



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE TITULACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO
DE
INGENIERO AMBIENTAL

TEMA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN
PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN
HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD
GANADERA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN,
POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA, CIPCA.

Presentado por
DANIEL ISAÍAS MOROCHO REINOSO
JOHAN JOSUÉ MOROCHO REINOSO

Director
Msc. Pedro Andrés Peñafiel Arcos

PUYO-ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, **MOROCHO REINOSO DANIEL ISÍAS** con cédula N° **1804450797** y **MOROCHO REINOSO JOHAN JOSUÉ** con cédula N° **1804450789** certificamos que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Investigación: **“PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA”**, son de nuestra autoría y exclusiva responsabilidad.

Atentamente,

Daniel Isaías Morocho Reinoso
1804450797

Johan Josué Morocho Reinoso
1804450789

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, Pedro Andrés Peñafiel Arcos, con CI.1600373987, Certifico que los egresados Daniel Isaías Morocho Reinoso CI. 1804450797 y Johan Josué Morocho Reinoso CI. 1804450789 con el proyecto de investigación titulado: **“PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental bajo mi supervisión

Ing. Pedro Andrés Peñafiel Arcos, Msc.
Director de Proyecto



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 064-SAU-UEA-2019

Puyo, 18 de julio de 2019

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados. MOROCHO REINOSO DANIEL ISAÍAS con C.I. 1804450797; y, MOROCHO REINOSO JOHAN JOSUÉ con C.I. 1804450797, con el Tema: **“PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN, POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA, CIPCA”**, de la carrera Ingeniería Ambiental, Director de proyecto Ing. Pedro Andrés Peñafiel, MSc, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 5%, Informe generado con fecha 18 de julio de 2019 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: **“PROPUESTA DE HUMEDAL ARTIFICIAL CON VEGETACIÓN HERBÁCEA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE SE ORIGINARÁN POR LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN POSGRADO Y CONSERVACIÓN AMAZÓNICA”** fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Dr. Ricardo Abril
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Msc. Raúl Valverde
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Msc. Douglas Guzmán
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer, en primer lugar, a Dios por permitirnos vivir éste tan ansiado momento de nuestras vidas, por darnos la sabiduría suficiente y las fuerzas emocionales para no decaer durante este gran esfuerzo que comprendió nuestra carrera como Ingenieros Ambientales.

En segundo lugar, queremos agradecer de manera muy especial a nuestro tutor y amigo Pedro Peñafiel por su inmensa ayuda, colaboración y sobre todo paciencia en cada momento de consulta y soporte en este trabajo de investigación.

Finalmente, agradecemos a la Universidad Estatal Amazónica y a su Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica CIPCA por abrirnos las puertas para poder realizar este proyecto de investigación.

Daniel y Johan

DEDICATORIA

El esfuerzo y dedicación que pusimos en el proyecto de investigación está dedicado a nuestros pilares fundamentales de nuestras vidas

A mi padre, quien, con su esfuerzo, amor, apoyo emocional y económico, supo guiarnos hacia la toma de buenas decisiones durante toda la carrera universitaria y más aún en la vida diaria.

A mi madre, quien, con sus enseñanzas fomento el amor al estudio desde nuestra niñez y ahora con sus bendiciones hace posible que nosotros demos un paso más en nuestras vidas.

A mis abuelitas, quienes, estuvieron con nosotros sin importar los buenos o malos comportamientos llenándonos de amor y fomentando la unión dentro de la familia.

Finalmente, a toda mi familia por estar en los buenos y malos momentos junto a nosotros brindándonos consejos y compartiéndonos su sabiduría para crecer como personas y como futuros profesionales.

Daniel y Johan

RESUMEN EJECUTIVO

América Latina (AL) es una región con elevada disponibilidad de los recursos de agua dulce, ésta agua es utilizada en actividades diarias de las personas como: la agricultura representando un 70% a 80%, la industria con un 20% y el uso doméstico con un 6%, por lo que se le considera como un recurso indispensable para el ser humano, sin embargo, a pesar de que la disponibilidad de los recursos de agua dulce es alta existe un problema en los países que se encuentran en vías de desarrollo, dicho problema es la contaminación del recurso hídrico

El Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica “CIPCA”, se encuentra ubicada en la Región Amazónica Ecuatoriana, localizado entre la Provincia de Pastaza y Napo, en el Cantón Santa Clara y Arosemena Tola, es propiedad de la Universidad Estatal Amazónica “UEA” cuenta con un programa de ordeñamiento el cual no realiza ninguna practica sobre el tratamiento de aguas residuales eso traerá consigo impactos ambientales a los recursos naturales.

El estudio plantea la elaboración de una propuesta de tratamiento a las aguas residuales que se generarán en el sistema de ordeñamiento planteado a ejecutarse a corto plazo dentro de esta actividad, mediante el diseño de un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial, el cual contribuirá a la prevención y mitigación de la contaminación ambiental, además del uso de una especie herbácea la cual ayudará al tratamiento de las aguas para que estas puedan desembocar en un cuerpo receptor de acuerdo a la Normativa ambiental vigente y dentro de los límites permisibles de la misma.

Palabras Claves

Tratamiento de aguas – Macrófitas - Jacinto de Agua – Ordeñamiento – Depuración

Abstract

Latin America (AL) is a region with high availability of freshwater resources, this water is used in people's daily activities such as: agriculture representing 70% to 80%, industry with 20% and domestic use with 6%, which is why it is considered an indispensable resource for human beings, however, although the availability of freshwater resources is high, there is a problem in the countries that are developing this problem is the pollution of the water resource

The Center for Research, Postgraduate and Conservation of Amazonia "CIPCA" is located in the Ecuadorian Amazon Region, located between the Province of Pastaza and Napo, in the Canton of Santa Clara and Arosemena Tola, it is owned by the State University of the Amazon "UEA" It has a milking program which does not perform any practice on wastewater treatment that will bring environmental impacts to natural resources.

The study proposes the elaboration of a proposal of treatment to the residual waters that will be generated in the milking system proposed to be executed in the short term within this activity, by means of the design of an artificial wetland of subsuperficial horizontal flow, which will contribute to the prevention and mitigation of environmental pollution, in addition to the use of a herbaceous species which will help the treatment of the waters so that they can flow into a receiving body according to the current environmental regulations and within the permissible limits of it.

Keywords

Water treatment – Macrophytes - Water Hyacinth – Milking – Depuration

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO II	4
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 ACTIVIDAD GANADERA	4
2.2 IMPACTOS AMBIENTALES QUE PRODUCE LA ACTIVIDAD GANADERA	5
2.2.1 IMPACTO AMBIENTAL SOBRE EL SUELO Y EL AGUA	5
2.2.2 IMPACTO AMBIENTAL EN EL AIRE	6
2.2.3 IMPACTO EN LOS CULTIVOS	6
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA ACTIVIDAD GANADERA	7
2.3.1 ASPECTOS FÍSICOS	7
2.3.1.1 OLOR	7
2.3.1.2 SOLIDOS TOTALES	7
2.3.1.3 SÓLIDOS SEDIMENTABLES	8
2.3.1.4 SOLIDOS SUSPENDIDOS	8
2.3.1.5 TURBIDEZ	8
2.3.1.6 TEMPERATURA	8
2.3.2 ASPECTOS QUÍMICOS	8
2.3.2.1 ACEITES Y GRASAS	8
2.3.2.2 PH	9
2.3.2.3 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)	9
2.3.2.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	9
2.3.3 ASPECTOS BIOLÓGICOS	9
2.4 QUE ES UN HUMEDAL ARTIFICIAL	10
2.4.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO BASADOS EN MACRÓFITAS DE HOJAS FLOTANTES	14
2.4.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO BASADOS EN MACRÓFITAS SUMERGIDAS	14
2.4.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO BASADOS EN MACRÓFITAS ENRAIZADAS EMERGENTES	14

2.4.3.1	HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL	14
2.4.3.2	HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	15
2.4.3.2.1	HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL	16
2.4.3.2.2	HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL	16
2.4.4	COMPONENTES DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL	17
2.4.4.1	AGUA	17
2.4.4.2	RELLENO O MEDIO DE SOPORTE.....	17
2.4.4.3	VEGETACIÓN (PLANTAS ACUÁTICAS EMERGENTES)	18
2.4.4.4	MICROORGANISMOS (BIOPELÍCULA)	20
2.4.5	DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL	21
2.5	MARCO LEGAL.....	29
CAPÍTULO III		33
3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	33
3.1	LOCALIZACIÓN	33
3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN	34
3.3	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	35
3.3.1	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.	35
3.3.1.1	ENTREVISTA AL ENCARGADO DEL PROGRAMA DE ORDEÑAMIENTO.	35
3.3.2	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DEL POSIBLE HUMEDAL Y TIPO DE PLANTA A UTILIZAR.	35
3.3.2.1	TIPO DE HUMEDAL.....	35
3.3.2.2	TIPO DE PLANTA	36
3.3.3	DISEÑO DEL HUMEDAL	37
3.3.3.1	PRETRATAMIENTO	37
3.3.3.1.1	CANAL DE DESBASTE	37
3.3.3.1.1.1	PROFUNDIDAD.....	38
3.3.3.1.1.2	LONGITUD.....	39
3.3.3.1.2	DESARENADOR.....	39
3.3.3.2	DISEÑO DE HUMEDALES SUBSUPERFICIALES DE FLUJO HORIZONTAL	41
3.3.3.2.1	DIMENSIONAMIENTO	41
3.3.3.2.1.1	DIMENSIONAMIENTO BIOLÓGICO.....	41
3.3.3.2.1.2	DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO	42
3.3.3.3	SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DEL HUMEDAL	43
3.3.3.4	SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Y RECOGIDAS	44

3.3.3.5	SUSTRATOS, SEDIMENTOS Y RESTOS DE VEGETACIÓN.....	45
3.3.3.6	MEDIO GRANULAR.....	45
3.3.3.7	IMPERMEABILIZACIÓN.....	46
3.3.3.8	COSTOS.....	46
3.3.4	RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES	46
CAPÍTULO IV.....		48
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	48
4.2	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DEL POSIBLE HUMEDAL Y TIPO DE PLANTA A UTILIZAR.....	49
4.3	DISEÑO DE HUMEDAL	50
4.3.1	PRETRATAMIENTO	50
4.3.1.1	CANAL DE DESBASTE	50
4.3.1.2	DESARENADOR.....	51
4.3.2	DISEÑO DE HUMEDALES SUBSUPERFICIALES HORIZONTALES	51
4.3.2.1	DIMENSIONAMIENTO BIOLÓGICO	52
4.3.2.2	DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO	52
4.3.3	COSTOS.....	53
4.4	DISCUSIÓN	55
4.4.1	COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON INVESTIGACIONES EN TRABAJOS SIMILARES	55
CAPÍTULO V		57
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
5.1	CONCLUSIONES	57
5.2	RECOMENDACIONES	58
CAPÍTULO VI.....		59
6	BIBLIOGRAFÍA	59
CAPÍTULO VII.....		70
7	ANEXOS.....	70

Índice de Tablas

Tabla 1. Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce	31
Tabla 2. Valores recomendados de los parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejillas.....	38
Tabla 3. Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de Desarenadores	39
Tabla 4. Fuentes Bibliográficas acerca del DBO5 inicial y Nitrógeno de las aguas residuales de Ordeñamiento	42
Tabla 5. Órdenes de magnitud de la Conductividad Hidráulica (Ks) en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un Humedal construido de flujo	42
Tabla 6. Recursos Humanos para la Investigación	46
Tabla 7. Equipos necesarios para la Investigación	46
Tabla 8. Material útil para la ejecución de la Investigación	47
Tabla 9. Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios del Canal de Desbaste	53
Tabla 10. Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios del Desarenador.....	53
Tabla 11. Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios del Humedal Artificial Subsuperficial Horizontal.....	53
Tabla 12. Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios.....	54

Índice de Figuras

Figura 1. Línea de Pretratamiento	37
Figura 2. Zona de entrada y salida en un humedal de flujo subsuperficial horizontal.....	44
Figura 3. Canal de vertido en un humedal de flujo horizontal.....	45

Índice de Imágenes

Imagen 1. Mapa del CIPCA	33
---------------------------------------	----

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

América Latina (AL) es una región con elevada disponibilidad de los recursos de agua dulce, ésta agua es utilizada en actividades diarias de las personas como: la agricultura representando un 70% a 80%, la industria con un 20% y el uso doméstico con un 6%, por lo que se le considera como un recurso indispensable para el ser humano (CEPAL / UNW-DPAC de 2012). Sin embargo, a pesar de que la disponibilidad de los recursos de agua dulce es alta existe un problema en los países que se encuentran en vías de desarrollo, dicho problema es la contaminación del recurso hídrico. Ésta contaminación mencionada se debe al vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento, mayoritariamente este fenómeno ocurre en las grandes ciudades, no es así en las zonas rurales donde la contaminación se origina en la defecación a campo abierto y a la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorio de agentes patógenos. Como una estadística general se dice que únicamente el 20% de las aguas contaminadas que se mencionaron anteriormente son sometidas a un tratamiento (Balcazar, 2008), esto se debe a distintos factores como, por ejemplo: al retraso en infraestructura, falta de inversión necesaria para la construcción de nuevas instalaciones que permite la fijación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para una gestión sostenible. (WB, 2014A).

En la mayoría de los países de América Latina, muchas instalaciones de tratamiento son abandonadas debido a los altos costos de operación o bajo rendimiento (Balcazar, 2008), por lo tanto, todavía se puede presenciar deficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

Por otra parte, la expansión de la agricultura y ganadería se han establecido, en mayor número, en áreas con escasas de agua. En lo que refiere a la actividad de “ordeñamiento” existen diferentes maneras en las que el agua puede ser contaminada, entre ellas están: por excretas de las vacas, residuos de leche que se encuentran en las máquinas de ordeño, tierra, balanceado, etc, sin embargo, la que tiene mayor relevancia es la contaminada por excretas. El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas, e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo (EPA, 2006). El nitrógeno es abundante en el estiércol, y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol está

relacionado con la contaminación de aguas superficiales (Miller, 2001)

Debido a que el fósforo en el agua no se considera directamente tóxico, no se han establecido niveles estándares en el agua potable, sin embargo, el fósforo tiene un impacto ambiental importante en el recurso hídrico ya que vertido directamente en las corrientes o aplicado en el suelo, estimula el proceso de eutrofización el cual aumenta las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto y varía el pH, afectando así la calidad del agua (EPA, 2000). A pesar de que se habla del impacto de la ganadería sobre el agua, hay muy pocas investigaciones realizadas en el país lo que trae consigo que los productores no tomen conciencia y así mismo no les permita tomar decisiones acertadas para favorecer el manejo de las microcuencas en razón a que estas son la unidad básica de acción y gestión en la región andina donde se concentra la mayor producción de leche. (Murgueitio, E. 2003).

El uso del suelo de cada microcuenca puede tener una relevancia positiva o negativa sobre las corrientes de agua que la drenan, por estas razones, la relación ganadería - manejo de la microcuenca será un tema de la mayor prioridad en la gestión ambiental del futuro inmediato, como es en el caso del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica “CIPCA”, en donde para la actividad del ordeño específicamente, no existe ningún tipo de tratamiento a las aguas residuales lo cual traerá consigo impactos al medio ambiente.

El Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica “CIPCA”, se encuentra ubicada en la Región Amazónica Ecuatoriana, localizado entre la Provincia de Pastaza y Napo, en el Cantón Santa Clara y Arosemena Tola, es propiedad de la Universidad Estatal Amazónica “UEA” (Universidad Estatal Amazónica, 2018).

Actualmente el CIPCA cuenta con varios espacios físicos adecuados para la ejecución de diversos programas de investigación (Universidad Estatal Amazónica, 2018), de los cuales ciertos programas se encuentran en funcionamiento, y otros ya autorizados con una ejecución a corto plazo. Uno de ellos se enfoca en la actividad ganadera, por lo que el estudio plantea la elaboración de una propuesta de tratamiento a las aguas residuales que se generarán en el sistema de ordeñamiento planteado a ejecutarse a corto plazo dentro de esta actividad, mediante el diseño de un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial, el cual contribuirá a la prevención y mitigación de la contaminación ambiental, además éste sistema de humedal artificial posee una característica notable la cual es su poca sensibilidad a los cambios de temperatura para eliminar DBO. Numerosos estudios han demostrado que la eficiencia de eliminación de la DBO de los humedales no mejora en verano ni empeora en invierno de forma significativa, gracias a esto se podrían tratar correctamente los efluentes producidos en la actividad. (García & Corzo, 2008).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La falta de previsión de un tratamiento de aguas residuales a generarse por la actividad ganadera en el CIPCA, provocará impactos ambientales en el medio acuático del cuerpo receptor de las descargas, en el suelo por la filtración y en el aire por las emisiones atmosféricas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la propuesta de un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial con especies herbáceas presentes en la zona de aplicación, para el tratamiento de las aguas residuales a generarse en el programa ganadero del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la línea base de las condiciones técnicas, operacionales y ambientales actuales con las que cuenta el programa ganadero del CIPCA.
- Ejecutar un análisis técnico-económico de las diferentes alternativas de humedales artificiales y de especies herbáceas que se podrían desarrollar y utilizar para el tratamiento de las aguas residuales generadas.
- Realizar la propuesta de diseño del humedal artificial seleccionado para el tratamiento de las aguas residuales a generarse en el programa ganadero del CIPCA.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 ACTIVIDAD GANADERA

Es una de las actividades económicas más antiguas desarrollada a nivel mundial, la cual consiste en la crianza de animales para su futuro aprovechamiento. Para los investigadores la ganadería es producción y colocación de productos que son adquiridos en el mercado que son derivados de animales como los lácteos, en especial, como la leche. (Herrero, M. A., y S. B. Gil. 2008).

El ganado bovino es el más importante desde el punto de vista económico, pues representa más de la mitad de la carne que se consume en el mundo, el 95 % de la leche y el 80 % de los cueros. (FAO, 1996).

Los sistemas de producción del ganado bovino impactan menos al agua y al suelo, pero emiten más gases de efecto invernadero, comparados con los sistemas de producción de otras especies. (Thomassen , Van Calker, Smits, Lepema, & de Boer, 2008).

En Ecuador existen 5,2 millones de bovinos que producen 5,8 millones de litros (L) de leche y 900.000 empleos directos, alrededor del 8% de la población activa (INEC, 2012) y (Mosquera M, 2007).

La actividad bovina se distribuye por regiones según las características agroclimáticas, diferenciándose tres zonas en el país: la región Sierra con clima templado y sistemas intensivos especializados (50,6% del censo total), la región Costa (36,3% del censo total) y la zona de Oriente (13,1% del censo total) donde predomina el clima cálido (Haro R, 2003). Es importante mencionar que la disposición final de las aguas residuales producidas por estas actividades humanas representa un problema de gran magnitud que se va incrementando y a la vez agravando cuando se trata de ciudades grandes o principales, convirtiéndose así en un dilema, puesto que, el agua residual se constituye en una fuente alterna de gran importancia para el riego de los cultivos, los mismos que si se pretende usar y no tienen un tratamiento adecuado pueden conformar un problema mayor por todos los riesgos que pueden ocasionar, es por esa razón que el sector ganadero deberá buscar alternativas de producción que permitan producir competitiva y sosteniblemente, identificando en las fincas ganaderas las áreas con mayor potencial productivo para cada alternativa (Ibrahim y Schlönvoigt, 1999). Por ello, es importante conocer el estado actual del uso del suelo de las fincas ganaderas, que pueden aportar al desarrollo de las estrategias a seguir para conservar de mejor manera

los estados de suelo, agua y aire que existe en beneficio de los sistemas productivos y de la conservación del ecosistema.

La palabra ganadería bovina incluye una variedad de sistemas productivos manejados y liderados por distintos grupos sociales, situados en diferentes zonas terrestres y por lo tanto distribuidas en diferentes regímenes climáticos, tipos de suelos y formaciones vegetales (<biblio>). En América tropical la mayor proporción de ecosistemas naturales transformados se encuentra en sistemas ganaderos de pastoreo y suman en la actualidad 548 millones de hectáreas (33% de la región y 11% de las tierras agrícolas del mundo). Esto quiere decir que el 77% de la frontera agropecuaria son sistemas destinados al pastoreo de animales domésticos con un porcentaje mayor de los bovinos sobre otras especies como ovinos, equinos, cabras y búfalos (FAO 1996).

La ganadería se practica muchas veces en sitios inapropiados lo que conlleva a la degradación ambiental, como en la Amazonia donde ya un 35% de las pasturas están abandonadas ante el fracaso económico y los suelos improductivos (Da Silva et al 1996).

2.2 IMPACTOS AMBIENTALES QUE PRODUCE LA ACTIVIDAD GANADERA

2.2.1 IMPACTO AMBIENTAL SOBRE EL SUELO Y EL AGUA

Los efluentes ocasionados por el ganado tienen comúnmente un alto contenido de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes, metales y compuestos farmacéuticos. Como consecuencia de la aplicación al suelo del estiércol de ganado, los nutrientes y antibióticos pueden filtrarse de los suelos hacia las aguas subterráneas y superficiales, provocando un efecto considerable sobre la calidad del agua, esto favorece al crecimiento de algas (Pérez, R. 2001). Por otro lado, es importante mencionar que el estiércol le aporta materia orgánica valiosa al suelo, contribuye a conservar los nutrientes suministrados por otros fertilizantes (Pimentel et al, 1992).

Sin embargo, se proponen algunas soluciones para remediar este problema como controlar los accesos y eliminar los obstáculos a la movilidad en los pastos comunales, además de utilizar métodos de conservación del suelo y el silvopastoreo, junto la exclusión controlada del ganado en áreas delicadas y el pago por servicios medioambientales en el uso del suelo para la ganadería para limitar su degradación. (CIEMA, 2014).

Como ya sabemos la actividad biológica del suelo se estimula a través del uso de estiércol de herbívoros, procesado por lombrices rojas *Eisenia foetida* (Ferruzzi, C, 1987). Se puede

mencionar que las poblaciones de artrópodos benéficos del suelo se estimulan a través del efecto del estiércol sobre las cadenas alimenticias

2.2.2 IMPACTO AMBIENTAL EN EL AIRE.

La ganadería impacta incluso en el aire a través de las emisiones de amoníaco (NH_3) y gases de efecto invernadero (GEI) representados por el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el dióxido de carbono (CO_2), que surgen simultáneamente de la vivienda de los animales, los patios, el almacenamiento de estiércol y tratamiento (Chadwick, D., S. Sommer, R. Thorman, D. Fangueiro, L. Cardenas, B. Amon, and T. Misselbrook. 2011).

Como se menciona anteriormente la actividad ganadera puede afectar a la atmósfera como es en el caso de las descargas del estiércol como pueden ser polvo, olores y gases producto de la digestión anaeróbica y descomposición aeróbica. El polvo se presenta principalmente en operaciones ganaderas en confinamiento en zonas áridas. Cuando la vegetación es completamente removida, se forma una capa de estiércol y el movimiento del ganado produce enormes nubes de polvo. El olor no presenta riesgos a la salud, pero representa una molestia por las poblaciones aledañas a la actividad que lo genera. (Miner et al., 2000).

Las emisiones globales de metano entérico, metano de estiércol y de óxido nitroso son 113, 40 y 10 TgCO_2Eq (EPA, 2005).

El metano emitido por el estiércol proviene del metano de la fermentación entérica capturado en las heces, y de la digestión anaeróbica de la materia orgánica del estiércol (De Klein et al., 2008). El estiércol contribuye con 50 % del total de emisiones de amoníaco hacia la atmósfera, porque su tasa de volatilización es mayor a 23 % (BANR y BEST, 2003).

Sin embargo, se proponen algunas soluciones para remediar este problema como incrementar la eficiencia de la producción ganadera y de la agricultura forrajera.

Mejorar la dieta de los animales para reducir la fermentación intestinal y las consiguientes emisiones de metano. Establecer plantas de biogás para reciclar el estiércol. (Chadwick, D., S. Sommer, R. Thorman, D. Fangueiro, L. Cardenas, B. Amon, and T. Misselbrook. 2011).

2.2.3 IMPACTO EN LOS CULTIVOS

La aplicación en el campo del estiércol de ganado proporciona nutrientes y microelementos útiles para el crecimiento de los cultivos, pero también elementos que pueden acumularse en sus tejidos y entrar en la cadena alimentaria (Dietz y Hoogervorst, 1991).

La aplicación de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo; el nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoníaco y las plantas lo usan como nutriente (Miner

et al., 2000). A pesar de ello, la valoración del estiércol como fertilizante orgánico, comparada con la de fertilizantes químicos, es mínima. Por sus características orgánicas, el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión. Además, la fracción líquida del estiércol ayuda a disminuir las pérdidas de nitrógeno, carbono y azufre en sus formas gaseosas, en el suelo (Capulin et al., 2001), así puede reducir el uso de fertilizantes químicos y, por tanto, el impacto ambiental (Bouwman y Booi, 1998).

Como se indicó, los constituyentes inorgánicos de importancia ambiental contenidos en las excretas son nitrógeno y fósforo, pero es importante conocer sus concentraciones porque el método de fertilización, la combinación con otros fertilizantes, la velocidad de descomposición y sus posibles factores de riesgo como contaminantes, dependerán de ellos (IPCC, 2006). Según ASABE (2005), los volúmenes promedio de estiércol fresco generados cada día son 0.102 kg/pollo de engorda, 0.270 kg/pavo, 4.7 kg/cerdo de engorda, 22 kg/bovino de engorda, 38 kg/vaca seca y 68 kg/vacas lactantes.

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA ACTIVIDAD GANADERA

Para la caracterización del agua residual del establo en estudio es necesario tomar en cuenta diferentes aspectos clasificados en físicos, químicos y biológicos, los cuales son fundamentales para el diseño de la propuesta de tratamiento y, además, su evaluación está regulada por el Reglamento especial de Aguas Residuales, y reflejan las condiciones del agua residual en vía a su tratamiento.

2.3.1 ASPECTOS FÍSICOS

2.3.1.1 OLOR

Este tipo de agua residual tiene un olor característico, generado por los gases volátiles que producen metano (CH_4) y por los procesos de degradación de la materia orgánica, generando un olor fecal y nauseabundo (Lara A, 2019).

2.3.1.2 SÓLIDOS TOTALES

El contenido de sólidos de un agua afecta directamente a la cantidad de lodos que se produce en el sistema de tratamiento o disposición (Barba, 2002). Se considera como sólidos totales de un agua, el residuo de la evaporación y secado a 103 – 105 °C. Se expresa en mg/L.

2.3.1.3 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Son los sólidos que se encuentran en la parte inferior o asentados en el fondo de un cono Imhoff, por ejemplo, en un periodo de más o menos una hora y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple (Díaz, S, et al., 2013). Se expresan comúnmente en mg/L.

2.3.1.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Son un tipo de sólidos no sedimentables que son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua (Doménech, X, 1995).

2.3.1.5 TURBIDEZ

Es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través del agua (Glynn, J; Heinke, G, 1999). Es un parámetro que nos indica la presencia de sólidos en suspensión de compuestos como la arcillas, materia orgánica e inorgánica. Se determina la turbidez por su gran aporte en la caracterización de las aguas para su tratamiento pues indica su efectividad (Helmer, R, 1999). Se expresa en NTU.

2.3.1.6 TEMPERATURA

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, puesto que influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Metcalf y Hedí Inc, 1996). Se expresa en °C.

2.3.2 ASPECTOS QUÍMICOS

2.3.2.1 ACEITES Y GRASAS

A los niveles de aceites y grasas se les toma en consideración ya que tienen escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa. A pesar de que estas características son una ventaja para facilitar su separación mediante el uso de sistemas de flotación, su presencia complica el transporte de los residuos y su eliminación en unidades de tratamiento biológico (Doménech, X, 1995).

2.3.2.2 PH

La determinación del pH en agua residual es un parámetro importante, ya que determina la calidad de la misma. El intervalo idóneo de pH para el desarrollo de la vida se encuentra entre 6,5 a 8,5, si este es modificado, provocará que el agua tenga una acidez o basicidad la cual producirá la muerte de la vida acuática (Romero R, 1999).

2.3.2.3 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)

Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente utilizado. Se define como la velocidad a la que los microorganismos y los productos químicos utilizan el oxígeno del agua residual en el proceso de la oxidación bioquímica de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas (Sawyer, C. N.; Perry, L, 2000).

2.3.2.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

Es una medida de la capacidad del agua para consumir oxígeno durante la descomposición de la materia orgánica y la oxidación de sustancias químicas inorgánicas como amoníaco y nitrito (Dickson, T, 1997).

2.3.3 ASPECTOS BIOLÓGICOS

Los principales parámetros biológicos que se pueden medir en las aguas residuales de establos son: Coliformes fecales, Coliformes totales, Escherichia, Enterobacter, Klebsiella, Serratia, Edwardsiella.

En el caso de aguas residuales provenientes de establos de ganado bovino se toma como principal indicador de contaminación bacteriana, el conteo de Coliformes totales (Lara A, 2019).

Los Coliformes totales incluyen a los contaminantes comunes del tracto gastrointestinal en grandes cantidades tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias. Estas bacterias son de interés clínico, puesto que pueden ser capaces de generar infecciones en el tracto respiratorio superior e inferior, además de bacterias perjudiciales a la salud, infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades que pueden afectar al ser humano (Kiely, G, 1999).

2.4 QUE ES UN HUMEDAL ARTIFICIAL

Los Humedales Artificiales se definen como sistemas que simulan una zona de transición entre el ambiente terrestre y el acuático, pero que son específicamente contruidos para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad de tratamiento (Gerba *et al.* 1999) y son utilizados para aguas residuales de tipo doméstico, aunque también han funcionado para aguas de origen industrial (Fenoglio 2000).

Se pueden definir también como sistemas biológicos confinados mediante algún tipo de impermeabilización, que surgen a partir de la simulación de los mecanismos propios de los humedales naturales para la depuración de las aguas, donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica, fotosíntesis, fotooxiación y toma de nutrientes por parte de la vegetación (Armstrong, W. et al., 1990).

Los humedales artificiales poseen algunas características entre ellas están:

- Básicamente son tratamientos físicos, químicos y biológicos naturales, que no necesitan el aporte extra de reactivos químicos.
- En lo que respecta a su funcionamiento como tratamiento biológico, se opera en condiciones anaerobias, facultativas y/o aerobias en las que el oxígeno se aporta de forma espontánea desde la atmósfera, lo que representa un ahorro importante de energía y la no utilización de aparatos mecánicos de aireación.
- Se requieren extensiones de terreno superiores a las de los sistemas convencionales dados la baja velocidad de degradación de la materia orgánica del agua, por lo que son más lentos. (Armstrong, W. et al., 1990).

Estas características hacen que los humedales artificiales sean idóneos en sistemas rurales, donde no existe alcantarillado y por lo tanto no tienen conexión a estaciones de tratamiento, como es en el caso del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica donde existe grandes extensiones de terreno disponibles (granjas o casas rurales), o también en algunas fincas industriales donde generen efluentes de tipo orgánico y de elevada biodegradabilidad, como son las industrias agroalimentarias (como por ejemplo, lecherías y queserías), o también son útiles para la depuración de aguas ácidas de minas, aguas de coquerías, o de lluvia (Bastviken, S. et al., 2005).

Las razones por las que ha incrementado el interés por esta tecnología son los siguientes:

- Proporcionan un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc.
- Sus costes de inversión, operación y mantenimiento son significativamente menores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.
- Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable en muchos casos.
- El aporte de oxígeno es aportado por la atmosfera.
- No generan fangos.
- Aguantan bien los cambios repentinos de caudal o de carga contaminante.
- Están bien integrados dentro del paisaje, contribuyen al desarrollo de vida y tienen la posibilidad de ser utilizados para la concienciación y educación medioambiental.

A pesar de todas estas ventajas, se ha observado que:

- En países con clima templado y durante el invierno disminuye la efectividad de depuración de estos sistemas, sobre todo en la eliminación de nitrógeno.
- La eliminación de fósforo es baja y disminuye con el tiempo.
- Requieren grandes extensiones de terreno para alcanzar resultados satisfactorios, sin embargo, la diferencia solo repercute en el tiempo que necesita para depurar las aguas.
- No pueden ser alimentados directamente con aguas residuales de altas cargas orgánicas o de sólidos suspendidos. Requieren pretratamientos, al menos, para eliminar un exceso de sólidos suspendidos que podría provocar la obstrucción del lecho en poco tiempo (Bezbaruah, A.N. y Zhang, T.C, 2004).

Según U.S. (EPA, 1983), Un humedal se construye específicamente con el propósito de controlar la contaminación y manejar los residuos, en un lugar donde existe un humedal natural.

IWA (2000) define un humedal como una zona inundada o saturada, bien sea por aguas superficiales o por aguas subterráneas y con una frecuencia, duración y profundidad suficientes para mantener especies de plantas predominantemente adaptadas a crecer en suelos saturados. Estas zonas húmedas (humedales artificiales) se han aprovechado para el control de la contaminación, generada por las aguas residuales de manera indiscriminada de cualquier industria.

La investigación científica y sistemática expandió el horizonte de aplicaciones de los humedales artificiales como sistemas que controlan la contaminación. Esta investigación en particular se inició alrededor de los años cincuenta con el trabajo de Seidel y posteriormente de Kickuth que crearon el concepto de "rhizosphere" (Borner et al, 1998).

Sin embargo, los resultados obtenidos no fueron convincentes, pero marcaron el inicio en el desarrollo y en la investigación de esta tecnología. El primer humedal construido específicamente para tratar aguas residuales entró en operación en 1974 en Othofresen (Vymazal, et al., 1998). A partir de allí, el desarrollo de esta tecnología ha sido acelerado y efectivo y ha llevado a la construcción de estos sistemas, tanto en Norte América como en Europa. Según Kadlec y Knight (1996) hay más 200 de estos sistemas en operación en Norte América, mientras que Brix (1997) afirma que hay más de 500 de estos sistemas en operación en Europa.

Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales como pueden ser:

- Aguas domésticas y urbanas.
- Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.
- Aguas de drenaje de extracciones mineras.
- Aguas de esorrentía superficial agrícola y urbana.
- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan. (Brix H., 1990).

Los humedales eliminan contaminantes gracias a varios procesos donde incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Brix, H. y Schierup, H., 1990).

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual (Brix, H., 1990) y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos (Schierup, H., 1990).

El tratamiento de aguas residuales, específicamente para la depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución. (Brix H., 1994).

Estos sistemas purifican el agua mediante remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química. (Cooper *et al*, 1998).

Se conoce que los componentes principales de un humedal artificial son las plantas, el sustrato y la población microbiana. Las plantas pueden ser de diferentes especies y hábitos de enraizamiento y entre sus principales funciones se encuentra la absorción de nutrientes, la relación simbiótica que se establece con los microorganismos, el suministro de oxígeno y la filtración de partículas (Brix *et al*. 2001).

El sustrato es el soporte para las plantas y un medio de fijación para los microorganismos en el sistema y funciona como conductor hidráulico (Faulkner y Richardson 1989).

Los microorganismos son la parte fundamental del funcionamiento de los HA, ya que de ellos depende la eficiencia en la remoción de los contaminantes: ayudan a la degradación de la materia orgánica y a la transformación de compuestos nitrogenados y de fósforo contenidos en las aguas residuales, a compuestos más simples. (Faulkner y Richardson 1989).

El tipo de planta que se pretende incorporar en el humedal es de suma importancia, debido a que difieren en su capacidad de depuración del agua residual, en la remoción de nutrientes específicos, de elementos traza y de compuestos potencialmente tóxicos como los metales pesados (Gopal 1999).

Las raíces actúan como superficie para la fijación de microorganismos, aumentando así, la superficie de biopelícula (Kadlec y Knight, 1996; Bastviken y col., 2005).

Entre las ventajas de este sistema se encuentra el bajo costo de instalación y mantenimiento, comparado con sistemas físicos, químicos y biológicos convencionales e indiscutiblemente de aportar un paisaje agradable. Los HA correctamente diseñados y contruidos, pueden depurar las aguas municipales, industriales y las de lluvia, y son especialmente eficaces en la eliminación de contaminantes del agua, como son sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos y metales. Son una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación del agua si se mantienen y operan correctamente. (Miranda 2000).

Los humedales pueden clasificarse según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres.

Considerando la forma de vida de estas, los humedales artificiales pueden clasificarse en:

2.4.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO BASADOS EN MACRÓFITAS DE HOJAS FLOTANTES

Estos sistemas los ocupan principalmente las angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema. (Campbell, C.S. y Ogden, M.H., 1999).

2.4.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO BASADOS EN MACRÓFITAS SUMERGIDAS

En este sistema se les puede incluir a algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (donde llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares solo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos. (Campbell, C.S. y Ogden, M.H., 1999).

2.4.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO BASADOS EN MACRÓFITAS ENRAIZADAS EMERGENTES

Estas macrófitas pueden incorporarse en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos (Cooper, P., 1999).

Según (Job, G. D. et al, 1996) los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal.

2.4.3.1 HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL

Este humedal consiste en canales donde la superficie del agua queda expuesta a la atmósfera y el fondo está constituido por suelo relativamente impermeable, o con una cubierta impermeable, vegetación emergente y niveles de agua poco profundos que oscilan entre 0.1 y 0.6 metros, en términos de paisaje, este sistema es muy recomendable por su capacidad de albergar distintas especies de peces, anfibios, aves, etcétera. Pueden constituirse, en lugares turísticos y en sitios de estudio de diferentes disciplinas por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen. (Ñique, 2004).

El tratamiento se produce durante la circulación lenta del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación. Este sistema se puede dividir, de acuerdo con el tipo de macrófitas (CIEMA, 2005), en:

- Sistemas con macrófitas flotantes: Formados por grandes lagunas con bajos niveles de agua y provistas de plantas macrófitas que flotan libremente en la superficie. Sus raíces sumergidas tienen un buen desarrollo
- Sistemas con macrófitas sumergidas: Compuestos por lagunas con un nivel de agua bajo y plantado con especies de macrófitas cuyo tejido fotosintético está totalmente sumergido. Estas plantas solo crecen bien en aguas que contienen oxígeno disuelto, por lo cual no se utilizan para aguas residuales con alta contenido de materia. (Costa, E. et al., 1985).

2.4.3.2 HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

El humedal artificial de flujo subsuperficial consiste igualmente en una balsa o canal impermeabilizado del exterior, que se encuentra relleno de un material sólido poroso ocupando casi toda su profundidad. (Brix, H., 1999) El agua residual pasa a través del medio poroso y siempre por debajo de la superficie del mismo. Como medio poroso, se suele utilizar rocas o grava. Además de tener medio soporte, estos sistemas funcionan con vegetación emergente, cuyo papel es fundamental para su buen funcionamiento (Dias, V. y Vymazal, J., 2003).

La circulación del agua a través del suelo o material de soporte parece ser siempre más efectiva que la circulación de superficie para muchos de los mecanismos de degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. (Dierberg, F.E. y Brezonik, P.L, 1984)

La zona aerobia se encuentra en las zonas muy cercanas a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. (García, J., 2003).

Por lo tanto, mientras mayor sea la superficie ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema. Esto hace que el área que se necesita sea menor que en los humedales de flujo superficial, pero tienen un mayor coste debido al uso de una mayor cantidad de medio poroso. Además, con este sistema, se evitan

problemas como posibles plagas de insectos, olores y, en climas fríos, aportan una mayor protección térmica. (García, J., et al., 2004).

Dentro de los humedales de flujo subsuperficial, como se enumeró anteriormente, se puede encontrar dos tipos de flujo: horizontal (FSSH) y vertical (FSSV).

2.4.3.2.1 HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

En este tipo de humedal las aguas residuales fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, en una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta la superficie de recolección del efluente (Henze, M. et al, 1995).

2.4.3.2.2 HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL

En los sistemas de flujo vertical, la alimentación se realiza distribuida uniformemente por cargas y por toda la superficie, y la recogida a lo largo de todo el fondo. La tubería flexible, o no existe, o está en la posición más baja para mantener unas condiciones insaturadas en el medio poroso. Con este sistema, se consigue un mayor contacto entre el agua residual y el aire dentro de los poros, por lo tanto, el rendimiento de este sistema será más eficiente si se tiene mayor oxigenación. Los inconvenientes de este sistema es que su operación es más compleja, tiene un coste más elevado en comparación con los de flujo horizontal y también no han sido estudiados detalladamente como es en el caso de los horizontales. (Henze M. et al, 2000)

Los humedales artificiales con flujo subsuperficial son muy eficientes en lo que respecta al costo, consumo energético y mantenimiento, si los comparamos con sistemas convencionales. Desde el punto de vista de los costes, que un sistema FSS (flujo subsuperficial) sea competencia para uno FS (flujo superficial), para pequeñas comunidades y caudales, es difícil, pero esto siempre dependerá de los costos de la tierra, del tipo de impermeabilización que se requiera y el tipo y disponibilidad del material granular empleado (Langergraber G., 2001).

2.4.4 COMPONENTES DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL

Los humedales artificiales contienen, por lo general, agua, relleno sólido y plantas emergentes. Alguno de los componentes que también tienen importancia en los humedales, son las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos los cuales aparecen de forma espontánea durante su uso.

2.4.4.1 AGUA

El agua es la fase móvil dentro del humedal, se encargada del transporte de los contaminantes y en donde se van a producir la mayor parte de las reacciones responsables de la depuración. Las condiciones hidrológicas son extremadamente importantes para el mantenimiento estructural y funcional del humedal (Langergraber G., 2001).

Éstas condiciones afectan a muchos factores abióticos, incluyendo el estado oxidativo del lecho, la disponibilidad de los nutrientes y la salinidad. Estos factores abióticos, a su vez, determinan qué seres vivos van a desarrollarse en el humedal. Finalmente, y para completar el ciclo, los componentes bióticos actúan alterando la hidrología y otras características fisicoquímicas del humedal (Langergraber G. y Šimůnek J., 2005).

2.4.4.2 RELLENO O MEDIO DE SOPORTE

El relleno, junto con los sedimentos y los restos de vegetación, es importante por varias razones, entre estas están:

- Actúan como barrera primaria de tamizado.
- Actúan como estructura soporte de las plantas y como superficie para el crecimiento y desarrollo de la masa microbiana. En esta función, el tamaño de partícula es importante, puesto que, cuanto más pequeño es el tamaño de partícula, mayor cantidad de biopelícula albergará, pero mayores probabilidades existirán de que se produzcan una obstrucción de los poros (clogging) e inundaciones por encima del nivel subsuperficial (flooding). Por lo tanto, es necesario optimizar el tamaño de partícula. (Kadlec y Knight, 1996).
- Facilitan los mecanismos de adsorción e intercambio iónico entre el agua residual y los componentes minerales del suelo. Por ejemplo, el ión amonio sufre una adsorción débil por parte del lecho, y la cantidad adsorbida depende en gran medida de las condiciones de pH, concentración, etc., en el seno del líquido (Kadlec y Knight, 1996).

- La permeabilidad del relleno afecta al movimiento del agua a través del humedal.
- Favorecen la precipitación química de contaminantes disueltos, por ejemplo, precipitación de fosfatos con calcio, aluminio o hierro contenido en el relleno (Molle y col., 2003).

El comportamiento del humedal depende también de si el relleno está saturado de agua como en el caso de FSSH o está insaturado como lo presenta el FSSV. En un relleno saturado, el agua reemplaza el aire atmosférico, este hecho afecta, en mayor proporción, a la disponibilidad de oxígeno y determina la predominancia de mecanismos aerobios o anaerobios en los procesos biológicos que tienen lugar en el humedal (Kadlec, R.H., et al., 2000).

Cuando los aceptores de electrones alternativos al oxígeno (nitrato, hierro, manganeso, etc.) son insuficientes como para degradar la materia orgánica que existe en el agua residual, aparecen zonas anaerobias en las que se dan procesos de fermentación. (Kadlec, R.H., et al., 2000). Por lo tanto, en un mismo sistema se estarán dando procesos aerobios, anóxicos y anaerobios. La distribución de estas zonas dependerá de las características del agua influente o que ingresa, del aporte de oxígeno, de la morfología de las plantas (profundidad de las raíces, tipo de tallos, etc.), de las condiciones atmosféricas (viento, temperatura), entre otras. (Langergraber G., 2001).

Existen estudios en donde se observa que el oxígeno es gastado inmediatamente, demostrando que las zonas aerobias y anóxicas son muy pequeñas y están localizadas en finas capas alrededor de las raíces y de la superficie del agua. (Kadlec, R.H., et al., 2000).

La proporción de zonas aerobias y anóxicas disminuye a medida que se profundiza en el lecho poroso, es decir, que se aleja de las raíces y de la atmósfera. (Langergraber G., 2001).

2.4.4.3 VEGETACIÓN (PLANTAS ACUÁTICAS EMERGENTES)

Se cree que las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual de varias maneras:

- Las plantas acuáticas que crecen en los FSS se supone que actúan como canales de transporte de gases (dióxido de carbono, metano, etc.) hacia la atmósfera y oxígeno hacia el relleno. Es por eso que, al aporte de oxígeno por difusión atmosférica a través de la superficie de la grava se le añade el aporte que proporciona la planta. La cantidad de oxígeno aportado por la planta depende de algunos factores: de la especie, del tamaño, de la época del año, de la edad de la planta, de las condiciones ambientales y del entorno, y de las condiciones oxidativas de las raíces. Las plantas

suministran oxígeno a sus propias raíces para mantenerlas en condiciones aerobias. Si se encuentran con un lecho muy reductor, tienen que obligatoriamente suministrar más oxígeno para contrarrestar las condiciones donde se están desarrollando. Es por esto que una misma especie puede aportar más oxígeno cuando está en contacto con el agua residual. Esta cantidad de oxígeno transportado al lecho ha sido medida por varios autores y se encuentra en un amplio rango, incluso para la misma especie de plantas. (Langergraber G. y Šimůnek J., 2005).

- Las plantas ayudan a estabilizar el cauce, influyen en la conductividad hidráulica del terreno, distribuyen y ralentizan la velocidad del agua esto favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto entre el agua y la vegetación (Petticrew y Kalff, 1992).
- Las raíces actúan como superficie para la fijación de microorganismos, esto hace que aumente la superficie de biopelícula (Kadlec y Knight, 1996; Bastviken y col., 2005).
- Minimizan el gradiente de temperatura dentro del relleno, protegiéndolo del frío en invierno y evitando flujos indeseables por diferencias de temperatura (García y col., 2003; Brix, 1994).
- Cuando se mueren y se deterioran, dan lugar a restos de vegetación.

Hay numerosos estudios realizados por (Kadlec y Knight, 1996) en donde ponen a prueba los humedales con presencia y ausencia de plantas, estos estudios concluyen que el rendimiento de depuración es mayor cuando las plantas están presentes. Las plantas emergentes que frecuentemente se utilizan en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos, y juncos de laguna.

Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies son las dominantes en la mayoría de los humedales artificiales en los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, 1993). También existen algunos sistemas donde aplican los carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos.

Cuando se diseñan sistemas que buscan específicamente un incremento en las características de un hábitat, además de conseguir el tratamiento del agua residual, por lo general incluyen una gran variedad de plantas, especialmente para proporcionar alimentación y nido a las aves y otras formas de vida acuática. (Environmental Protection Agency, 2000).

2.4.4.4 MICROORGANISMOS (BIOPELÍCULA)

Las transformaciones, en su gran mayoría, de los nutrientes y del carbono orgánico en humedales son debidas al metabolismo microbiano y están directamente relacionadas con el crecimiento de los microorganismos. Éstos incluyen, principalmente, bacterias, hongos, y protozoarios. (McBride, G.B. y Tanner, C.C., 1999).

Esta biomasa se encuentra formando lo que llamamos biopelícula alrededor de las partículas del lecho.

En general, los procesos microbiológicos por los cuales los microorganismos depurarán el agua residual en el humedal son los mismos que en los sistemas biológicos convencionales. Los microorganismos utilizan los nutrientes y el carbono tanto como fuente de energía como para la formación de nueva biomasa microbiana. (McBride, G.B. y Tanner, C.C., 1999).

La velocidad de crecimiento de esta nueva biomasa dependerá tanto de las condiciones ambientales como de la disponibilidad del substrato. (Dickson, T, 1997).

La energía es obtenida por la oxidación de compuestos reducidos (dador de electrones) con un oxidante (aceptor de electrones) a través de la cadena respiratoria. Algunos ejemplos de donantes de electrones pueden ser los compuestos orgánicos, amonio, hidrógeno o sulfuros; mientras que, como aceptores se pueden encontrar oxígeno, nitrato, hierro (III), manganeso (IV) ó sulfato. (Sawyer, C. N.; Perry, L, 2000).

La mayoría de los procesos son llevados a cabo por bacterias heterótrofas y autótrofas. Dependiendo del aceptor final de electrones, el proceso será más o menos rentable. La degradación aerobia de materia orgánica alcanza mayor energía por unidad de masa de donador de electrones que la nitrificación o cualquier otra degradación orgánica. (Dickson, T. R., 1997).

Las bacterias que no usan oxígeno como aceptor final de electrones tienen un crecimiento más lento porque el proceso resulta menos eficiente que el de la respiración aeróbica. Existe una relación entre el potencial redox y los aceptores de electrones que actúan en la respiración microbiana dentro del humedal (García y col., 2004).

Los microorganismos, en su crecimiento, consumen nutrientes incorporándolos a su estructura celular. Es obvio, entonces, decir que las condiciones químicas y físicas que condicionan qué tipo de microorganismos van a existir (heterótrofos, autótrofos) influyen en la cantidad de nutrientes que absorben. Las poblaciones microbianas se adaptan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. (Mena, J, 2008).

Cuando las condiciones medioambientales no son favorables, muchos microorganismos se inactivan. La comunidad microbiana de un humedal puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales. (Mena, J, 2008).

2.4.5 DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL

Una variable que se debe considerar a la hora de diseñar un humedal artificial es la profundidad del mismo. El lecho de los humedales FSS tiene una profundidad típica de alrededor de 0.6 metros de relleno sólido. Éste, algunas veces, tiene encima una capa de grava fina de 7 a 15 centímetros de espesor. Esta grava fina sirve para el enraizamiento inicial de la vegetación y se mantiene seca cuando el sistema está en funcionamiento. (Mena, J, 2008)

Si se selecciona una grava relativamente pequeña, de tamaño inferior a 20 milímetros para la capa principal donde se realiza el tratamiento, la capa fina superior probablemente no será necesaria, pero entonces, la profundidad total del humedal deberá aumentar ligeramente para asegurar que se tenga una sección seca en la parte superior del lecho. Muchos humedales FSS actualmente en operación tienen profundidades de 0.6 metros, mientras que unos pocos, en climas cálidos donde el riesgo de congelación es mínimo, funcionan con 0.3 metros de profundidad. (Mena, J, 2008)

Estas bajas profundidades aumentan el potencial de transferencia de oxígeno obteniendo mejores resultados (García y col., 2004), pero hacen necesaria un área superficial mayor y se tiene el gran riesgo de la congelación en climas fríos. La profundidad de lecho de 0.6 metros requiere una operación especial basada en la alternancia de condiciones saturadas e insaturadas para inducir la penetración deseada de las raíces hasta el fondo (McBride y Tanner, 1999). El rendimiento en la eliminación de DBO, y nitrógeno amoniacal está directamente relacionado con la profundidad de penetración de las raíces. Esto quiere decir que, es aconsejable que la altura del lecho sea menor que la máxima profundidad de penetración de las raíces de las plantas elegidas para asegurar la presencia de raíces en todo el canal. (O'Hogain, S., 2003).

Para el buen funcionamiento de los humedales artificiales se necesita la ayuda de vegetación, la cual debe ser óptima para el lugar donde se pretenda instalar el humedal y debe adaptarse a las condiciones climáticas y geográficas del lugar. Existen especies de plantas capaces de absorber cualquier tipo de contaminante, hay otras que no logran cumplir su función por

cualquier circunstancia dentro de lo normal, sin embargo, existen plantas con una morfología idónea para minimizar o reducir la carga contaminante de las aguas residuales.

Las plantas se conocen con el nombre de plantas acuáticas o macrófitas, éstas cumplen un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos brindando directa o indirectamente alimento, protección y un gran número de hábitats para muchos organismos de estos ecosistemas.

Muchas de estas plantas son útiles para el ser humano, puesto que sirven de alimento, son materia prima para la industria y se usan en procesos de biorremediación, ya que pueden absorber algunas sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis.

Sin embargo, en algunos cuerpos de agua artificiales podrían crear problemas, porque pueden interferir con el uso que le da el hombre a esa agua al obstruir su flujo o la navegación y al crear ambientes propicios para plagas, enfermedades y vectores que afectan la salud humana (Cook y Gut 1974).

Las macrófitas ocupan diversas zonas de los ecosistemas acuáticos. Es frecuente observar la planta denominada *Lemna minor*, conocida comúnmente como lenteja de agua o duckweed (Roldán 1992), en lagunas o en las áreas de flujo lento, además en ríos y quebradas.

Lemna minor es una planta angiosperma (plantas con flores), monocotiledónea, perteneciente a la familia *Lemnaceae*. Su cuerpo vegetativo corresponde a una forma taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas. Consiste en una estructura plana y verde y una sola raíz delgada de color blanco.

Según Cook y Gut (1974) el talo ha sido interpretado de muchas maneras: un tallo modificado, una hoja o como parcialmente tallo y hoja. Otros autores consideran que el talo corresponde a una hoja modificada que cumple las funciones del tallo, la hoja y el eje florífero (Instituto Gallach 1984).

Su tamaño es pequeño, alcanzando de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Es una de las especies de angiospermas más pequeñas que existen en el reino de las plantas (Raven et al. 1971). En la misma familia de la lenteja de agua se encuentra *Wolffia*, reportada como la planta con flores de tamaño más reducido que existe en la Tierra; su cuerpo mide sólo 0,6 mm de largo y 0,2 mm de ancho, y su fruto, que es el más pequeño del planeta, mide sólo 0,3 mm de largo y pesa 70 mg (Armstrong 1996).

La lenteja de agua es una planta monoica, con flores unisexuales. Las flores masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo. El periantio está ausente. Las flores nacen de una hendidura ubicada en el borde de la hoja, dentro de una bráctea denominada espata, muy común en las especies del

orden arales. El fruto contiene de 1 a 4 semillas (Armstrong 2003, Instituto Gallach, 1984). La forma más común de reproducción es la asexual por gemación. En los bordes basales se desarrolla una yema pequeña que origina una planta nueva que se separa de la planta progenitora (Instituto Gallach 1984). Sin embargo, es común encontrar las plantas agregadas formando grupos de 2 a 4 individuos.

Es una planta que se distribuye universalmente. Se ha encontrado en varias regiones de los hemisferios norte y sur, incluyendo América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Se encuentra principalmente en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados (Armstrong 2003).

De acuerdo con Roldán (1992), *L. minor* es una planta acuática flotante de rápido crecimiento y de amplia distribución tropical y subtropical, que se desarrolla principalmente en lagunas.

La planta puede desarrollarse en distintos tipos de temperaturas, que varía entre 5° y 30°C, pero la temperatura idónea para su crecimiento oscila entre los 15° y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación. Crece rápidamente en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos.

Con frecuencia el hierro es un elemento limitante para su adecuado desarrollo. Pueden además tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5 (Rook 2002).

Puesto que es una especie flotante y de buen crecimiento, puede cubrir de manera acelerada la superficie de los cuerpos de agua donde se encuentra y con eso impedir el paso de la luz impidiendo el crecimiento de otros organismos fotosintéticos.

Esto se explica por la reducción en la intensidad lumínica disponible para la actividad fotosintética del alga. Por esto, la cobertura de plantas flotantes como *Lemna minor* reduce las probabilidades de que se presente la proliferación de algas y los consecuentes procesos de eutrofización en cuerpos de agua lénticos. Sin embargo, si se permite un crecimiento excesivo de la planta se pueden generar problemas de eutrofización, por lo que antes de incorporar la especie en los humedales se deben presentar medidas de control.

Adicionalmente, la inhibición del crecimiento de algunas macrófitas sumergidas o emergentes por parte de las plantas flotantes (tales como *Lemna spp* y *Salvinia spp*) puede ser considerado como una ventaja en canales profundos, ya que inhibe el crecimiento de plantas sumergidas que impiden la navegación (Roldán 1992).

Si las plantas acuáticas son cultivadas en aguas residuales, pueden ser utilizadas para la alimentación de animales, siempre y cuando las aguas tratadas no contengan sustancias tóxicas, y si éste es el caso, la biomasa obtenida podría utilizarse para producir metano, por

medio de la digestión anaerobia (Olguín y Hernández 1998).

Las macrófitas acuáticas han sido consideradas por varios autores como una plaga debido a su rápido crecimiento, ya que en ocasiones llegan a invadir lagunas, represas, canales de riego y generan varios problemas, al interrumpir el flujo del agua, propiciar eutrofización y crear ambientes para la crianza de vectores de enfermedades (Zambrano 1974, Cook et al. 1974). Sin embargo, si las plantas acuáticas se manejan adecuadamente, su poder de proliferación, capacidad de absorción de nutrientes y bioacumulación de contaminantes del agua las convierten en una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales.

Según Olguín y Hernández (1998), las características que deben contar las plantas acuáticas usadas para el tratamiento de las aguas residuales son las siguientes: alta productividad, alta eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes, alta predominancia en condiciones naturales adversas y fácil cosecha. *Lemna minor* cumple con todas estas características y gracias a esto ha sido empleada en sistemas de descontaminación de aguas.

La capacidad de remoción de fosfatos fue estudiada en condiciones de laboratorio por Obek y Hasar (2002) quienes encontraron que *Lemna* puede remover ortofosfato eficientemente si se cosecha frecuentemente. Encontraron que la concentración inicial de 15 mg/l fue reducida a 0,5 mg/l al final de un período de 8 días.

Zayed (1998) investigó el potencial de la lenteja de agua para acumular cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y selenio. Los resultados demostraron que, en condiciones experimentales de laboratorio, la planta resultó ser un buen acumulador de Cd, Se y Cu, un acumulador moderado de Cr y pobre acumulador de Ni y Pb.

Otra macrófita que se puede emplear en los humedales artificiales es la llamada espadaña (*Typha latifolia* L.) Es una planta con polen en tétradas, además la bractéola de la flor femenina no existe, tienen inflorescencia femenina de color marrón oscuro o negro contigua a la masculina. Sus hojas siempre auriculadas de 8 a 25 milímetros de ancho, sin glándulas mucilaginosas en la cara interna de la vaina.

Es una especie distribuida por toda la Península Ibérica, forma bandas discontinuas o rodales en las orillas de ríos, lagunas y charcas.

Prefiere los enclaves con aguas poco contaminadas y los suelos inundados permanentemente o que solo se secan en superficie, sin embargo, a pesar de que huyen de aguas contaminadas son excelente haciendo el trabajo de descontaminación ya que son utilizadas para depurar aguas residuales y vertidos urbanos (Blanco E., 1995). En este caso se aprovecha la capacidad de estas plantas emergentes para tolerar Ph muy bajos (medios ácidos) y acumular metales pesados en sus rizomas, al mismo tiempo que extraen nutrientes (fosforo) de los

sedimentos disminuyendo de este modo la eutrofia (exceso de materia orgánica) de las aguas. (Rivera D., y Obon de Castro C., 1991).

La macrófita *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) es una planta acuática flotante conocida por su capacidad de producción y la eliminación de contaminantes del agua. es una planta perenne de agua dulce, con desarrollo ascendente, de tallo vegetativo sumamente corto, hojas de color verde brillante y espigas de flores de lavanda. Los pecíolos de las plantas son elongados y abultados de aire que contribuye a la flotabilidad de la planta. (EPA, 1988). El jacinto de agua crece en una amplia variedad de tipos de humedales y prefiere aguas con nutrientes enriquecidos. Sin embargo, se puede tolerar una variación considerable en los niveles de nutrientes, temperatura y pH. (Navarro A.E., et al, 2006).

El pH óptimo para el crecimiento de *Eichhornia crassipes* es de 6-8. Puede crecer en una amplia gama de temperatura de 1 a 40 °C pero para su óptimo crecimiento la temperatura debe oscilar entre 25-27,5 °C, pero se cree, además, que es sensible al frío. Las tasas de crecimiento se incrementan con el aumento de las cantidades de nitrógeno y agua. (Wilson J.R.et al., 2005). El lechuguín (*Eichhornia crassipes*) la cual también es conocida como Jacinto de agua, camalote, lampazo, violeta de agua, buchón, taruya, lirio de agua, lechuga de agua, lechuguín, pertenece a la familia Pontederiaceae (Pontederiaceas).

Estas plantas se originan en cursos de agua de la cuenca del Amazonas, en América de Sur. Al hablar del lechuguín se puede mencionar que se ha distribuido prácticamente por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental originó su exportación a estanques y láminas acuáticas de jardines en climas templados y cálidos, por otro lado, se consideran malas hierbas, puesto que pueden obstruir en poco tiempo una vía fluvial o lacustre, es una especie flotante de raíces sumergidas. (España, 2006).

Carece de tallo aparente, provisto de un rizoma muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática y sus hojas sumergidas lineares, y las emergidas, entre obovadas y redondeadas provistas de pequeñas hinchazones que facilitan la flotación.

En verano produce espigas de flores lilas y azuladas lo cual es muy parecida a la del jacinto. Las raíces son muy características, negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes, negro violáceo cuando son adultas. (España, 2006).

Algunos de los usos que se le puede otorgar a esta especie pueden ser: para adornar pequeños lagos, embalses, pero sobre todo para estanques y también acuarios, además ofrecen un excelente refugio para los peces protegiéndolos del sol excesivo, de las heladas y a los

alevines del embate de los benteveos (*Pitangus sulphuratus*). Las raíces constituyen un excelente soporte para el desove de las especies ovíparas (carasíus, carpas, etc.), incluso para las personas aficionadas a la crianza de peces en acuario, en época fresca les sería muy útil adquirir un ejemplar joven de esta planta; las raíces del camalote no sólo le servirán de soporte para los huevos, sino que son un refugio para los alevines, e incluso en ellas se desarrolla una microflora que sirve como alimento inicial para los mismos. España (2006). Esta planta se puede desarrollar en el sol o semisombra. Requiere iluminación intensa, que, si es artificial, deberá ser proporcionada por una lámpara luminosa completa. España (2006). Las temperaturas influyen en esta especie como por ejemplo en invierno, en los países de cuatro estaciones, la planta debe ser protegida en invernadero, manteniéndola siempre en agua; se cultiva a una temperatura entre 20-30°C, no resiste los inviernos fríos (hay que mantenerla entre 15-18°C en contenedores con una profundidad de al menos 20cm. de agua y una capa delgada de turba en el fondo). Puede rebrotar en primavera si se hieló y necesita aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación (España, 2006).

El lechuguín se propaga mediante división de los rizomas; durante el verano se reproduce fácilmente por medio de estolones que produce la planta madre, llegan a formarse verdaderas islas de gran porte (España, 2006).

España (2006) considera que esta especie está entre las 100 especies más invasoras del mundo por la UICN. Es por ello que en la actualidad no se aconseja su utilización por particulares, para evitar que se siga extendiendo esta plaga a los ríos por imprudencia en su uso y como consecuencia de su proliferación está creando en ríos y lagos importantes problemas en canales de riego agrícolas y afecciones a los ecosistemas ribereños, ya que cubre como una manta toda la superficie del río, por su fácil reproducción vegetativa y sexual. Esto se debe a que es una especie alóctona lo que significa que no tiene predadores, ni competidores en muchos sitios y como es invasora, puede que, al retirar el exceso de un estanque o acuario particular, vaya a parar a entornos naturales y cause estos daños ecológicos.

Al describir *Arundo donax* o carrizo, otra de las macrófitas que se pueden emplear en humedales artificiales, se lo relaciona con humedales de aguas permanentes o estacionales. Las cañas se extienden por sus rizomas subterráneos que crecen formando largas colonias de varios kilómetros a lo largo de los cursos de agua o donde se acumula agua freática o humedad. (Celis, J. et al. 2005)

Sirve de protección a la fauna al ser muchas veces la única vegetación densa disponible, muchas especies de aves anidan o duermen en los cañaverales, se emplea para la producción

de lengüetas para los instrumentos de viento madera de lengüeta simple (clarinete y saxofón) y doble (oboe y fagot). También para fabricar instrumentos de vientos tal como el ney de origen Medio Oriente, la zampoña, entre otros instrumentos tradicionales. *Arundo donax* produce más biomasa por hectárea que cualquier otra planta de biomasa conocida, aparte del bambú. Esta planta desde hace tiempo se reconoce como importante productora de biomasa industrial que pueden cultivarse en una amplia variedad de tipos de suelos y condiciones climáticas. (Celis, J. et al. 2005) Alcanza la madurez (15 a 25 pies) en aproximadamente un año, puede ser cosechado, dependiendo del clima, de una vez a tres veces al año. *A. donax* produce un promedio de 25 toneladas de alta calidad de fibra por acre dos veces al año. Es muy importante mencionar que esta especie tiene un cultivo con una vida de 20 a 25 años lo que significa que no hay necesidad de replantarlo, y la capacidad de excluir a costosos fertilizantes y herbicidas que son también una preocupación ambiental. (Celis, J. et al. 2005). El tipo de humedal artificial al que nos referiremos o pondremos más énfasis es al de flujo subsuperficial, por lo que nos centraremos en la descripción de las plantas que se usan en dicho tipo de humedal: las helófitas y en particular la totora.

La helófitas son plantas adaptadas a condiciones de saturación de humedad e inundación, siempre que el agua no las cubra completamente, es decir, soportan condiciones muy bajas en cuanto a oxígeno en el suelo se refiere. Comprenden una parte debajo del nivel del agua, y otra parte aérea. Las funciones de las helófitas en los humedales artificiales son:

- Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas (Valdés et al., 2005).
- Asimilación directa de nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal (Lahora Cano, 2004).
- Actuar a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación (Valdés et al., 2005).
- Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos (Lahora Cano, 2004).

Además del oxígeno en la zona radicular, las bacterias son favorecidas por exudados de las plantas en la misma zona (Stengel en Soto et al., 1999).

Las helófitas más usadas en depuración son *Typha*, *Scirpus*, *Phragmites* y *Carex* (Lahora Cano, 2004). Cada uno de estas especies es eficaz a la hora de depurar aguas residuales, sin embargo, no todas están adaptadas a cualquier tipo de clima, es por esto que se recomienda

implementar la especie en dependencia de la climatología.

El funcionamiento de los humedales no es totalmente comprendido. Existen muchas discrepancias en diferentes aspectos: dimensionamiento, operación, etcétera, incluyendo la capacidad depuradora de las especies implantadas. Las discrepancias incluyen diferencias aún en el uso de plantas en los humedales.

Varios autores afirman que los resultados obtenidos con el uso de fitosistemas son mejores que los obtenidos con un sistema igual, pero sin plantas. (Stearman et al., 2003) menciona una reducción de contaminantes en general, de más del 20% en humedales implantados respecto a los no implantados. Sin embargo, existen también estudios que no registraron diferencias entre el rendimiento de humedales plantados y no plantados.

(M. García et al., 2004) indican que no existen diferencias estadísticamente significativas, entre humedales subsuperficiales plantados y no plantados, en indicadores fecales y remoción de bacterias.

Adicionalmente, el potencial depurador de los humedales varía según la estación en donde se desarrolle. Ello puede ser explicado tanto por simples variaciones meteorológicas, como por cambios producidos en la fisiología de las plantas. (Soto et al., 1999) reportan que en verano aumenta la actividad de la planta, por lo tanto, aumentará también su capacidad de tratamiento de diversos factores (remoción de fósforo, fosfatos y nitrógeno). (Zúñiga et al., 2004) reportan una fuerte variación en la remoción de amoníaco y fósforo entre primavera e invierno, siendo mejores los resultados en humedales plantados que en humedales sin plantas. (M. García et al., 2004) indican que hay una mayor remoción de indicadores fecales y bacterias en verano que en invierno. (Según Álvarez y Bécares, 2005) el efecto de la vegetación es significativo en la eliminación de la contaminación, para aguas residuales diluidas (tratamiento previo de desbaste y laguna facultativa).

De lo anterior se puede concluir que las plantas aumentan la depuración en los humedales cuando las condiciones climatológicas, de tratamiento previo y calidad de agua a ser tratada, no son tan extremas como para salir de su rango de tolerancia.

De cualquier manera, la capacidad de extracción de nutrientes puede estimarse en función de la composición de sus tejidos; los contenidos en N y P de parte aérea y parte subterránea son, respectivamente del orden de 1,6% N y 0,12% P, y 1,2% N y 0,18% P (Fernández et al, 2004).

Finalmente, es importante mencionar que los humedales artificiales, independientemente de la especie utilizada, tienen en general baja eficiencia en la remoción de nutrientes (sobre todo en humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal), pero una alta eficiencia de

remoción de DBO y DQO, así como en la fijación de metales pesados y moderada a alta eficiencia en la eliminación de Coliformes fecales.

Ésta especie tiene un gran rango de adaptación; por esta razón es que se conocen como las especies dominantes en lugares donde las condiciones restringen las posibilidades de desarrollo de otras especies.

Son plantas de climas templados que prosperan en posiciones soleadas, tolerando un amplio rango de pH (4 - 9). La temperatura óptima para su desarrollo está dentro del intervalo de 16 a 27 °C. Se utilizan principalmente en humedales artificiales de flujo subsuperficial (lecho de grava/arena), ya que su tolerancia a la inundación permanente es poca cuando la capa de agua es profunda (Málvarez, 1999). Tiene un desarrollo adecuado en medios acuáticos de profundidad somera como lagunas o zonas de inundación.

2.5 MARCO LEGAL

Se presenta normativa de acuerdo a la línea base del proyecto, esto quiere decir que como se desconoce la utilidad del agua del riachuelo donde se descargará las aguas residuales tratadas se mencionará las normas generales para descargas de efluentes a cuerpos de agua dulce.

ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA

5.2.4 Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

5.2.4.1 Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras. Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga. Si el sujeto de control es un municipio, este podrá proponer las cargas máximas permisibles para sus descargas, las cuales deben estar justificadas técnicamente; y serán revisadas y aprobadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

5.2.4.2 La determinación de la carga máxima permisible para una descarga determinada se efectúa mediante la siguiente relación desarrollada a través de un balance de masa, en el punto de descarga, en cualquier sistema consistente de unidades:

$$Q_e \cdot C_e = (Q_e + Q_r) C_c - Q_r C_r$$

En donde:

C_e = concentración media diaria (del contaminante) máxima permitida en la descarga (o efluente tratado), para mantener el objetivo de calidad en el tramo aguas abajo de la descarga, en condiciones futuras.

C_c = concentración media diaria igual al criterio de calidad para el uso asignado en el tramo aguas abajo de la descarga.

C_r = concentración del contaminante en el tramo aguas arriba de la descarga, cuyo valor debe ser menor que la concentración que el criterio de calidad C_c.

Q_r = caudal crítico de cuerpo receptor, generalmente correspondiente a un período de recurrencia de 10 años y siete días consecutivos o caudal con una garantía del 85%, antes de la descarga o caudal ambiental.

Q_e = Caudal de la descarga en condiciones futuras (generalmente se considera de 25 años, período que es el utilizado en el diseño de las obras de descontaminación).

5.2.4.3 Ante la inaplicabilidad para un caso específico de algún parámetro establecido en la presente norma o ante la ausencia de un parámetro relevante para la descarga bajo estudio, la Autoridad Ambiental Nacional deberá establecer los criterios de calidad en el cuerpo receptor para los caudales mínimos y cargas contaminantes futuras. La carga máxima permisible que deberá cumplir el sujeto de control será determinada mediante balance de masa del parámetro en consideración. La Entidad Ambiental de Control determinará el método para el muestreo del cuerpo receptor en el área de afectación de la descarga, esto incluye el tiempo y el espacio para la realización de la toma de muestras.

5.2.4.4 Para el caso en el cual el criterio de calidad es la concentración de bacterias, la correspondiente modelación bacteriana es de carácter obligatorio, como parte de un Plan Maestro de Control de la Contaminación del Agua.

5.2.4.5 En los tramos del cuerpo de agua en donde se asignen usos múltiples, las normas para descargas se establecerán considerando los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uno.

5.2.4.6 En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la TABLA 9 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

5.2.4.7 Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con las normas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor. Adicionalmente,

los límites máximos permisibles para descarga de estos lixiviados a cuerpos de agua, se regirán conforme a la normativa ambiental emitida para el efecto.

5.2.4.9 Las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia.

5.2.4.10 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia los cuerpos receptores, canales de conducción de agua a embalses, canales de riego o canales de drenaje pluvial, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

Tabla 1. Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30.0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2.0
Boro total	B	mg/l	2.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5.0
Cloro activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo	mg/l	0.1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real (1)	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5.0
Fluoruros	Fenol	mg/l	5.0

Fosforo total	P	mg/l	10.0
Hierro total	Fenol	mg/l	10.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20.0
Manganeso total	Mn	mg/l	2.0
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30.0
Nitrógeno total Kjendahl	N	mg/l	50.0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	00.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrogeno	pH	mg/l	De 6 a 9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Solidos suspendidos totales	SST	mg/l	130
Solidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO4	mg/l	1000
Sulfuros	S-2	mg/l	0.5
Temperatura	°C		Condición natural +- 3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0

(1) la apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Fuente de: (TULSMA, 2015)

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

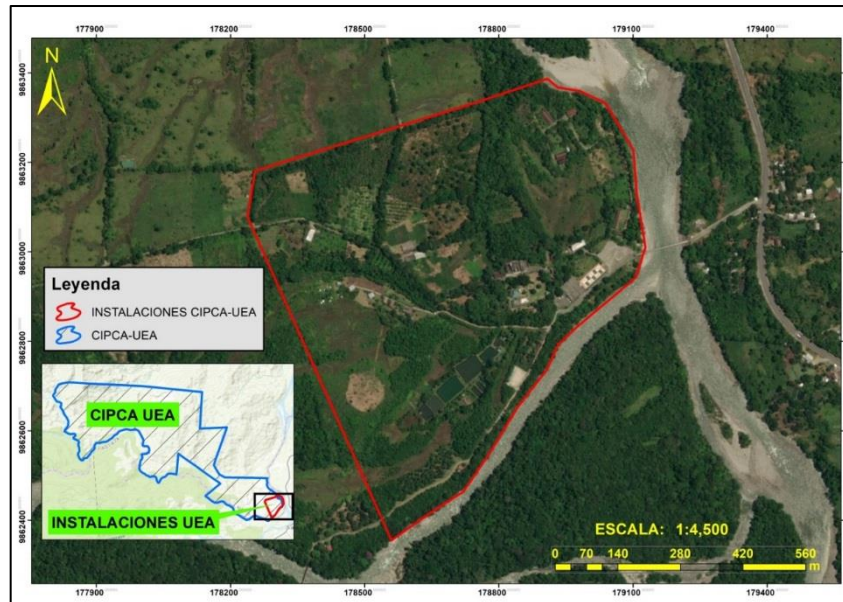


Imagen 1: Mapa del CIPCA.

Fuente: Elaboración propia del autor

El centro de investigación está ubicado en el cantón Arosemena Tola de la provincia del Napo, en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena y tiene una extensión de 2848,20 hectáreas, las cuales están destinadas a pastos (300 ha), infraestructura (aprox. 25 ha), bosque primario (aprox. 2000 ha) entre otras.

Como se puede observar en la Imagen 1 esta explicado de mejor manera la ubicación del sitio de estudio elaborado en el sistema WGS 84 a escala 1:4500.

El CIPCA se encuentra en un ambiente tropical donde la precipitación anual alcanza los 4000 mm, la humedad relativa es del 80% y la temperatura varía entre 15 a 25 °C. Su topografía se caracteriza por relieves ligeramente ondulados sin pendientes pronunciadas, distribuidos en mesetas naturales de gran extensión; la altitud varía entre los 580 y 990 msnm. (Universidad Estatal Amazónica, 2018)

El suelo tiene una composición muy heterogénea, sin embargo, la mayoría lleva su origen desde los sedimentos fluvial procedentes desde la región andina del país. La vegetación presente en el CIPCA es muy exuberante y típica de la región tropical. El bosque primario cubre la mayor superficie de la reserva y es su característica peculiar, ya que representa el “laboratorio vivo” donde la UEA viene desarrollando actividades de investigación científica y docencia. (Universidad Estatal Amazónica, 2018)

El agua es otro recurso muy importante y abundante en el CIPCA; baste recordar que limita en el Sur con el río Piatúa, en el Este con el río Anzu y al Oeste con el río Ayayaku. En la parte Norte limita con propiedades de particulares.

El CIPCA hospeda proyectos de investigación científica desarrollados por los docentes de la UEA en coordinación con aliados externos, nacionales y extranjeros, como universidades, centros de investigación, ministerios, asociaciones de productores y gobiernos locales. Toda actividad investigativa entra en el marco de las líneas de investigación de la UEA y de sus Programas de Investigación, los mismos que forman parte del Plan de Investigación 2012-2016. (Universidad Estatal Amazónica, 2018)

Las líneas de investigación están enfocadas al estudio y conservación de la biodiversidad amazónica, al estudio y solución de problemas ambientales, a la producción agrícola sustentable y conservación de la agrobiodiversidad, al desarrollo de sistemas agroindustriales, al estudio y propuesta de alternativa turísticas amazónicas y al estudio y valoración de las nacionalidades y saberes ancestrales. Los Programas de Investigación actuales son: agroecología, estudios socio-económicos, investigación turística, productos amazónicos no alimenticios, corredor Llanganates-Sangay. (Universidad Estatal Amazónica, 2018)

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación a realizarse es exploratoria puesto que el estudio del tema nos servirá para aumentar el grado de familiaridad con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa sobre un contexto particular de la vida real, investigar problemas del comportamiento humano que consideren cruciales los profesionales de determinada área. La investigación pretende darnos una visión general respecto a una determinada realidad.

Además, se puede argumentar que la investigación también será documental debido a que se seleccionará y compilará información a través de la lectura y crítica de documentos y materiales bibliográficos, bibliotecas, centros de documentación e información.

Como lo menciona (Alfonso, 1995), la investigación documental es un procedimiento científico, un proceso sistemático de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos en torno a un determinado tema. Al igual que otros tipos de investigación, éste es conducente a la construcción de conocimientos.

La investigación documental tiene la particularidad de utilizar como una fuente primaria de insumos, mas no la única y exclusiva, el documento escrito en sus diferentes formas:

documentos impresos, electrónicos y audiovisuales. Sin embargo, según (Kaufman y Rodríguez, 1993), los textos monográficos no necesariamente deben realizarse sobre la base de sólo consultas bibliográficas; se puede recurrir a otras fuentes, por ejemplo, el testimonio de los protagonistas de los hechos, de testigos calificados, o de especialistas en el tema.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.

3.3.1.1 ENTREVISTA AL ENCARGADO DEL PROGRAMA DE ORDEÑAMIENTO.

Para poder analizar las condiciones operacionales y ambientales actuales con las que cuenta el programa ganadero del CIPCA se elaboró un conjunto de preguntas destinadas al Dr. Roberto Quinteros encargado del programa ganadero del CIPCA. Las preguntas que se realizaron son las siguientes:

1. ¿Cuántos años puede vivir una vaca?
2. ¿De qué se alimenta una vaca?
3. ¿Dónde son criadas las vacas del Programa Ganadero?
4. ¿Cuántas vacas ingresan al espacio físico donde se ejecutará el Programa de Ordeñamiento?
5. ¿Cada cuánto se limpia el espacio en donde ingresan las vacas?
6. ¿Usan algún detergente para la limpieza del sitio?
7. ¿Qué caudal aproximadamente se obtiene en la limpieza del espacio físico?
8. ¿Qué tratamiento se les da a esas aguas de limpieza?
9. ¿Cuál es la disposición final de esta descarga de agua?

3.3.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DEL POSIBLE HUMEDAL Y TIPO DE PLANTA A UTILIZAR.

3.3.2.1 TIPO DE HUMEDAL

Para el proyecto que se espera realizar dentro de las instalaciones del CIPCA se tomarán algunos criterios para su posible selección, en cuanto al humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal estos son:

- Evita que exista proliferación de moscas y mosquitos gracias a que el paso del agua residual es a través del lecho poroso, es decir, por debajo, donde se forma la biopelícula, la misma que se encuentra alrededor de la grava y de las raíces de la planta.

- Puede soportar una elevada carga orgánica la cual trae consigo el agua residual generada por la actividad ganadera.
- Actúa como minimizador de cargas de DBO5, Sólidos Suspendidos Totales, Coliformes fecales y Nitrógeno en su gran mayoría, así mismo, en cuanto a metales pesados se refiere, este humedal ayuda a su reducción.
- Sirve para zonas rurales o donde no exista alcantarillado como se evidencia en el CIPCA.
- Es muy eficiente en cuanto a costos, consumo energético y al mantenimiento, si se lo compara con los sistemas convencionales.
- Prefiere aguas con nutrientes enriquecidos, además puede tolerar variaciones considerables en los niveles de nutrientes, temperatura y pH.

3.3.2.2 TIPO DE PLANTA

En lo que refiere a la especie, de la misma manera se tomarán algunos criterios para su posible selección, en cuanto a la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) se puede mencionar que:

- Posee una gran capacidad colonizadora lo que significa que puede proliferarse en todo el humedal haciendo que éste eleve su funcionalidad y su eficiencia al momento de remover los contaminantes.
- Su biopelícula crece adhiriéndose a las partes subterráneas de la planta y sobre el medio granular, lo que provoca con eso es que se creen microambientes aerobios dando lugar a los procesos microbianos que usan el oxígeno, y gracias a él, la especie degrada la materia orgánica y produce la nitrificación del agua residual.
- Está adaptada a las condiciones climáticas del sitio de estudio, no va a tener problemas al momento de reducir la intensidad de luz, la cual incide sobre el medio granular, lo que la planta hace es que evita grandes gradientes de temperatura en la profundidad del humedal y así no se afecta el proceso de depuración.
- Cuando se encuentra en condiciones o en climas fríos la vegetación protege al medio granular de la congelación.
- Es capaz de eliminar los nutrientes de manera muy modesta ya que en aguas residuales de este tipo su contribución es mayor al 50% de remoción.

3.3.3 DISEÑO DEL HUMEDAL

Para el diseño del humedal tomamos como punto de partida el agua residual que se va a tratar y los tipos de contaminantes que se pretende eliminar o reducir. Con la ayuda del director del proyecto a realizarse se emitió un aproximado de 5000 litros (l) de agua durante el día, la cual se usará para la limpieza de las excretas producidas por el ganado dentro de la zona de ordeñamiento. El agua al entrar en contactos con estos residuos se contaminará por lo que, esa misma agua, ingresará, a través de una canaleta, directo al pretratamiento. En base a bibliografía consultada éste humedal va a cumplir con los requerimientos que se espera obtener, la eliminación o reducción de las cargas contaminantes de DBO y Nitrógeno es lo que se pretende eliminar de las excretas de las vacas.

3.3.3.1 PRETRATAMIENTO

Constituido por los procesos que se ubican anteriormente al sistema de depuración y cuyo objetivo es eliminar sólidos gruesos (ramas, piedras, plásticos) que se mezclarían en el momento de la limpieza al sistema de ordeñamiento. En la figura 1, se plantea un esquema del pretratamiento escogido para nuestro trabajo.

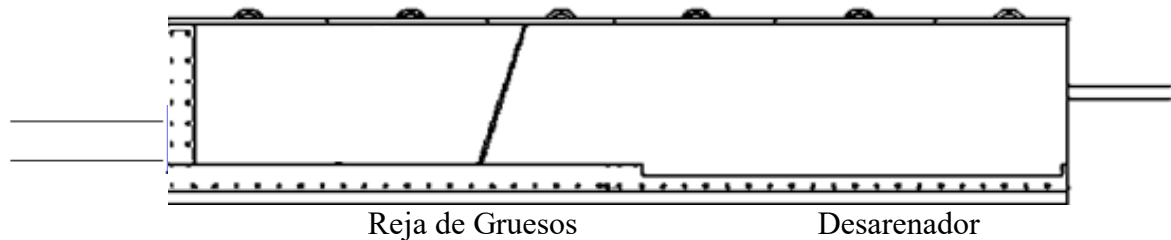


Figura 1. Línea de Pretratamiento

Fuente de: (García & Corzo, 2008)

3.3.3.1.1 CANAL DE DESBASTE

Este canal se mide con una anchura asidua, escogida del valor mayor para las rejillas y el calculado para el Desarenador. En la tabla 2 se expone como se establece el ancho necesario para las rejillas usando estos valores recomendados (García & Corzo, 2008).

Tabla 2. Valores recomendados de los parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejas

Características	Reja de Gruesos
Modo de funcionamiento	Manual
Anchura de los Barrotes (mm)	> 12
Luz entre Barrotes (mm)	50 - 100
Pendiente en relación a la vertical (grados)	30 - 45
Velocidad de aproximación (m/s)	0,3 - 0,6
Pérdida de carga admisible (m)	0,15

(García & Corzo, 2008)

Valga recalcar que hemos usado únicamente el sistema de Reja de Gruesos debido a que el Caudal de tratamiento es muy bajo por lo tanto no necesita de un sistema de reja de Finos. Como primer punto se fija un valor de inicio para el ancho del canal entre 0,20 y 2 m dependiendo del colector de entrada, y luego se determina el ancho útil de paso utilizando la ecuación 1: (García & Corzo, 2008).

$$W_u = (A_c - n \cdot A_b) \cdot \left(1 - \frac{G}{100}\right) \quad (E1)$$

Siendo:

W_u el ancho útil de paso, en m.

A_c el ancho de canal, en m.

n el número de barrotes.

A_b el ancho de barrotes, en m.

G el grado de colmatación, normalmente se utiliza un valor de 30%.

3.3.3.1.1 PROFUNDIDAD

La profundidad necesaria para un grado de colmatación determinado se determina mediante la ecuación 2: (García & Corzo, 2008).

$$h = \frac{Q}{v} \times \frac{1}{W_u} \quad (E2)$$

Siendo:

h la profundidad, en m.

Q el caudal de paso, en m^3/s .

v la velocidad de aproximación, en m/s.

3.3.3.1.1.2 LONGITUD

La longitud necesaria del canal en la zona de las rejillas se determina considerando la velocidad de aproximación del agua y el tiempo hidráulico, que suele ser de 5 a 15 s, para ellos se utiliza la ecuación 3 que está a continuación (García & Corzo, 2008).

$$L = T_H \cdot V \quad (E3)$$

Donde:

L es el largo del canal, en m

T_H es el tiempo de retención, en s

v es la velocidad de aproximación del agua.

3.3.3.1.2 DESARENADOR

Para constituir el ancho del canal necesario para el desarenado bajo el nombre de flujo horizontal y la longitud del canal correspondiente a la zona del Desarenador se calcula tomando también los valores del tiempo de retención mostrada en la Tabla 3. (García & Corzo, 2008).

Tabla 3. Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de Desarenadores

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Valor Típico
Flujo Horizontal (Canales Desbaste)		
Carga Hidráulica		$< 70 m^3 / m^2 \cdot \text{hora}$ (a Qmax)
Velocidad Horizontal del Agua	0,2 - 0,4 m/s	0,3 m/s
Tiempo de Retención	45 - 90 s	60 s
Longitud	20 - 25 veces la altura de la lámina de Agua	
Relación Largo Ancho	1,5 - 3,0	2

Fuente de: (García & Corzo, 2008).

En primer lugar, se determina el largo del canal en la zona de desarenado a partir de la ecuación 4:

$$W = \frac{L}{\text{relación largo - ancho}} \quad (E4)$$

Siendo:

W el ancho del canal, en m

L el largo del canal, en m.

En donde se procedió a despejar la variable L correspondiente al largo del canal, y por lo cual se obtuvo la ecuación 5:

$$L = W \cdot \text{relación largo} - \text{ancho} \quad (E5)$$

La relación largo-ancho fue seleccionada de la Tabla 3.

A continuación, se calcula la sección transversal del canal mediante la ecuación 6 así:

$$A = \frac{Q_{max}}{V_H} \quad (E6)$$

Siendo:

A la sección trasversal, en m².

Q el caudal máximo, en m³/h.

V_H la velocidad horizontal del agua, en m/s.

Ya que la sección transversal es igual al ancho del canal por la profundidad, se determina la ecuación 7 de esta manera: (García & Corzo, 2008).

$$h = \frac{A}{W} \quad (E7)$$

Siendo:

h el calado, en m

A la sección trasversal, en m².

W el ancho del canal, en m.

Si el valor obtenido de altura del canal para la zona de desarenado es mayor que la profundidad obtenida para la zona de desbaste de gruesos, se toma como altura definitiva del canal el valor de la zona de desarenado (García & Corzo, 2008).

Finalmente, se comprobó que la carga superficial del desarenador sea $< 70 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot d$, lo cual indicó la validez del diseño propuesto.

Se verifica la carga superficial:

$$C_s = \frac{Q}{L * W} \quad (E8)$$

Siendo:

C_s la carga superficial, en $m^3 / m^2 \cdot h$.

Q el caudal, en m^3 / h .

L el largo del canal, en m.

W el ancho del canal, en m.

3.3.3.2 DISEÑO DE HUMEDALES SUBSUPERFICIALES DE FLUJO HORIZONTAL

El Humedal subsuperficial de flujo horizontal se diseñó para eliminar la materia en suspensión y la DBO de forma eficiente. Además si se quiere obtener un decrecimiento de nitrógeno importante se aumentará al sistema con un tratamiento más (por ejemplo, otros humedales) (García & Corzo, 2008).

3.3.3.2.1 DIMENSIONAMIENTO

Este tipo de Humedal se divide en dos ciclos: el dimensionamiento biológico donde se determina la superficie necesaria de tratamiento y el dimensionamiento hidráulico donde se establecen las dimensiones geométricas del sistema (García & Corzo, 2008).

3.3.3.2.1.1 DIMENSIONAMIENTO BIOLÓGICO

Esta es la ecuación de diseño recomendada para dimensionar la superficie de humedales de flujo horizontal.

$$S = \frac{Q}{k_A} \ln \left[\frac{C_0}{C_1} \right] \quad (E9)$$

Siendo:

S la superficie del humedal, en m^2 .

Q el caudal, en m^3 / s .

k_A la constante, varía según el contaminante.

C_0 la concentración de DBO5 inicial.

C_1 la concentración de DBO5 que quiero llegar. (TULSMA).

A continuación, se observa en la tabla 4, tres bibliografías distintas donde se pudo obtener un promedio de DBO5 debido a que la ejecución de nuestro proyecto será a corto plazo es decir en la actualidad no se está realizando el programa de ordeñamiento.

Tabla 4. Fuentes Bibliográficas acerca del DBO5 inicial y Nitrógeno de las aguas residuales de Ordeñamiento

Fuente Bibliográfica	DBO5 Inicial	Nitrógeno
(AENOR, 2014)	800 g/l	
(Muñoz, 2005)	838 g/l	145 mg/l
(Steinfeld, 2009)	820 g/l	75.5 mg/l
Promedio:	819 g/l	110 mg/l

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3.2.1.2 DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO

Sirve para determinar las dimensiones del sistema (anchura y longitud) una vez conocida su superficie.

Además cambia en función de la cantidad y tamaño de los huecos del medio granular. En la Tabla 5 se puede observar órdenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica (ks) para algunos materiales granulares (García & Corzo, 2008).

Tabla 5. Órdenes de magnitud de la Conductividad Hidráulica (Ks) en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un Humedal construido de flujo

Tipo de Substrato	Tamaño Efectivo D10 (mm)	Porosidad (%)	Conductividad Hidráulica Ks ($m^3/m^2 \cdot d$)
Arenas Graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas Gravasas	8	30-35	500-5000
Gravas Finas	16	35-38	1000-10000
Gravas Medianas	32	36-40	10000-50000
Rocas Pequeñas	128	38-45	50000-250000

Fuente de: (García & Corzo, 2008)

Así posteriormente se calculó el área transversal con la ecuación 10:

$$A_T = \frac{Q_{med,d}}{k_s \cdot s} \quad (E10)$$

Siendo:

A_s la sección del humedal transversal a la dirección del flujo, en m^2 .

$Q_{med,d}$ el caudal medio diario, en m^3 / d .

k_s la conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, en $m^3 / m^2 \cdot d$.

s es el gradiente hidráulico o pendiente (dh / dL), en m / m .

Calculada el área de la sección transversal, y una vez fijada la profundidad (h), se determina el ancho del humedal con la ecuación 11 así:

$$W = \frac{A_T}{h} \quad (E11)$$

Siendo:

W el ancho, en m

h la profundidad, en m

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema usando la ecuación 12:

$$L = \frac{S}{W} \quad (E12)$$

Siendo:

L la longitud, en m .

3.3.3.3 SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DEL HUMEDAL

Se realiza de acuerdo a las variantes que afectan a su proceso constructivo y a los costes que éste conlleva.

Los humedales deben situarse en zonas llanas o con muy poca pendiente que permitan que el agua por medio de la gravedad pueda circular. Las llanuras próximas a los ríos no son siempre adecuadas ya que pueden necesitar de diques de protección contra las inundaciones. Por otra parte, los sistemas no deben ubicarse en zonas con pendientes pronunciadas, debido al arrastre de materiales en donde estos entran en los humedales y pueden acelerar el proceso de colmatación (García & Corzo, 2008).

3.3.3.4 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Y RECOGIDAS

En cuanto a la recogida del agua residual se implementarán tuberías debido al bajo rendimiento del caudal. Estas tuberías se ubicarán directamente desde la zona de recogido hasta la zona del pretratamiento.

Las tuberías de un sistema de humedales deberán tener un diámetro que permita transportar el caudal necesario. Como norma general las tuberías deben funcionar como máximo con una altura de lámina de agua igual a un 70- 75% del diámetro de la tubería, para lograr que el flujo no sea turbulento sino al contrario sea laminar (García & Corzo, 2008).

Los diámetros utilizados por tanto varían en función del caudal, debido a que el caudal en el programa de ordeñamiento es bajo se intentará utilizar diámetros de como mínimo 100 mm (para evitar obstrucciones) (García & Corzo, 2008).

A continuación de los vertederos, el agua llega a cada una de las celdas en que está constituido el sistema de humedales a través de lo que se conoce como zona de entrada. Después de circular por el humedal, el agua se evacua por lo que se denomina zona de salida. La zona de entrada está constituida por dos elementos: un sistema de vertido y una franja de material granular de gran tamaño (>100 mm de diámetro) situada ya propiamente dentro de la celda. Estos elementos tienen como objetivo que el agua se reparta uniformemente en la cabecera de cada celda (García & Corzo, 2008).

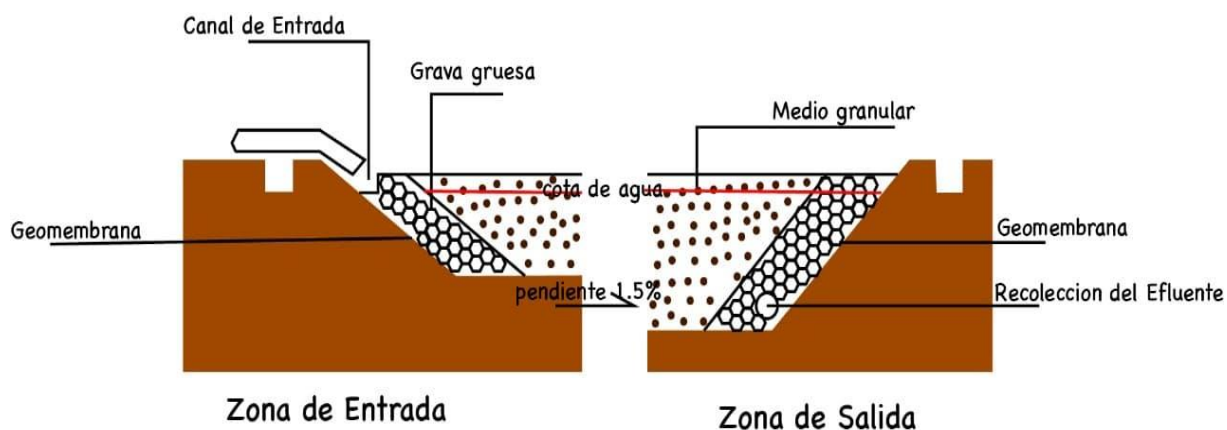


Figura 2. Zona de entrada y salida en un humedal de flujo subsuperficial horizontal.

Fuente de: (García & Corzo, 2008)

En sistemas pequeños con una anchura menor de 20 m una buena solución es dividir el caudal en una arqueta y verter el agua mediante tuberías directamente sobre la celda.

Los puntos de vertido deben estar separados entre sí un máximo de 3 m (García & Corzo, 2008).

La zona de salida está constituida también por dos elementos: un sistema de recogida y una franja de material granular de gran tamaño situada en el tramo final de la celda. Esta franja tiene las mismas características que la franja que hay en la zona de entrada (García & Corzo, 2008).

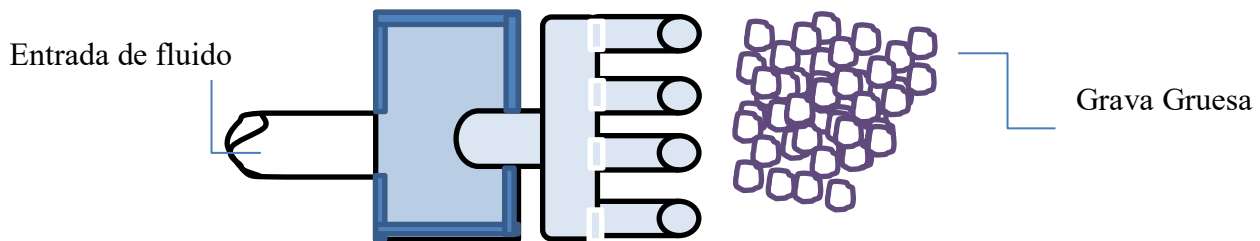


Figura 3. Canal de vertido en un humedal de flujo horizontal

Fuente de: (García & Corzo, 2008)

3.3.3.5 SUSTRATOS, SEDIMENTOS Y RESTOS DE VEGETACIÓN.

Se habla de sustrato cuando nos referimos al suelo, arena, grava, roca. En cuanto a los sedimentos y restos de vegetación se amontonan en el fangal, debido al poco descenso de agua y al alto rendimiento típico de estos sistemas. El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación son primordiales para:

- Sujetan en mayor cantidad a los organismos vivientes del fangal.
- La mayoría de los cambios químicos y biológicos (microbianas) se dan en el interior del sustrato.
- El sustrato facilita acopio de contaminantes.
- El acopio de restos de vegetación desarrolla la cantidad de materia orgánica en el fangal.

La materia orgánica da lugar al cambio de materia, el asentamiento de microorganismos, y es una fuente de carbono, que actuará como fuente de energía para las reacciones biológicas en el fangal.

3.3.3.6 MEDIO GRANULAR

Se coloca en la entrada y salida del humedal artificial, por lo tanto, debe estar limpio, homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo, además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas (García & Corzo, 2008).

El medio granular con diámetros medios de 5-6 mm ofrecen muy buenos resultados. En los sistemas horizontales, clásicamente el medio granular se ha proyectado con un espesor de 0,6 m, de manera que, si el agua queda 5 cm por debajo del nivel del medio, resulta que la profundidad del agua es de 0,55 m (García & Corzo, 2008).

3.3.3.7 IMPERMEABILIZACIÓN

Una vez hecha la excavación, dicha área debe estar impermeabilizada mediante el uso de la geomembrana, para así evitar las filtraciones del agua residual y provocar contaminación del suelo y de las aguas subterráneas (García & Corzo, 2008).

El método más utilizado para anclar las geomembranas se basa en utilizar una zanja periférica, que consiste en una excavación a un metro de la cresta del talud, con unas dimensiones mínimas de $0,3 \times 0,3$ m en la cual se fija la lámina mediante el relleno de la propia zanja (García & Corzo, 2008).

3.3.3.8 COSTOS

Se elaboró un cuadro especificando los materiales que se utilizaron para el diseño y construcción del humedal y la mano de obra utilizada para esto con su respectivo valor, logrando calcular el costo de la implementación del Humedal.

3.3.4 RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

En la Tabla 6 nos habla acerca del personal que formó partes de la investigación con su respectivo cargo a cumplir.

Tabla 6. Recursos Humanos para la Investigación

Apellido y Nombre	Profesión	Cargo
Morocho Daniel	Estudiante	Autor del proyecto de Titulación
Morocho Johan	Estudiante	Autor del proyecto de Titulación
Peñafiel Pedro	MSc.	Tutor del Proyecto de Titulación
Andino Marco	Ing.	Director del CIPCA
Quinteros Roberto	Dr.	Encargado del Programa de Ganadero

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 7 nos da a conocer los diferentes equipos que se usó en el respectivo momento de toma de datos, elaboración y ejecución del proyecto de titulación.

Tabla 7. Equipos necesarios para la Investigación

Equipos	Cantidad
Cámara Fotográfica	1
GPS	1
Laptop	2
Impresora	1

Fuente: Elaboración Propia

Por último tenemos la tabla 8 de los diferentes materiales de trabajo que se usó tanto en oficina como en campo del proyecto de titulación.

Tabla 8. Material útil para la ejecución de la Investigación

Materiales	Cantidad
Resma de papel	500
Esferos	5
Botas	2 pares
Machete	1
Insumo de Oficina	10

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Como respuesta a las condiciones operacionales y ambientales actuales con las que cuenta el programa ganadero del CIPCA se arrojaron las siguientes respuestas a las interrogantes anteriormente mencionadas.

1. ¿Cuántos años puede vivir una vaca?

Las vacas pueden vivir por lo general de entre 18 a 22 años

2. ¿De qué se alimenta una vaca?

Las vacas comen pienso, paja y heno.

3. ¿Dónde son criadas las vacas del Programa Ganadero?

Son criadas a campo abierto en las instalaciones del CIPCA.

4. ¿Cuántas vacas ingresan al espacio físico donde se ejecutará el Programa de Ordeñamiento?

Al programa ingresan 30 vacas en el día

5. ¿Cada cuánto se limpia el espacio en donde ingresan las vacas?

Cada que se realiza el ordeño puesto que pueden suscitarse actividades fuera de lo común.

6. ¿Usan algún detergente para la limpieza?

El único detergente que se emplea para la limpieza es DEJA un detergente común.

7. ¿Qué caudal aproximadamente se obtiene en la limpieza del espacio físico?

Aproximadamente se tiene proyectado generar un caudal de 5000 L/día, que fue nuestro caudal de diseño.

8. ¿Qué tratamiento se les da a esas aguas de limpieza?

Por el momento no se le da ningún tipo de tratamiento.

9. ¿Cuál es la disposición final de esta descarga de agua?

Desemboca en una quebrada la cual se une a otra y juntas se descargan en el Río Anzu.

4.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DEL POSIBLE HUMEDAL Y TIPO DE PLANTA A UTILIZAR.

Como se explica en la metodología, se efectuó un análisis de la alternativa más apropiada para este tipo de agua residual, es por esa razón que el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal ha sido tomado en cuenta debido a que:

- Evitará que exista proliferación de moscas y mosquitos, los cuales están presentes en las excretas del ganado, gracias a que el paso del agua residual es a través del lecho poroso.
- Podrá soportar una elevada carga orgánica la cual trae consigo el agua residual generada por la actividad ganadera.
- Actuará como minimizador de cargas de DBO5 y Nitrógeno los cuales son dos parámetros que se pretenden controlar con la implementación del humedal artificial.
- Servirán en zonas rurales o donde no exista alcantarillado como se evidencia en el CIPCA.
- Es muy eficiente en cuanto a costos, consumo energético y al mantenimiento, si se lo compara con los sistemas convencionales.
- Prefiere aguas con nutrientes enriquecidos, además puede tolerar variaciones considerables en los niveles de nutrientes, temperatura y pH.

En cuanto a la especie que se escogerá para implementarla en el humedal artificial está el *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) porque tiene algunas características fundamentales como:

- Poseen una gran capacidad colonizadora esto significa que pueden proliferarse en todo el humedal.
- Su biopelícula crece adhiriéndose a las partes subterráneas de la planta y sobre el medio granular, lo que provoca con eso es que se creen microambientes aerobios dando lugar a los procesos microbianos que usan el oxígeno, y gracias a él, la especie degrada la materia orgánica y produce la nitrificación del agua residual.
- Está adaptada a las condiciones climáticas del sitio de estudio, no va a tener problemas al momento de reducir la intensidad de luz, la cual incide sobre el medio granular, lo que la planta hace es que evita grandes gradientes de temperatura en la profundidad del humedal y así no se afecta el proceso de depuración.
- Es capaz de eliminar los nutrientes de manera muy modesta ya que en aguas residuales de este tipo su contribución es mayor al 50% de remoción.

4.3 DISEÑO DE HUMEDAL

4.3.1 PRETRATAMIENTO

Como se mencionó en la metodología esta fase cumplirá como objetivo eliminar sólidos gruesos y arenas. Para tal fin se diseñaron los siguientes equipos:

4.3.1.1 CANAL DE DESBASTE

Se dimensionará una reja con barrotes de 15 mm de ancho, 50 mm de luz entre barrotes, y un grado de colmatación del 30% (García & Corzo, 2008), por lo tanto se implementará 4 barrotes.

A partir del ancho de canal de 0.3 m establecido en la metodología, se calculará el ancho útil de paso, aplicando la ecuación E1:

$$W_u = (0.3m - 4 \cdot 0.015m) \cdot \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 0.17m \quad (E1)$$

Se calcula la profundidad necesaria para el grado de colmatación establecido, el caudal máximo horario y una velocidad de paso de 0,3 m/s utilizando la ecuación E2

$$h = \frac{0.0014 \frac{m^3}{s}}{0.3 \frac{m}{s}} \times \frac{1}{0.17m} = 0.03m \quad (E2)$$

Como se puede observar la profundidad es muy reducida, esto se debe al caudal en m³/s que es muy bajo, por lo tanto, se proporciona un resguardo de 0,4 m y se aproxima a una dimensión más estándar, dando como resultado una profundidad definitiva de 0,4 m, y se toma este valor como la altura en todo el canal.

Para la longitud del canal, se tomará un tiempo de retención de 5 segundos y una velocidad de paso del agua de 0,3 m/s, y aplicando la ecuación E3 se obtiene:

$$L = 5s \cdot 0.3 \frac{m}{s} = 1.5m \quad (E3)$$

4.3.1.2 DESARENADOR

Como ya se ha calculado el ancho necesario para el desbaste (0.3 m) se partirá de este valor para dimensionar la zona de desarenado, utilizando una velocidad del agua adecuada para sedimentación de arenas de 0,3 m/s, y un tiempo de retención de 60s (García & Corzo, 2008). En primer lugar, se determinó el largo del Desarenador usando la ecuación 5, tomando en cuenta un valor para la variable relación largo-ancho de 3:

$$L = 0.3m * 3 = 1m \quad (E5)$$

Posteriormente se obtuvo la sección transversal del canal mediante la ecuación E6:

$$A = \frac{\left[\left(5,4 \frac{m^3}{h} \right) / 3600 \right]}{0,2 \frac{m}{s}} = 0,0003m^2 \quad (E6)$$

Utilizando este valor, y usando la ecuación E7, se calcula el calado o profundidad:

$$h = \frac{0,0003m^2}{0,3m} = 0,001m \quad (E7)$$

Como se puede apreciar tanto el área transversal como la profundidad del canal de Desarenado son muy bajas, esto se debe a que el caudal de tratamiento se considera muy bajo en comparación con otro tipo de procesos en los que se aplica este tipo de tratamiento. Por lo tanto, nosotros hemos decidido escoger el mismo ancho y la misma profundidad de la zona del canal de desbaste, considerando así que con éstas dimensiones se podrá generar la separación adecuadas de arenas que nosotros requerimos.

Como el calado necesario para el desarenado es menor que el calado calculado para el desbaste de gruesos, se toma éste último como el calado de diseño.

Se verifica la carga superficial mediante la siguiente fórmula:

$$C_s = \frac{0,21 \frac{m^3}{h}}{1m * 0,3m} = 0,7 \frac{m^3}{m^2} * h$$

Ya que la carga superficial es menor de 70 m³ /m² ·h (a Q_{máx}h), se acepta el dimensionamiento.

4.3.2 DISEÑO DE HUMEDALES SUBSUPERFICIALES HORIZONTALES

Se diseñó un humedal de flujo subsuperficial horizontal que realizará el tratamiento secundario.

4.3.2.1 DIMENSIONAMIENTO BIOLÓGICO

La ecuación número 9 es la recomendada para dimensionar la superficie del humedal subsuperficial horizontal.

$$S = \frac{5 \frac{m^3}{d}}{0,08 \frac{m}{d}} \ln \left[\frac{819 \frac{mg}{l}}{50 \frac{mg}{l}} \right] = 174.75 m^2 \quad (E9)$$

4.3.2.2 DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO

Se determina la sección transversal del humedal aplicando la ecuación E10, con un valor de conductividad hidráulica de $1000 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$ para gravas de diámetro 5 mm, con una reducción de 5 (factor de seguridad) y una pendiente del lecho de 0,01 m/m.

$$A_s = \frac{5 \frac{m^3}{d}}{\left(\frac{1000}{5} m^3 / m^2 \cdot d \right) * 0,01 \frac{m}{m}} = 2.5 m^2 \quad (E10)$$

Calculada el área de la sección trasversal, y una vez fijada la profundidad, se determina el ancho aplicando la ecuación E11:

$$W = \frac{2.5 m^2}{0,3 m} = 8,3 m \quad (E11)$$

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema mediante la ecuación E12:

$$L = \frac{174,75 m^2}{8,3 m} = 21,05 m \quad (E12)$$

4.3.3 COSTOS

Mediante la metodología propuesta se desglosan los costos de cada uno de los procesos que constituyen la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Programa Ganadera en la tabla 9.

Tabla 9. Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios del Canal de Desbaste

Canal de Desbaste					
No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
01	Tubería	m	10,00	4,00	40,00
02	Cemento	Unidad	2,00	6,00	12,00
03	Soldadura PVC	Unidad	1,00	400,00	400,00
04	Hormigón	m3	18,00	50,00	900,00
05	Uniones para tubos	u	2,00	2,00	4,00
				Sumatoria	1356,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios del Desarenador

Desarenador					
No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
01	Cemento	Unidad	1,00	6,00	6,00
02	Hormigón	m3	18,00	50,00	900,00
				Promedio	906,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios del Humedal Artificial Subsuperficial Horizontal

Humedal Artificial					
No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
01	Tubería	m	15,00	7,00	105,00
02	Cemento	Unidad	4,00	6,00	24,00
03	Geomembrana	m2	100,00	2,00	200,00
04	Hormigón	m3	20,00	50,00	1000,00
05	Uniones para tubos	u	5,00	2,00	10,00
06	Grava Gruesa	m3	5,00	15,00	75,00
07	Grava Fina	m3	8,00	15,00	120,00
08	Ts	u	7,00	2,00	14,00
				Sumatoria	1.548,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
01	Excavación a máquina en suelo natural-tierra H=0-2 m	M3	40,00	2,36	94,40
02	Desalojo de material con máquina	M3	48,00	3,25	156,00
				TOTAL:	250,40

Fuente: Elaboración propia

Los precios que se mostraron en las tablas anteriores correspondientes a los diferentes procesos a los que van a ser sometidas las aguas residuales son normales en relación a otros proyectos, puesto que, el agua residual que va a generar la actividad ganadera no es tan elevada, no es así como sucede en industrias elevadas en donde necesitan de más terreno y obviamente más material para implantar el humedal, sin embargo, con estos precios se pretende dejar en claro que los materiales a utilizarse son de primera calidad, con un buen rendimiento y sobre todo que perduraran con el tiempo.

Al sumar las cantidades de cada uno de los procesos se obtendrá la cantidad de \$3810 americanos, que sería la cantidad de la planta de tratamiento de aguas residuales.

4.4 DISCUSIÓN

4.4.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON INVESTIGACIONES EN TRABAJOS SIMILARES

Lo que diferencia al sistema de flujo horizontal del vertical es que cuando existe un excesivo contenido de materia en suspensión en el agua residual que se va a tratar ya sea este de tipo inorgánico u orgánico recalcitrante y no se ha dispuesto de un pretratamiento para eliminar la arena esto puede provocar una pronta colmatación de los humedales verticales, no es así en el caso de los horizontales los cuales son más resistentes a la colmatación Crites, R. y Tchobanoglous, G. (1998).

Las bacterias heterótrofas aeróbicas en ausencia de oxígeno pueden degradar la materia orgánica por vía anóxica utilizando el nitrato como aceptor de electrones (desnitrificación). Está bastante claro que la vía anóxica funciona en humedales de flujo horizontal ya que en muchos estudios se ha observado eliminación de amoníaco y ausencia de nitrato, lo que sugiere que el nitrato formado se elimina rápidamente por desnitrificación (Kedlec, R., et al., 2004).

Por el contrario, en sistemas verticales la desnitrificación al parecer no funciona puesto que no pueden eliminar nitrato. Esto se debido a que en toda la profundidad del lecho hay condiciones aeróbicas que impiden la desnitrificación. (García, J., et al, 2004)

Uno de los aspectos negativos del humedal de flujo horizontal podría ser la eliminación del nitrógeno ya que en los horizontales la transferencia de oxígeno es baja y hay pocas zonas aeróbicas, la nitrificación no es lo más destacable y el rendimiento de eliminación del amonio no supera el 30% lo cual es un porcentaje bajo. Lo que no sucede en los humedales verticales, allí se obtienen muy buenos rendimientos de conversión del amonio a nitrato dado el carácter aerobico de la gran parte del lecho como lo menciona (Kedlec, R., et al., 2004), por lo general la nitrificación en humedales verticales es total.

Otra razón por la que el jacinto de agua fue escogido para el tratamiento es porque su biopelícula crece adhiriéndose a las partes subterráneas de la planta y sobre el medio granular, lo que provoca con eso es que se creen microambientes aerobios dando lugar a los procesos microbianos que usan el oxígeno, y gracias a él, la especie degrada la materia orgánica y produce la nitrificación del agua residual.

En cuanto a la especie que se escogió en este proyecto de investigación podemos mencionar que es la más idónea para la depuración de las aguas residuales de la actividad ganadera ya que el jacinto de agua genera una biopelícula dentro del humedal la cual se adhiere a la parte

inferior de la planta y sobre el medio granular en donde se encuentra, lo que hace que en la profundidad se creen microambientes aerobias, esto quiere decir que gracias al oxígeno la especie puede degradar los contaminantes y a su vez producir la nitrificación (Roldán 1992). No es el caso de la lenteja de agua, la cual posee propiedades depuradoras similares a las del jacinto de agua, sin embargo, si a estas plantas se les permite un crecimiento excesivo se pueden generar problemas de eutrofización, lo cual complicaría el funcionamiento del humedal e impediría el tratamiento del afluente por lo que antes de incorporar la especie en los humedales se deben presentar medidas de control (Olguín y Hernández 1998).

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El programa ganadero se encuentra inhabilitado por el momento, es decir, no produce ningún impacto al medio ambiente, una vez que esté en funcionamiento, las condiciones ambientales van a cambiar y es ahí cuando el proyecto podría entrar en ejecución.
- El humedal escogido fue el de flujo subsuperficial horizontal para esta actividad al igual que la especie herbácea *Eichhornia crassipes* (lechuguín) ya que son los más idóneas, por lo que concluimos que a pesar de que la inversión en el humedal artificial va hacer el único gasto económico puesto que la especie a utilizarse se desarrolla dentro de las instalaciones del CIPCA, será de gran ayuda para el medio ambiente. La planta de tratamiento de aguas residuales tendría un costo de \$3810, cabe recalcar que los costos del proyecto están en base al tamaño que ocupa cada proceso de tratamiento y que hacen cumplir con los parámetros permisibles de un cuerpo de agua dulce
- Concluimos que el pretratamiento para las aguas residuales que se generan por la actividad ganadera está basado en dos procesos: Canal de desbaste, este canal tiene una profundidad y una altura de 0,4 m, una longitud de 1,5 m, y 0,17 m de ancho. Desarenador, las dimensiones son: 0,1 m para el ancho del canal, 0,0003 m² en lo que refiere a la sección transversal y con una profundidad de 0,001 m. También conocemos el dimensionamiento biológico del humedal donde: 174,75 m² corresponden al área superficial, y el dimensionamiento hidráulico donde: 2,5 m² abarca el área sección transversal, 8,3 m para el ancho y 21,05 m de longitud. Son datos que permitirán que el agua a tratarse tenga el tratamiento adecuado y salgan de acuerdo a las Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce según la Tabla 1. Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la incorporación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal que se propuso en el proyecto de investigación puesto que la situación técnico-económico hace favorable la implementación en el sitio establecido, además cumple las características que hacen que el tratamiento de las aguas residuales sea exitoso, además evitará el impacto ambiental a los recursos naturales con la ayuda de la vegetación herbácea (lechuguín) la misma que, favorablemente, se puede encontrar dentro del CIPCA.
- Se recomienda también que, en la actividad de ordeñamiento una vez que las vacas hayan cumplido con su papel, se haga una recolección de las heces para utilizarlas en un biodigestor para así aprovechar de mejor manera y utilizar como abono orgánico para los cultivos.

CAPÍTULO VI

6 BIBLIOGRAFÍA

1. AENOR. (18 de 01 de 2014). Gestión Ambiental “Caracterización de las Aguas Residuales”. Obtenido de Gestión Ambiental “Caracterización de las Aguas Residuales”: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieriaambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
2. Alfonzo, I. (1994). Técnicas de investigación bibliográfica. Caracas: Contexto
3. Álvarez, J y E. Bécares 2005 “El papel de la vegetacion en humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales” en Memoria del Encuentro Internacional en Fitodepuración, Lorca.
4. Amazónica, U. E. (- de - de 2018). Universidad Estatal Amazónica. Obtenido de Universidad Estatal Amazónica: https://www.uea.edu.ec/?page_id=2376#1530836238333-91324ec8-f31b
5. ARMSTRONG, W. 1996. The world.s smallest fruit. Wayne's word noteworthy plants. It is available from: <http://www.waynesword.palomar.edu>.
6. ARMSTRONG, W. 2003. Wayne's Word Lemnaceae Online. Available from: <http://www.waynesword.palomar.edu>.
7. Armstrong, W., Armstrong, J. y Beckett, P.M. Measurement and Modeling of Oxygen Release from Roots of Phragmites Australis. Pags. 41-52 en Cooper, P.F. y Findlater, B.C. (Eds.), “Proceedings of the Internacional Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control”. Pergamon Press. 1990, Oxford, Inglaterra.
8. ASABE. 2005. Manure production and characteristics. ASAE Standard D384.2. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, MI. pp: 19.
9. Balcazar, C., 2008. Water and sanitation for the urban marginal areas of Latin America (in Spanish). In: Proceedings; Water and Sanitation Program. World Bank, Washington, DC. <http://documents.worldbank.org/curated/en/2008/07/16699647/agua-y-saneamiento-para-las-zonas-marginales-urbanas-deamerica-latina>.
10. BANR (Board on Agriculture and Natural Resources) and BEST (Board of Environmental Studies and Toxicology). 2003. Air Emissions from Animal Feeding Operations: Current Knowledge, Future Needs. The National Academic Press. Washington, D.C. USA. pp: 225.
11. Bastviken, S.K., Eriksson, P.G., Premrov, A. y Tonderski, K. Potential denitrification

- in wetland sediments with different plant species detritus. *Ecological Engineering*, 2005, 25 (2), 183-190.
12. Bezbaruah, A.N. y Zhang, T.C. Quantification of Oxygen Release by Bulrush (*Scirpus validus*) Roots in a Constructed Treatment Wetland. *Biotechnology and Bioengineering*, 2004, 89 (3), 308-318.
 13. Blanco, E. (1995). Investigaciones etnobotánicas en la sierra del Caurel (Lugo) y en la Calabria Extremeña (Badojoz). Tesis doctoral inédita, Madrid.
 14. Borner t., Felde k., Gschoss T., Gschssl E., Kunst S. and Wissing F. (1998). Germany, en Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe.
 15. Bouwman, A. F. , and H. Booij. 1998. Global use and trade of feedstuffs and consequences for the nitrogen cycle. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 52: 261-267.
 16. Brix H. (1997). Do macrophytes play a role in constucted treatment wetlands? *Wat.Sci.Tech.*35, 11-17. IWA publishing.
 17. Brix H., Arias C. y Bubba M. (2001). Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands. *Water Sci. Technol.* 44, 47–54.
 18. Brix, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 1994a, 29 (4), 71-78.
 19. Brix, H. Gas Exchange through the soil-atmosphere interface and through dead culms of *Phragmites australis* in a constructed wetland receiving domestic sewage. *Wat. Res.* 1990, 24, 259-266.
 20. Brix, H. y Schierup, H. Soil Oxigenation in Constructed Reed Beds: The Role of Macrophyte and Soil-Atmosphere Interface Oxygen Transport. Pags. 53-66 en Cooper, P.F. y Findlater, B.C. (Eds.), “Proceedings of the Internacional Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control”. Pergamon Press. 1990, Oxford, Inglaterra.
 21. Campbell, C.S. y Ogden, M.H. *Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape*. Jonh Wiley and Sons, Inc., 1999, New York, USA.
 22. Capulin, G. J., E. R. Nuñez, B. J. Etchevers, y C. G. Baca. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299.
 23. Celis, J. et al. 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Universidad del Bio-Bio Chillán, Chile.
 24. CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN MEDIO AM-BIENTE (CIEMA). Tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Proyecto

- ASTEC SUCHER & HOLZER. Austria - Nicaragua. Managua, Nicaragua: 2005. 43 p.
25. CEPAL/UNW-DPAC, 2012. Water and a green economy in Latin America and the Caribbean (LAC). In: Economic Commission for Latin America and the Caribbean and UN-Water Decade Programme on Advocacy and Communication.
 26. CERÓN VIVAS, A. Y ROJAS SÁNCHEZ, P. Uso de macrófitas en depuración de aguas residuales. Santiago de Cali, Colombia, 1995, 114 p. Trabajo de grado (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Programa académico de ingeniería sanitaria.
 27. Chadwick, D., S. Sommer, R. Thorman, D. Fanguero, L. Cardenas, B. Amon, and T. Misselbrook. 2011. Manure management: implications for greenhouse gas emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167: 514-531.
 28. CONTAMINANTES”, Miraguano Ediciones, Madrid, 1995, España, Pag. 174
 29. COOK, C.D. and B.J. GUT. 1974. Water plants of the world: A manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes. The Hague: Junk, 560 p
 30. Cooper P. (1998). A review of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems. En proceedings of 6th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Aguas de Sao Pedro, Brazil, September 27 a October 2 de 1998 (ed. TaukTornisielo).
 31. Cooper, P., A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems. *Wat. Sci. and Tech.*, 1999, 40(3), pp. 1-9.
 32. Costa, E., Calleja, G., Ovejero, G., De Lucas, A., Aguado, J. y Uguina, M.A. Ingeniería Química. 3. Flujo de Fluidos. Ed. Alhambra, 1985, Madrid.
 33. Da Silva J M, Uhl C and Murray G 1996 Plant succession, landscape management, and the ecology of frugivorous birds in abandoned amazonian pastures. *Conservation biology* 10(2): 491-503.
 34. De Klein, C. A. M., C. Pinares-Patiño, and G. C. Waghorn. 2008. Greenhouse gas emissions. In: McDowell, R. W. (ed). *Environmental Impacts of Pasture-Based Farming*. Ag Research Invermay Agricultural Centre Mosgiel. New Zealand Cab International. Cambridge, UK. pp: 1-32.
 35. Dias, V. y Vymazal, J. The Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands. En 1º International Seminar. Instituto nacional da Água, 2003, Lisboa, Portugal.
 36. Díaz, S., Zamora, E., Caselles-Osorio, A. y León, J. (2013). Diseño de un humedal

- construido para el tratamiento de agua de producción de un campo de petróleo colombiano. Recuperado de <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/3831/4388>
37. Dickson, T. R. “QUÍMICA ENFOQUE ECOLÓGICO”, Limusa, México, 1997, México, Pag. 406
 38. Dierberg, F.E. y Brezonik, P.L. Nitrogen and Phosphorus Mass Balances in a Cypress Dome Receiving Wastewater. Pags. 112-118. en Ewel, K.C. y Odum, H.T. (Eds.) “Cypress Swamps”. University of Florida Press. 1984, Gainesville, USA.
 39. Dietz, F. J., and N. J. P. Hoogervorst. 1991. Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: the Dutch case. Environ. Resour. Econ. 1:313-332.
 40. Doménech, X. QUÍMICA DE LA HIDROSFERA “ORIGEN Y DESTINOS DE LOS
 41. Ediciones.
 42. EPA (Environmental Protection Agency). 2000. National Water Quality Inventory 2000 Report (EPA-841-R-02-001). United States Environment Protection Agency, USA. pp: 207.
 43. EPA (Environmental Protection Agency). 2005. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2005. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 393.
 44. EPA (Environmental Protection Agency). 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2020. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 274.
 45. EPA. (1983). The use of hydrocarbon analyses for environmental assessment and remediation. En G. Douglas , K. McCarthy, T. Dahlen, J. Seavey, W. Steinhauer, R. Prince, & D. Elmendorf, Soil and Sediment Contamination (págs. 197-216). London: Taylor and Francis.
 46. EPA. (1983). The use of hydrocarbon analyses for environmental assessment and remediation. En G. Douglas , K. McCarthy, T. Dahlen, J. Seavey, W. Steinhauer, R. Prince, & D. Elmendorf, Soil and Sediment Contamination (págs. 197-216). London: Taylor and Francis.
 47. EPA. Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment| US EPA. <http://yosemite.epa.gov/water/owrccatalog.nsf>, 1988. 225, 226, 229, 230, 231, 232, 235
 48. España Obando J. 2006. Características de la especie Eichhornia crassipes. Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías, Escuela de Ingeniería Química,

Santiago de Cali, Abril 19 de 2006.

49. España, Pag. 408
50. FAO 1996 Producción de alimentos e impacto ambiental. En: Documentos técnicos de referencia. FAO, Roma, 1996
51. Faulkner S. y Richardson C. (1989). Physical and chemical characteristics of freshwater wetlands soils. Lewis Publishers. Tennessee. 805 pp.
52. Fenoglio L. (2000). Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales de flujo vertical. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
53. Fernández, J. et al. 2004 Manual de fitodepuración, Ayuntamiento de Lorca, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
54. Ferruzzi, C (1987) Manual de lombricultura. Mundi Prensa, Madrid
55. García, J., & Corzo, A. (2008). Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. En A. C. Joan García Serrano, Depuración con Humedales Construidos. Catalunya: Publicaciones ResearchGate.
56. García, J., Aguirre, P., Mujeriego, R., Huang, Y., Ortiz, L. y Bayona, J.M. Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. Wat. Res. 2004, 38, 1669-1678.
57. García, J., Ojeda, E., Sales, E., Chico, F., Píriz, T., Aguirre, P. y Mujeriego, R. Spatial variations of temperature, redox potential and contaminants in horizontal flow reed beds. Ecol. Eng. 2003, 722, 1-14.
58. García, M., E. Bécares y F. Soto 2004 “Are bacterial removal efficiencies enhanced by plants? An experimental study using *Scirpus lacustris*” en Memoria del Congreso de Ingeniería Ambiental, Avignon.
59. Gerba C.P., Thurston J.A., Falabi J.A., Watt P.M. y Kar-piscak M.M. (1999). Optimization of artificial wetlands design for removal of indicator microorganisms and pathogenic protozoa. Wat. Sci. Tech. 40, 363–368.
60. Glynn, J; Heinke, G. INGENIERÍA AMBIENTAL, Segunda Edición, Prentice Hall, México,
61. Gopal B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. Water Sci. Technol. 40, 27–35.
62. HARO, R. Informe sobre recursos zoogenéticos Ecuador. Ministerio de Agricultura y ganadería y subsecretaría de fomento Agroproductivo. Dirección para la

- Implementación del Desarrollo Agropecuario, Agroforestal y Agroindustrial. Quito, Ecuador. 21 pp. 2003
63. Helmer, R. ; Español, I. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA, CEPIS/OPSOMS, Lima, 1999, Perú, Pag. 546
 64. Henze, M., Harremoës, P., LaCour Jansen, J. y Arvin, E. Wastewater Treatment, Biological and Chemical Processes. Springer, Heidelberg, 1995.
 65. Henze, M., W. Gujer, T. Mino, y M.C.M. van Loosdrecht. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. IWA Scientific and Technical reports, 9. 2000, IWA Publ., London.
 66. Herrero, M. A., y S. B. Gil. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. Ecol. Austral 18: 273-289.
 67. IBRAHIM, M. y A. SCHLONVOIGT. Silvopastoral systems for degraded lands in the humid tropics. Environmental friendly silvopastoral alternatives for optimising productivity of livestock farms: CATIE's experience. Actas de la IV Semana Científica, CATIE, 1999, 277-282.
 68. INSTITUTO GALLACH. 1984. Historia natural. Volumen V. Barcelona: Océano.
 69. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INEC). Datos Estadísticos Agropecuarios. Resumen ejecutivo. Sistema Estadístico Agropecuario Nacional (SEAN). Encuesta de superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). Quito, Ecuador. 52 pp. 2012.
 70. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). Published: IGES, Japan. Vol 4. (10) pp: 87.
 71. IWA (2000). Constructed wetlands for pollution control. Processes, performance, design and operation. IWA Specialist group on use of macrophytes in water pollution control. IWA publishing, London, England.
 72. Job, G. D., Cooper, P. F. Green, M.B. y Shutes, R.B.E. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. WRc Publications, 1996, Medmenham, Marlow, Inglaterra.
 73. Kadlec R., Knight R. (1996) Treatment wetlands. Lewis-CRC publishers, Boca Raton, Fl, USA.
 74. Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. y Haberl, R. Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and

- Operation. IWA Specialist Group On use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing, 2000.
75. Kaufman, A. M. y Rodríguez, M. E. (2001). La escuela y los textos. Argentina: Santillana.
 76. Kiely, G. INGENIERÍA AMBIENTAL VOLUMEN 1, Mc Graw – Hill, Madrid, 1999,
 77. Kolb, P. 1998. Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós, Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur, Universität für Bodenkultur.
 78. Lahora Cano, A. 2004 “Los humedales artificiales como tratamiento terciario de bajo coste en la depuración de aguas residuales urbanas” en www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMENT/g01/d01203/d01203.htm
 79. Langergraber G. Development of a simulation tool for subsurface flow constructed wetlands. Wiener Mitteilungen, 2001, 169, Viena, Austria.
 80. Langergraber G. y Šimůnek J. Modelling variably saturated water flow and multicomponent reactive transport in constructed wetlands. Vadose Zone J. 2005, 4 (4), 924-938
 81. LARA BORRERO, J. A. Depuración de aguas residuales Muni-cipales con humedales artificiales. Barcelona, España, 2009, 122 p. Trabajo final (Título Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental). Universidad Politecnica de Cataluña. Instituto Catalan de Tecnologia. Disponible en: <http://sites.google.com/site/humedalesartificiales/7-diseno-hidraulico>
 82. Málvarez, A. 1999 Tópicos sobre humedales subtropicales y templados (disco compacto), Oficina regional de ciencia y tecnologia de la UNESCO para America Latina y el Caribe, Montevideo
 83. Mc Graw – Hill, Bogotá, 2000, Colombia, Pag. 408
 84. McBride, G.B. y Tanner, C.C. Modelling biofilm nitrogen transformations in constructed wetlands mesocosms with fluctuating water levels. Ecol. Eng. 1999, 14 (1-2), 93-106.
 85. Mena, J., Rodríguez, L., Núñez, J., Fernández, F.J. y Villaseñor, J. Design of horizontal and vertical subsurface flow constructed wetlands treating industrial wastewaters. Proceedings of the Ninth International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Water Pollution. Witpress, 2008, 672pp.
 86. Metcalf y Hedí Inc. INGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES, Mc Graw – Hill,

México, 1996, México, Pag. 752

87. Miller, J. J. (2001). Agricultural Systems. En Impact of intensive livestock operations on water quality. (págs. 405-416.). Western Canadian: Dairy Seminar.
88. Miller, J. J. (2001). Agricultural Systems. En Impact of intensive livestock operations on water quality. (págs. 405-416.). Western Canadian: Dairy Seminar.
89. Miner, J. R., F. J. Humenik, and M. R. Overchash. 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames, IA, USA. pp: 318.
90. Miranda R.M. (2000). Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
91. Molle, P., Liénard, A., Grasmick, A. y Iwema, A. Phosphorus retention in subsurface constructed wetlands: investigations focused on calcareus materials and their chemical reactions. Wat. Sci. Tech. 2003, 48 (5), 75-83.
92. MOSQUERA, M. La competitividad del sector lácteo del Ecuador en el marco del TLC. En: Libre Comercio y Lácteos: La Producción de leche en el Ecuador entre el Mercado Nacional y la Globalización. SIPAE. Quito, Ecuador. 47 pp. 2007.
93. Muñoz, D. (10 de 02 de 2005). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Obtenido de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente: <http://www.cepis.ops/oms.org/>
94. Murgueitio E 2003: Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. Livestock Research for Rural Development. Volume 15, Article #78. Retrieved June 12, 2019, from <http://www.lrrd.org/lrrd15/10/murg1510.htm>
95. Murgueitio E y Calle Z 1999 Diversidad Biológica en Sistemas de Ganadería Bovina en Colombia. En: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal 143. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -FAO, Roma. pp 53-72.
96. Navarro A.E., Ramos K.P., Campos K. y Maldonado H. Elucidación del Efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: Cationes Divalentes Superficies Activas. Revista Iberoamericana de Polímeros 2006; 7(2):115-128.
97. ÑIQUE ÁLVAREZ, M. Humedales construidos para el trata-miento de aguas residuales. Perú, Sociedad Peruana de Gestión Ambiental [en línea]. Disponible en:

- http://www.geocities.com/sociedadpga/publicaciones/anoInro1/humedales_tratamiento_aguas.htm [Citado 25 Mar 2004]
98. OBEK, E. and H. HASAR. 2002. Role of duckweed (*Lemna minor* L.) harvesting in biological phosphate removal from secondary treatment effluents. *Fresenius Environmental Bulletin*. 11: 27-29 (Abstract).
 99. O'Hogain, S., The Design, Operation and Performance of a Municipal Hybrid Reed Bed Treatment. *Wat. Sci. and Tech.*, 2003, 48 (5), pp. 119-126.
 100. OLGUÍN, E. and E. HERNÁNDEZ. 1998. Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater. Institute of Ecology, Environmental Biotechnology. Vancouver. Available from: <http://www.idrc.ca/industry/canada>.
 101. PARR, L.B., R.G. PERKINS and C.F. MASON. 2002. *Water Research*. 36 (7): 1735-1742 (Abstract).
 102. Pérez, R. (2001). Porcicultura y contaminación del agua en La Piedad, Michoacán, México . *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17 (1), 5-13.
 103. Pettecrew, E.L. y Kalff, J. Water Flow and Clay Retention in Submerged Macrophyte Bed. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1992, 49, 2483-2489.
 104. Pimentel D, Stachow U, Takacs D, Brubaker H W, Dumas A R, Meaney J J, O'neil A S, Onsi D E y Corzilius D B (1992) Conserving biological diversity in agricultural and forestry systems *BioScience* Vol. 42 No. 5
 105. RAVEN, P., R. EVERT and S. EICHHORN. 1971. *Biology of plants*. 5 ed. New York: Worth. 791p.
 106. Rivera, D y Obon de Castro, C. (1991). La guía de Incafo de las plantas útiles y venenosas de la Península Ibérica y Baleares (excluidas medicinales). Incafo, Madrid.
 107. ROLDÁN, G. 1992. *Fundamentos de limnología tropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 529 p.
 108. Romero R., J. A. TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, Escuela Colombia de Ingeniería,
 109. ROOK, E. 2002. *Flora, fauna, earth and sky. The natural history of the northwoods.* Available from: <http://www.rook.org/earl/bwca/nature/aquatics/lemna.html>.
 110. Santa Fe de Bogotá, 1999, Colombia, Pag. 785
 111. Sawyer, C. N.; Perry, L. QUÍMICA PARA INGENIERÍA AMBIENTAL,

Cuarta edición,

112. Soto, F. et al. 1999 “Role of *Scirpus lacustris* in bacterial and nutrient removal from wastewater” en *Water Science Technology*, 40(3), pp. 241-247
113. Stearman, G. et al. 2003 “Pesticide removal from container nursery runoff in constructed wetland cells” en *Journal of Environmental Quality*, No 32, pp. 1548-1556.
114. Steinfeld, H. G. (2009). *Iniciativa para Ganadería, Medio Ambiente y Desarrollo. La larga sombra del ganado*, 493.
115. Thomassen, M., Van Calker, K. J., Smits, M., Lepema, L., & de Boer, I. (2008). Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. En *Agricultural Systems* (págs. 95 - 107). Netherlands: ELSEVIER.
116. Thomassen, M., Van Calker, K. J., Smits, M., Lepema, L., & de Boer, I. (2008). Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. En *Agricultural Systems* (págs. 95 - 107). Netherlands: ELSEVIER.
117. TULSMA. (2015). Registro Oficial-Edición Especial N°387. Quito.
118. U.S. Environmental Protection Agency. 1993, Cincinnati, USA. U.S. Environmental Protection Agency. *Constructed Wetland Treatment of Municipal Wastewater*. U.S. Environmental Protection Agency. 2000, Cincinnati, USA.
119. U.S. Environmental Protection Agency. *Design Manual Constructed Wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment*.
120. Universidad Estatal Amazónica. (- de - de 2018). Universidad Estatal Amazónica. Obtenido de Universidad Estatal Amazónica: https://www.uea.edu.ec/?page_id=2376#1530836238333-91324ec8-f31b
121. Valdés, I., M.D. Curt y J. Fernández 2005 “Tolerancia de *Phragmites* y *Typha* a la contaminación del agua” en *Memoria del Encuentro Internacional en Fitodepuración*, Lorca.
122. Verde, L. (2019). *Línea Verde Ciudad Real*. Obtenido de <http://www.lineaverdecidudadreal.com/lv/guias-buenas-practicas-ambientales/buenas-practicas-sobre-agua/contaminacion-del-agua.asp#>
123. Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Green, M., and Haberl, pp 169-190. RBackhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
124. WB, 2014a. *Water in Latin America and the Caribbean*. World Bank. <http://web.worldbank.org/>.
125. Wilson J.R., Holst N., Rees M. *Determinantes y los patrones de crecimiento*

- de la población en Jacinto de agua. *Aquat Bot* 2005; 81:51-67.
126. www.un.org/waterforlifedecade/green_economy_2011/interviews.shtml.
127. ZAMBRANO, J. 1974. Las malezas acuáticas. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 2 (4): 87-94.
128. ZAYED, A. 1998. Phytoaccumulation of trace elements by wetlands. *Journal of Environmental Quality*. 27 (3): 715-721 (Abstract).
129. Zúñiga, J. et al. 2004 “An assessment of domestic wastewater treatment in constructed wetlands in a region with variable climate in Chile” en *Congreso de Ingeniería Ambiental*, Avignon.

CAPÍTULO VII

7 ANEXOS



Foto 1. Sitio donde se implementará el proyecto ganadero



Foto 2. Sitio donde ingresan las vacas para su ordeñamiento



Foto 3. Canal por donde pasarían las aguas residuales



Foto 4. Sistema de recogida de las aguas residuales



Foto 5. Toma de puntos GPS donde se pretende implementar el humedal artificial



Foto 6. Mediciones del terreno para el humedal artificial

Foto 7. Diseño de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

