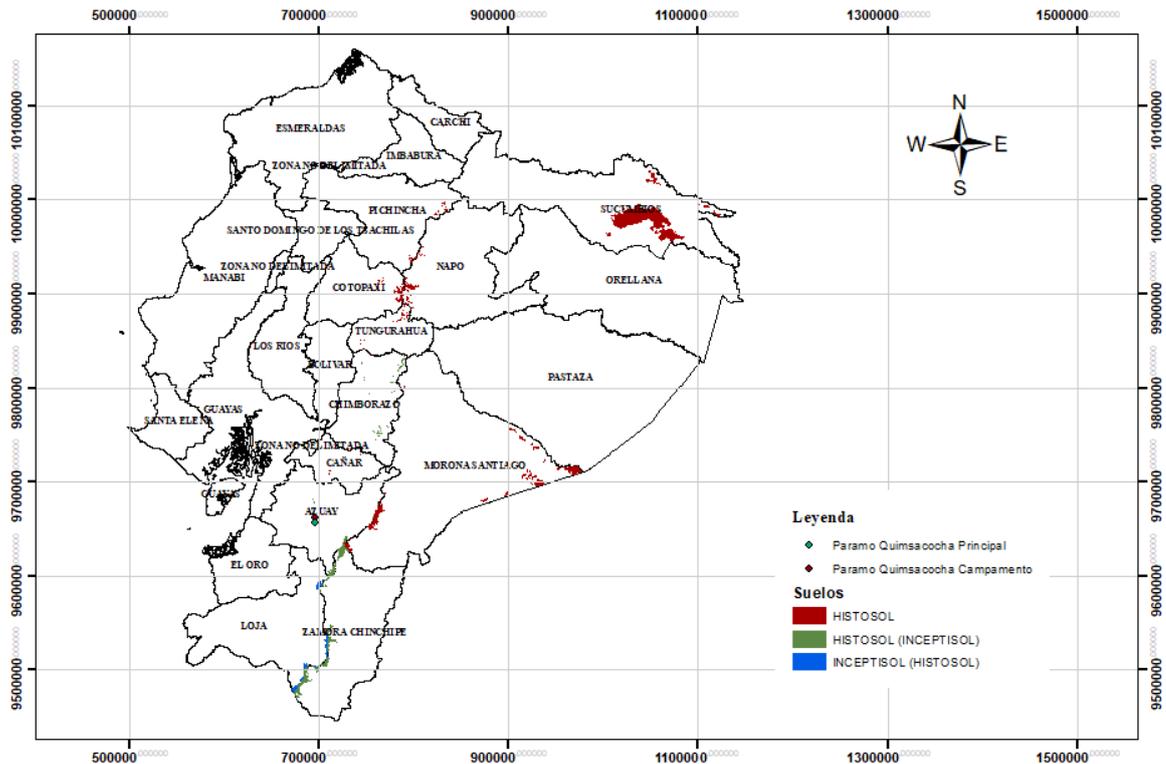
Los suelos que predominan son en el orden de inceptisol (17.72%), molisol (17.99%) y en menor porcentaje el histosol (6.15%), el porcentaje restante (50.73%) resulta una mezcla entre inceptisol y molisol (Lahuatte & Recalde, 2015, pág. 96).

3.1.1.3 Tercer Análisis

La Figura 3.3 muestra la existencia de histosoles en las provincias de Sucumbios, Napo, Morona Santiago y Zamora Chinchipe (Región Amazónica) y las provincias de Carchi, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar y Azuay (Región

Sierra). Debido a la amplitud del tema y al tiempo, es difícil tomar muestras de todos los sectores por ello nos enfocaremos en el primer y segundo análisis perteneciente a la microcuenca de Zhurucay y la microcuenca de Antisana, pero queda abierto el tema para realizar una investigación más detallada de todos estos sectores.

Figura 3.4 Histosoles en Ecuador



Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021)

3.2 Estudios de campo

En este estudio se analizarán los histosoles; considerados también como suelos orgánicos, debido a que estos se encuentran controlados por varios factores como: condiciones de oxigenación, contenido de humedad, temperatura, acidez, etc., propician la obtención de turba (Gobierno del Principado de Asturias, 2020).

De acuerdo a la posición fisiográfica de los suelos, los histosoles se encuentran comúnmente en el fondo del valle y punto de ladera entre pendientes de 1 a 5% y de 5 a 15% en ese orden respectivamente.

La turba que se analizará es SUSTRATO PREMIX 8, cuyo lugar de procedencia es Canadá, está compuesta principalmente a base de musgo sphagnum canadiense, vermiculita y perlita. En la Tabla 3.1 se presenta una ficha técnica con las características más considerables de este material. Es importante mencionar que este SUSTRATO

PREMIX 8 es de granulometría fina (0-7mm) y presenta óptimas condiciones de temperatura.

Tabla 3.1 Ficha técnica Sustrato Premix 8

Características	Detalles		
Composición	Turba de musgo Sphagnum canadiense (75% aprox.), vermiculita (7% aprox.), perlita (18% aprox.)		
Apariencia	Sustancia orgánica natural marrón claro a oscuro		
Olor	Leve olor a tierra		
pH	5.0-5.5 (en agua)		
Conductividad eléctrica (CE)	$0.3 - 0.75 \frac{dS}{m}$		
Densidad	$112.1 - 160.2 \frac{g}{L}$		
Capacidad de agua	50-70%		
Retención de agua	45-55%		
Elementos en ppm	$NO_3 - N: 5 - 40$	Mg:30-100	Mn:0.3-1.5
	$NH_4 - N: 2 - 20$	S:40-180	Mo:0.05-0.15
	$P: 5 - 25$	B:0.05-0.3	Na: -
	$K: 25 - 100$	Cu:0.005-0.15	Cl: -
	$Ca: 50 - 190$	Fe:0.1-1.0	Al: -
Volumen expendido del fardo	200L		
Presentación	Fardo		

Fuente: (maruplast, 2019)

3.2.1 Análisis de laboratorio

Diferentes métodos se aplicaron para la obtención de propiedades físicas y químicas de suelos histosoles. Estos suelos fueron caracterizados por la presencia de horizontes hísticos (H) con alto contenido de materia orgánica (MO) y comúnmente se encuentran en coberturas de almohadillas y de bosque polypelis.

Para la respectiva caracterización de los suelos también se debe considerar que los histosoles no se encuentren en zonas protegidas, ya que esto evitaría su extracción a futuro, por ello en la Figura 3.5 se sitúan tanto los histosoles como las zonas protegidas y se observa que de zona de Quimsacocha y en la microcuenca Antisana si se podría realizar la caracterización que tengan presencia de alta materia orgánica, que al ser ya un hisosol presentaría, sin embargo se debería comprobar el porcentaje de la materia orgánica, con el siguiente análisis descrito en Quichimbo et al., (2012).

La descripción del análisis es el siguiente: saturar la muestra inalterada durante 3 semanas y determinar el contenido de humedad con punto de saturación (pF) en el rango 0 - 2.7 (capacidad de campo), estos valores se miden utilizando el método multistep-outflow (aparato de presión por etapas múltiples). Para determinar el contenido de humedad con punto de saturación (pF) de 4.2 o también llamado punto de marchitez se usa el aparato de membranas para presiones altas utilizando muestras alteradas, este método consiste en formar una pasta con muestras saturadas y colocarla en anillos pequeños de 10 cm³ sobre una membrana permeable al agua y sometida a presiones recomendadas.

Un análisis estadístico también fue aplicado a los horizontes trazados, aquí se empleó el análisis de componentes principales (ACP), el cual consiste en un análisis de criterio gráfico y proyecta la incidencia de cada una de las variables a analizar; es decir, propiedades físicas y químicas de los suelos en el área de estudio (Quichimbo et al., 2012, págs. 5 y 6).

Efectos sobre propiedades hidrofísicas de los suelos

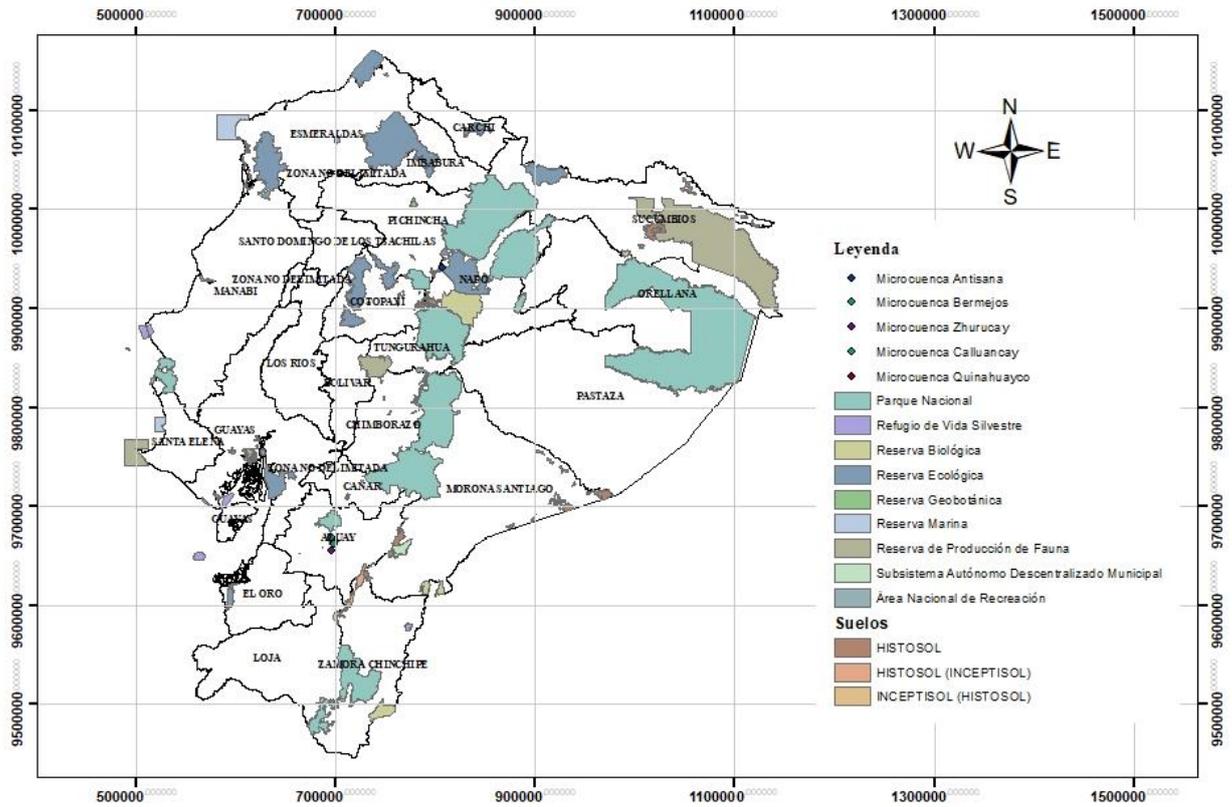
Para determinar la densidad aparente ($g * cm^{-3}$), la muestra no perturbada se secó a 105 °C durante 24 horas.

El color de las muestras alteradas se midió mediante la prueba de humedad de Munsell. La conductividad hidráulica saturada es el movimiento de la humedad del suelo en estado saturado y se determina en el campo mediante pruebas de pozo y pozo invertido, la medición se repitió tres veces por cada horizonte muestreado (Aucapiña Chaca & Marín Molina, 2014, págs. 24,25,26).

Efectos sobre propiedades químicas de los suelos

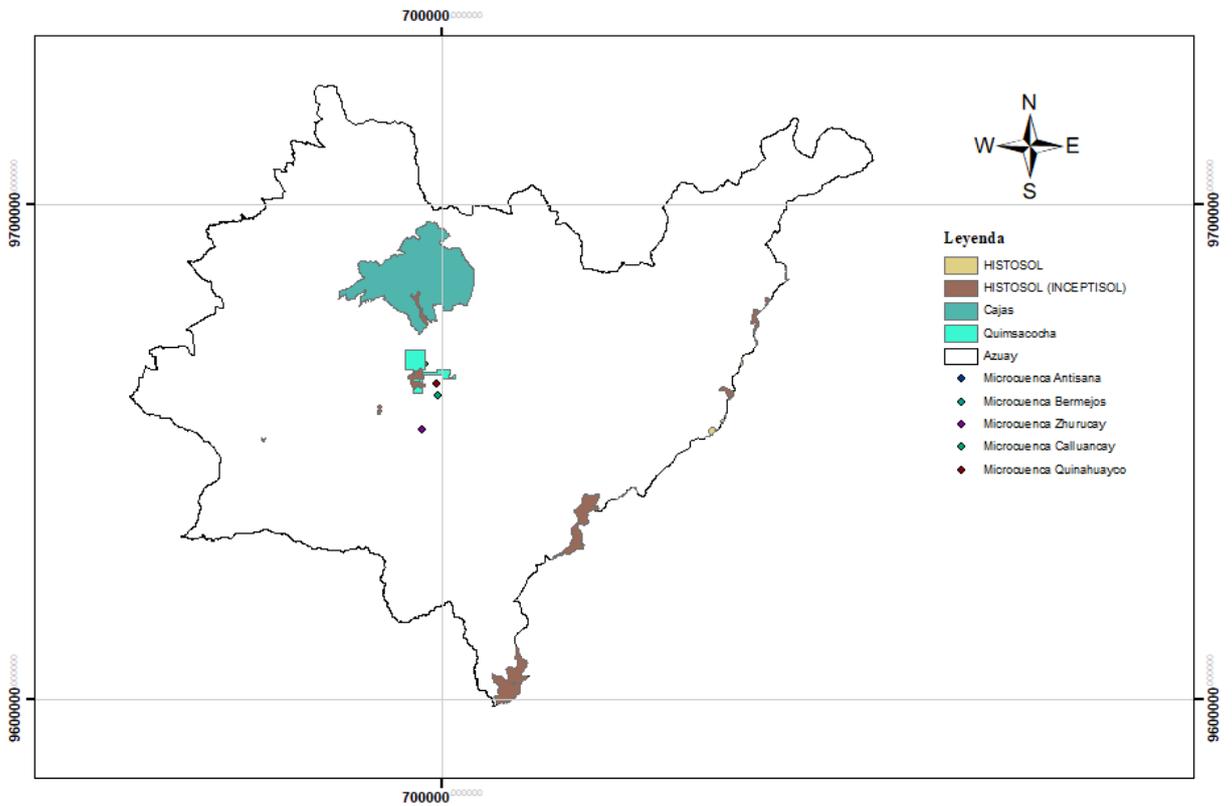
Para la caracterización química básicamente se analizaron parámetros de fertilidad de suelos. Las variables empleadas para el estudio químicos son: pH, materia orgánica, P, K, etc.

Figura 3.5 Histosoles y zonas protegidas en Ecuador



Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021)

Figura 3.6 Histosoles y zonas protegidas en suelos del Austro



Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021)

En la Tabla 3.2 se muestra un resumen de los diversos métodos aplicados en el análisis tanto de propiedades físicas como químicas.

Tabla 3.2 Método para parámetros físicos y químicos

Método	Parámetros Físicos	Parámetros Químicos
Flujo de salida por etapas múltiples	Contenido de humedad de saturación (HS)	
Flujo de salida por etapas múltiples	Capacidad de campo (CC)	
Aparato de membranas	Punto de marchitez (PM)	
Secar las muestras por 24 horas a 105°C	Densidad aparente (DA)	
Pipeta	Textura	
Potenciometría		pH
Extracto de cloruro de potasio, uso de fenolftaleína		Acidez
Walkley and Black		Materia Orgánica (MO)
Ácido sulfónico		Nitrato (N)
Absorbancia en un colorímetro		Nitrógeno Amoniacal
Colorimetría		Sulfatos
Colorimetría		Fosforo
Acetato de amonio (pH 7)		Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
Uso del puente de salinidad de Wheatstone		Conductividad eléctrica (CE)
Determinados por absorción atómica		Cationes básicos (Ca, Mg, Na y K)
Absorción atómica		Micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn)
Curcumina, colorímetro		B

Fuente: (Quichimbo et al., 2012, pág.141)

En base a los datos obtenidos sobre suelos se lleva a cabo la segunda fase que consiste en seleccionar la tecnología adecuada para tratar las aguas residuales, realizando para ello el ordenamiento y análisis de la información comparando parámetros de suelos obtenidos con respecto a la turba seleccionada.

3.3 Comparación entre histosol y sphagnum

Semejanzas entre histosol y sphagnum

Histosol

- Son suelos ricos en materia orgánica y residuos vegetales más o menos descompuestos.
- Se desarrollan en zonas donde la materia orgánica se acumula en la superficie sin llegar a descomponerse en consecuencia de bajas temperaturas, bajo pH y condiciones de elevada humedad, esto quiere decir que se encuentran casi siempre saturados evitando la descomposición aeróbica.
- Si estos suelos se drenan y son expuestos al aire su descomposición se acelera provocando su propio hundimiento.
- Se vuelven suelos de baja fertilidad cuando la vegetación natural es reemplazada de manera abrupta.
- Son suelos que no están adaptados a condiciones de secamiento por lo que si son expuestos a esas condiciones pueden presentar altos valores de deshidratación, bajas densidades y flotamiento de agregados.

Sphagnum

- Es de lenta descomposición, y está formada por restos vegetales muertos que se acumulan con el paso del tiempo y que pueden alcanzar varios metros de espesor al cabo de miles de años.
- Gran capacidad de retener agua, debido a la presencia de poros en sus células, pudiendo retener agua alrededor del 80 % del volumen del musgo.
- Se encuentran en lugares muy húmedos y encharcados.
- Color anaranjado y textura firme.
- Utilizada para la restauración ecológica de turberas, floricultura o agricultura, mejorando la calidad de los suelos, especialmente en zonas secas o que son más propensas a la desertización.

Diferencias entre histosol y sphagnum

La diferencia radica en que para acceder a la turba y facilitar la cosecha de la misma se debe drenar los pantanos o sectores donde se encuentran este tipo de suelo, destruyendo hábitats, entornos y cualquier potencia de regeneración de turberas.

Mientras tanto que el musgo sphagnum no requiere de excavaciones para su obtención, esta puede ser fácilmente cosechado, de manera que no elimina completamente el medio ambiente de donde proviene.

Otra diferencia radica en su textura, la textura de histosoles es difícil, debido a que se encuentran compuestas de más materia orgánica que de materia mineral, mientras que el sphagnum mantiene una textura firme (Southside Plants, 2019).

3.4 Desarrollo de propuesta integral de diseño

3.4.1 Parámetros de diseño

3.4.1.1 Caudales

Para calcular el caudal del efluente, se utiliza el método del aforamiento, el cual consiste en llenar en cierto tiempo un recipiente de la capacidad que se proponga y realizar el número deseado de aforamientos en la mañana, en la tarde durante un mes, de esta manera se obtiene el caudal promedio por día.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

$Q = \text{Caudal}$

$V = \text{Volumen}$

$t = \text{tiempo}$

3.4.1.2 Carga contaminante

Al tratarse de aguas residuales domésticas se tendrán en cuenta únicamente los parámetros urbanos, sin considerar las aguas industriales de la población.

Las muestras son colocadas en recipientes limpios y desinfectados, y mediante las pruebas físico químicas de laboratorio realizadas se determinaron los niveles de contaminación de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos (SS) y los coliformes fecales.

3.4.1.3 Temperatura

Se realiza la toma de temperatura con un termómetro tanto del agua como del aire.

3.4.1.4 Medios filtrantes

El tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante filtros naturales de turba se basa en la filtración de aguas residuales a través de lechos que emplean como material filtrante la turba, en este estudio la turba Sustrato premix.

Los filtros de turba están constituidos a su vez por una serie de capas filtrantes, cuya composición puede ser: turba, arena gruesa, arena gravosa, grava fina, grava media y grava gruesa o roca.

Tabla 3.3 Propiedades y características material de soporte

Material	Tamaño Efectivo (mm)	Porosidad (η) (%)	Conductividad Hidráulica (m^3/m^2-d)
Arena gruesa	2	28-30	100-1000
Arena gravosa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-38	1000-10000
Grava media	32	38-40	10000-250000
Grava gruesa o roca	128	40-45	50000-250000

Fuente: <https://slideplayer.es/slide/1546619/>

3.4.1.5 Profundidad del filtro de turba

Los filtros de turba se basan en hacer pasar agua residual por una capa de turba de entre 40-50 cm de espesor, que está asentado sobre un sistema de drenaje de arena de espesor de 10-15 cm y grava de 10-15 cm de espesor.

La capa de turba es aquella donde se realiza el proceso de depuración, mientras que los estratos restantes de arena y grava sirven como material de soporte.

3.4.1.6 Gradiente hidráulico

O también conocido como pendiente, los valores utilizados para esta clase de sistema van de 0.01 a 0.02 m/m, estos valores no deben excederse ya que así se evitan altos costes de excavación.

3.4.2 Memoria de cálculo

3.4.2.1 Tratamiento secundario

3.4.2.1.1 Diseño del filtro natural de turba

Para un diseño óptimo del modelo del filtro de turba, se ha tomado como parámetros fundamentales el dimensionado tanto biológico como hidráulico.

1. Dimensionado biológico en el que se determina la superficie necesaria de tratamiento de un contaminante específico
2. Dimensionado hidráulico en el que se establecen las dimensiones geométricas del sistema

Los filtros de turba se diseñarán de manera similar al humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal; ya que debido al efecto de filtración resultan más eficientes, y el factor limitante para su dimensionamiento y diseño es la concentración de DBO₅.

3.4.2.1.1.1 Ecuaciones

Constante de temperatura en la turba

$$K_T = K_{20}(1.06)^{T_a-20}$$

Ecuación 1

Donde:

K_T : temperatura de turbera

K_{20} : 1.104d⁻¹ constante de temperatura

Área superficial

$$A_s = \frac{Q(\ln(DBO_5)_e - \ln(DBO_5)_s)}{K_T(y)(n)}$$

Ecuación 2

Donde:

A_s : Área superficial

Q : Caudal a tratar

$\ln(DBO_5)_e$: Concentración del contaminante al ingreso

$\ln(DBO_5)_s$: Concentración del contaminante a la salida

y : profundidad del filtro natural de turba

Para humedales Subsuperficiales se recomienda:

n : porosidad promedio de las capas filtrantes

Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{As(y)(n)}{Q}$$

Ecuación 3

Sección del humedal

$$As = \frac{Vt}{\eta * y}$$

Ecuación 4

Donde:

As: área superficial/Nº de unidades

η : porosidad

Vt = volumen

$$Vt = Q * TRH$$

Ecuación 5

Comprobación carga hidráulica

$$CH = \frac{Q}{As}$$

Ecuación 6

Condición $CH = 470 - 1870 \frac{m^3}{Ha * día}$

Carga orgánica que entra

$$Co = Q * DBO_5e$$

Ecuación 7

Carga orgánica permisible

$$Co \text{ permisible} = \frac{Co}{As}$$

Ecuación 8

Condición $Co \text{ permisible} \leq 100 \frac{kg DBO}{Ha * día}$

Si cumple la condición planteada se realiza el siguiente procedimiento:

$$As = L * B$$

Ecuación 9

Donde:

L: Largo

B: Ancho

Si no cumple la condición planteada se realiza el siguiente procedimiento:

$$As = \frac{Co}{Co\text{ permisible}}$$

(Ecuación 8 despejada)

$$As = L * B$$

Ecuación 10

Relación $\frac{L}{B} = 2:1 - 4:1$

Concentración de SST

$$C_e = C_o * (0.1058 + 0.0014CH)$$

Ecuación 11

CH = Carga hidráulica

C_{oSST} = Concentración de SST al humedal

3.4.2.1.1.2 Cálculos

Dimensionamiento biológico

Tabla 3.4 Datos de entrada para planta piloto

Parámetro	Valor	Unidad
<i>K₂₀</i>	1.104	días ⁻¹
<i>T_a</i>	14	°C
<i>DBO_{5e}</i>	85	mg/lt
Medio poroso <i>η</i>	0.3	
<i>Q</i>	86.4	m ³ /día
<i>Y</i>	0.6	m
y1 borde libre	0.05	m
Relación largo - ancho	$\frac{L}{B} = 4:1$	

SST e	130	mg/l
Fuente: (Yunga, 2020)		

$$K_T = K_{20}(1.06)^{T_a-20}$$

$$K_T = 1.104 (1.06)^{14-20}$$

$$K_T = 0.778 d^{-1}$$

Reemplazo Ec 3 en Ec 2

$$DBO_{5s} = DBO_5e * e^{-K_T*TRH}$$

Impongo $DBO_{5s} = 25mg/lt$

$$25 = 85 * e^{-0.778*TRH}$$

$$TRH = 1.573 \text{ días} = 2 \text{ días}$$

Con el nuevo tiempo de retención, calculo DBO_{5s}

$$DBO_{5s} = 85 * e^{-0.778*2}$$

$$DBO_{5s} = 17.93 mg/lt$$

Sección del humedal

Reemplazo Ec 5 en Ec 4

$$As = \frac{Vt}{\eta * y}$$

$$As = \frac{86.4 * 2}{0.3 * 0.65}$$

$$As = 886.15 m^2 = 0.089 Ha$$

Concentración de SST

$$C_e = C_{oSST} * (0.1058 + 0.0014CH)$$

$$C_e = 130 * (0.1058 + 0.0014 * 0.12)$$

$$C_e = 13.78 \text{ mg/lt}$$

Dimensionamiento hidráulico

$$CH = \frac{Q}{As}$$

$$CH = \frac{86.4}{0.089}$$

Condición $CH = 470 - 1870 \frac{m^3}{Ha * día}$

$$CH = 975 \frac{m^3}{Ha * día} = 0.098 \frac{m^3}{m^2 * día} \text{ **Sí cumple**}$$

Condición $Co \text{ permisible} \leq 100 \frac{kg \text{ DBO}}{Ha * día}$

$$Co = 86400 * 85$$

$$Co = 7.344 \times 10^6 \frac{mg \text{ DBO}}{Ha * día}$$

$$Co = 7.344 \frac{kg \text{ DBO}}{Ha * día}$$

$$Co \text{ permisible} = \frac{7.344}{0.089}$$

$$Co \text{ permisible} = 82.88 \frac{kg \text{ DBO}}{Ha * día} \text{ **Sí cumple**}$$

Cálculo de dimensiones del filtro de turba

$$\frac{L}{B} = 4:1$$

$$L = 4 * B$$

$$\sqrt{B^2} = \sqrt{\frac{As}{4}}$$

$$\sqrt{B^2} = \sqrt{\frac{886.15}{4}}$$

$$B = 14.88 \text{ m}$$

Valor constructivo B = 15 m

$$L = 4 * 15$$

$$L = 60 \text{ m}$$

Conjuntos y accesorios del filtro de turba

Geomembrana

Se debe tener en cuenta la profundidad del filtro de turba, adicional a esto 80 cm que se deja como pestaña a cada lado y se le suma un 10 % del resultado total debido a que el tendido de la geomembrana no queda completamente liso.

$$L_{geom} = 60 \text{ m} + 0.6 + 0.6 + 0.8 + 0.8 = 62.8 \text{ m}$$

$$B_{geom} = 15 \text{ m} + 0.6 + 0.6 + 0.8 + 0.8 = 17.8 \text{ m}$$

$$S_{geom} = 62.8 \text{ m} * 17.8 = 1117.84 \text{ m}^2$$

$$S_{geom} = 1117.84 \text{ m}^2 * 0.1 = 111.78 \text{ m}^2$$

$$S_{geom} = 1117.84 \text{ m}^2 + 111.78 \text{ m}^2 = 1229.62 \text{ m}^2$$

Material filtrante

Metros cúbicos de arena porosa

$$V_{arena\ porosa} = 15 * 60 * 0.1 = 90 \text{ m}^3$$

Metros cúbicos de arena media

$$V_{arena\ media} = 15 * 60 * 0.1 = 90\ m^3$$

Metros cúbicos de turba sustrato premix 8

$$V_{turba} = 15 * 60 * 0.4 = 360\ m^3$$

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados primer análisis

Dentro del Austro Ecuatoriano el histosol proveniente de la microcuenca de Zhurucay presenta en sus propiedades químicas materia orgánica para horizontes H de 56.16%, Ah de 33.11% y C de 10.58%.

Tabla 4.1 Características físicas según horizontes H, Ah y C

Propiedades	H	Ah	C
$K_s \left[\frac{cm}{h^1} \right]$	0.39	0.53	0.39
Densidad aparente (DA) $\left[\frac{g}{cm^3} \right]$	0.10	0.35	0.52
Contenido de humedad de saturación (HS) $\left[\frac{m^3}{m^3} \right]$	0.86	0.87	0.78
Capacidad de campo (CC) $\left[\frac{m^3}{m^3} \right]$	0.85	0.85	0.74
Punto de marchitez (PM) $\left[\frac{m^3}{m^3} \right]$	0.15	0.36	0.34

Fuente: (Borja Ramón , Iñiguez, Crespo, Cisneros, & Cisneros , 2008, págs. 3,4)

Tabla 4.2 Características químicas según horizontes H, Ah y C

Propiedades	H	Ah	C
pH	4.85	4.68	4.90
Conductividad Eléctrica (CE) $\left[\frac{dS}{m^1} \right]$	0.44	0.51	0.15
Materia orgánica (MO) [%]	56.16	33.11	10.58
P $\left[\frac{mEq}{100ml} \right]$	0.23 (23.7 ppm)	0.12 (12.4 ppm)	0.05 (5.2 ppm)
K $\left[\frac{mEq}{100ml} \right]$	0.35 (136.8 ppm)	0.25 (97.7 ppm)	0.09 (35.2 ppm)
Ca $\left[\frac{mEq}{100ml} \right]$	3.37	4.77	2.72
Mg $\left[\frac{mEq}{100ml} \right]$	0.63 (76.6 ppm)	0.53 (64.4 ppm)	1.32 (160.4 ppm)
Fe $\left[\frac{mEq}{100ml} \right]$	7.92	12.78	21.61
Mn $\left[\frac{mEq}{100ml} \right]$	1.02	0.14	0.32
B $\left[\frac{mEq}{100ml} \right]$	0.01 (0.4 ppm)	0.01 (0.4 ppm)	0.00 (0 ppm)

Fuente: (Borja Ramón , Iñiguez, Crespo, Cisneros, & Cisneros , 2008, págs. 3,4)

4.2 Resultados segundo análisis

Por otro lado, a pesar de no ser un suelo del austro, es importante mencionarlo para poder establecer un análisis comparativo, debido a que por falta de tiempo no se ha podido analizar más suelos del austro. El suelo proveniente de la microcuenca de Antisana presenta 65.7 % materia orgánica.

El porcentaje de materia orgánica de los suelos ecuatorianos es alrededor del 65%, sin embargo, este tipo de suelo es el más representativo para relacionar con el sphagnum. En este sentido, se pretende utilizar este tipo de suelo como una capa adicional del lecho filtrante.

Tabla 4.3 Características físicas

Propiedades	H
Densidad aparente (DA) $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$	0.19
Contenido de humedad de saturación (HS) $\left[\frac{m^3}{m^3}\right]$	0.82
Capacidad de campo (CC) $\left[\frac{m^3}{m^3}\right]$	0.71
Punto de marchitez (PM) $\left[\frac{m^3}{m^3}\right]$	0.3

Fuente: (Lahuatte & Recalde, 2015)

Tabla 4.4 Características químicas

Propiedades	H
pH	5.3
Materia orgánica (MO) [%]	65.7
P [ppm]	12
K $\left[\frac{mEq}{100ml}\right]$	0.46 (179.85 ppm)
Ca $\left[\frac{mEq}{100ml}\right]$	7.1
Mg $\left[\frac{mEq}{100ml}\right]$	5 (607.625 ppm)
Fe [ppm]	94
Mn [ppm]	58
B [ppm]	0.5

Fuente: (Lahuatte & Recalde, 2015)

Algunas de las características físicas y químicas de histosoles de las microcuencas Zhurucay y Antisana, son comparadas con las propiedades que presenta la turba a emplearse como lecho filtrante Sustrato Premix 8.

Tabla 4.5 Tabla comparativa

	Zhurucay	Antisana	Turba Sustrato Premix 8

Propiedades físicas - químicas	H (ppm)	Ah (ppm)	C (ppm)	H (ppm)			
P	23.7	12.4	5.2	12	5	25	ppm
K	136.8	97.7	35.2	179.85	25	100	ppm
Mg	76.6	64.4	160.4	607.63	30	100	ppm
B	0.4	0.4	0.0	0.5	0.05	0.3	ppm
Conductividad eléctrica	0.4	0.5	0.2	-	0.3	0.75	ds/m
pH	4.9	4.7	4.9	5.3	5	5.5	
Densidad aparente	0.1	0.4	0.5	0.19	0.11	0.16	g/cm3

Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021) y (PROMIX, 2020)

Como resultado de la tabla comparativa las propiedades químicas como P, K, Mg, pH y conductividad eléctrica obtenidas de histosoles con horizontes H, Ah y C se encuentran dentro de los rangos que nos suministra la ficha técnica de Sustrato Premix 8, esto quiere decir, que la turba seleccionada puede fácilmente ser utilizada como uno de los medios porosos para el diseño de filtro a emplearse, esto para el páramo de Quimsacocha, en la provincia del Azuay.

Además, la turba ofrece una granulometría fina y otros minerales que potencian su capacidad de intercambio iónico, y gracias a la actividad bacteriana y las propiedades de absorción y adsorción producen la depuración de aguas residuales.

Mientras tanto algunas de las propiedades químicas y físicas de la microcuenca de Antisana, no se encuentran dentro de los rangos establecidos para emplear Sustrato Premix 8, y como el análisis de estudio es en suelos del austro; por tanto, es conveniente analizar más suelos con estas características en otras partes de la provincia.

En la Tabla 4.6 además se contemplan comparaciones entre los porcentajes de materia orgánica de los histosoles analizados y una unidad de lecho de turba. De estos valores la unidad de turba presenta alto contenido de materia orgánica pero su pH es bajo, mientras tanto para la microcuenca de Zhurucay los porcentajes de materia orgánica con respecto a sus horizontes van disminuyendo.

Tabla 4.1 Tabla comparativa Unidad de histosol vs histosoles microcuenca Zhurucay y Antisana

Propiedad	Unidad Lecho de turba	Microcuenca Zhurucay			Microcuenca Antisana
		H	Ah	C	
Materia Orgánica	88 %	56.16 %	33.1 %	10.58 %	65.7 %
pH	4.4	4.85	4.68	4.90	5.3

Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021)

4.3 Resultados Filtro natural de turba

Para el diseño de un filtro de turba se toma en cuenta primeramente el dimensionamiento biológico, es decir se diseña en base a la concentración de contaminante de DBO a la entrada del filtro de turba y la temperatura obteniendo como resultado el tiempo de retención hidráulico y la concentración de DBO a la salida del filtro de turba y la concentración de SST a la salida del filtro.

El filtro de turba se ha diseñado para un caudal de 86.4 m³/día, utilizando como medio poroso arena gruesa con un tamaño de partículas de 2mm y arena gravosa 8mm, esto corresponde a un porcentaje de porosidad de 30 (%). Además, considerando que el sustrato premix 8 tiene una granulometría entre 0 a 7 mm, se toma como coeficiente de porosidad 0.3.

Con este diseño dispuesto se puede demostrar que el sistema de filtro natural de turba tiene alto rendimiento de eliminación de SST y DBO, siendo un porcentaje de eliminación del 89.4 % para el primero y de 78.90% para el segundo, de igual manera los filtros de turba construidos similares a un humedal artificial son capaces de eliminar del 90 al 99% de coliformes fecales de acuerdo a Alianza por el agua, 2008.

Tabla 4.2 Resultados del dimensionamiento biológico

Parámetro	Valor	Unidad
TRH	2	Días
<i>DBO₅entrada</i>	85	mg/lt
<i>DBO₅salida</i>	17.93	mg/lt
<i>SST entrada</i>	130	mg/lt
<i>SST salida</i>	13.78	mg/lt
Coliformes Fecales	90 - 99	%

Fuente: (Iñiguez & Rivadeneira)

Dimensiones de filtro

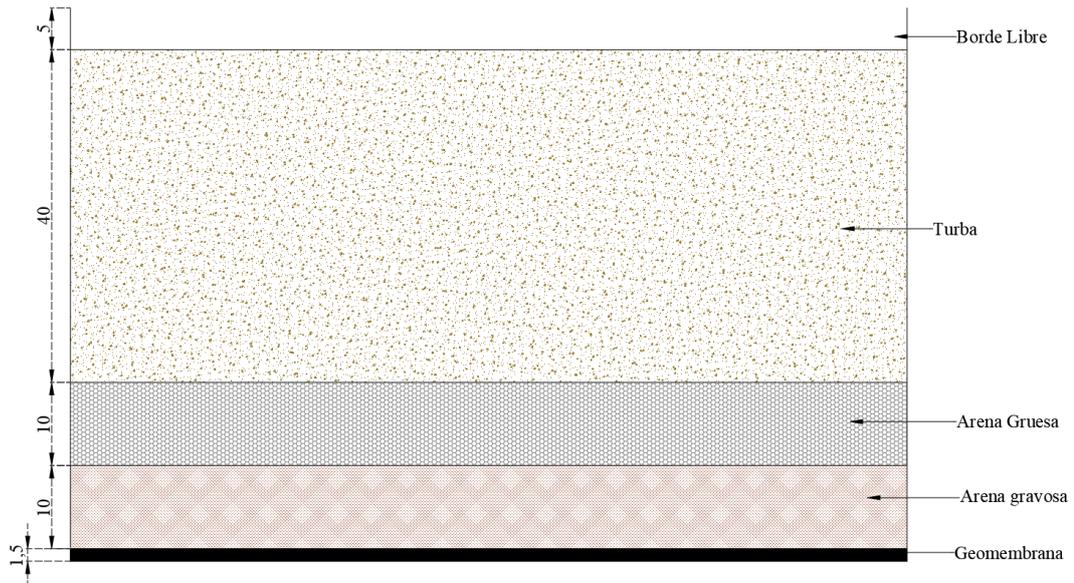
Con el dimensionamiento hidráulico se determina la sección transversal del filtro de turba el cual es de 0.088 Ha, con esta sección transversal se puede establecer el largo y ancho del filtro de turba, la altura se considera de acuerdo al medio filtrante a ocuparse el cual consiste en 40 cm de turba, 10 cm de arena gruesa, 10 cm de arena gravosa, y se dejará como borde libre 5 cm obteniendo un filtro con las características indicadas en la Tabla 3.12.

Tabla 4.3 Resultados del dimensionamiento hidráulico

Parámetro	Valor	Unidad
Área	0.088	Ha
L	60	m
B	15	m
y	0.65	m

Fuente: (Iñiguez & Rivadeneira)

Figura 4.1 Capas del filtro de turba



Fuente: (Iñiguez & Rivadeneira)

También se verifican otros parámetros como la carga hidráulica y la carga orgánica, los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos para un diseño óptimo de la planta.

Tabla 4.4 Resultados carga hidráulica y carga orgánica permisible

Parámetro	Valor	Unidad	Condición
CH	975	$\frac{m^3}{Ha * día}$	470-1870
Co	82.88	$\frac{kg DBO}{Ha * día}$	≤ 100

Fuente: (Iñiguez & Rivadeneira)

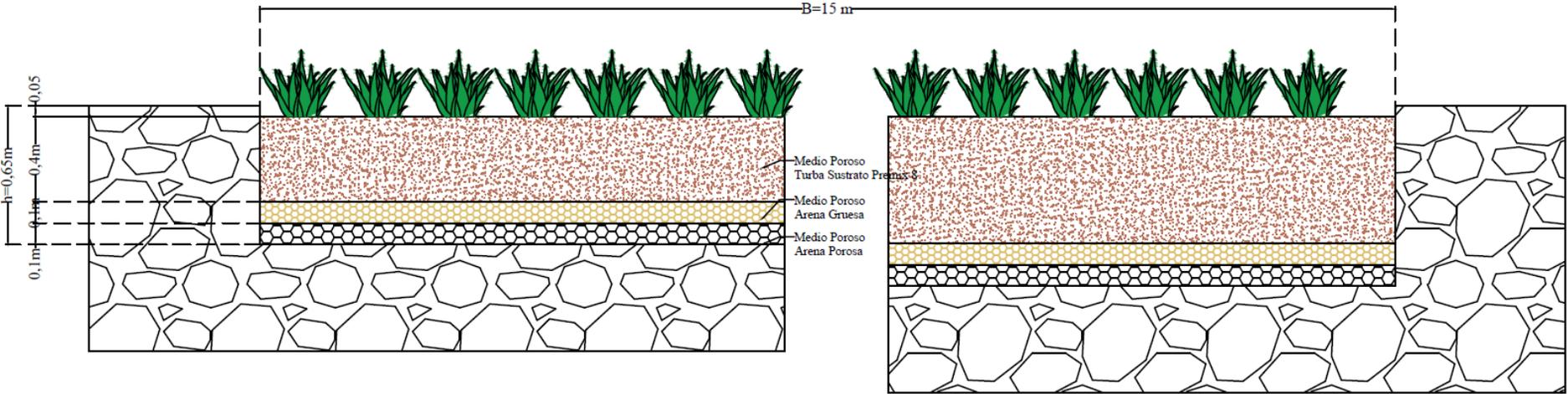
Tuberías y accesorios

La tubería de distribución y recogida ocuparán prácticamente todo el ancho del filtro de turba, por lo cual se determina 30m de tubería. Se necesita una T para unir la tubería que proviene de los domicilios y otra T para unir la tubería de salida del agua tratada. Las tuberías son de 5 metros por lo tanto se necesita de 5 uniones para unir una tubería

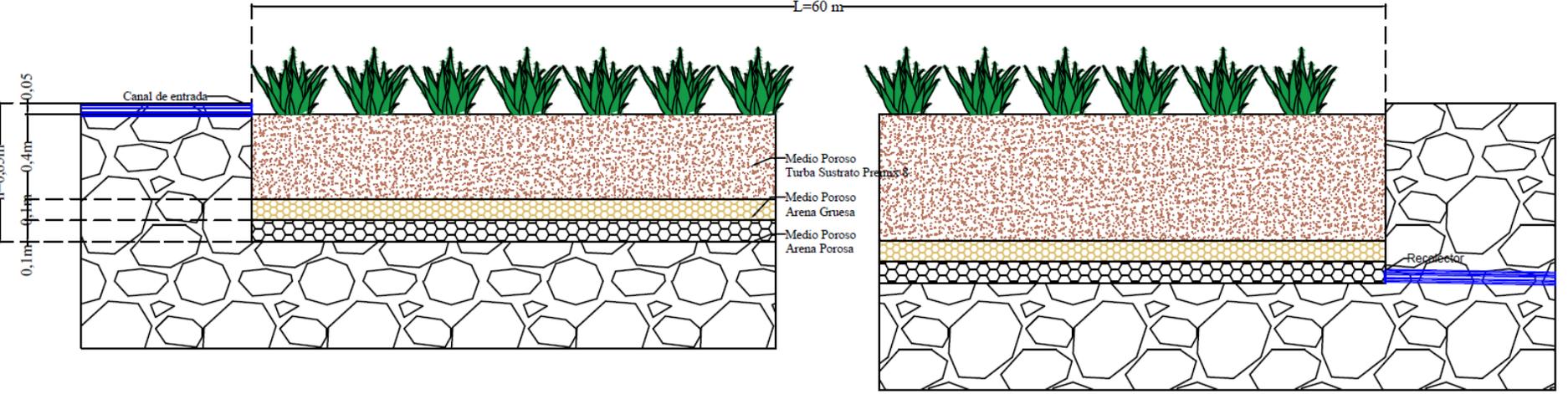
con otra. Es necesario 4 tapones macho para cerrar los extremos de la tubería de distribución y la tubería de recogida de agua tratada.

Adicional se coloca una geomembrana de área 1229.62 m² con un espesor de 1mm.

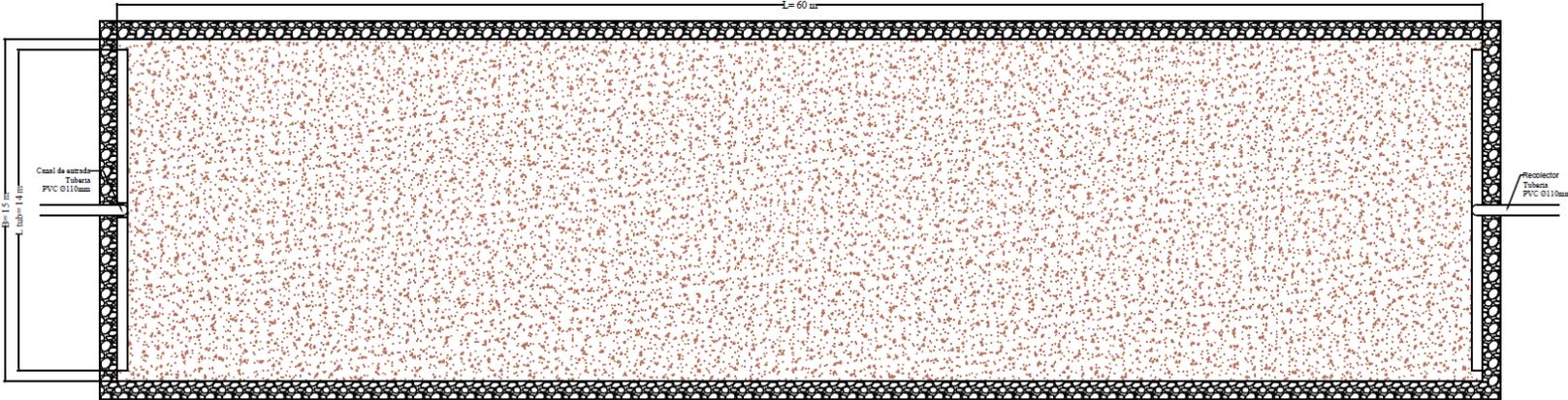
Figura 4.2 Filtro de Turba (Vistas)



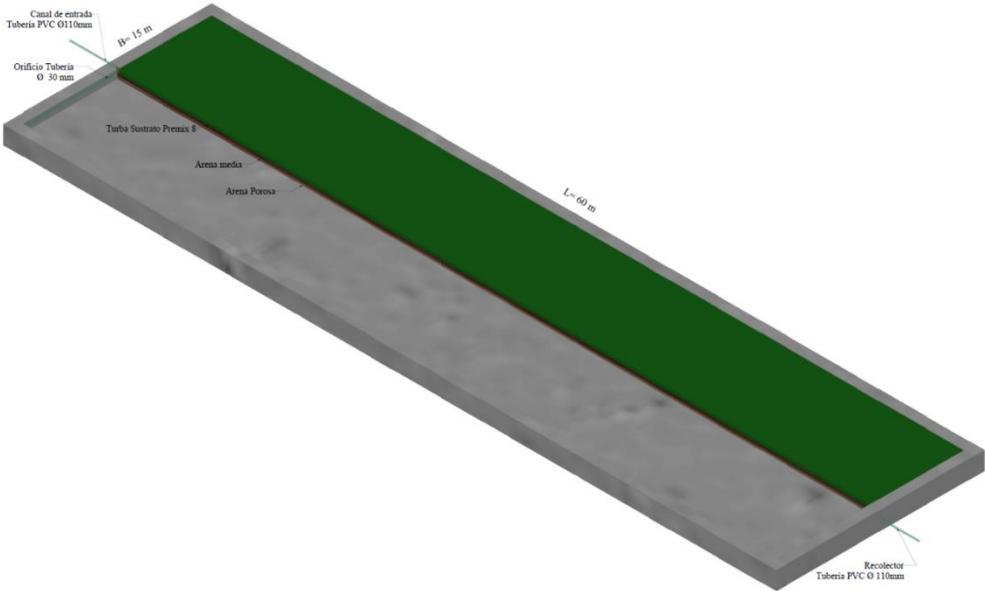
Vista Frontal



Vista Lateral



Vista en planta



Fuente: (Iñiguez Iñiguez & Rivadeneira, 2021)

5 PRESUPUESTO

De acuerdo a la importancia del proyecto es necesario elaborar un presupuesto en el que detalle el costo que implica el desarrollo del mismo, para ello se plantean las actividades que se muestran en la Tabla 5.1 con su respectiva unidad, cantidad requerida y el precio unitario que requiere dicha actividad para su elaboración.

Tabla 5.1 Presupuesto

Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Limpieza y desbroce	m ²	1022.56	\$ 1.48	\$ 1513.39
Replanteo y nivelación	m ²	900	\$ 1.21	\$ 1089.00
Excavación del suelo natural a maquina	m ³	585	\$ 1.96	\$ 1146.60
Desalojo del material	m ²	585	\$ 5.94	\$ 3474.90
Geomembrana	m ²	1229.62	\$ 4.00	\$ 4918.48
Arena gravosa	m ³	90	\$ 16.00	\$ 1440.00
Arena media	m ³	90	\$ 18.00	\$ 1620.00
Turba Sustrato premix 8	m ³	360	\$ 33.76	\$ 12153.60
Tubería Sanitaria Ø110mm x 3m	m	30	\$ 10.72	\$ 321.60
Tee Ø110mm	Und.	2	\$ 5.20	\$ 10.40
Tapon macho Ø110mm	Und.	4	\$ 2.55	\$ 10.20
Unión Ø110mm	Und.	8	\$ 2.90	\$ 23.20
Codo 90° Ø110mm	Und.	1	\$ 3.90	\$ 3.90
			Total	\$ 27725.27

6 CONCLUSIONES

El suelo existente en el páramo de Quimsacocha ubicado en el Austro, en las microcuencas del río Zhurucay, Quinahuaycu, Calluancay y Bermejós es denominado un histosol y presenta altos contenidos de materia orgánica siendo de 56.16%, este histosol mediante ensayos presenta características químicas y físicas que permitirán más adelante establecer una comparación con más histosoles del Austro. El presente estudio por motivos de tiempo no será comparado con otro suelo de la Provincia del Azuay es por ello que se presenta un segundo suelo ubicado en la microcuenca de Antisana que de igual manera bajo ensayos se establece que posee un 65.7% de materia orgánica.

El indicador de materia orgánica es de gran importancia ya que permite además establecer una relación con el sphagnum elegido como turba sustrato premix 8 y el histosol de Quimsacocha y se puede decir que ambos poseen características similares de manera que este pueda ser seleccionado como medio poroso a emplearse en el sistema de tratamiento de aguas residuales seleccionado.

Este sistema de tratamiento consiste en un filtro de turba, donde la turba resulta ser el factor más importante del sistema, sin embargo, otros medios porosos pueden utilizarse siendo así arena gruesa, arena fina e histosol para lograr un rendimiento similar dentro de los sistemas diseñados de la misma manera.

El dimensionamiento de este sistema se basa en un sistema similar al de humedales artificiales y queda estructurado de manera que tendrá un área de 900 m² logrando que se cumplan cargas hidráulicas requeridas.

El diseño se realizó considerando tuberías y accesorios de PVC por las ventajas que presenta el material como: mejor vida útil, mayor capacidad hidráulica, fácil instalación, etc.

Estos sistemas descentralizados son de fácil construcción, operación y mantenimiento.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar caracterizaciones físicas y químicas del suelo con la finalidad de obtener información de la composición del mismo, especialmente en las zonas donde se llevará a cabo el proyecto, con el objetivo de reducir riesgos de contaminación del suelo y en la etapa de construcción de la planta.
- Se recomienda que la planta de tratamiento debe permanecer bajo mantenimiento asegurando la calidad del agua a la salida de la planta.
- En épocas de invierno se debe tomar en cuenta el caudal de ingreso de acuerdo al diseñado para que la planta de tratamiento no sufra daños
- Utilizar material impermeable para evitar que se contaminen las aguas subterráneas por infiltración

8 REFERENCIAS

- Acuatecnica S.A. (15 de Enero de 2019). *TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de <https://acuatecnica.com/tratamiento-secundario-de-aguas-residuales/>
- Adalberto Noyola, J. M.-S. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. Ciudad de México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
- Alianza por el Agua. (2008). *Manual de Depuración de aguas Residuales Urbanas*. Zaragoza: ARPIrelieve.
- Alianza por el agua. (2008). *Manual de depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Ideasmares.
- Arce, L. F. (2013). *Urbanizaciones Sostenibles: Descentralización del Tratamiento de Aguas Residuales Residenciales (Tesis de Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima.
- Belzona. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Miami.
- Bernal, D., Cardona, D., Galvis, A., & Peña, M. (2003). *Guía de Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por Métodos Naturales*. Obtenido de Reserch Gate: https://www.researchgate.net/profile/M_Pena2/publication/266219442_GUIA_DE_SELECCION_DE_TECNOLOGIA_PARA_EL_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DOMESTICAS_POR_METODOS_NATURALES/links/55bb8a0308aec0e5f4418c0d.pdf
- blogdeltratamientodelaguaresidual.blogspot.com*. (s.f.). Obtenido de blogdeltratamientodelaguaresidual.blogspot.com: <http://blogdeltratamientodelaguaresidual.blogspot.com/2018/08/diseño-de-tanques-imhoff-y-pozas.html>
- Borja , P., Iñiguez , V., Crespo, P., Cisneros , P., Cisneros , F., & Feyen , J. (s.f.). Caracterización hidráulica de andosoles e histosoles del austro del Ecuador. 10.
- Borja Ramón , P., Iñiguez, V., Crespo, P., Cisneros, P., & Cisneros , F. (2008). Características físico-químicas de histosoles y andosoles de los paramos de Quimsacocha, Ecuador. *Sociedad Ecuatoriana de la ciencia del suelo*, 11.
- Chavez Vera, I. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas Residuales. *Dominio de las Ciencias*, 25.
- Delgadillo, O. (2010). *Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales*. Cochabamba: Centro AGUA.

- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Nelson Antequera Durán.
- Depuranat. (s.f.). <http://depuranat.itccanarias.org>. Obtenido de <http://depuranat.itccanarias.org>: http://depuranat.itccanarias.org/index2.php?option=com_tecnologias&func=ver&id=10
- DEPURTOTAL. (2019). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Obtenido de <https://depurtotal.es/tratamiento-anaerobio-de-aguas-residuales/>
- Díaz Cuenca, E., Alvarado Granados, A., & Camacho Calzada, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 21.
- Dodane, P.-H., & Magalie, B. (2014). Tanques de Sedimentación y Espesamiento. *IWA publishing*.
- Domínguez Díaz, E., & Bahamonde Aguilar, N. (2012). *Manual de Evaluación de turberas de sphagnum*. Punta Arenas, Chile: Instituto de investigaciones Agropecuarias.
- Food and agriculture organization of the United Nations. (2006). A framework for international classification, correlation and communication. *World soil resources reports*, 245.
- Garrido, S. (1994). *Interpretación de análisis de suelos*. Madrid: Secretaria general de estructuras agrarias.
- Gobierno del Principado de Asturias. (2020). sig.asturias.es. Obtenido de sig.asturias.es: https://sig.asturias.es/HIPERVINCULOS/Catalogo_Suelos/suelos/histosoles/index.htm
- González Tello, C. R., & Narvaéz Torres, A. C. (2019). *Evaluación y rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales Acchayacu, parroquia Tarqui, del cantón Cuenca, Ecuador*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Gustafson, D. M., Anderson, J. L., & Christopherson, S. H. (2001). *Peat Filters*. Minnesota: University of Minnesota.
- Headley, T. R. (2006). Suitability of peat filters for on-site wastewater treatment in the Gisborne region. *NIWA*, 22.
- Hernández, H., Mena-Ulecia, K., & Rovirosa, N. (2009). El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*.

- <https://es.wikipedia.org>. (12 de Octubre de 2020). Obtenido de <https://es.wikipedia.org:https://es.wikipedia.org/wiki/Typha>
- <https://www.elblogdelatabla.com>. (31 de Octubre de 2013). Obtenido de <https://www.elblogdelatabla.com:https://www.elblogdelatabla.com/2013/10/lacara-y-cruz-de-la-hierba-de-la-pampa.html>
- [igme.es](https://www.igme.es). (s.f.). Obtenido de [igme.es:https://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros2_TH/libro33/pdf/lib33/cap_3.pdf](https://www.igme.es:https://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros2_TH/libro33/pdf/lib33/cap_3.pdf)
- Iñiguez Iñiguez, C., & Rivadeneira, P. (2021). Zona de estudio en la provincia del Azuay.
- Iñiguez, C., & Rivadeneira, P. (s.f.).
- Lahuatte, B. C., & Recalde, M. A. (2015). *Propiedades fisico-quimicas del suelo como instrumentos de evaluación a la estrategias de restauración implementadas en areas degradadas de paramo, caso de estudio: Microcuencas AAntisana y Pita*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Llambí, L. D., Soto, A., Célleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de paramos*. Monsalve Moreno.
- López Garrido, R. (Diciembre de 2004). Sustitución de turba por compost urbanos en sustratos de vivero: efectos agroambientales. *Sustitución de turba por compost urbanos en sustratos de vivero: efectos agroambientales*. Sevilla.
- Martínez Rodríguez, A. (2014). Estudio de la geoquímica orgánica de la turbera de las conchas (Asturias) aplicado a la reconstrucción paleoambiental. (pág. 173). Escuela técnica superior de ingenieros de minas y energías.
- Martínez, D. (2014). Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/286327/TPAM.pdf;sequence=1>
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales*. Madrid: McGRAW-HILL.
- Nitin Kumar Singh, A. A. (2015). A review on full-scale decentralized wastewater treatment systems: techno-economical approach. *Water Science and Technology*, 12.
- Norma de Calidad ambiental y de descarga de efluente: recurso agua. (2017).
- Noyola, A., Morgan, J., & Güereca, L. (2013). *SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Imhoff y Lagunas de Estabilización*. Lima.

- Pimentel, H. R. (13 de marzo de 2017). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Pinto, C. S., & del Castillo Galarza, S. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística*. México: McGraw Hill Interamericana.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales: el recurso desaprovechado*. París: UNESCO.
- PROMIX. (30 de Septiembre de 2020). *www.pthorticulture.com*. Obtenido de www.pthorticulture.com: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/es-toda-la-turba-igual/>
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: Reverte.
- Ramalho, R. S. (1996). *Introduction to wastewater treatment processes [Introducción a los procesos de tratamiento de aguas residuales]*. Quebec, Canada: EDITORIAL REVERTÉ S. A.
- RAMSAR. (s.f.). *Lineamientos para inventarios de turberas tropicales a fin de facilitar su designación como sitios RAMSAR*. Convención sobre los humedales.
- Rodas Ochoa, M. V. (s.f.).
- Rojas, J. A. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rojas, R. (2002). *GETIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*, (págs. 12-13).
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, R. J. (1999). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: Teoría y principios de diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Salas Rodríguez, J., Pidre Bocado, J., & Cuenca Fernández, I. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Andalucía: Coria Gráfica.
- Salas, J., Pidre, J., & Cuenca, I. (2007). *Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales*. Andalucía: Coria.
- Sanchez, J. d. (2017). *Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. Sociedad y Ambiente*.

- Secretaria del Agua. (1992). *Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposicion de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Quito.
- siegua.com*. (2017). Obtenido de *siegua.com*: <https://siegua.com/2017/08/10/humedales-artificiales-agua-residual/filtros-verdes-diagrama-nutrientes/>
- Southside Plants. (03 de Julio de 2019). <https://southsideplants.com>. Obtenido de <https://southsideplants.com>: <https://southsideplants.com/blogs/plant-care/peat-moss-vs-sphagnum-moss>
- sswm.info*. (s.f.). Obtenido de *sswm.info*: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/sedimentador>
- UNESCO. (2014). *Desarrollo integrado en asentamientos humanos en zonas rurales*. Obtenido de <https://es.unesco.org>
- Useche Melo, C. (2012). *Agua y saneamiento rural Oportunidad para la participacion comunitaria en Colombia*. Banco Interamericano de desarrollo.
- Wolman, A. (1975). IMPORTANCIA DEL SANEAMIENTO AMBIENTAL EN LAS ZONAS URBANAS Y RURALES PARA EL CONTROL DE LAS INFECCIONES ENTERICAS. *Bulletin of the Pan American Health Organization*.
- www.agroptima.com*. (14 de Diciembre de 2017). Obtenido de *www.agroptima.com*: <https://www.agroptima.com/es/blog/analisis-de-suelos-agricolas/>
- www.biodisol.com*. (s.f.). Obtenido de *www.biodisol.com*: <https://www.biodisol.com/que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas/digestion-anaerobia-proceso-de-produccion-de-biogas-biocombustibles-energias-renovables/>
- www.cyclusid.com*. (s.f.). Obtenido de *www.cyclusid.com*: <https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>
- www.elaguapotable.com*. (s.f.). Obtenido de *www.elaguapotable.com*: <http://www.elaguapotable.com/decantacion.htm>
- www.gedar.com*. (s.f.). Obtenido de *www.gedar.com*: <https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/fangos-activos.htm>
- www.iagua.es*. (s.f.). Obtenido de *www.iagua.es*: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/lechos-bacterianos-tecnologia-robusta-pero-tanto-olvidada>