

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS
RESIDUALES PORCICOLAS EN LA FINCA EL PORVENIR, VEREDA
SUNCUNCHOQUE, SECTOR LA LAJA, UBATE – CUNDINAMARCA, Y SU
REUTILIZACIÓN CON FINES AGROAMBIENTALES**

Estudiantes

**MACOL KAOMA MARTÍNEZ ROMERO
DAVID ALEJANDRO MURCIA IGUA
YESID HIPÓLITO SUÁREZ BOYACÁ**

Dirección

**MARIO DE JESUS MOLANO COGUA.
M.Sc. Riegos y Drenajes**

Codirección

**ANGELA SALAMANCA M.
M.Sc. Agrobiología Ambiental**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO(A) EN AGROECOLOGÍA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGROECOLÓGICA
Bogotá D.C., Colombia
Junio de 2015**

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PORCICOLAS EN LA FINCA EL PORVENIR, VEREDA SUNCUNCHOQUE, SECTOR LA LAJA, UBATE – CUNDINAMARCA, PARA SU REUTILIZACIÓN CON FINES AGROAMBIENTALES

**MACOL KAOMA MARTÍNEZ ROMERO
DAVID ALEJANDRO MURCIA IGUA
YESID HIPÓLITO SUÁREZ BOYACÁ**

APROBADO

**Mario Molano,
M.Sc. Riegos Drenajes
Director del trabajo**

**Angela Salamanca,
M.Sc. Agrobiología Ambiental
Codirectora del Trabajo**

**Jeannette Pita,
Docente Uniminuto
Jurado 1**

**Alvaro Acevedo,
Docente Uniminuto
Jurado 2**

Junio de 2015

DEDICATORIA

Nuestra tesis se la dedicamos a nuestro Dios quién supo guiarnos por el buen camino, darnos fuerzas para seguir adelante y no abandonarnos en los problemas que se presentaban, enseñarnos a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A nuestras familias quienes por ellos somos lo que somos, han sido y serán parte fundamental de nuestras vidas.

Para nuestros padres por su apoyo, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarnos con los recursos necesarios para seguir nuestra carrera universitaria; nos han dado todo lo que somos como personas, nuestros valores, nuestros principios, nuestro carácter, empeño, perseverancia y coraje para seguir nuestros sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos dar mil gracias a Dios por iniciar y concluir nuestros estudios universitarios en forma satisfactoria.

Un agradecimiento enorme a nuestras familias que nos apoyaron moral, espiritual y económicamente durante el proceso y que tuvieron que privarse parcialmente de nuestra compañía por ofrecernos espacios y tiempo para la elaboración de este proyecto.

Nuestra infinita gratitud con el señor Justo Pastor Ruiz y Familia, quienes nos brindaron la confianza, dedicación y apoyo incondicional para la realización de este proyecto.

Nuestros sinceros agradecimientos a la Corporación Universitaria Minuto de Dios, en especial a nuestro director de trabajo de grado el M.Sc. Mario de Jesus Molano y nuestra codirectora la M.Sc. Angela Patricia Salamanca, por sus enseñanzas, orientación y colaboración en todo el proyecto.

Gracias a las personas del Sector rural del municipio de Ubate – Cundinamarca, Vereda Sucunchoque, los cuales nos colaboraron e hicieron parte de nuestro trabajo de grado.

Por último agradecemos a todos los docentes y compañeros que nos apoyaron y compartieron con nosotros este proceso de nuestra carrera universitaria.

Gracias a todos.

RESUMEN

La presión que se ejerce sobre los recursos hídricos es cada vez mayor, como consecuencia del acelerado crecimiento en los últimos años de la población del sector agropecuario e industrial, los cuales demandan grandes cantidades de agua para el desarrollo de sus actividades, en Colombia aproximadamente menos del 5% del agua residual de las zonas rurales recibe un tratamiento adecuado, entre estas aguas residuales y problemática ambiental importante en la producción porcícola, es la generación de excretas con alta concentración de nutrientes y su deposición en el ecosistema, convirtiendo esto en un problema que requiere de estrategias económicamente viables y ambientalmente sostenibles. Teniendo en cuenta esta problemática, se realizó el siguiente trabajo el cual tuvo como objeto evaluar un sistema de Biorremediación que se especialice en el manejo de aguas residuales de una producción porcícola, este se encuentra compuesto por un biodigestor de flujo semi-continuo y un sistema complementario de tres tanques cada uno de ellos con una variedad distinta de plantas fitorremediadoras, el sistema se evaluó con la ayuda de un análisis fisicoquímico realizado mediante un muestreo puntual a la entrada y salida del sistema teniendo en cuenta aquellos parámetros determinados por la ley de vertimientos de Colombia. Como resultado de este proceso se obtuvo la mejora de las aguas en los parámetros físicos tales como: sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos sedimentables además de mejorar parámetros químicos tales como hierro total, DBO, DQO, conductividad eléctrica y zinc, como resultados adicionales en este proceso se obtuvo la producción de biogás y la implementación de técnicas agroecológicas reutilizando los residuos de materia orgánica generados por el sistema.

SUMMARY

The pressure exerted on water resources is increasing as a result of accelerated growth in recent years of the population of the agricultural and industrial sectors, which require large amounts of water to develop its activities, in Colombia approximately less 5% of wastewater in rural areas receive suitable treatment, between these wastewater and important environmental problematic in the hog production, is the generation of excreta with high concentrations of nutrients and their deposition on the ecosystem, turning this into a problem which it requires economically viable and environmentally sustainable strategies. Given this problem, The following work was carried out aiming assess a bioremediation system that specialized in the management of wastewater from a hog production, this is composed of a semi-continuous flow digester and a complementary of system three tanks each with a distinct variety of phytoremediation plants, the system was evaluated with the help of a physicochemical analysis made by a sampling point at the input and output system taking into account the parameters set by the law of dumping of Colombia. As a result of this process it was improved the water in physical parameters such as you are: suspended solids , dissolved solids and settleable solids and improves in chemical parameters such as total iron, BOD, COD, conductivity and zinc as additional results in production process it was generated biogas and it is performed the implementation of ecological techniques doing reusing the organic residues generated by the system.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	PREGUNTA PROBLEMA.....	15
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
3.1.	ANTECEDENTES.....	16
4.	JUSTIFICACIÓN.....	19
5.	OBJETIVOS.....	21
5.1.	OBJETIVO GENERAL.....	21
5.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
6.	MARCO TEORICO.....	22
6.1.	MARCO CONCEPTUAL.....	22
6.2.	MARCO LEGAL.....	25
6.3.	SISTEMA TEÓRICO.....	26
7.	METODOLOGÍA.....	49
7.1.	UBICACIÓN.....	49
7.3.	ETAPAS DE LA METODOLOGÍA.....	51
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
8.1.	DIAGNÓSTICO CALIDAD DEL AGUA.....	58
8.2.	IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	59
8.3.	PARÁMETROS FÍSICOS:.....	65
8.4.	PARÁMETROS QUÍMICOS.....	76
8.5.	ANÁLISIS GENERAL DE LOS RESULTADOS.....	101
8.6.	TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTOS.....	103
9.	CONCLUSIONES.....	105
10.	RECOMENDACIONES.....	107
11.	ANEXOS.....	109
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	128

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla N° 1 – Preservación de Muestras</i> _____	53
<i>Tabla N° 2 – Sensibilidad de Detección del Equipo Usado en Campo</i> _____	54
<i>Tabla N° 3 - Los Resultados Obtenidos en el Diagnóstico</i> _____	59
<i>Tabla N° 4 – Resultados Análisis Fisicoquímicos de Aguas Residuales Porcícolas</i> _____	64

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura N° 1 (Ubicación Ubate)</i> _____	49
<i>Figura N° 2 (Ubicación Finca El Provenir)</i> _____	50
<i>Figura N° 3 Plano 3D Sistema de Biorremediación</i> _____	60
<i>Figura N° 4 Plano 2D Sistema de Biorremediación</i> _____	60
<i>Figura N° 5 - Porcentaje De Remoción De SST Con Tratamiento Vs Sin Tratamiento</i> _____	65
<i>Figura N° 6 - Porcentaje De Remoción De SS Con Tratamiento Vs Sin Tratamiento</i> _____	67
<i>Figura N° 7 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Temperatura</i> _____	71
<i>Figura N° 8 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Turbiedad</i> _____	73
<i>Figura N° 9 – Tratamientos Sin Tratamiento Cadmio</i> _____	76
<i>Figura N° 10 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Cloruros</i> _____	79
<i>Figura N° 11 – TratamientoVs Sin Tratamiento Hierro Total</i> _____	81
<i>Figura N° 12 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Conductividad Eléctrica</i> _____	83
<i>Figura N° 13 - Tratamiento Vs Sin Tratamiento Zinc</i> _____	84
<i>Figura N° 14 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento pH</i> _____	86
<i>Figura N° 15 – Porcentaje de Remoción D.B.O. con Tratamiento Vs sin Tratamiento</i> _____	88
<i>Figura N° 16 – Porcentanje De Remoción D.Q.O. Con Tratamiento Vs Sin Tratamiento</i> _____	91
<i>Figura N° 17 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Nitratos</i> _____	93
<i>Figura N° 18 – Tratamiento VsSin Tratamiento Oxígeno Disuelto</i> _____	98
<i>Figura N° 19 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Sulfatos</i> _____	100

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo N° 1 (Sistema de Biorremediación San Miguel de Sema)</i>	109
<i>Anexo N° 2 (Ventajas y Desventajas de la Biorremediación)</i>	109
<i>Anexo N° 3 (Taxonomía Buchón de Agua “Eichornia crassipes L.”)</i>	110
<i>Anexo N° 4 (Buchón de Agua y sus Estructuras)</i>	110
<i>Anexo N° 5 (Taxonomía Lenteja de Agua “Lemna minor L.”)</i>	111
<i>Anexo N° 6 (Lenteja de Agua y sus Estructuras)</i>	111

Anexo N° 7 (Taxonomía Oreja de Ratón “Salvinia Mínima L.”)	112
Anexo N° 8 (Salvinia Mínima L. y sus Estructuras)	112
Anexo N° 9 (Diagnóstico de la Zona)	113
Anexo N° 10 (Reunión con Productor)	113
Anexo N° 11 (Vinculación Vecinos y Familia)	114
Anexo N° 12 (Construcción Sistema Biorremediación)	114
Anexo N° 13 (Técnico ANALQUIM)	115
Anexo N° 14 (Envases de Muestreo)	115
Anexo N° 15 (Equipos de Muestreo)	116
Anexo N° 16 (Creación de Abonos)	116
Anexo N° 17 (Creación de Compostaje)	117
Anexo N° 18 (Biotransformación)	117
Anexo N° 19 (Biogás)	118
Anexo N° 20 (Biocombustión)	118
Anexo N° 21 (Biodigestor)	119
Anexo N° 22 (Capacitación Vecinos y Familia)	119
Anexo N° 23 (Capacitación Vecinos y Familia)	120
Anexo N° 24 (Capacitación Vecinos y Familia)	120
Anexo N° 25 (Capacitación Vecinos y Familia)	121
Anexo N° 26 (Actividad “Cuando Cuentas Cuencas” Vecinos y Familia)	121
Anexo N° 27 (Actividad “Cuando Cuentas Cuencas” Vecinos y Familia)	122
Anexo N° 28 (Actividad “Cuando Cuentas Cuencas” Vecinos y Familia)	122
Anexo N° 29 (Actividad “Cuando Cuentas Cuencas” Vecinos y Familia)	123
Anexo N° 30 (Instalaciones Producción Porcícola)	123
Anexo N° 31 (Lavado Sistema Porcícola)	124
Anexo N° 32 (Llenado de Cajas de Inspección)	124
Anexo N° 33 (Caja de Inspección)	125
Anexo N° 34 (Biodigestor Construcción)	125
Anexo N° 35 (Materiales)	126
Anexo N° 36 (Calefacción de Lechones)	126
Anexo N° 37 (Tanques de Recepción de Agua)	127
Anexo N° 38 (Sistema de Biorremediación)	127

GLOSARIO

A: Afluente

ACP: Asociación Colombiana de Porcicultores

ARD: Agua Residual Doméstica

CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

CCC: Cuando Cuentas Cuencas

COT: Carbono orgánico total

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (mg/l)

DQO: Demanda Química de Oxígeno (mg/l)

E: Efluente

EM: Microorganismos Eficientes

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

MADR: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

MADS: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAVDT: Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

MMA: Ministerio de Medio Ambiente

N: Nitrógeno

NH₄: Amonio

NO₂: Nitrito

NTK: Nitrógeno total Kjeldal (mg/l)

OD: Oxígeno disuelto

P: Fósforo

P: Fósforo total (mg/l)

pH: Potencial de Hidrogeno

PHI: Programa Hidrológico Internacional

PNMARMC: Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

PUEAA: Programas de Uso Eficiente y Ahorro del Agua

SS: Sólidos Sedimentales

SST: Sólidos Suspendidos Totales

T°: Temperatura

TR: Tiempo de Retención

1. INTRODUCCIÓN

El uso inadecuado del recurso hídrico por parte del hombre ha ocasionado el deterioro de un gran número de zonas de manejo especial, en las cuales son vertidas las aguas que resultan del proceso de manejo realizado por el ser humano en las diversas actividades (agropecuarias, industriales y del hogar) generando de esta manera conflictos ambientales, sociales y culturales. Torres (2009) afirma que desde la existencia del ser humano y con el transcurso del tiempo, se han generado problemáticas ambientales respecto a su manejo, retiro y disposición de los desechos producidos por las actividades agropecuarias y humanas, especialmente los relacionados con las aguas residuales de origen agropecuario, doméstico, industrial y comercial. Así mismo, García (2009) afirma que es frecuente ver como la mayoría de las comunidades utilizan las fuentes hídricas superficiales y subterráneas, como alternativa para deshacerse de los desechos líquidos y sólidos causando problemas ambientales y conflictos a otras áreas y poblaciones que se abastecen de este recurso. En la búsqueda de una optimización en la utilización, reutilización y mejoramiento de las aguas residuales, se deben realizar actividades que generen mayor conciencia, ya que estas son promotoras del desarrollo y riqueza, que se han constituido y seguirán siendo uno de los grandes pilares para la evolución del hombre (Rodríguez *et al.*, 2006).

El Departamento Nacional de Planeación (2002), sostiene que la presión que se ejerce sobre los recursos hídricos es cada vez mayor, esta se produce como consecuencia del acelerado crecimiento en los últimos años de la población, del sector agropecuario, e industrial, los cuales demandan grandes cantidades de agua para el desarrollo de sus actividades. El agua utilizada retorna a las fuentes hídricas como agua residual sin tratarse en la mayoría de los casos, generando contaminación y disminuyendo la calidad de la vida de las comunidades con sus consiguientes impactos económicos, sociales y ambientales (Galvis *et al.*, 1986).

Por otra parte, el Plan Nacional Único de Manejo de Aguas – PNUMA (2000) dice que en Latinoamérica menos del 5% del agua residual de las zonas rurales y donde se encuentra en su mayoría la producción agropecuaria recibe un tratamiento inadecuado, convirtiendo esto en un serio problema que requiere de estrategias eficientes tanto tecnológicas como económicas y sociales. Según el Ministerio de Medio Ambiente (2008), las soluciones de aguas residuales en las zonas rurales de Colombia pueden ser sencillas técnicamente, pero su sostenibilidad es muy compleja, por la localización de las comunidades afectadas por este tipo de problemática. La situación de manejo de aguas residuales en las zonas rurales de Colombia es crítica, debido a que existe una cobertura muy reducida de sistemas de alcantarillado, esto conlleva a que la mayoría de aguas contaminadas sean descargadas al suelo o a fuentes hídricas superficiales y subterráneas ocasionando graves problemas ambientales (Restrepo, 1995).

Por lo anterior, es necesario previamente establecer cuáles son los niveles de contaminación de aguas residuales en las zonas rurales por parte del uso de la producción agropecuaria que se manejan, los cuales pueden ser admitidos en un ecosistema y que esto no provoque daños a los recursos naturales existentes en él (Moreno, 2003). Ante esta problemática y dicho por Levin y Gealt (1997), la Biorremediación puede definirse como una alternativa biológica (microorganismos y plantas), para la descontaminación ambiental del recurso hídrico. Esta técnica busca la utilización de microorganismos y plantas para la descontaminación de aguas, ayudando también a los tratamientos de residuos tanto de producción agropecuaria como domiciliarios (Cortón y Viale, 2006). Por otro lado, Cook y Westlake (1972) dicen que la Biorremediación o saneamiento biológico, es una tecnología basada en procesos naturales que utiliza la capacidad de algunos microorganismos y plantas, para transformar compuestos químicos con la finalidad de disminuir o eliminar su condición de peligro contaminante.

Catalinas y Ortega (2002), aseguran que siempre podemos encontrar soluciones ingeniosas y prácticas para el ahorro de agua. Es así como, el aprovechamiento de las llamadas “*aguas residuales*” producidas en nuestros

hogares es una de ellas. Las aguas residuales constituyen un recurso no convencional de agua que se ha desarrollado en las últimas décadas. No obstante, para poder proceder a reutilizar este recurso se requieren las tecnologías adecuadas y unos estudios previos detallados (Restrepo, 1995).

De acuerdo con lo consultado, basados en la Ley 373 de 1997 sobre Programas de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, y las normativas más importantes de vertimiento en Colombia: (Resolución 1594 de 1984, Resolución 1207 de 2014 y Decreto 3930 de 2010 modificado parcialmente por el Decreto 4728 de 2010), expedidas todas por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), las cuales determinan el cumplimiento de ciertas normatividades para el vertimiento y reutilización de aguas residuales, esta investigación nace como respuesta a la problemática generada por el inadecuado manejo de los vertimientos de una producción porcícola de la finca el porvenir ubicada en la vereda Sucunchoque, en la cual se hace uso directo de los vertimientos en el riego de praderas y los excesos son arrojados a una fuente hídrica cercana (desaguadero de aguas lluvias sector la laja), generando problemas ambientales como la contaminación del agua y erosión de los suelos en la zona.

Ante esta realidad, éste proyecto propone la alternativa de la creación de un sistema de Biorremediación que solucione la problemática ambiental y social generada por la disposición de los vertimientos provenientes de la producción porcícola, incorporando opciones tecnológicas a nivel rural, de fácil aplicación, económicamente viables que contribuyan a un desarrollo sostenible, examinando la posibilidad de un equilibrio ecosistémico. Al dar un buen uso de las aguas residuales en procesos con fines agroambientales tales como sistemas de pastoreo, en producciones agrícolas o simplemente devolverlas al entorno natural (ríos y quebradas locales), mitigando los impactos ambientales que generan los vertimientos directos de estas aguas sobre los cuerpos de agua de la región, también se pretende generar la alternativa en épocas de verano para que la comunidad se beneficie y pueda emplear estas aguas en sistemas de riego en las diversas producciones de la zona.

2. PREGUNTA PROBLEMA

Observando las problemáticas de aguas residuales presentes en la zona y teniendo en cuenta las leyes que determinan el cumplimiento de ciertas normatividades para el vertimiento y reutilización de las mismas, se plantea la siguiente pregunta:

¿A partir de la implementación de un sistema de Biorremediación, es posible la descontaminación de aguas residuales provenientes de una producción porcícola de la Finca el Porvenir Vereda Sucunchoque, para su reutilización en fines agroambientales cumpliendo con la normatividad establecida en Colombia?

3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

3.1. ANTECEDENTES

El agua es uno de los recursos más abundantes en la Tierra; no obstante, la proporción disponible con seguridad para el consumo humano no llega al 1 % del total (CONAGUA, 2009). El agua potable es sin duda indispensable para la supervivencia humana y en el transcurso de su aprovechamiento, su calidad disminuye debido a sus múltiples usos (domésticos, industriales y agropecuarios), este recurso hídrico contaminado normalmente no recibe ningún tipo de tratamiento convirtiéndolo en una problemática socio-ambiental grave (PNUMA, 1991).

Según la FAO (2003), las problemáticas ambientales, entre las que se destaca la contaminación del recurso hídrico, generada por la descarga de las aguas residuales no tratadas, provenientes de los alcantarillados municipales y de sistemas productivos agropecuarios se han intensificado durante la última década, debido a la concentración de la población en zonas urbanas y rurales, ha aumentado la presión de las ciudades sobre los recursos naturales, la dotación de vivienda y la prestación de servicios públicos (agua, saneamiento básico, energía, etc.).

Por consiguiente, la problemática actual con respecto a los recursos hídricos ha empeorado en los últimos años, producida por el mal manejo que se le ha venido dando, ya sea por el uso de agroquímicos, vertimientos de producción animal, procesos industriales y afluentes de aguas residuales (grises y negras) domésticas. Según la FAO (1993), en los últimos años, los problemas del agua han sido objeto de una preocupación y un debate crecientes en el plano internacional.

En vista de estas problemáticas, gran número de países desarrollados y en vía de desarrollo han adoptado, o están en proceso de implementación, de

ambiciosos programas para el tratamiento y disposición final de las aguas residuales, especialmente para las grandes ciudades y sistemas productivos. Esto con el fin de mantener como mínimo los criterios de calidad del recurso para los diferentes usos y el equilibrio del sistema natural basado en la capacidad de asimilación (FAO, 2007).

Por otro lado, Lopera y Campos (2011) argumentan que Colombia no ha estado atrás en las gestiones relacionadas con el control de la contaminación hídrica, y se han adelantado a nivel nacional diferentes esfuerzos para reducir los impactos ambientales provocados por producciones agropecuarias. Sin embargo, estos han resultado insuficientes y se evidencia que es prioritario evaluar las diferentes alternativas institucionales, financieras, normativas y técnicas, que coordinen una gestión unificada, y permitan alcanzar metas razonables en el mediano y largo plazo.

Colombia tiene una superficie irrigada con aguas contaminadas de 1.230.193 ha, con 27% de agua residual tratada y 73% sin tratar, por lo general diluida con aguas superficiales; al igual que sucede en toda América Latina, no se cuenta con información completa y confiable sobre el tema del reutilización de aguas residuales (CEPIS, 2003)

Adicionalmente, los planes de acción y de gestión ambiental de las Autoridades Ambientales Regionales son débiles en el desarrollo de programas de control a la contaminación hídrica, pues encuentran restricciones de ley para desarrollar obras de saneamiento asociadas a la prestación de servicios públicos y sistemas productivos pecuarios. Por esto es necesario implementar planes regionales o locales de descontaminación del recurso hídrico, teniendo en cuenta las características propias de cada cuenca hidrográfica, y presentar alternativas de solución frente al problema que ellas presenten. Los estimativos económicos hacen evidente la imposibilidad de iniciar simultáneamente la solución a todos los casos de contaminación hídrica, por lo cual aparece la necesidad de priorizar para

abordar el problema de la descontaminación del recurso hídrico (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2011) “Una de las practicas más comunes de disposición final de las aguas contaminadas domésticas y de las producciones agropecuarias ha sido la entrega directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo”; sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar dos tipos de problemas: de salud pública, particularmente importantes en países como Colombia por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales (Mara, 1996), y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente y genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada en las riberas de los cuerpos de agua receptores en donde se realizan este tipo de descargas (Pierce y Turner, 1990).

Un ejemplo para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas es el sistema de Biorremediación implementado en el municipio de San Miguel De Sema (Boyacá), el cual consiste en una red de canales conectados en serie y sembrados con macrófitas acuáticas (buchón de agua), que reciben las aguas residuales de un tratamiento primario básico (pre-tratamiento y tanque séptico). Dicha disposición garantiza que la hidráulica del sistema tenderá a funcionar como un reactor de flujo pistón, y por lo tanto, el tratamiento será más eficiente por unidad de área, que para el caso de un humedal construido de flujo superficial o sub-superficial. En cuanto a los mecanismos de remoción de contaminantes, son los mismos presentes en un humedal de flujo superficial, siendo estos la combinación sinérgica de diferentes rutas metabólicas bacterianas complementarias que varían en predominancia según profundidad en la columna de agua (Ver Anexo N° 1).

4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente se ha generado una problemática ambiental por el manejo, retiro y disposición de los desechos producidos por las actividades antrópicas especialmente los relacionados con las aguas residuales de origen doméstico, industrial y agropecuario. En busca de una solución es frecuente que las fuentes hídricas superficiales se utilicen como receptores de desechos líquidos y sólidos, como medio de transporte de la contaminación, trasladando los conflictos y problemas ambientales a otras áreas y poblaciones. Lo cual sin duda genera más problemas entre las comunidades existentes en cada zona (Torres, 2009).

Igualmente, las labores agropecuarias en la zona rural son altamente contaminantes, por los químicos empleados en las labores agrícolas y los desechos producidos por la ganadería, esto genera el vertido directo de aguas residuales que provienen de sitios con alta concentración de poblaciones que carecen de sistemas de tratamiento para las aguas residuales. La utilización de los recursos hídricos existentes en la zona rural es intensiva y se realiza sin el eficiente control de las autoridades ambientales correspondientes (Santana, 2012). Así mismo Delgado y Pérez (2010), sostienen que la disposición inadecuada de las aguas residuales provenientes de las producciones agropecuarias en las veredas, se refleja en el deterioro de las condiciones ambientales tales como la existencia de charcos en las calles, la proliferación de vectores relacionados con la aparición de enfermedades que atacan a la población más vulnerable; si estas aguas no son tratadas se producen impactos negativos al ambiente por la carga orgánica, bacterias y patógenos que en ella se encuentran (Montes, 2009).

Por ello, el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia (2003), afirma que debido a la inadecuada o inexistente recolección, tratamiento y disposición de los vertimientos generados por actividades como la producción agropecuaria, la industria, y las aguas residuales de origen doméstico, en el país se han generado en forma sucesiva e incremental, problemas de

salubridad y de calidad del agua en varias regiones. La situación comienza a ser insostenible, en la medida en que los cuerpos receptores alcanzan su capacidad de asimilar estos contaminantes, y se tiene como consecuencia la alteración de la calidad del recurso para su uso posterior, lo cual agrega un costo adicional para su tratamiento (Ministerio Del Medio Ambiente, 2002).

Por otra parte, a nivel mundial la FAO (2012), sostiene que reciclar las aguas residuales y usarlas para riego de forrajes puede ayudar a mitigar los problemas de escasez de agua y reducir la contaminación de la misma; lo que sucede es que esta práctica no ha sido difundida como se debiera en la comunidad, lo cual ha ocasionado que estas aguas sean mal empleadas y generen diferentes tipos de contaminación. Gallo (2006), afirma que la contaminación de las fuentes de agua por parte del hombre es un claro comportamiento autodestructivo, actualmente se observa una progresiva toma de responsabilidad y conciencia a nivel de dirigentes y organismos mundiales, los cuales han empezado a priorizar todas las políticas y gestiones encaminadas a la preservación y recuperación de los acuíferos y fuentes de abastecimiento de agua.

De acuerdo con lo consultado y basándonos en la Ley 373 de 1997 sobre Programas de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, y el Decreto 3930 modificado parcialmente por el Decreto 4728, expedidos por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en el año 2010, los cuales determinan el cumplimiento de ciertas normatividades para el vertimiento y reutilización de aguas residuales. Este proyecto busca una solución a las problemáticas generadas por el sistema de producción porcícola existente en la finca el Porvenir, vereda Sucunchoque, sector La Laja frente a los vertimientos de aguas residuales porcícolas; ya que en la actualidad estas son arrojadas directamente en los pastizales de la finca sin ningún tipo de tratamiento generando problemas de eutrofización en los suelos y por procesos de escorrentía estas aguas son llevadas a recursos hídricos que pasan limitando la finca, suscitando problemas sociales con los vecinos debido a la contaminación de estas fuentes y los malos olores generado por la producción porcícola.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

- 5.1.1.** Establecer un sistema de Biorremediación de aguas residuales de una producción porcícola en la finca El Porvenir, Vereda Sucunchoque, Sector La Laja, Ubaté – Cundinamarca, para mejorar la calidad del agua y su posterior reutilización con fines agroambientales.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.2.1.** Realizar un diagnóstico de la calidad del agua residual proveniente de la producción porcícola de la finca El Porvenir.
- 5.2.2.** Implementar un sistema de Biorremediación apropiado para su posterior evaluación mediante análisis fisicoquímicos, comparando la entrada frente a la salida del sistema y así buscar cumplir con las normatividad colombiana de vertimientos.

6. MARCO TEORICO

El uso inadecuado de los recursos hídricos ha generado grandes impactos y desequilibrios ecosistémicos, ya que debido al proceso de las actividades domésticas, industriales y agrícolas pasa a ser aguas residuales (grises y negras), estas en sus afluentes contienen grandes cantidades de residuos líquidos y sólidos, los cuales sin ningún tratamiento llegan a ser contaminantes y causar riesgos a nivel agroambiental. Por lo anterior, es necesario crear estrategias de fácil aplicación y económicamente viables, ante estas problemáticas. El proyecto propone un sistema de biorremediación, en el cual se tendrán que realizar análisis fisicoquímicos para determinar la calidad de agua (antes y después) y su posterior reutilización en servicios agroambientales.

6.1. MARCO CONCEPTUAL

6.1.1. Aguas residuales: *“Las aguas residuales o residuales líquidos, son esencialmente aquellas aguas de abastecimientos cuya calidad se ha deteriorado por diferentes usos. Se pueden definir como la combinación de agua y residuos, procedentes de las viviendas, instituciones públicas y establecimientos industriales, agropecuarios y comerciales, a los que pueden agregarse, de manera eventual, determinados volúmenes de aguas subterráneas, superficiales y pluviales”* (Metecalf y Eddy, 1995, p. 48).

6.1.2. Aguas Residuales Tratadas: *Son aquellas aguas residuales, que han sido sometidas a operaciones o procesos unitarios de tratamiento que permiten cumplir con los criterios de calidad requeridos para su reúso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., DIARIO OFICIAL 49242., RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014).*

6.1.3. Criterio de Calidad: *Es el conjunto de parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles que se establecen para un uso*

definido (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., DIARIO OFICIAL 49242., RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014).

6.1.4. Reúso: *Es la utilización de las aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso al que se va a destinar (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., DIARIO OFICIAL 49242., RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014).*

6.1.5. Aguas Residuales de Cerdos: *“Se define como el líquido formado por las orinas de los animales y lo que rezuma del estiércol. También se le define como la mezcla de excretas en conjunto con el agua con que se lavan los planteles donde se crían los cerdos, se caracterizan por su alta carga de nutrientes, y porque pueden llegar a ocasionar problemas ambientales tales como la eutrofización en masas de agua existentes, problemas de saturación de suelos, lo que dificulta el crecimiento e incluso la supervivencia de algunas especies, generan emisiones de gases causantes del efecto invernadero y cuya descarga a cursos de agua naturales exceden los límites de la normativa vigente en el país”.* (Belmonte et al., 2008, p. 92)

6.1.6. Aguas grises: La literatura contiene gran variedad de definiciones del término “aguas grises”. Algunas de ellas de carácter general: *“Aguas ya utilizadas a excepción de las que tengan grasas o contenidos fecales”* (Ordenanza Municipal para el Ahorro de Agua, 2005) y otras más detalladas: *“Aguas residuales domésticas sin tratar que no han entrado en contacto con residuos del inodoro. Incluye: el agua de bañeras, duchas y el agua de las lavadoras. No incluye: las aguas residuales procedentes del fregadero, lavaplatos, o lavandería”,* (California GraywaterStandards, 2005).

6.1.7. Análisis fisicoquímico: Según Navas y Arciniegas (2008, p. 32), *“con el análisis Fisicoquímico, se puede conocer las características básicas*

de algún producto, tales como el PH, la acidez, los sólidos, la viscosidad, los cloruros, el almidón, la fibra, la proteína, la grasa, la humedad y los carbohidratos; información que puede servirle como “Indicador de Calidad” y/o parámetro de medición para una producción estandarizada, y que le será útil, además, para complementar la ficha técnica del producto”.

6.1.8. Biorremediación: Atlas y Unterman (1999, p. 73) afirman que, *“la biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) y plantas para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas. Su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto cada uno de los estados de la materia”*

6.1.9. Servicios Agroambientales: *“Se refieren a aquellos sistemas que incluyen actividades agropecuarias y están establecidos sobre bases ambientales; a dichas prácticas agrícolas se les asocia valores ambientales reconocidos, que pueden enfrentar riesgos de degradación derivados de la intensificación o abandono de dichas prácticas”* (Oñate et al., 2003, p. 63). Por otra parte, en el documento de “Marcos de Referencia para la Educación Secundaria Orientada” (2010), hacen referencia de *“los servicios agroambientales como la fundamentación del paradigma de la complejidad ambiental con una visión sistémica que contempla la integración de lo productivo, lo ambiental, lo económico y lo sociocultural, en un marco de desarrollo local sustentable”.*

6.2. MARCO LEGAL

La línea base de este proyecto es estipulado por la Ley 373 de 1997 la cual especifica en su Artículo N° 1: “Entiéndase por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico, esta última frase involucra a todos aquellos (Grandes y Pequeños usuarios) que manejan el recurso hídrico para un uso productivo”. Por otro lado, en el Artículo N° 5 de la Ley se establece que es necesario que todos los usuarios grandes o pequeños que manejen el recurso hídrico en sistemas productivos, deberán implementar el proyecto de reutilización obligatorio del agua, el cual afirma que, las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socioeconómico y las normas de calidad ambiental.

Teniendo en cuenta lo anterior y siendo puntuales, este proyecto también se enmarca el Decreto N° 3930 del 25 de octubre de 2010 modificado parcialmente por el Decreto 4728 del 2010 del 23 de Diciembre: “Los cuales reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III – Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos que se dictan otras disposiciones”. DE LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE”.

Respecto al cumplimiento de la norma para el agua de riego nos basamos en el Decreto 1594 de 1984, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. De igual manera emplearemos también la Resolución Minambiente Nacional 1207de 2014: Artículo 1°. Objeto y ámbito de aplicación. La

presente resolución tiene por objeto establecer las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada y no aplica para su empleo como fertilizante o acondicionador de suelos.

6.3. SISTEMA TEÓRICO

6.3.1. Problemáticas ambientales de las aguas residuales.

Torres (2009) afirma que, desde la existencia del ser humano y con el transcurso del tiempo, se han generado problemáticas ambientales a nivel mundial respecto al manejo, retiro y disposición de los desechos producidos por las actividades humanas, especialmente los relacionados con las aguas residuales de origen doméstico, industrial, comercial y agropecuario. Las cuatro fuentes generan grandes cantidades de aguas residuales; es por ello que es importante estudiar de manera inter y multidisciplinariamente, para dar un tratamiento adecuando al recurso contaminado (García, 2009).

Según el Ministerio de Medio Ambiente (2002), actualmente la calidad del agua es uno de los factores que limita la disposición del recurso hídrico, lo cual hace la restricción de su uso. Debido al incremento de la demanda de agua en el mundo, trae como consecuencia el aumento en cuanto a volumen de los residuos líquidos y sólidos (aguas residuales), cuya descarga, sin una adecuada recolección, evacuación y tratamiento, deteriora la calidad del agua y contribuye con los problemas de disponibilidad del mismo, afectando de este modo a otros sectores que abastecen de este recurso. (Red Nacional de Conservación de Suelos y de Aguas, 2007). Por lo tanto Carvajal y Eparragoza (2008), afirman que la contaminación de los recursos hídricos depende de la cantidad y calidad de los vertimientos así como el tamaño de la fuente receptora y su porcentaje de asimilación. Los recursos hídricos en Colombia, se ven muy afectados debido a que reciben toda la carga de vertimientos de aguas residuales provenientes del sector agropecuario, doméstico e industrial, las cuales en su mayoría no tienen un control y una adecuada descontaminación del recurso, provocando que la calidad

del agua disminuya de una forma crítica debido a que las fuentes receptoras no tienen el porcentaje necesario de asimilación (Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de los Andes, 1998).

Chara (2007), asegura que a nivel mundial, los cerdos forman parte de un sistema industrial, donde los animales son albergados para obtener óptimas condiciones climáticas, deben realizarles mantenimiento y aseo adecuado a la producción y sanidad de los mismos así como las pérdidas por drenaje, escorrentía y evaporación podrían ser altas si provienen de estiércol con un bajo contenido de materia seca y en grandes volúmenes de desecho pueden ocasionar la polución del suelo, del agua, y el aire. La mayoría de los efectos son causados por emisiones del estiércol en la forma de nitrógeno (N), fósforo (P) y varios metales pesados que provienen del estiércol de cerdos en los establos bien sea durante el almacenamiento, después de la aplicación en suelos o simplemente cuando éste es eliminado. Las pérdidas dependen del sistema de albergue y el manejo del estiércol (Lutz, 2009).

Según Kiely *et al.*, (2011), existen una gran variedad de tratamientos de acuerdo a la calidad del agua y a las condiciones que requiere esta para su reutilización, desde las más simples hasta las más sofisticadas dependiendo de los parámetros a tratar. Por lo anterior es necesario tener un amplio conocimiento de las tecnologías existentes y sus costos, con el fin de elegir la más adecuada de acuerdo a los requerimientos, que sea adaptable a la zona de trabajo (costos, disponibilidad de materiales en la región, mano de obra, disponibilidades energéticas y tarifas, facilidades locales para reparación de los equipos, disponibilidad de espacios, entre otros.) y adaptación a los presupuestos disponibles (ENOHSA, 2003). A sí mismo García (2009), afirma que es frecuente que las comunidades utilicen las fuentes hídricas superficiales y subterráneas como alternativa para deshacerse de los desechos líquidos y sólidos, causando problemas ambientales y conflictos a otras áreas y poblaciones que se abastecen de este recurso.

6.3.2. Contaminación de Aguas Superficiales y Subterráneas Generadas por la Producción Porcícola

Chará (2007), asegura que tanto el drenaje directo del estiércol de cerdos hacia las aguas superficiales como la filtración desde suelos saturados afectan la calidad del agua, esto debido a que los nitratos se filtran hacia las aguas subterráneas por lo cual se generan peligros para la salud humana.

Aunque en la mayoría de los casos habrá trabajos existentes o planeados para alimentar las fuentes de agua a partir de aguas superficiales que puedan ser actualizados para manejar los impactos del estiércol, es menos probable que el tratamiento de aguas subterráneas sea dirigido a la remoción de nitratos y por lo tanto serán necesarias inversiones mayores para enfrentar esta fuente de polución.

Según lo anterior la FAO (2000), afirma que la preocupación principal acerca de ambientes naturales es el impacto de la escorrentía e infiltración de nitrógeno y fosfatos provenientes de las producciones porcícolas, que puedan conducir directamente a la eutrofización y la pérdida de biodiversidad en ecosistemas acuáticos. Además este impacto sobre el ambiente natural puede, en sí mismo, resultar en mayores riesgos sobre la salud humana ya que una consecuencia común de la eutrofización es el crecimiento excesivo de algas azul – verdes (notablemente *Microcystis* spp.). Estas algas producen varias toxinas que, si son ingeridas, pueden causar daño hepático a las poblaciones tanto humanas como animales.

6.3.3. Contaminación de Aguas por la Producción Porcícola en Colombia.

De acuerdo a lo afirmado por Chara (2007), la demanda de agua dulce para consumo pecuario en sistemas de producción porcícola y para mantener sitios de producción limpios e higiénicos, es considerablemente alta, dado a que los sitios de producción están casi que invariablemente cerca de centros

urbanos/industriales, esta demanda está en competencia directa con los requerimientos de suministros para la industria y el municipio.

Campos (1998), asegura que el problema de disposición de aguas residuales porcícolas en Colombia y Sur América es su tratamiento ya que abarca muchas posibles soluciones dependiendo de las circunstancias: como el tamaño de la Finca, el lugar donde está situada, la disposición de terreno, las costumbres de trabajo y el tipo de finca (engorde, gestación, crecimiento) etc.

Según Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y la Asociación Colombiana de Porcicultores (2002), el desarrollo de la producción porcícola en Colombia es desde hace tres décadas una de las actividades agropecuarias de mayor importancia en la producción y comercialización de ganado porcino con un gran impacto en la generación de fuentes de trabajo para aquellos granjeros y agricultores que ven en esta actividad una fuente de sustento económico para sus familias en Colombia.

No obstante Arias *et al.*, (2010), asegura que la producción porcícola en Colombia genera en el desarrollo de sus actividades diversos problemas y el tratamiento de las aguas residuales provenientes de esta actividad es uno de ellos, pues su mal manejo produce el deterioro de los suelos cuando son regados con estas causando con ello la contaminación de aguas subterráneas y superficiales por escorrentía. Por otro lado Cerón y Rojas (1995), afirman que la carga orgánica presente en estas aguas, origina una variación en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y del agua, lo cual suscita un desequilibrio ecológico que difícilmente se puede remediar en el corto plazo. Otro de los impactos ambientales es generado por los malos olores que de ellas y de los campos regados se desprenden como producto de la descomposición de las excretas porcinas. Por esta razón se hace necesario contar con un sistema de tratamiento factible de construir en zonas rurales que permita la remoción de contaminantes y a su vez cumplir con la legislación ambiental sobre vertimientos líquidos (Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente, 2005).

Por otro lado el Ministerio de Medio Ambiente (2008), afirma que las soluciones de aguas residuales generadas por las actividades agropecuarias de las zonas rurales de Colombia pueden ser sencillas técnicamente, pero su sostenibilidad es muy compleja, por la localización de las comunidades afectadas por este tipo de problemáticas. La situación de manejo de aguas residuales en las zonas rurales de Colombia es crítica, debido a que existe una cobertura muy reducida de sistemas de alcantarillado, esto conlleva a que la mayoría de aguas contaminadas sean descargadas al suelo o a fuentes hídricas superficiales ocasionando una problemática ambiental grave (Restrepo 1995).

6.3.4. La Biorremediación como alternativa para descontaminación de aguas residuales porcícolas.

La capacidad del medio natural para descontaminar el recurso hídrico y el potencial de reutilización del agua residual, nos da una expectativa positiva de tratamientos naturales como una alternativa tecnológica enfocada especialmente a pequeñas y medianas poblaciones y sus tipos de producción, para esto es evidente el apoyo de entidades y políticas del Estado que promuevan su aplicación y estrategias de gestión (Cifuentes y Sartor, 2012).

Según Reij (1997), la Biorremediación se refiere al uso de sistemas biológicos y a la adición de materiales a los ambientes contaminados, para de este modo producir una aceleración en cuanto al proceso natural de biodegradación intrínseca de la polución del aire o de los sistemas acuáticos y terrestres. Los sistemas biológicos implementados en este método de descontaminación son microorganismos y plantas.

Por otro lado dice Rica (2010), estas degradaciones o cambios ocurren usualmente en la naturaleza (por lo cual el proceso se denomina "atenuación natural"), sin embargo la velocidad de tales cambios es baja y a larga duración, pero en ocasiones es muy exitosa. Mediante una adecuada manipulación de los sistemas biológicos, estos pueden ser optimizados de manera que aumente la

velocidad de cambio o degradación y así usarlos en sitios con una elevada concentración de contaminación. En general, las manipulaciones involucran la producción e inmovilización de enzimas en determinados soportes y cambios genéticos a algunas cepas bacterianas (Gómez, 2000). Por otro lado Garbisu *et al.*, (2002) objetiva, sobre la importancia de las ventajas y desventajas de la Biorremediación (Anexo N° 2).

Ercoli (1996), afirma que se encuentra una variedad de contaminantes los cuales pueden ser eliminados por un sistema de Biorremediación en la mayoría de sus contenidos de las aguas residuales y suelos contaminados por aguas residuales porcícolas, lo cual demuestra la validez de esta técnica para proteger el medioambiente y reducir el uso de sustancias tóxicas.

Según Garassini (1997) y Hallab (1995), la Biorremediación puede ser aplicada mediante dos técnicas:

1. Biorremediación in-situ: En esta técnica intenta acelerar el proceso en el mismo ambiente modificando las condiciones ambientales o por inoculación microbiana, se está convirtiendo en una alternativa cada vez más popular, ya que es más económica que otros métodos de descontaminación. Se trata de acelerar los procesos degradadores naturales de biodegradación mediante el suministro de oxígeno y nutrientes a la zona contaminante durante un período prolongado.

2. Biorremediación ex-situ: La técnica consiste en extraer el contaminante y degradarlo en otro sitio en condiciones controladas de laboratorio. Evidentemente la mayoría de veces no se puede realizar este método, debido a que es un proceso más costoso.

Del mismo modo Holmes (1997) y Lelie *et al.*, (2002), aseguran que los procesos mediante los cuales funciona la Biorremediación pueden ser divididos en 4 grupos (Degradación enzimática, Biorremediación animal, Biorremediación microbiana y fitorremediación.) de acuerdo al organismo que efectúe la

degradación del compuesto contaminante (xenobiótico). Estos procesos se definen de la siguiente manera:

Degradación enzimática: La degradación enzimática consiste en la utilización de enzimas en el sitio contaminado con el fin de degradar las sustancias nocivas o contaminantes. Dichas enzimas son previamente producidas por bacterias transformadas genéticamente con el gen que codifica para cada enzima en particular (Knapp, 1997).

Biorremediación animal: Según Lora (2000), existen animales que actúan como agentes descontaminantes, ya que pueden desarrollarse en medios con fuerte toxicidad y poseen en su interior microorganismos capaces de retener los metales pesados de manera que ayudan a la degradación y descomposición de los mismos.

Biorremediación microbiana (bacterias y hongos): Michael *et al.*, (2000) y Morgenroth (1996), afirman que esta técnica se refiere al uso de microorganismos directamente en el foco de contaminación. Estos microorganismos pueden ya existir en ese sitio o pueden ser originarios de otros ecosistemas en cuyo caso deben ser inoculados en el sitio contaminado (inoculación). En el primer caso, muchas veces suelen administrarse más nutrientes (adición de nutrientes) al medio con el fin de acelerar el proceso de biodegradación (Garbisu, 2002).

Tradicionalmente, se han visto a las bacterias como organismos dañinos para la vida, puesto que tradicionalmente se han considerado como causantes de enfermedades o incluso de muertes (Sharma, 1997). Así mismo los contaminantes de alimentos, sin tomar en cuenta que muchas de ellas son necesarias para nuestra cotidianidad tales como las levaduras, la participación bacteriana en los procesos digestivos, la degradación de las heces, en la desintegración de la basura o su participación en asociación con diferentes leguminosas en los procesos de fijación del nitrógeno atmosférico. No obstante, nunca se había visto

la parte positiva de su accionar degradando sustancias tóxicas, nocivas para nuestra existencia (Cusato, 2002).

La Biorremediación microbiana ya sea mediante el uso de cepas nativas, mediante el mecanismo de la bioaugmentación o el diseño de cepas modificadas genéticamente se ha convertido en una nueva alternativa para atacar de manera directa muchos de los problemas que presentan la contaminación de aguas y suelos causada por diferentes contaminantes (Shareefdeen *et al.*, 1993).

Fitorremediación: La Fitorremediación es una tecnología que sirve para explotar las capacidades metabólicas proporcionando un medio económico, simple y seguro para descontaminar áreas contaminadas (suelos) y/o aguas residuales (Winker, 2005).

Según el Concejo Argentino Para la Información y el desarrollo de la Biotecnología (2008), la Fitorremediación podría ser definida como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o destoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petro-derivados por medio de la utilización de plantas (terrestres, acuáticas, leñosas, etc.) y los cultivos “in Vitro” derivados de ellas, que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, remover, contener, retener degradar o transformar dichas sustancias en formas menos tóxicas (Lelie, 2002). Esta definición incluye cualquier proceso biológico, químico o físico, inducido por las plantas, que ayude en la absorción, secuestro, degradación y metabolización de los contaminantes, ya sea por las plantas mismas o por los microorganismos que se desarrollan en la rizósfera (Parpatiyar, 1996).

De igual manera, Cookson (1995) afirma que las bases conceptuales de la Fitorremediación provienen de la identificación de plantas que híper acumulan metales. Existen plantas que tienen esta capacidad intrínseca pero también pueden obtenerse plantas con estas capacidades por medio de técnicas de Ingeniería Genética. Las plantas que híper acumulan metales, los guardan en unas estructuras microscópicas celulares llamadas vacuolas. Estos orgánulos son

una doble membrana lipídica que protege a la célula de los efectos tóxicos del metal. Se desconoce por qué algunas plantas tienen este comportamiento de acumular tanto metal pesado como son capaces de almacenar, pero algunos estudios apuntan a la posibilidad de que el motivo es evitar que insectos o animales las ingieran (Eweis, 2000).

La capacidad de estas plantas tiene un gran interés científico, debido a su gran habilidad por acumular metales pesados de estos organismos, que puede ayudar a la descontaminación de zonas industriales o altamente contaminadas, siendo acumulados en las plantas y retirados con cierta facilidad del medio (Eweis, 2000). A este proceso se denomina Biorremediación y, cuando hace referencia en concreto al cultivo de plantas se denomina Fitorremediación. Si hay una zona contaminada con un material pesado, por ejemplo cadmio, la única opción que existe en la actualidad es poner una cerca y un cartel que indique que es una zona contaminada, construir un “parqueadero” en la superficie o hacer un movimiento de tierras retirando el estrato contaminado, con el costo económico que ello supone. Utilizando la Fitorremediación, sería posible extraer el metal de la tierra mediante cultivos en rotación de una duración de 5 a 10 años, esta técnica sería económica, y limpiaría la zona de tal forma que el suelo podría ser utilizado en otros menesteres (Hahn, 1992).

Del mismo modo González *et al.*, (1990), argumenta que las plantas que en forma natural realizan la acumulación de metales no pueden ser utilizadas para la Fitorremediación porque tienen crecimiento lento y en general son pequeñas. En su lugar, los investigadores podrían introducir los genes en plantas con crecimiento rápido y de mayor tamaño. Otra utilidad son los alimentos que podrían compensar las carencias de ciertas áreas del Mundo. La ingestión de metales en pequeñas dosis es necesaria, pero en algunas regiones de la Tierra no forman parte de la dieta, provocando problemas de salud. Otra posible aplicación de este descubrimiento podría ser la producción de semillas que aprovecharan mejor los recursos, evitando así el aporte de fertilizantes agrarios (Hahn, 1992).

Afirma Lelie (2002), cuando habla que las semillas poseen un elevado número de grupos funcionales capaces de "secuestrar" metales y otros compuestos orgánicos de interés. Al proceso de adsorción le sigue un proceso de absorción y por tanto de distribución de las especies acumuladas en el resto de la planta en su proceso de germinación y crecimiento (habrá que evaluar en qué parte de la planta la pre-concentración es máxima).

La Fitorremediación constituye un método competitivo y sencillo de limpiar las cada vez más abundantes áreas contaminadas en todo el mundo. La identificación de plantas que germinan en ambientes muy contaminados presenta un eficiencia alta, frente a otras (Hodge, 1994).

Existen diversas categorías de la Fitorremediación, se destacan: La Fito extracción, la rizofiltración, la fitoestabilización, la fitoestimulación, la fitovolatilización, la fitodegradación; según Levin (1997) y Madigan (1998), hasta el momento, se ha descubierto que algunas moléculas facilitan el transporte de metales pesados al interior de la planta a través de las raíces. Las sustancias orgánicas quelantes que son capaces de formar iones complejos con el metal, facilitan en gran medida la absorción. Estas sustancias pueden ser producidas por la propia planta y liberadas al suelo o agua a través de las raíces, o pueden ser añadidas directamente por el hombre al suelo o agua que se desee descontaminar (Leson ,1991).

Por otro lado Mueller (1996), afirma que cuando se utilizan las plantas fitorremediadoras para limpiar zonas contaminadas, es necesario retirar después la biomasa producida, pues contiene una concentración normalmente bastante elevada de peligrosos contaminantes que retornarían de nuevo al suelo si se dejara a las plantas morir en el mismo lugar donde crecieron. Generalmente, se recoge la parte superior de las plantas y se lleva a centros especializados para su incineración. A veces, es necesaria la eliminación total de las raíces, por ser en esta zona donde se acumula el contaminante a eliminar (Hahn, 1992).

En estos casos, la técnica puede resultar prohibitivamente costosa. El que se dé uno u otro caso depende del contaminante a eliminar y de la especie elegida para su acumulación. En la actualidad, ninguna especie es capaz, por sí sola y en una única cosecha, de eliminar completamente el contaminante del suelo o fuente de agua afectada, sino que serían necesarias varias cosechas sucesivas para devolver al suelo y al recurso hídrico sus condiciones originales (Nagal, 1997).

6.3.5. Biorremediación de aguas residuales con microorganismos.

La Biorremediación es una de las tecnologías en la cual se emplea el potencial metabólico de los microorganismos (bacterias, hongos, levaduras y enzimas que estos producen) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples o nada contaminantes, por lo cual esta técnica es implementada para la descontaminación de aguas residuales (Glazer *et al*, 1995). Según E.M (2009), la Biorremediación con microorganismos eficientes es implementada para disminuir la contaminación de aguas residuales y por lo tanto los malos olores emitidos por esta. De igual manera Marco *et al.*, (1997), afirma que todos aquellos contaminantes que puedan ser degradados o transformados por los seres vivos son susceptibles de ser eliminados mediante procesos de Biorremediación. Los compuestos orgánicos suelen ser degradados total o parcialmente y eliminados por completo del ecosistema.

De igual manera Marco *et al.*, (1997), afirma que todos aquellos contaminantes que puedan ser degradados o transformados por los seres vivos son susceptibles de ser eliminados mediante procesos de Biorremediación. En esta técnica los compuestos orgánicos suelen ser degradados parcialmente o eliminados por completo del ecosistema ya que muchas bacterias son capaces de modificar sustancias químicas peligrosas, transformándolas en otras menos tóxicas (Romero, 1996). Así, algunas bacterias pueden reducir la biodisponibilidad (hacerla menos accesible y por tanto menos tóxica) de metales pesados tales como el mercurio, el arsénico, el cromo, el cadmio, el zinc o el cobre (Biorremediación, 2009).

Según Glazer *et al*, (1995) en el proceso de Biorremediación algunas de estas sustancias no son degradadas sino transformadas en otras (Biotransformación), que pueden convertirse en un proceso peligroso, debido a que la sustancia transformada puede ser nociva para el ecosistema. Hinojosa (2000), afirma que hay sustancias que no suelen ser degradadas, a estas se les denomina recalcitrantes, las cuales se acumulan en el medio ambiente, especialmente si además son resistentes a procesos fisicoquímicos como la radiación ultravioleta o la oxidación. Existen bacterias que pueden eliminar contaminantes en ambientes con presencia de oxígeno (aeróbicos), pero también en ambientes sin oxígeno (anaeróbicos), ya que estas pueden respirar sustancias diferentes al oxígeno (intercambio de electrones), ejemplos claros son el nitrato, el sulfato, el hierro, el manganeso, el selenio, entre otros (Biorremediación, 2009).

Los microorganismos eficientes (EM): Son un conjunto de microorganismos benéficos que no han sido modificados genéticamente. Según Torres y Rodríguez (2003), estos microorganismos actúan de manera sinérgica y complementaria llevando a cabo procesos de degradación de materia orgánica por medios fermentativos. Los microorganismos contenidos en EM están en un medio líquido con un pH de 3.5. Este producto puede ser utilizado principalmente para la transformación de la materia orgánica, tratar aguas de riego, reservorios, plantas industriales. Los productos obtenidos de esta fermentación son sustancias bioactivas como vitaminas, enzimas y otros antioxidantes que permiten prevenir que los materiales se deterioren y sean inoculados por microorganismos patógenos. Los microorganismos de EM se encuentran en latencia y requieren ser activados (EM, 2009).

Los microorganismos eficientes a través de un proceso de fermentación benéfico aceleran la descomposición natural de los compuestos orgánicos, produciendo sustancias bioactivas y eliminando los microorganismos patógenos que promueven la putrefacción y la producción de gases nocivos que contaminan el agua y producen malos olores. El EM es un cóctel líquido que contiene más de 80 Microorganismos benéficos de origen natural. A continuación se describen algunos

de los principales tipos de microorganismos presentes en el EM y su acción (TULAS, 2004).

Bacterias fotosintéticas (*rhodopseudomonasspp*): Las bacterias fotosintéticas o fototrópicas son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes. Estas bacterias sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos (sulfuro de hidrógeno), usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía (APROLAB, 2007).

Bacterias ácido lácticas (*lactobacilluspp*): Según Azorín y Sánchez (1994), las bacterias ácido lácticas producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos desarrollados por bacterias fotosintéticas y levaduras. Las bacterias ácido lácticas tienen la habilidad de suprimir microorganismos causantes de enfermedades como Fusarium, los cuales aparecen en sistemas de producción continua. Bajo circunstancias normales, las especies como Fusarium debilitan las plantas cultivadas, exponiéndolas a enfermedades y a poblaciones crecientes de plagas como los nemátodos. El uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y diseminación de Fusarium, mejorando así el medio ambiente para el crecimiento de cultivos (APROLAB, 2007).

Levaduras (*saccharomycesspp*): Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y otras sustancias útiles para el crecimiento de las plantas, a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas, la materia orgánica y las raíces de las plantas (APROLAB, 2007).

6.3.6. El Biodigestor como Alternativa para Descontaminación de Aguas Residuales Provenientes de la Producción Porcícola.

Según Suárez (2007) asegura que, las explotaciones porcinas son criticadas por los impactos ambientales que causan sobre las fuentes de agua, suelo y aire. Por tal razón, la producción porcina es tal vez, una de las actividades

agropecuarias más vigilada por las autoridades ambientales. De acuerdo a lo anterior el Ministerio del Medio Ambiente (2002), afirma que la contaminación producida por una explotación de este sector, puede variar de acuerdo con el estado fisiológico de los animales y el tipo de alimentación utilizada. La afectación de las fuentes de agua depende de la cantidad de agua que se usa en la separación de los sólidos residuales y el manejo que se les dé a los desechos. Las producciones porcinas generan Sólidos Suspendidos Totales (SST), lo mismo que otros elementos contaminantes, entre los cuales se incluyen el nitrógeno, el fósforo, coliformes y trazas de metales pesados que en muchos casos, al menos en explotaciones porcinas tradicionales, es común que sean vertidos a ríos, quebradas o canales de drenaje y generan el deterioro hídrico.

El sector porcícola del País, en cabeza de la Asociación Colombiana de Porcicultores (ACP), ha venido avanzando en la búsqueda de soluciones a la problemática ambiental derivada de los pasivos ambientales en provecho de la producción, para lo cual ha trabajado en forma coordinada con el Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), en el desarrollo de instrumentos técnicos que promueven la gestión en las actividades productivas del sector. Lo anterior, mediante herramientas administrativas para el manejo ambiental que permitan mejorar los procesos de planeación, facilitar los estudios de impacto ambiental, establecer lineamientos de manejo y fortalecer la gestión, optimizando el uso de los recursos naturales (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

El tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción porcícola en depósitos abiertos resulta en algunos casos insostenible. El tratamiento anaeróbico de estos lodos en sistemas de biodigestores es una posibilidad para evitar la contaminación y puede abrir una ventaja económica (Baker, 2010). En el proceso de biodigestión anaeróbica se produce principalmente gas metano, además de otros gases como H²S. La metanización es un proceso llevado a cabo por medio de microorganismos anaeróbicos. Según Jiménez (2009), las bacterias anaeróbicas obtienen el oxígeno vital de los sólidos orgánicos y de algunos

inorgánicos, el cual se hace aprovechable en la descomposición de la biomasa o la materia orgánica.

Hilbert (2003) asegura, que una forma inmediata de aprovechar el recurso biomasa o materia orgánica producida por los cerdos, es a partir de la fermentación anaeróbica, proceso denominado digestión anaeróbica, en el cual se convierte la compleja materia orgánica en metano (CH_4) y otros gases, y cuya producción depende de la cantidad y del tipo de materia adicionada al sistema, así como las condiciones psicométricas del aire en el interior del sistema; se ha podido establecer que usando materia altamente biodegradable se obtiene 0.5 m^3 de gas por Kg de masa, con un 70% de Metano (Guzmán, 2008).

Márquez (2005) afirma, que las bacterias fermentan el material orgánico en ausencia de aire (es decir, fermentación anaeróbica) y producen biogás; este material de fermentación está constituido por sustancias sólidas orgánicas, inorgánicas y agua (el cual incrementa la fluidez del material de fermentación, característica importante para el funcionamiento de una planta de biogás), y su componente inorgánico no sufre modificación alguna durante el proceso de fermentación (Guevara, 1996). El biogás que generalmente se produce, es un gas incoloro, inflamable, y contiene 60% de metano y 40% de dióxido de carbono, con aportes menores de Nitrógeno, Hidrógeno, y gas sulfhídrico; su poder calorífico es de 4400 Kcal/m^3 (Guzmán, 2008).

6.3.7. Descontaminación de Aguas Residuales y Aprovechamiento de la Materia Orgánica (Bioabono) Proveniente de la Producción Porcícola por Medio de los Biodigestores de Flujo Continuo.

La correcta disposición de excretas de Cerdos se ha convertido en uno de los factores más limitantes en los procesos de producción animal porcícola, por los volúmenes de producción de materia fecal durante el proceso de limpieza de cocheras, lo cual ocasiona grandes problemas de contaminación ambiental. En el departamento de Cundinamarca se calcula que menos del 5% de las

explotaciones tienen sistemas de tratamiento de excretas (estiércol + orina) (URPA, 2002), siendo estas granjas propiedad de productores económicamente solventes. Lo anterior nos indica que existe una gran cantidad de productores que no dan tratamiento alguno a las excretas y las vierten directamente a fuentes de agua que generalmente están ubicadas en las partes bajas de la granja, causando serios problemas de contaminación en quebradas y acuíferos subterráneos por coliformes y nitratos en suelos y acuíferos lo cual ocasiona un aporte al calentamiento global con la emisión de gases como el metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono (Ramón *et al.*, 2006). Esta contaminación determina el pago de tasa retributiva a través de las corporaciones regionales, las cuales calculan el daño ambiental causado por esta mala práctica de vertimientos con base en el Decreto N° 3930 de 2010 modificado parcialmente por el Decreto 4728 expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En el país se han utilizado varios tipos de estructuras para la recolección, que permiten un tratamiento y depuración previa del estiércol, orina, agua vertida y alimento desperdiciado en explotaciones animales. Las más comúnmente reportadas son:

Fosas de recolección: Son fosas de recepción situadas bajo el piso, los nutrientes se conservan durante el almacenamiento hasta por 12 meses, con una pérdida mínima. Este sistema es frecuente en zonas frías.

Drenaje por gravedad: Permite el drenaje por gravedad a una instalación exterior por un canal con desagüe inferior.

Sistemas a chorro de agua: El chorro de agua barre y diluye el estiércol y otros materiales a fosas de 60 a 90 cm de profundidad, que descargan en un estanque o laguna de donde se retira la excreta cuando hace falta hacerlo.

Raspado mecánico: Frecuentemente se usan raspadores mecánicos para eliminar estiércol de las fosas situadas bajo los pisos. Tienen la desventaja de que necesitan mantenimiento.

Almacenamiento de las excretas al aire libre: las excretas se depositan en estanques situados por debajo del nivel del suelo, sobre la superficie del suelo o en tanques prefabricados, y almacenan provisionalmente el producto (3 a 12 meses). Este método ocupa una mayor superficie y por lo tanto acumula más agua de lluvia.

Estanques de decantación o estercoleros: Estos tanques permiten que los productos sólidos se asienten y los líquidos drenen. Así se agregan pocos sólidos a las lagunas de contención y se disminuye la tasa de carga, el potencial de malos olores y la tasa de formación de fangos.

Lagunas de tratamiento anaeróbico: Este tipo de estructura profunda colecta en tierra el estiércol y lo descompone bajo la acción de bacterias anaeróbicas; la mayor parte de los sólidos contenidos en el estiércol se convierte en líquidos y gases, disminuyendo su contenido orgánico y el valor nutriente del estiércol. Las lagunas deben estar selladas para impedir filtraciones al agua subterránea (Ministerio del Ambiente, 2003 y SAC, 2002). El tamaño de estas lagunas se calcula según la cantidad de estiércol que se vaya a tratar. Generalmente se descarga una o dos veces al año, pero nunca se vacía completamente. El efluente de la laguna se usa para fertilizar la tierra o, en el reciclado, para recargar los sistemas de fosas (Asociación Colombiana de Porcicultores, 2000).

Lagunas de etapas múltiples: Las lagunas de dos etapas complementan los sistemas aeróbicos, proporcionando almacenamiento provisional antes de la aplicación como fertilizante. La segunda etapa permite mantener un volumen máximo en las lagunas anaeróbicas primarias para estabilizar el estiércol que ingresa y realizar allí un adecuado tratamiento biológico (Ministerio del Ambiente, 2003 y SAC, 2002).

Tratamiento aeróbico: La principal ventaja de las lagunas aireadas es la digestión, más completa que la anaeróbica y un producto más libre de malos

olores. En las lagunas aeróbicas naturales o lagunas de oxidación, el oxígeno se extiende sobre la superficie aire/agua. La cantidad de oxígeno consumido puede acelerarse agitando el agua, su desventaja es el costo de operación continua de los aireadores (Ministerio del Ambiente, 2003 y SAC, 2002).

Generación de olores en los procesos de tratamiento: La generación de olores desagradables, metano, ácido sulfhídrico y otros gases típicos del proceso de tratamiento anaeróbico, varían de acuerdo con la ubicación, las prácticas de producción, la época del año, la temperatura, la humedad, la hora del día, la velocidad y dirección del viento, elementos presentes naturalmente en el ambiente y se originan en tres fuentes: las instalaciones de alojamiento, almacenamiento y tratamiento del excremento y la aplicación a la tierra. Los olores que se generan en las instalaciones se pueden disminuir fácilmente manteniéndolas limpias y ventiladas (Ministerio del Ambiente, 2003). En Los sistemas de tratamiento de laguna se generan más olores durante su etapa inicial, por la actividad microbiana que todavía no ha logrado su eficiencia óptima. Cuando esos procesos biológicos se estabilizan, los olores son casi inapreciables y son generados en las capas más profundas de la laguna. Las capas superiores, aeróbicas, son mucho menos olorosas y cuando las aguas de esta capa se aplican como fertilizantes, el olor es mínimo y se disipa rápidamente. El manejo apropiado del control de malos olores es un proceso de muchas etapas (C.R.Q., *et al.*, 2003), pero una de las mejores alternativas es la utilización de un biodigestor de flujo continuo (FAO, 1995). Los biodigestores de flujo continuo producen efluentes que son una excelente alternativa como fertilizantes orgánicos, sin embargo, es necesario tener en cuenta el fenómeno denominado mineralización del nitrógeno, donde las formas orgánicas del nitrógeno pasan hacia formas iónicas, para que las plantas puedan absorberlo (Asociación Colombiana de Porcicultores, 2000). Para utilizar dichos efluentes como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que mejore la concentración de sus minerales y elimine o inactive microorganismos patógenos como bacterias, protozoos, larvas, huevos, pupas de insectos, agentes infecciosos, reduciendo la contaminación ambiental y convirtiendo las excretas en

residuos útiles sin riesgo de transmisión de enfermedades (McCaskey, 1990). El material resultante de la biodigestión (efluente) puede ser directamente usado como abono y acondicionador del suelo, los nutrientes como el nitrógeno se tornan más disponibles y otros como el fósforo y el potasio no se ven afectados en su contenido y disponibilidad.

Un biodigestor de flujo continuo es un compartimiento hermético, en el cual la materia orgánica se fermenta en ausencia de oxígeno, generando un gas combustible que posee aproximadamente 66% de metano y 33% de bióxido de carbono (FAO, 1995). La digestión anaerobia que se desarrolla en los biodigestores de flujo continuo es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico y está enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, que en ausencia de oxígeno transforma sustancias orgánicas en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO_2 , NH_3 , H_2S , N_2 y CH_4 (Soubes, 1994). De forma natural, este proceso ocurre en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados digestores o biodigestores de flujo continuo. Estos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia (gases y sólidos), ya que el ambiente oscuro y sin aire favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Salazar, 1993).

El método básico consiste en alimentar el biodigestor de flujo continuo con materiales orgánicos y agua, dejándolos un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones ambientales y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Verástegui, 1980).

La digestión anaerobia, a partir de polímeros naturales y en ausencia de compuestos inorgánicos como es el caso del biodigestor de flujo continuo, se realiza en tres etapas: 1) hidrólisis y fermentación, en la que la materia orgánica es

descompuesta por la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos, y las transforman en monómeros y compuestos simples solubles; 2) acetogénesis y deshidrogenación, donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO^2 e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas; 3) metanogénesis en la que se produce metano a partir de CO^2 e hidrógeno, por acción de bacterias metanogénicas (Marty, 1984).

La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión. Los microorganismos que en forma secuencial intervienen en el proceso son: 1) bacterias hidrolíticas y fermentadoras; 2) bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno (sintróficas); 3) bacterias sulfato reductoras (sintróficas facultativas) consumidoras de hidrógeno; 4) bacterias homoacetogénicas; 5) bacterias metanogénicas; 6) bacterias desnitrificantes (Soubes, 1994).

6.3.8. Biorremediación de aguas residuales con plantas fitorremediadoras.

Las plantas acuáticas, denominadas también macrófitas, cumplen un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos. Brindan 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 plantas enunciadas, se determinaron debido a que son pertenecientes a la flora local por lo tanto son de fácil adquisición, presentan alta adaptabilidad en diversos ecosistemas; de igual manera su propagación y desarrollo fenológico presenta un ciclo de desarrollo relativamente rápido, adicional a ello se tienen como antecedente el sistema empleado en San Miguel de Sema (Anteriormente enunciado) por lo cual se tiene certeza de la efectividad del sistema con la implementación de las mismas.

Jacinto de Agua o Buchón de agua: *Eichornia crassipes* L. Taxonomía (Ver Anexo N° 3). El buchón de agua es una planta acuática perenne, vascular de flotación libre con raíces sumergibles, fibrosas y comúnmente coloradas de climas fríos y cálidos, con flores lilas y azulados. Es la octava planta con crecimiento más rápido en el mundo por lo que permite extenderse y sobrevivir en muchos ambientes, Puede duplicar su tamaño en 10 días y durante ocho meses de normal crecimiento una sola planta es capaz de reproducir 70.000 plantas hijas, que pueden llegar a medir entre 0.5 a 1.5 metros desde la parte superior hasta la raíz (Ver Anexo N° 4).

Existen bacterias que siempre están presentes en la planta del buchón de agua puesto que el nitrógeno se elimina por fenómenos de nitrificación, desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias. Por tal motivo éstas son de vital importancia en el proceso de purificación del agua. La principal característica del buchón es, que tiene la capacidad de purificar el agua contaminada, para hacer este proceso utiliza métodos de Fitorremediación entre estos procesos se encuentra: la fitoestimulación, la fitovolatilización, la fitoestabilización, y la rizofiltración.

La rizofiltración consiste en purificar aguas que tengan toxinas orgánicas, líquidos contaminados, metales pesados entre otros. La función de la planta en este proceso es absorber por medio de la raíz aquellos contaminantes que sean peligrosos, y esto lo hace de la siguiente forma:

La raíz absorbe los metales pesados en la planta, y esto lo hace por un proceso de difusión en el medio, y por intercambio de cargas. Es importante resaltar que la raíz de dicha planta posee cargas negativas, mientras que los metales tienen cargas positivas, lo que implica que en el momento que la rizodermis interactúe con los metales entrarán en un equilibrio dinámico y esto facilitará la entrada al interior de la célula de la planta, así los cationes entran por la pared celular, y finalmente cuando las cargas positivas se adhieran a las cargas negativas de la pared celular los metales serán transportados por dos vías la apoplastica o la simplastica. La apoplastica es aquella donde los metales entran disueltos en el agua, y siguen la ruta por los espacios intercelulares y por las paredes celulares, mientras que por la vía simplastica solo entran los iones necesarios y nos es precisa su selección. Las ventajas de tal método son que no producen contaminantes secundarios por lo cual no son necesarios lugares para desechos, es poco perjudicial para el ambiente, y se puede reciclar recursos naturales como el agua (Arroyave, 2004).

Lenteja de Agua: *Lemna minor* L. Taxonomía (Ver Anexo N° 5). Según Arroyave (2004), la Lenteja de agua es una planta acuática flotante que tiene una estructura muy simple y una de las tasas de crecimiento más altas del mundo. Esta familia comprende cuatro géneros: Lemna, Spirodela, Wolfia y Wolfiella. Es una planta muy pequeña que no presenta tallo separado de las hojas, posee una fusión de ambos llamado fronda, su tamaño varía entre 0.1 y 2 cm de diámetro. La tasa de reproducción relativa puede estar entre 0.1 y 0.5 día, lo que significa que en condiciones ideales puede doblar su biomasa (Ver Anexo N° 6). 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. La lenteja de agua tiene un buen potencial para la remoción de cadmio, selenio y cobre de aguas residuales contaminadas con estos elementos, ya que puede acumular

concentraciones altas de ellos. Su rápido crecimiento la hace una planta apropiada para actividades de Fitorremediación.

Salvinia: *Salvinia minima* L. Taxonomía (Ver Anexo N° 7). Es uno de los dos géneros botánicos de la familia de las Salviniaceae. Es un helecho flotante. Esta Salviniaceae se relaciona con otros helechos acuáticos, incluyendo al género Azolla. Algunas fuentes incluyen a Azolla en Salviniaceae, aunque ese género generalmente es puesto en su propia familia, Azollaceae. Son plantas pequeñas, flotantes con tallos trepadores, ramificados, pilosos sin ser verdaderas raíces. Las hojas de a 3, con 2 verdes, sésiles o cortamente pecioladas, achatadas, enteras, flotantes, 1 hoja finamente diseccionada, peciolada, parecida a una raíz, y pendiente. Las características fisicoquímicas de *Salvinia minima* L. tales como su gran superficie específica ($264 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) y contenido de grupos carboxilo ($0.95 \text{ mmol H}^+ \text{ g}^{-1}$ biomasa) le confieren excelentes propiedades como bio-absorbente de iones metálicos (Sánchez *et al.*, 2005). Asegura Olguín *et al.*, (2002), que esta planta ha demostrado ser muy eficiente en la remoción de iones metálicos y ser capaz de acumular grandes cantidades en su tejido, por lo que se le ha descrito como hiperacumuladora de plomo y cadmio (Ver Anexo N° 8).

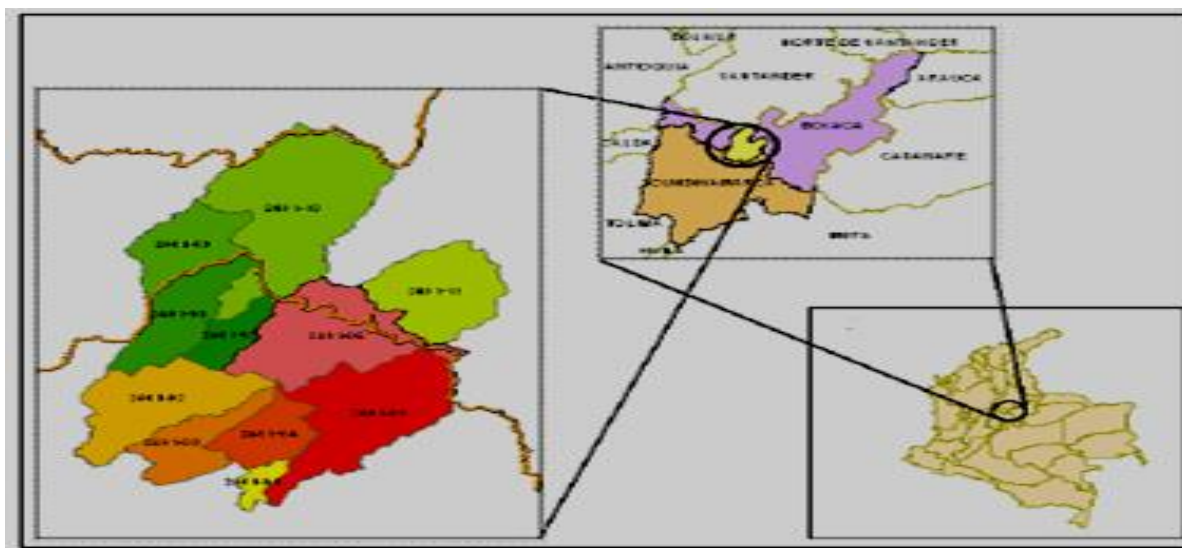
7. METODOLOGÍA

7.1. UBICACIÓN

Para la implementación del sistema de Biorremediación de aguas residuales porcícolas, se tuvo en cuenta el departamento de Cundinamarca, municipio de Ubaté, Vereda Sucunchoque, Sector La Laja, donde se realizó un análisis de las características del sitio, y se tuvieron en cuenta las ventajas y desventajas de la implementación del sistema.

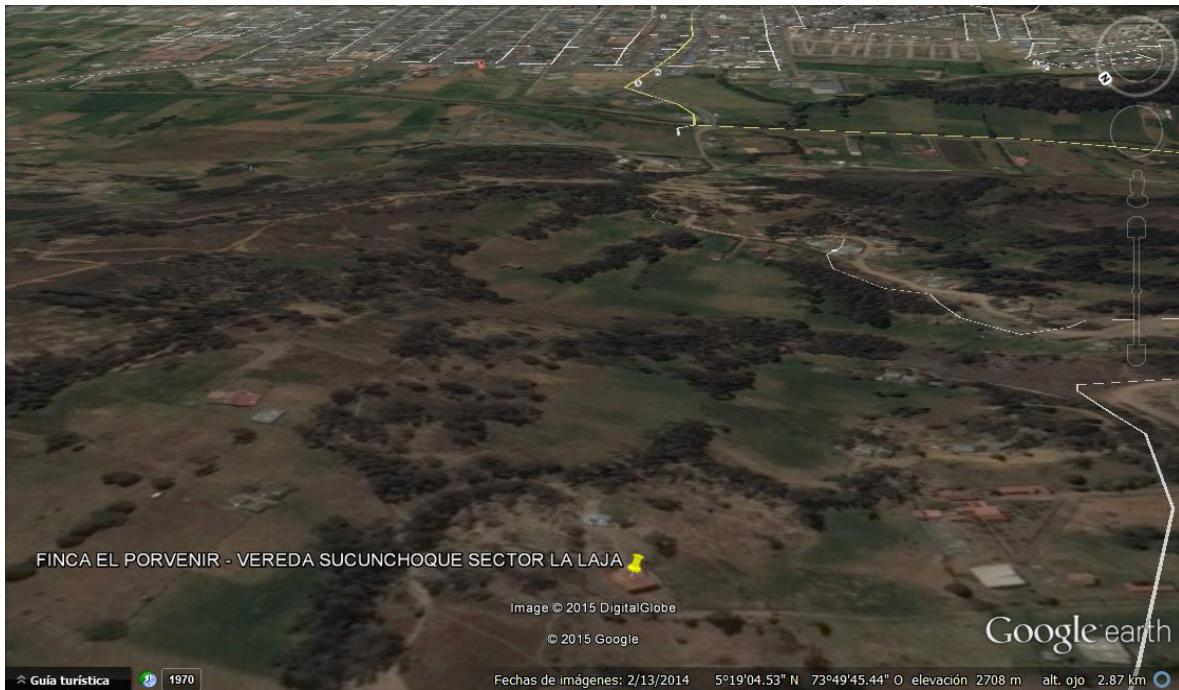
El municipio de Ubaté, se encuentra ubicado al nor-orienté del Departamento de Cundinamarca, en las coordenadas latitud Norte $5^{\circ} 19''$ y longitud Oeste $73^{\circ} 49''$, a una distancia de 97 Km de Bogotá D.C limita, al norte con Susa y Fúquene, al orienté con Lenguazaque y Cucunubá, al sur con Sutatausa y al occidente con Carmen de Carupa; el municipio cuenta con nueve veredas. La temperatura promedio de la vereda es aproximada a los $13,5^{\circ} \text{C}$, con una altura de 2559 m.s.n.m., su clima es clima frío en la parte baja de la cuenca Ubate y Suarez por lo general en toda la zona de la vereda y presenta una población aproximada total de 2500 habitantes.

Figura N° 1 (Ubicación Ubate)



Fuente: Informe general POMCA Ubate- Suarez. PDF.

Figura N° 2 (Ubicación Finca El Provenir)



Fuente: Google Earth 2015

7.2. Tipo de investigación

El proyecto de investigación se direcciona en dos tipos de investigación, debido a las tres fases en las que está dividido el proyecto; para la primer y tercer fase empleamos el tipo de “Investigación Participativa” que es una metodología que apunta a la “producción de un conocimiento propositivo y transformador, mediante un proceso de debate, reflexión y construcción colectiva de saberes entre los diferentes actores de un territorio con el fin de lograr la transformación social” (Borda, 1991, p. 12) y finalmente en la segunda fase se empleó la “investigación cuantitativa interpretativa”, ya que se sustenta el paradigma interpretativo; es decir las que no buscan explicaciones sino interpretaciones, dicho esto por Bryman (2008, p. 8).

7.3. ETAPAS DE LA METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se dividió en cuatro etapas, una primera etapa dirigida al diagnóstico de la calidad del agua; una segunda etapa la cual consistió en la implementación y evaluación del sistema de biorremediación; una tercera etapa que hizo énfasis en la reutilización de los productos y subproductos del proceso de biorremediación; y por último, la cuarta etapa que se encaminó a la transferencia de conocimientos. A continuación se explica detalladamente cada una de las fases implementadas:

7.3.1. Etapa N° 1: Diagnóstico y Calidad de Agua.

Para determinar la cantidad y calidad de las aguas residuales generadas por el sistema de producción porcícola se realizó un diagnóstico mediante encuestas (Anexo N° 9) dirigido fundamentalmente a identificar la situación ambiental del recurso hídrico en la vereda, determinar sus conflictos y restricciones en cuanto a los vertimientos generados en la zona, mediante visitas técnicas de campo, charlas con las familias afectadas y entes gubernamentales de la misma. La Defensoría Del Pueblo (2000), afirma en el informe sobre la calidad del recurso hídrico que este debe satisfacer los requisitos de los numerosos usos que se le dan, pero principalmente los requisitos de salud pública. Una vez determinadas las problemáticas del recurso hídrico se procedió a estudiar y determinar cuál sistema de Biorremediación era el más adecuado a las condiciones de los vertimientos generados en la finca.

La metodología específica implementada fue la siguiente:

Se realizó una reunión con el propietario de la finca (Anexo N° 10) en la cual se conocieron los aspectos generales de la zona tales como las principales problemáticas ambientales y sociales generadas por las aguas residuales porcícolas. Para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales se contó con la participación del dueño de la finca y su familia, lo cual permitió la apropiación del sistema por parte de los mismos y generó la vinculación del

conocimiento empírico de una manera directa en los diversos procesos que interfieren en la construcción del modelo (Anexo N° 11).

7.3.2. Etapa N° 2: Determinación e Implementación del Sistema de Biorremediación

Teniendo en cuenta aspectos básicos tales como el área del terreno, el volumen de las aguas residuales, el tipo de plantas Biorremediadoras y los microorganismos apropiados para implementar se procedió a la construcción (Anexo N° 12) del Sistema de Biorremediación más adecuado a la Finca y que cumpliera con lo exigido por las normas ambientales de vertimientos en Colombia.

Luego de construido el sistema se procedió a realizar un análisis fisicoquímico el cual se ejecutó mediante muestreos puntuales a la entrada y salida del sistema de Biorremediación para así lograr determinar las características de las aguas tratadas por el sistema.

La metodología específica implementada fue la siguiente:

Para construcción del sistema se determinó dividirlo en tres fases: la primer fase dirigida a la canalización y recepción de las aguas residuales porcícolas mediante tubería de una pulgada implementada para todo el sistema y una caja de paso con mallados para retención de solidos; la segunda fase enfocada a la biorremediación microbiana, constituida por un biodigestor de flujo semicontinuo el cual contiene una caja de recepción con mallado, un sistema anaeróbico de purificación de aguas y una caja de inspección conectada a la tercera fase la cual contiene un sistema de fitorremediación el cual se divide en cuatro tanques, tres de ellos con plantas fitorremediadoras y el último como tanque de almacenamiento (Ver Resultados y Discusión).

Luego de establecido, se realizó una visita al sistema de Biorremediación con un técnico del laboratorio ANALQUIM LTDA. El día 11 de Marzo de 2015 para ejecutar dos muestreos puntuales de los vertimientos porcícola de la Finca. La

recolección de muestras se realizó a la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas (Anexo N° 13). Para realizar la caracterización de las aguas residuales porcícolas en el sistema de Biorremediación se requirió recolectar dos muestras representativas, para tal fin se obtuvieron dos muestras puntuales. Se denomina muestra puntual aquella que es recolectada en un sitio y en un momento determinado que representa el estado actual del agua en ese instante. Las muestras obtenidas fueron envasadas en los respectivos recipientes debidamente rotulados y preservados; después se transportaron al laboratorio para realizar los análisis de interés. Se monitorearon las características del vertimiento midiendo pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos sedimentables y caudal (Anexo N° 14). Según lo recomendado por el “Estándar Methods Edición 21” los recipientes utilizados para la toma de muestras representativas de la jornada se muestran en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1 – Preservación de Muestras

PARÁMETRO	RECIPIENTE	VOLUMEN DE MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	PRESERVACIÓN
DQO	Frasco Vidrio Ámbar	500	Compuesta	H ₂ SO ₄
Cloruros	Garrafa Plástica	2000	Compuesta	Refrigeración Aprox. 4° C
DBO ₅				
Nitratos				
Sulfatos				
Sólidos Suspendidos				
Sólidos Sedimentables				
Turbiedad				
Cadmio	Frasco Vidrio Ámbar	250	Compuesta	HNO ₃
Hierro				
Zinc				

Fuente: ANALQUIM LTDA., 2015.

Los parámetros que se evaluaron en campo fueron: pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto con equipos previamente calibrados (Anexo N° 15). Se realizó medición del caudal de entrada y salida por método volumétrico,

mediante el uso de balde, probeta y cronómetro y los sólidos sedimentables se midieron con cono Imhoff.

Tabla N° 2 – Sensibilidad de Detección del Equipo Usado en Campo

EQUIPO	MARCA / MODELO	CARACTERISTICAS	SENSIBILIDAD
pH – Metro	Lutrón ANQ 207	Digital	0.01 unidades 0.1 °C
Conductímetro	SHOTT INSTRUMENTS ANQ 421	Digital	0.01 µs/cm
Oxímetro con Sensor de Temperatura	WTW ANQ 728	Digital	0.01 mg/L
Cronómetro	Casio	Digital	0.01 s
Cono Imhoff	-	Volumétrico	0.1 mL

Fuente: ANALQUIM LTDA., 2015

Para cada muestreo se realizó una custodia de muestras consistiendo en un seguimiento o monitoreo continuo de ensayo desde la toma, preservación, refrigeración, codificación, embalaje y transporte hasta la recepción en el laboratorio, para su posterior análisis; se busca protegerlas de cualquier factor externo que pueda afectar su integridad. Cada toma fue diligenciada con su respectiva etiqueta y como lo requiere la norma.

Luego de la toma de muestras, estas se enviaron al laboratorio debidamente preservadas, refrigeradas, etiquetadas y empacadas en neveras con temperatura aproximada de 4° C, se transportaron por vía terrestre para su posterior registro en laboratorio. Al llegar al laboratorio las muestras de agua fueron registradas para el análisis inmediato de las mismas; siguiendo las recomendaciones de “Estándar Methods Edición 21”. Finalmente, quince días después de la toma de las muestras se obtuvieron los resultados a analizar. En los análisis fisicoquímicos finales se midieron los siguientes parámetros: cadmio, cloruros, DBO, DQO, hierro total, nitratos, sólidos suspendidos totales, sulfatos, turbiedad, zinc, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH, sólidos sedimentables, caudal y temperatura, basándonos en la normatividad colombiana de vertimientos la cual determina los límites máximos permitidos en las actividades

agrícolas tales como el riego de praderas y maderables principales prácticas que implementa el propietario de la finca y su familia.

7.3.3. Etapa N° 3: Reutilización de los Productos y Subproductos del Proceso de Biorremediación.

Como alternativa a los residuos generados por el sistema después del proceso de depuración de las aguas residuales se planteó la posibilidad del tratamiento y la reutilización de los mismos con la implementación de prácticas agroecológicas, las cuales se consisten en el uso de productos naturales (Anexo N° 16) y conocimientos locales, utilizados principalmente en la fertilización de los suelos y el control de plagas y enfermedades, posibilitando una producción más sana y con mayor calidad, en cantidades sostenibles y sin causar daños en el medio ambiente; además de contribuir a la no dependencia de los agroquímicos (Reinaga *et al*, 2010).

Para tal fin, se realizó la creación de compostaje y abonos orgánicos (Anexo N° 17), los cuales fueron empleados como alternativa de mejora para la calidad de los suelos, la conservación de los mismos y a su vez contribuir a en la mejora de los servicios Agroecosistémicos de la zona. Por otro lado, a partir del Sistema de Biorremediación se generó biogás el cual actualmente es implementado en la calefacción de los lechones (Anexo N° 18, 19 y 20).

La metodología específica implementada fue la siguiente:

Con el fin de utilizar los residuos orgánicos (plantas, lodos y residuos de las trampas) generados por el sistema se realizó la creación de pilas de compostaje y abonos orgánicos, según Sztern, *et al.*, (2003) “Este es un proceso en el que los materiales orgánicos son transformados, con influencia de la fauna y flora del suelo, en una sustancia viva llamada “compost” que mejora la estructura del suelo, aumenta la cantidad de humus, fomenta el crecimiento y regulación de los microorganismos y el crecimiento y sanidad de las plantas”.

Al implementar lo anterior, se disminuyó la dependencia de productos de síntesis química que presenta la zona para el manejo de la producción agraria. Por último, en el sistema de Biorremediación se creó un biodigestor el cual actualmente genera biogás y es implementado en la calefacción de los lechones, según La FAO (1995), “El uso de los biodigestores (Anexo N° 21), podría contribuir a la reducción de los problemas de contaminación de las aguas residuales por excretas, mantener un equilibrio ambiental y mejorar la estructura del suelo. La aplicación del efluente producido por el biodigestor (abono orgánico o bio-abono), aumenta la fertilidad del suelo permitiendo así el aumento de la producción de las plantas cultivadas, incluyendo las forrajeras”.

7.3.4. Etapa N° 4: Transferencia de Conocimiento.

Al momento de culminado el proceso y teniendo en cuenta los beneficios generados por el sistema, se procedió a realizar la entrega de los resultados obtenidos en el proyecto implementado mediante capacitaciones al propietario de la finca y a su familia (Anexo N° 22, 23, 24 y 25), en estas capacitaciones se explicó el mantenimiento a realizar en el sistema de Biorremediación, las recomendaciones y sugerencias sobre el uso de los subproductos (Bioabonos y Biogas) generados por el sistema, se buscó que la familia se apropiara del proyecto generando aprendizaje (Anexo N° 26, 27, 28 y 29) de las ventajas del mismo, logrando con éxito socializar los alcances del proyecto y así estimular la vinculación de otras comunidades para replicar el modelo evaluado.

La metodología específica implementada fue la siguiente:

Con el fin de lograr una vinculación de la familia frente al uso de las aguas generadas por el sistema de tratamiento de aguas residuales porcícolas, se usó la metodología “Cuando Cuentas Cuencas” (CCC), propuesta por el Proyecto WET - UNESCO y del Programa Hidrológico Internacional (PHI) para América Latina y el Caribe (Rita y Ferrari, 2011), cuya misión es contribuir con los países de la región en el desarrollo, implementación y evaluación de un programa educativo en

materia de agua, esta metodología ayudó a la familia y tuvo presente el aporte de los adultos mayores, jóvenes y niños, mediante la participación por incentivo, entrando como partícipes del recurso hídrico de la zona, y donde se requiere de la incidencia directa ya que todos participan en el proceso de un bienestar social, lo cual generó propiedad sobre las ideas y unión frente a un bienestar general “El Agua” es así que se buscó mediante la educación para la acción, ayudar a contribuir a la gestión integrada y sustentable del agua en la Zona del trabajo.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la realización del proyecto “Evaluación de un Sistema de Biorremediación de Aguas Residuales Porcícolas en la Finca El Porvenir, Vereda Sucunchoque, Sector La Laja, para su Reutilización con Fines Agroambientales” se realizó:.

8.1. *DIAGNÓSTICO CALIDAD DEL AGUA*

En el diagnóstico se emplearon encuestas que ayudaron a determinar la problemática existentes, en la finca se caracterizaron diversos sistemas, destacando la producción agropecuaria (Cerdos); el manejo de las aguas empleadas en la producción porcícola es la mayor problemática frente a vertimientos directos, estas generan en la finca y sus alrededores disminución en los recursos hídricos y edáficos, aspectos mencionados por Arias et al (2010), quien afirma que la producción porcícola genera en desarrollo de sus actividades diversos problemas como son las aguas residuales, pues su manejo inadecuado produce el deterioro de los suelos cuando son regados con estas, causando con ello la contaminación de aguas subterráneas y superficiales por escorrentía.

La carga orgánica e inorgánica presente en estas aguas origina una variación en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y del agua debido al tipo de tratamiento que se realiza en la disposición final de estos vertimientos, esto suscita un desequilibrio ecológico que difícilmente se puede remediar en un corto plazo. Otro de los impactos ambientales generados, que se evidenció, son los malos olores que de ellas y de los campos regados se desprenden como producto de la descomposición de las excretas porcinas.

Tabla N° 3 - Los Resultados Obtenidos en el Diagnóstico

PROBLEMAS AMBIETALES	PROBLEMAS SOCIALES
Contaminación del Agua y Erosión de Suelos	Disminución de la calidad del recurso Hídrico superficial y subterráneo; y fertilidad
Riego de cultivos y praderas con aguas sin tratamiento	Riesgos de salubridad por el consumo directo de alimentos
Vertimientos directos al desaguadero de aguas lluvias Sector La Laja	Contaminación de fuente hídrica de cause continuo
Propagación de vectores y malos olores	Conflictos entre vecinos y propagación de enfermedades

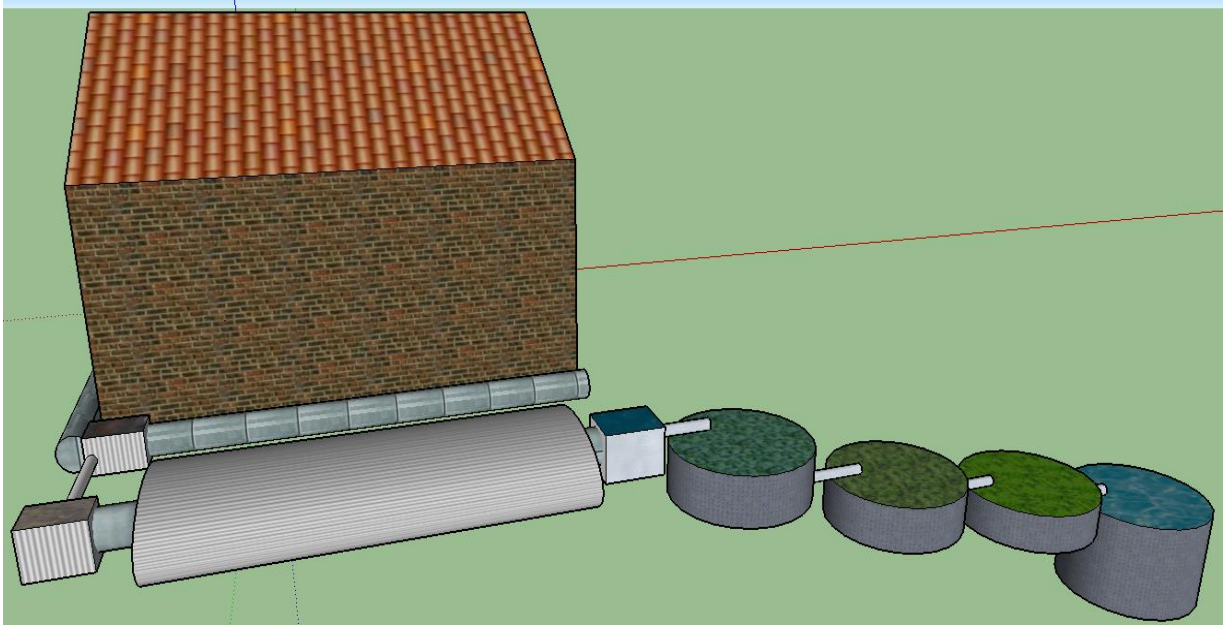
Fuente: Los Autores

El diagnóstico refleja que se hace necesario contar con un sistema de tratamiento de las aguas residuales provenientes de la producción de los cerdos el cual debe ser fácil de construir en zonas rurales, que permita la remoción de contaminantes y a su vez cumpla con la legislación ambiental sobre vertimientos líquidos en Colombia.

8.2. IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA

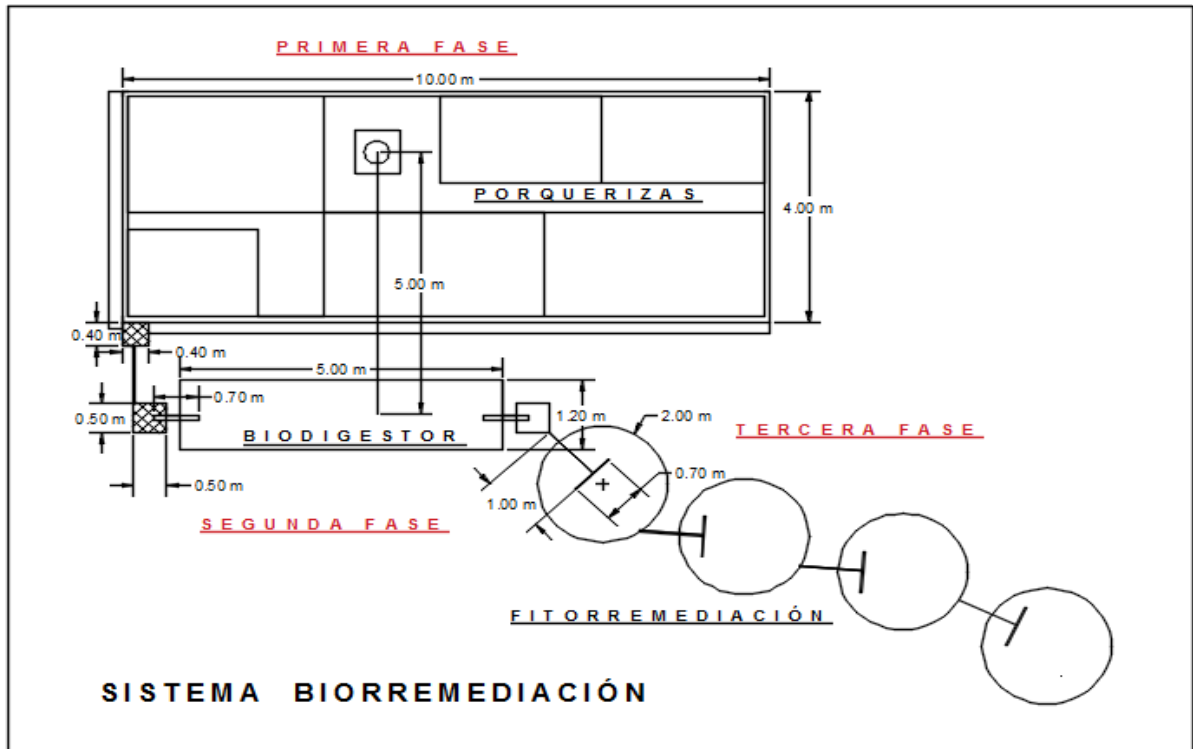
Los resultados del diagnóstico de la Finca El Porvenir, determinaron la necesidad de crear un sistema de Biorremediación el cual ayudará a descontaminar las aguas provenientes de la producción porcícola, este sistema secundario de tratamiento de aguas se divide en tres fases: Canalización y Recepción de las Aguas Contaminadas, Proceso Anaeróbico (Sistema de Biorremediación Microbiana) y Proceso Aerobio (Fitorremediación). A continuación en la Figura N° 3 y Figura N° 4 se muestra las tres fases del sistema de Biorremediación:

Figura N° 3 Plano 3D Sistema de Biorremediación



Fuente: Los Autores

Figura N° 4 Plano 2D Sistema de Biorremediación



Fuente: Los Autores

Primera Fase: Canalización y Recepción de las Aguas Contaminadas

La producción porcícola de La Finca El Porvenir cuenta con instalaciones para el criadero de cerdos, en estas se maneja un promedio trimestral de quince (15) cerdos, (Anexo N° 30) cuya dieta alimenticia basada en residuos lácteos, desechos de cocina y una pequeña proporción en alimentos tipo concentrado.

A las instalaciones del sistema productivo porcícola se le realizan tres lavados a la semana en los cuales se consumen aproximadamente 1.000 Litros de Agua por lavado (Anexo N° 31). Las aguas de los lavados son canalizadas por los bordes de las instalaciones de la producción porcícola y son recibidas en una caja de inspección con unas medidas de 20 cm de ancho, 20 cm de largo y 20 cm de profundidad, (Anexo N° 32) la cual contiene un mallado con un diámetro de 1 centímetro aproximadamente que ayuda a retener los sólidos más gruesos provenientes de los lavados. Los sólidos retenidos son retirados y conducidos a la compostera establecida en la Finca.

Segunda Fase: Biorremediación Microbiana

Luego de pasar el agua contaminada por la primera caja de inspección, esta se direcciona por medio de tubería PVC de una pulgada a la segunda fase la cual está compuesta por dos cajas de inspección cada una con una dimensiones de 50 cm de largo, 50 cm de ancho por 1 mt de profundidad (Anexo N°33) y en el medio de estas cajas de inspección se encuentra ubicado un Biodigestor de flujo continuo que tiene unas medidas de: un diámetro de 1 m, un grosor de 8 mm por 5 m de largo (Anexo N° 34).

La primera caja de la segunda fase contiene un mallado de aproximadamente 2.5 mm, el cual ayuda a retener las partículas más pequeñas que no se alcanzaron a retener en la primera fase esto con el fin de lograr un cribado de las aguas y retirar la mayor cantidad de sólidos, esta caja va interconectada al biodigestor por un tubo corrugado de PVC(Anexo N° 35); con un diámetro de 8 pulgadas por 90 cm de largo, esto mismo sucede con la caja de inspección de salida, teniendo como

base para la contención de los subproductos generados por el mismo el principio de un cierre hidráulico.

Es importante resaltar que al biodigestor se le agrego rumen de Bovino (Ruminasa), con la finalidad de generar un micro-ecosistema anaeróbico el cual permitiera degradar la mayor cantidad de materia orgánica generada por los vertimientos de la producción porcícola de la finca. Adicional a lo anterior, el biodigestor realiza una Biorremediación microbiana, la cual ayuda a eliminar no solo la materia orgánica que contiene el agua residual de los cerdos, sino también se encarga de degradar sólidos suspendidos y sedimentables, ciertas cantidades de metales pesados y demás elementos saturados, además de estabilizar la demanda biológica y química de oxígeno (D.B.O. Y D.Q.O.). En este proceso de bio-transformación se genera en menores cantidades Oxígeno, Nitrógeno, Hidrogeno, Ácido Sulhídrico, y en grandes cantidades Gas Carbónico y Gas Metano los cuales son llevados mediante un válvula de escape y tubería PVC de media pulgada a las instalaciones de los cerdos y por medio de bio-combustión se emplea para la calefacción de los lechones. (Anexo N° 36)

Tercera Fase: Fitorremediación

Finalmente, luego del paso del agua residual de los cerdos por el sistema de biodigestión y al llegar a la caja de inspección final de la segunda fase, se conduce por medio de tubería PVC de una pulgada a la tercera fase; la cual está constituida por un primer tanque plástico con capacidad de almacenamiento de 250 Litros;(Anexo N° 37) este está interconectado al segundo tanque también por medio de una tubería de PVC de 1 pulgada con la misma capacidad. Este procedimiento se realizó para el tercer y el cuarto tanque con la excepción que este último tiene una capacidad de 500 litros y es el receptor del agua descontaminada. Cabe agregar que, los tres primeros tanques (250 Litros de almacenamiento) fueron cultivados con una planta fitorremediadoras diferente; el primero con Buchón de Agua (*Eichornia crassipes* L.), el segundo tanque con Lenteja de Agua (*Lemna minor* L.) y al tercero con Oreja de Ratón (*Salvinia*

minima L.), (Anexo N° 38). También se le agregaron microorganismos eficientes y de montaña en dosis de 1 litro por 10 de Agua según las especificaciones técnicas del proveedor. Cada una de las plantas mencionadas anteriormente junto con los microorganismos ayudan de forma simbiótica en la absorción, secuestro, degradación y metabolización de contaminantes (algunos metales pesados) como lo son el Cadmio, Hierro y Zinc, y otros elementos en saturación como Nitrato, Cloruros y Sulfatos (Chará y Pedraza, 1997). Es importante destacar que estas plantas a través de su sistema radicular ayudan a mejorar la Oxigenación del Agua y generan micro ecosistemas en los cuales ocurren procesos de simbiosis en la rizósfera entre diversos microorganismos ayudando a regular de este modo los niveles de D.B.O. y D.Q.O. adicional a lo anterior las plantas por medio de procesos como lo son la fitoestimulación, la fitovolatización, la fitoestabilización y la rizofiltración eliminan grandes cantidades de elementos contaminantes del agua residual ayudando de esta forma a mejorar su calidad (Chará y Pedraza, 2002).

Por último, al pasar el agua residual porcícola por cada tanque con plantas fitorremediadoras, esta agua descontaminada es conducida a un tanque de almacenamiento de 500 L el cual sirve como reservorio, para que de esta manera el dueño de la finca aproveche el recurso hídrico tratado para el riego de praderas, maderables y diversos servicios agroambientales requeridos en finca.

Luego de estar construido y en funcionamiento por un mes el sistema de tratamiento de aguas residuales porcícolas, se realizaron los análisis fisicoquímicos de las aguas del sistema buscando así determinar la efectividad del mismo y el cumplimiento con la normativa ambiental colombiana de vertimientos. El objetivo de los análisis fisicoquímicos fue evaluar y caracterizar el agua residual que se genera de la producción porcícola de la finca El Porvenir, mediante la toma de dos muestras representativas en una jornada normal de actividades, para determinar los parámetros de interés sanitario y a partir de la información obtenida establecer el estado de cumplimiento con la normativa ambiental colombiana de vertimientos (Tabla N° 3).

Tabla N° 4 – Resultados Análisis Fisicoquímicos de Aguas Residuales Porcícolas Finca El Porvenir

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR ENTRADA	VALOR SALIDA	CAMBIO	DECRETO 1594 DEL 1984	RESOLUCIÓN 1207 DE 2014	CUMPLIMIENTO
CADMIO	mg/L	0.006	0.01	Aumenta	0.1	N.E.	CUMPLE
CLORUROS	mg/L	1902.1	1751.9	Disminuye	N.E.	300	NO CUMPLE
DBO	mg/L	4860	1610	Disminuye	% R ≥ 80	N.E.	67% *
DQO	mg/L	5600	1824	Disminuye	% R ≥ 80	N.E.	67.5% *
HIERRO TOTAL	mg/L	27.2	1.73	Disminuye	5.0	N.E.	CUMPLE
NITRATOS	mg/L	<0.10	<0.10	Igual	N.E.	5.0	CUMPLE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	2400	340	Disminuye	% R ≥ 80	N.E.	86% *
SULFATOS	mg/L	6.4	5.7	Disminuye	500	N.E.	CUMPLE
TURBIEDAD	mg/L	1066	200	Disminuye	N.E.	N.E.	N/A
ZINC	mg/L	5.10	0.42	Disminuye	N.E.	3.0	CUMPLE
OXIGENO DISUELTO	mg/L	0,21	0.18	Disminuye	N.E.	N.E.	N/A
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µs/cm	9230	8390	Disminuye	N.E.	1500	NO CUMPLE
PH	Unidades	7.5	8.1	Aumenta	5 A 9	6 A 9	CUMPLE
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mL/L	57.5	<0.1	Disminuye	10	N.E.	CUMPLE
CAUDAL	L/S	0.75	0.72	Disminuye	N.E.	N.E.	N/A
TEMPERATURA	°C	19	17	Disminuye	≤ 40	N.E.	CUMPLE

Fuente: Los Autores

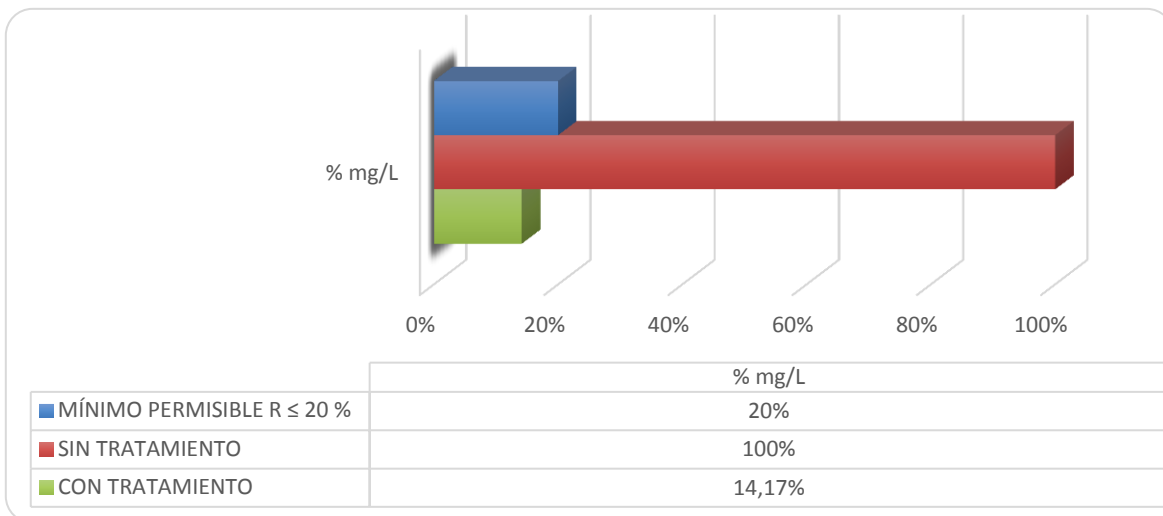
Para la evaluación y entendimiento del comportamiento de los parámetros evaluados se realizó la respectiva caracterización de cada uno de ellos (Físicos y Químicos):

8.3. PARÁMETROS FÍSICOS:

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Este indicador se refiere a la carga de SST en cuerpos de agua y no a vertimientos. En lenguaje técnico se usa la expresión Carga para señalar el volumen de sólidos suspendidos que correo alberga un cuerpo de agua durante un periodo determinado. Permite evaluar si un cuerpo de agua cumple con las condiciones exigidas y está disponible para satisfacer necesidades básicas, recreativas o industriales. A continuación se muestra la Figura N° 5 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 5 - Porcentaje De Remoción De SST Con Tratamiento Vs Sin Tratamiento



En el proyecto se trabaja con cerdos y estos generan altos contenidos de sólidos, los cuales quedan suspendidos en el agua. Estos residuos son obtenidos con el mantenimiento regular que se le realiza a las cocheras de cerdos, así mismo lo

asegura Taiganides (1994), donde expresa que las explotaciones porcícola se desprenden residuos sólidos y líquidos que son arrastrados por el agua de lavado, lo que se conoce como agua residual, que se compone principalmente por excretas, 55% heces y 45% de orina. En la mezcla existen sólidos que flotan y sólidos que se sedimentan, además de sólidos suspendidos. Los sólidos volátiles totales constituyen el 80% de los sólidos totales (Taiganides, 1994).

En la Figura se observa que según el Decreto 1594 del 1984, los límites mínimos permitidos en contenido de Sólidos Suspendidos Totales para aguas de riego es de 2060 mg/L lo cual equivale al 20%, y frente a los resultados de la concentración inicial 2400 mg/L y final es de 340 mg/L, lo cual demuestra que se cumple la permisibilidad permitida y la disminución en el parámetro es considerablemente alta, se considera que la razón por la cual la disminución de este parámetro es tan evidente por el trabajo ejercido por el biodigestor y por consiguiente los microorganismos que en él habitan, así lo afirma Marchaim, (1992), quien explica que los sólidos volátiles son parte de los sólidos totales que son fermentados para producir biogás; estos constituyen el 80% de los sólidos totales, y están compuestos principalmente por un 30% de compuestos de C, 5% de N, y un 65% de H, O, S y otros.

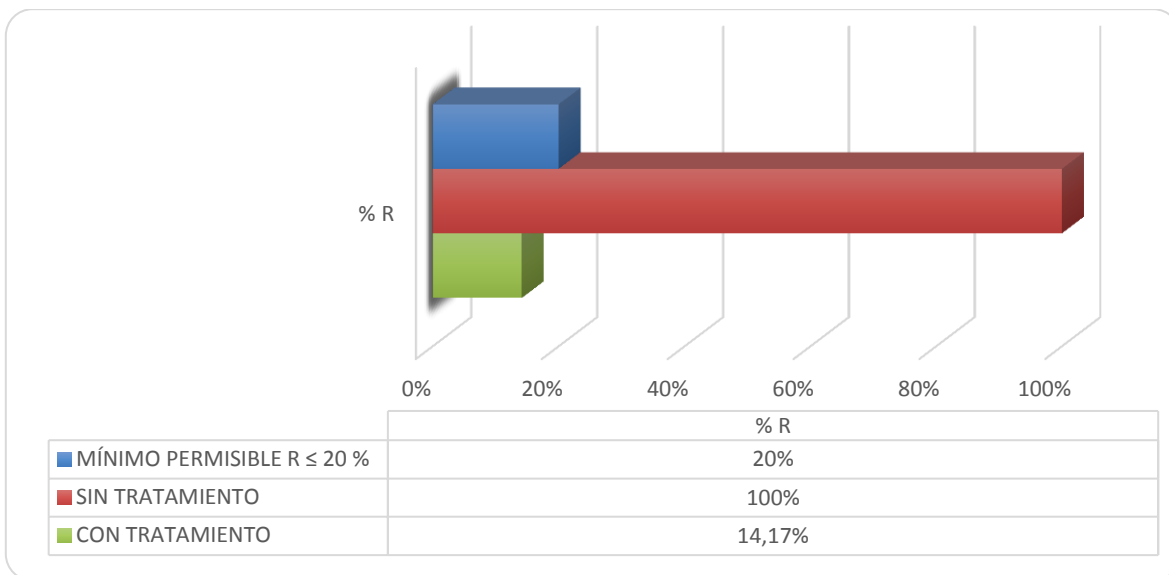
Por otro lado, los resultados confirman la premisa que concuerda con la teoría de Marchaim (1992) que igualmente expresan Chará y Pedraza (2002), ya que en su documento describen que la carga contaminante de las aguas residuales, medida en términos de DBO y Sólidos Suspendidos Totales SST se reduce en un 60 a 90% después de pasar por el biodigestor tipo cúpula fija ó por el Taiwán, dependiendo del tiempo que permanezca el residuo dentro del mismo y de la temperatura. La alta remoción de los sólidos totales se debe a que gran parte de éstos, son sólidos volátiles, que son la materia prima para la producción del biogás, y en la medida que la producción de biogás sea mayor, mayor serán los porcentajes de remoción.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES (SS)

García (2013), define que es el grupo de sólidos cuyos tamaños de partículas corresponde a 10μ , y se puede sedimentar. Son los sólidos más pesados que al tratarlos con elementos químicos, por el propio tratamiento sedimentan en el fondo del lugar de tratamiento de las aguas. Los sólidos sedimentables son los materiales que sedimentan de una suspensión en un período de tiempo definido en un cono Imhoff. La materia sedimentable se define como la cantidad de sólidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo de un recipiente en condiciones estáticas. El método propuesto para su medición es el volumétrico.

A continuación se muestra la Figura N° 6 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 6 - Porcentaje De Remoción De SS Con Tratamiento Vs Sin Tratamiento



En la gráfica anterior se observa que al realizar un análisis comparativo de la entrada frente a la salida se obtienen cambios significativos ya que los vertimientos manejados por el sistema presentan una gran cantidad de sólidos

sedimentables, eso quiere decir que los sistemas de cribado, los mallados y el biodigestor a la hora de disminuir la alta cantidad de los sólidos sedimentables en el agua residual porcícola son muy eficientes. Además dentro de la legislación colombiana en el decreto 1594 de 1984 se especifica este parámetro con un máximo permiso de 10 ml/ L razón por la cual se cumple con la normatividad y nos permite asegurar que las aguas generadas por el sistema son aptas para utilizar en sistemas de riego de praderas o pastizales.

Los Sólidos suspendidos totales (SST) son sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante. La expresión sólidos sedimentables se aplica al material de sedimentación que se desprende de la suspensión en un período definido. Puede incluir material flotante, dependiendo de la técnica. Los sólidos sedimentables están formados por partículas más densas que el agua, que se mantienen dispersas dentro de ella en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente. Por esta razón, sedimentan rápidamente por acción de la gravedad cuando la masa de agua se mantiene en reposo. La turbidez va en directa relación con los sólidos sedimentables en la muestra de agua (García, 2013).

García (2013) sostiene que los sólidos sedimentables en aguas superficiales y marinas, así como en los residuos industriales y domésticos, se pueden determinar y reportar sobre una base en volumen (ml/L) o en peso (mg/L). Los sólidos sedimentables pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaeróbicas cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático. Por otra parte Paredes *et al.*, (2001) asegura que los sólidos en suspensión son aquellos que se encuentran en el agua sin estar disueltos en ellas, pueden ser sedimentables o no y, para determinar su cantidad en forma directa es complicado, para ello se calcula matemáticamente conociendo la cantidad de sólidos no sedimentables y de sólidos en suspensión y realizando una diferencia de estas dos medidas.

Las partículas suspendidas en las aguas ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas que contienen las aguas y que al ser usadas para el riego ocasionan problemas de toxicidad ya que estas compuestos tóxicos son absorbidas por la zona radicular de la planta y por las hojas acumulándose en tejidos, en concentraciones lo suficientemente altas como para provocar daños y reducir sus rendimientos. La magnitud del daño depende de la cantidad de iones absorbidos y de la sensibilidad de la planta (Estándares De Calidad Ambiental De Agua, 2006).

En la fotosíntesis, (*Eicchornia crassipes* L.) buchón de agua emplea el oxígeno y dióxido de carbono disponible en la atmosfera. Los nutrientes son tomados de la columna de agua a través de las raíces, las cuales constituyen también un excelente medio para la filtración/adsorción de sólidos suspendidos y sedimentables. El desarrollo de raíces es función de la disponibilidad de nutrientes en el agua y de la demanda de nutrientes por parte de la planta. Por consiguiente, la densidad y profundidad del medio filtrante (raíces), depende en gran medida de factores como la calidad del agua, temperatura, régimen de cosecha, etcétera (Martelo *et, al.*, 2012).

Existen macrófitas que ayudan en la disminución de algas es el caso de la Lenteja de Agua que flotan en la superficie del agua como una alfombra opaca que no permiten que la luz atraviese esta biomasa. En consecuencia, las algas no pueden realizar la fotosíntesis, ni sedimentarse en los reactores. A diferencia de las algas, la biomasa generada por *Lemna Minor* L. en una laguna, podrá ser retirada con más facilidad. La disminución de la concentración de algas reducen los parámetros de DBO, DQO, sólidos en suspensión y turbiedad (García, 2012).

Las partículas en suspensión dispersan la luz, de esta forma decreciendo la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar la concentración de oxígeno más aún. Como consecuencia de la sedimentación de las partículas en el fondo, los lagos poco profundos se colmatan más rápido, los huevos de peces y

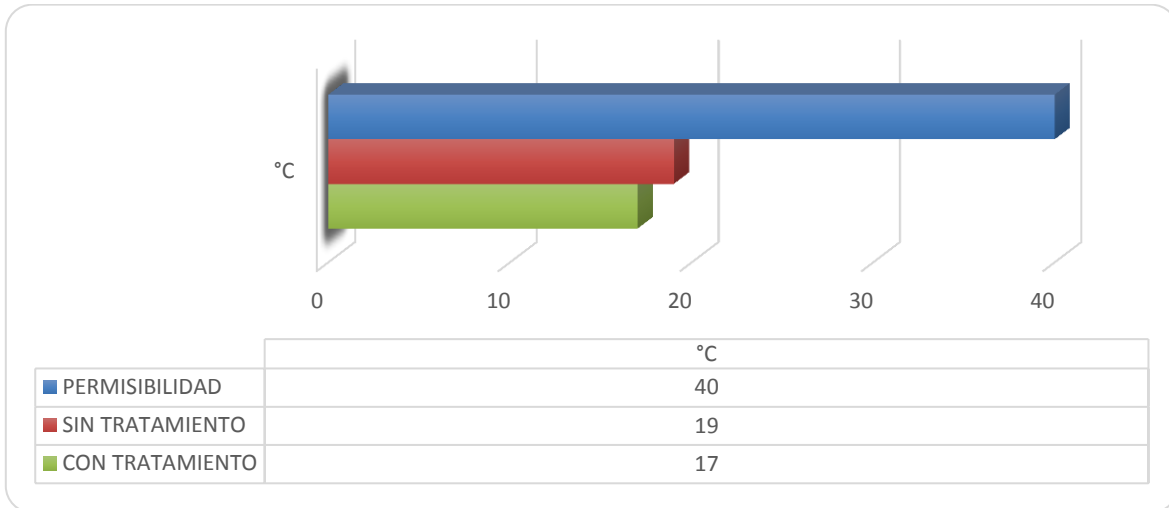
las larvas de los insectos son cubiertas y sofocadas, las agallas se tupen o dañan. En general las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, y así reduciendo la concentración de oxígeno en el agua (el oxígeno se disuelve mejor en el agua más fría). Además algunos organismos no pueden sobrevivir en agua más caliente (Estándares De Calidad Ambiental De Agua, 2006).

TEMPERATURA

Las temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física en el agua, lo anterior tiene influencia en los tratamientos y abastecimientos para el agua, así como en la evaluación limnológica de un cuerpo de agua, por lo que es necesario medir la temperatura como un indicador de la presencia de compuestos y contaminantes en el agua (DGN, 2000).

El valor de temperatura es un criterio de calidad del agua para la protección de la vida acuática y para las fuentes de abastecimiento de agua potable, es también un parámetro establecido como límite máximo permitido en las descargas de aguas residuales y una especificación de importancia en los cálculos de balance de energía y de calor de los procesos industriales. Las variaciones de temperatura, tiene efectos tanto en la cinética de las reacciones que ocurren en el agua, como en la cantidad de oxígeno disuelto. A continuación se muestra la Figura N° 7 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 7 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Temperatura



La temperatura es un factor indispensable para que se realicen diversas reacciones químicas y físicas en este tipo de aguas por lo cual es un factor de análisis que determinara la calidad de aguas generadas al final del proceso. En la anterior grafica se evidencia un cambio significativo en las temperaturas esto debido a los sitios donde se realizó muestreo y a las condiciones climáticas presentes en la zona. Dentro de la normatividad Colombiana el decreto 1594 de 1984 establece como límite permitido que para su uso que este parámetro no supere los 40 °C razón por la cual los resultados obtenidos nos permite darle cumplimiento a la norma y asegurar la calidad del agua tratada.

Altas temperaturas incrementan la acción microbial de bacterias anaerobias. Altas temperaturas incrementan la liberación de componentes orgánicos volátiles del líquido a la fase gaseosa. Los cambios de temperatura en el agua residual pueden afectar las tasas de reacción biológicas. La temperatura del agua tiene una gran importancia en el análisis de aguas. Este parámetro afecta a la vida acuática, a las reacciones químicas y su velocidad y a los posteriores usos del agua. Una variación en la temperatura del agua puede originar cambios

en las especies acuáticas presentes en la misma, así como crecimientos indeseados de plantas y hongos. Generalmente, el agua residual tiene una temperatura superior al agua de suministro, debido al uso de agua caliente en diferentes actividades, tanto industriales como cotidianas. Este aumento de la temperatura origina una disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua y un aumento en la velocidad de las reacciones químicas, originando una disminución del oxígeno disuelto en el agua. Esta disminución del oxígeno disuelto puede poner en peligro la supervivencia de la vida acuática (Árias, 1998).

Un aumento de 10 °C en el agua, duplica la actividad microbiana, es decir, el oxígeno disuelto se consume dos veces más rápido. Por otra parte, la solubilidad del oxígeno, como la de todos los gases, disminuye en la medida que aumenta la temperatura del agua. En resumen, la demanda de oxígeno aumenta y la oferta disminuye, esto lleva a un déficit de oxígeno en el agua, y dependiendo de la cantidad de materia orgánica presente, se puede llegar a condiciones de septicidad. Con la consecuente generación de metano y ácido sulfhídrico (Arce *et al.*, 2000). La temperatura del agua se correlaciona de forma muy precisa con la evolución temporal de la biomasa de macrófitas, lo cual es también lógico dado el papel regulador que esta variable ejerce sobre el ciclo anual de la vegetación. Es un parámetro que cumple con las condiciones para ser utilizado como un buen indicador en la planificación de crecidas para el control de macrófitas: es fácil de medir y guarda una relación biológica causal con el ciclo anual de los macrófitas (Concha, 2010).

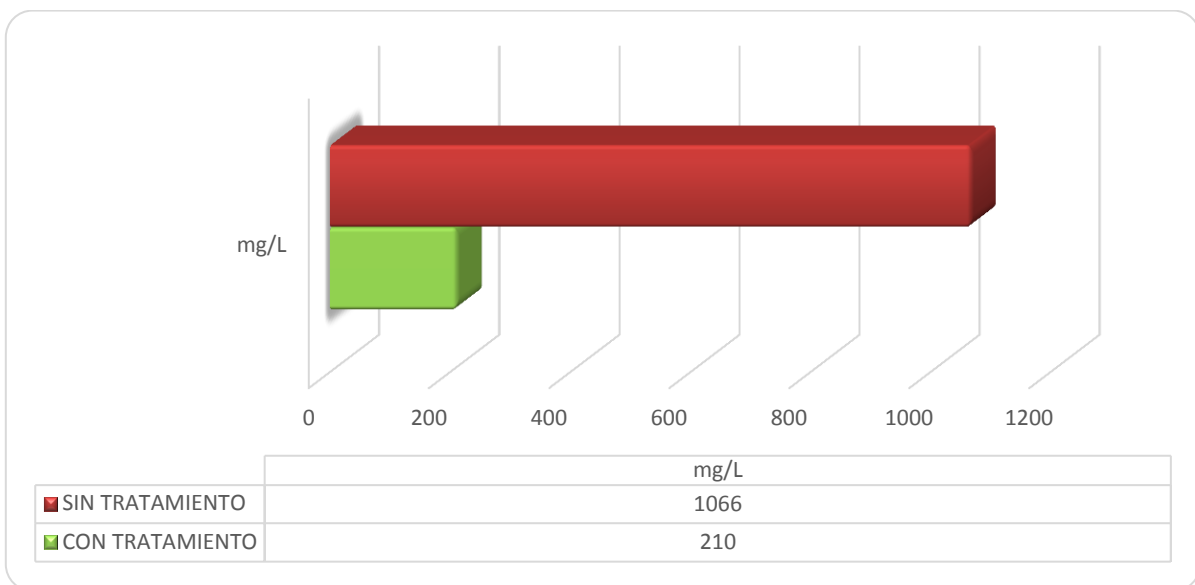
Existen plantas macrófitas que poseen órganos especializados, como los rizomas, los estolones, los tubérculos o brotes de hibernación que permiten la supervivencia de la planta cuando desciende la temperatura del agua o en situaciones de luz insuficiente (Barrat, 1996). Los factores ambientales (en especial la temperatura del agua) regulan la fase de reproducción y latencia de las macrófitas mediante el control de viabilidad de sus órganos de resistencia (Anderson, 2003).

TURBIEDAD

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos.

La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada (Secretaría de Economía Mexicana, 2001). A continuación se muestra la Figura N° 8 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 8 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Turbiedad



En este parámetro la figura describe un cambio bastante significativo en la comparación de la entrada vs salida el cual disminuye su carga en contaminante en 856 mg/L esto debido principalmente al caudal manejado el cual fue de 0,072 litros por segundo y la acción de las diversas reacciones químicas que suceden a lo largo del proceso. Aunque ninguna normatividad especifica un tope para la descontaminación de este parámetro se da por hecho que la disminución de los materiales contenidos ayuda a mejorar el color del agua factor que es fundamental para que los microorganismos y las plantas realicen sus diversos procesos metabólicos y genere confianza en la calidad de las aguas al ser reutilizadas.

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. La transparencia del agua es muy importante cuando está destinada al consumo del ser humano, a la elaboración de productos destinados al mismo y a otros procesos de manufactura que requieren el empleo de agua con características específicas, razón por la cual, la determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada (Secretaría de Economía Mexicana, 2001).

Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de Oxígeno Disuelto (OD). Las plantas morirán más fácilmente y serán descompuestas por las bacterias en el agua, lo que reducirá los niveles de OD aún más. Las partículas suspendidas en el agua también absorberán calor adicional de la luz solar lo cual ocasionará que el agua sea más caliente. El agua caliente no es capaz de guardar tanto oxígeno como el agua fría, así que los niveles de OD bajarán, especialmente

cerca de la superficie. Las partículas suspendidas también son destructivas para muchos organismos acuáticos tales como los macro invertebrados que se encuentran en el agua. Las partículas suspendidas pueden transportar contaminantes en el agua (Reitec, 2010).

A pesar de que la turbiedad no resulta nociva para la salud, salvo que el material que la produzca sean microorganismos patógenos vivos, es de una consideración muy importante en abastecimientos públicos de agua por varias razones. Una de estas razones es el aspecto estético, ya que el consumidor demanda agua libre de turbiedad porque el agua turbia es automáticamente asociada con una posible contaminación por aguas negras y con los peligros ocasionados por esto. En la industria la medida de la turbiedad es importante cuando el producto es destinado para consumo humano y el agua forma parte de dicho producto, como es el caso de las industrias que producen alimentos y bebidas y en las plantas de tratamiento para abastecimiento municipal. Los procesos de tratamiento necesarios para eliminar la turbiedad del agua son los de coagulación, sedimentación y filtración. Cuando los procesos mencionados trabajan en forma eficiente, deben producir agua con una turbiedad inferior a una unidad de turbiedad (García, 2000).

En aguas naturales, las mediciones de turbidez se toman como indicador de la calidad general y para valorar su compatibilidad en aplicaciones donde existan organismos acuáticos. Se ha averiguado que existe una fuerte correlación entre el nivel de turbidez y el valor de DBO. En un estudio realizado por la universidad nacional de ingeniería en lima Perú donde se midió la eficiencia de tres plantas macrófitas para reducir la turbidez en aguas residuales se logró demostrar un alto el porcentaje de remoción por parte de Lemna Minor en un 72% y un 65% por parte del Jacinto de Agua; sin embargo hubo remoción sin plantas acuáticas en un 52%. Es decir la remoción de este parámetro tratando con plantas acuáticas no sería significativa al no utilizar plantas acuáticas (García, 2000).

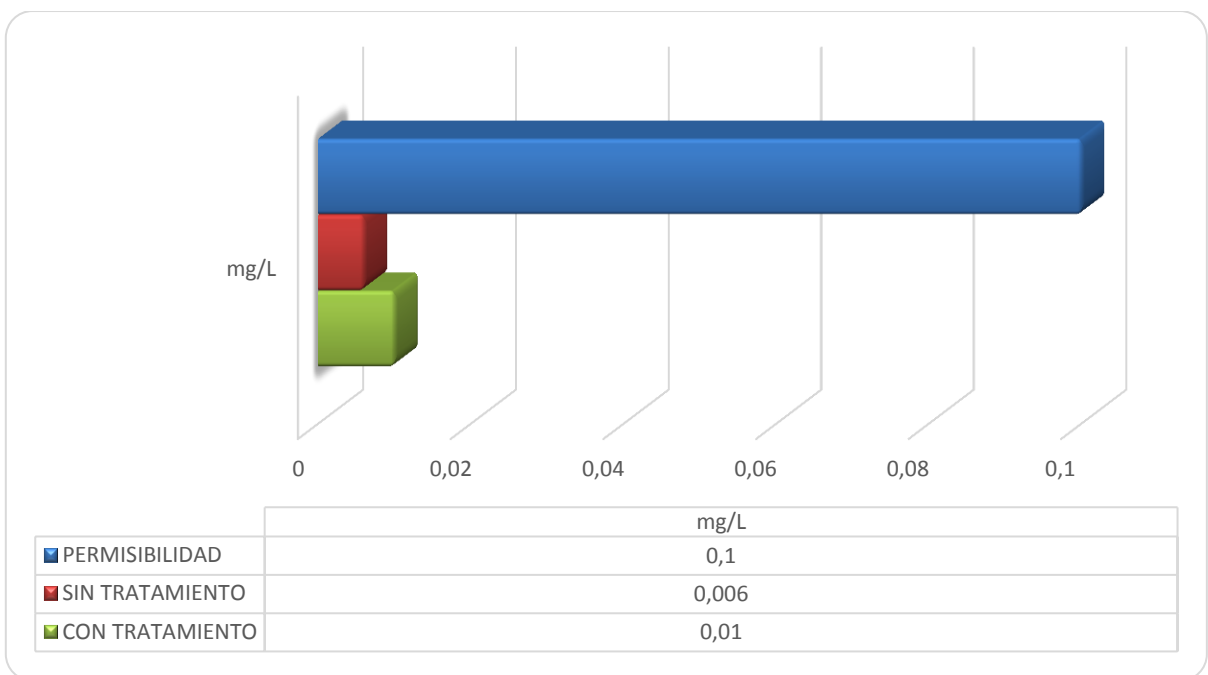
8.4. PARÁMETROS QUÍMICOS

CADMIO (Cd)

Se encuentra en partes específicas del mundo, el cadmio se produce como un subproducto de la extracción del zinc. La presencia del cadmio en el agua dependerá de la fuente donde proviene y la acidez del agua, es probable que en algunas aguas superficiales que contengan un poco más de microgramos de cadmio por litro, se hallan contaminado por descargas de desechos industriales o por lixiviación de áreas de relleno, también se da por suelos a los cuales se le han agregado lodo cloacales (Faisal *et al.*, 2003).

Los niveles de cadmio en aguas naturales son muy bajos, y si hubiera elevados niveles de cadmio, los actuales métodos convencionales removerán la mayor parte de ella. A continuación se muestra la Figura N° 9 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento (Pedraza, 1994).

Figura N° 9 – Tratamientos Sin Tratamiento Cadmio



El Cadmio puede ser absorbido por las plantas y acumulado en cantidades que pueden entrañar serios riesgos para la salud humana. Su similitud con el Zinc, le permite reemplazarlo, ser absorbido por la planta en su lugar y desempeñar sus funciones (Faisal *et al.*, 2003). Por su alta toxicidad ocasiona serios trastornos en la actividad enzimática de la planta. Se le atribuye un marcado efecto en la reducción del crecimiento, la extensibilidad de la pared celular, el contenido de clorofila. Todos los efectos negativos varían de una especie a otra. Con relación al efecto del As se presume que la alta afinidad de este elemento con los grupos tilo (-SH) determina serios trastornos en los procesos enzimáticos y en algunos de los procesos metabólicos de las plantas. La contaminación con cadmio reduce el rendimiento de algunas plantas. Al producirse un aumento en los niveles de cadmio en los suelos de 50 ppm, el rendimiento del trigo declinaba en un 25%, y se observaban pérdidas aún mayores en la productividad cuando el nivel de cadmio aumentaba. (Pedraza, 1994)

En la tabla se observa que según el Decreto 1594 del 1984, los límites máximos permitidos en contenido de Cadmio para aguas para riego son de 0,1 mg/L, y frente a los resultados de la concentración final es de 0,01 mg/L, lo cual demuestra que se cumple la permisibilidad permitida, pero que existe un aumento al momento de la comparación de entrada versus salida.

Se cree que el motivo del aumento de este elemento es causado por un agente externo ya que llega en punto en el cual el buchón de agua está en su nivel mayor de saturación por el alto contenido del elemento en las aguas que su alternativa mecánica es la devolución en mayor cantidad al agua ya que llegan al punto de descomposición en cierto momento; en este caso esta planta es la que mayor nivel de acumulación hace en cuanto a este elemento evidenciado por el comportamiento si aumenta la concentración inicial del cadmio en el medio también aumenta la captura y la acumulación de éste por parte del buchón de agua, esto se argumenta puesto que según Pedraza (1994), el buchón de agua es un elemento de importancia desde el punto de vista de la Biorremediación porque

posee potencial para capturar metales pesados, tales como cadmio, entre otros, en fuentes hídricas contaminadas. De esta manera el buchón juega un papel importante en la descontaminación de la laguna, acumulando los metales (Lasat, 2002).

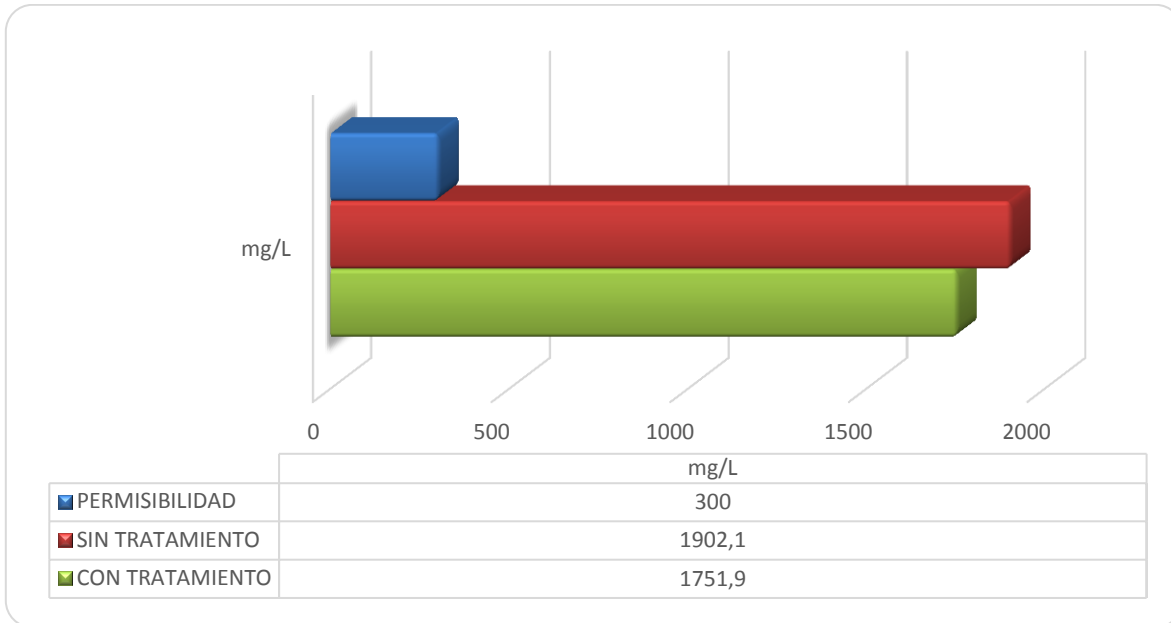
Se ha demostrado en otros estudios (Faisal *et al.*, 2003), que la lenteja de agua tiene un buen potencial para la remoción de cadmio y toleran fácilmente concentraciones hasta de 2000 mg, sin síntomas visibles de la toxicidad del metal. Lo anterior se debe a la capacidad genética que tienen el buchón y la lenteja de agua como plantas fitoextractoras para interceptar, absorber y acumular los metales en sus estructuras (Lasat, 2002).

CLORUROS

La presencia de cloruros en las aguas naturales se atribuye a la disolución de depósitos de sal gema, contaminación proveniente de los diversos efluentes de la actividad industrial, aguas excedentarias provenientes de producciones pecuarias y agrícolas. En algunos casos se puede presentar un incremento esporádico del contenido en cloruros como consecuencia de manera particular de la orina de los animales. El cloruro, en forma de ion (cl.-) es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual (Lasat, 2002).

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. Los cloruros interfieren en la determinación de los nitratos y DQO. A continuación, se muestra la Figura N° 10 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 10 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Cloruros



En la figura se observa que según la Resolución 1207 del 2014, los límites máximos permitidos en contenido de Cloruros para aguas para riego son de 300 mg/L, y frente a nuestros resultados de la concentración inicial es de 1902,1 mg/L y final es de 1751,9 mg/L, lo cual demuestra que aunque no se cumple la permisibilidad permitida existe una disminución en el parámetro, se cree que el motivo de la reducción es causado porque los cultivos difieren tanto en sus necesidades de cloruro, así como en su tolerancia a la toxicidad de este elemento, motivo por el cual las plantas absorben el cloruro, desempeñando así un papel importante en la fotosíntesis, el ajuste osmótico y la supresión de enfermedades de las plantas.

Esto se evidencia frente al comportamiento positivo que obtuvieron las tres plantas empleadas esto con ayuda de los microorganismos presentes en la rizósfera de las mismas, esto mismo es argumentado por British Columbia (2003), donde aseguran que tanto plantas acuáticas como el Buchón y la *Salvinia minima*

L., por medio de rizofiltración extraen grandes cantidades de sales, gracias a la ayuda de los microorganismos presentes en la rizósfera. Sin embargo existe otra argumentación dada por Fernández (2012), donde explica que altas concentraciones de cloruro pueden causar problemas de toxicidad y resultar en reducción de rendimiento y su posterior acumulación de cloruro en las hojas causara la descomposición y muerte de las plantas.

Concentraciones elevadas de cloruro en el agua de riego pueden producir problemas de toxicidad en los cultivos al momento de su riego razón por la cual fue establecido este sistema de Biorremediación (British Columbia, 2003). Todas las aguas contienen cloruros pero una gran cantidad puede ser índice de contaminación ya que las materias residuales de origen animal siempre tienen considerables cantidades de estas sales; así como se observó en las plantas que empleamos para el desarrollo de nuestro sistema. Las aguas con alto contenido de oxidabilidad, amoníaco, nitrato, nitrito, caracteriza una contaminación y por lo tanto los cloruros tienen ese origen eso reflejado en los análisis fisicoquímicos que se realizaron para diferencias y cumplimiento de los parámetros requeridos, en este caso los cloruros (Fernández, 2012).

HIERRO TOTAL (Fe)

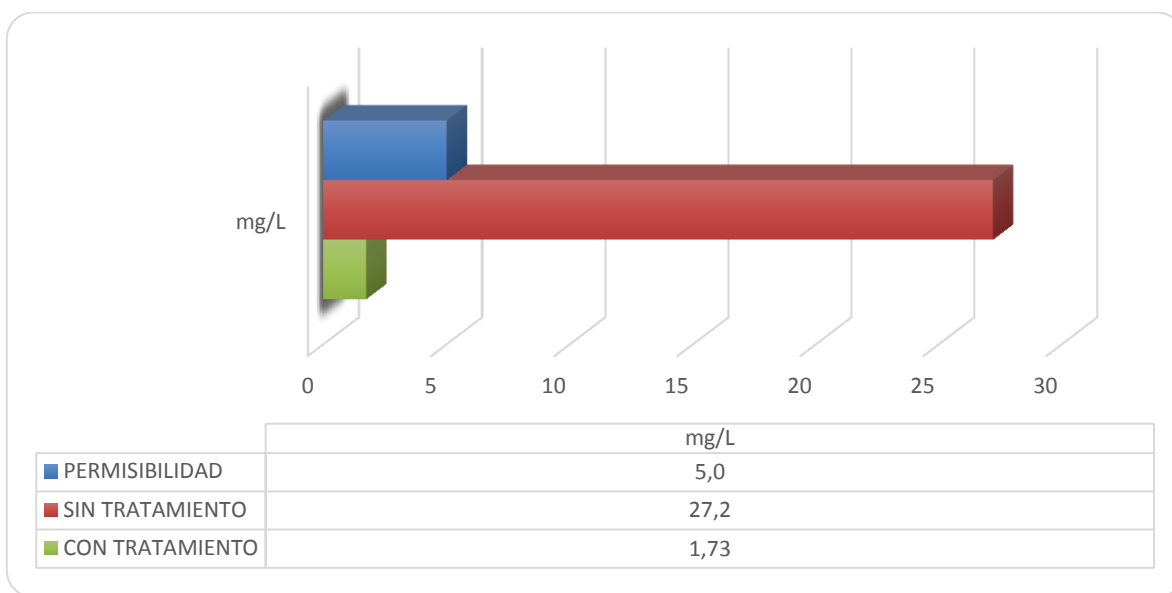
El hierro es un metal extraordinariamente común y se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, aunque normalmente en forma insoluble. Sin embargo, debido a un número de complejas reacciones que se suceden de forma natural en el suelo y en actividades agropecuarias se pueden formar formas solubles de hierro que pueden contaminar cualquier agua que lo atraviese (Fernández, 2012).

Según Zaragoza (2005), el hierro es un elemento esencial para los cultivos debido a que las plantas no pueden realizar su ciclo vital sin su presencia, ya que está involucrado en el metabolismo de la planta de una manera específica, en la síntesis de clorofilas y participa de un buen número de sistemas enzimáticos

importantes para el metabolismo de las plantas, esto demuestra que las tres empleadas en nuestro sistema obtuvieran gran efectividad de absorción en su parte radicular y adaptabilidad en los tanques implementados.

Las plantas absorben este compuesto principalmente por las raíces y en menor medida por las hojas. La asociación del hierro con la molécula ácida es absorbida para posteriormente ser disuelto y asimilado el hierro en su forma inicial. A continuación se muestra la Figura N° 11 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 11 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Hierro Total



En la figura se observa que según el Decreto 1594 del 1984, los límites máximos permitidos en contenido de Hierro Total para aguas para riego es de 5,0 mg/L, y frente a nuestros resultados de la concentración inicial 27,2 mg/L y final es de 1,73 mg/L, lo cual demuestra que se cumple la permisibilidad permitida y la disminución en el parámetro es bastante alta, acción que evidencia y afirma que las plantas emplean este hierro absorbido como catalizador en los procesos

fotosintéticos, siendo empleado para el consumo de nitrógeno y en los procesos respiratorios.

La falta de este producirá un cambio de color general en la planta afectada pasando del verde normal al color amarillento. Este falta de hierro y este aspecto característico se denomina clorosis (ACUANOVEL, 2015).

En el caso de la asimilación del Hierro en las plantas, es alto pero se presenta en mayor proporción de absorción en la Lenteja de agua ya que según Rodríguez y Palma (2000) indican que la concentración de hierro en esta planta es alto, por ser un micro-elemento esencial en las plantas y participa en reacciones de óxido-reducción, adicional a ello en las hojas es donde se presenta casi toda la acumulación del hierro, donde juega un papel importante en la síntesis de proteínas cloroplásticas.

La absorción de hierro por las raíces jóvenes de las plantas está influenciado en por el pH y de manera general las plantas son capaces de reducir el Hierro en la superficie de la raíz y de esta manera la reacción química interna hace que las plantas puedan asimilarlas (Zaragoza, 2005),

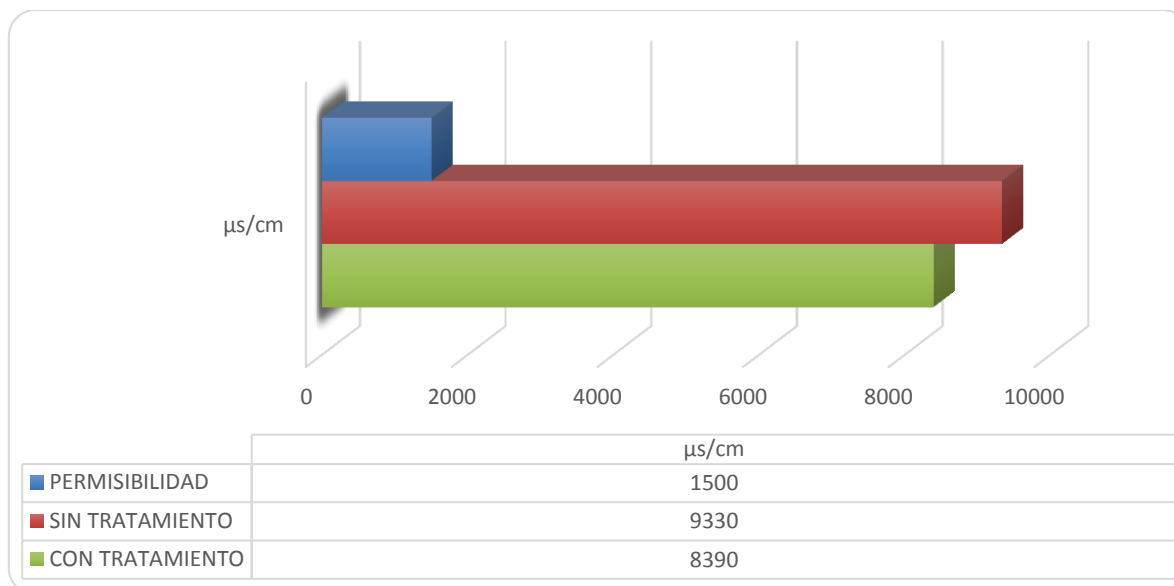
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE)

La Conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, esta indica la presencia de iones. Proviene de una base, un ácido o una sal. Por otro lado la conductividad eléctrica se utiliza para conocer los niveles de salinidad presente en este caso en aguas. (ETAP, 2010).

Esta medida indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través del agua residual. Puesto que el agua pura es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de impurezas, y más concretamente de sales disueltas. La medida de la conductividad resulta muy útil para detectar descargas procedentes de algunas industrias alimentarias y químicas (Zaragoza, 2005). A continuación se muestra la

Figura N° 12 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 12 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Conductividad Eléctrica



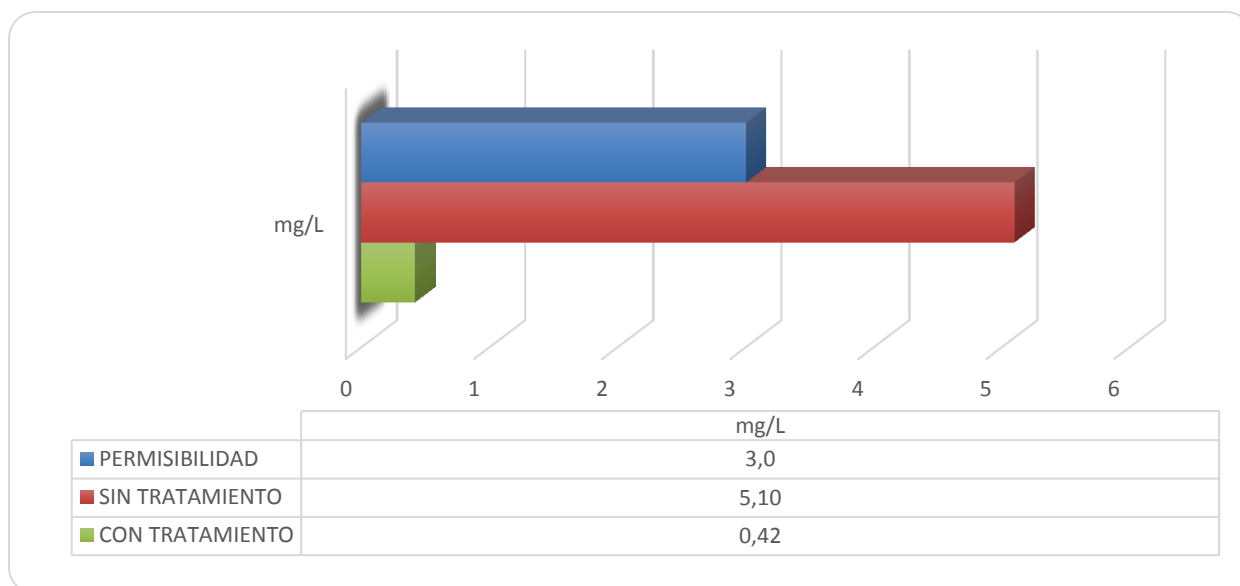
En la figura se observa que según la Resolución 1207 del 2014, los límites máximos permitidos en contenido de Conductividad Eléctrica para aguas para riego es de 1500 $\mu\text{s/cm}$, y frente a nuestros resultados de la concentración inicial es de 9330 $\mu\text{s/cm}$ y final es de 8390 $\mu\text{s/cm}$, lo cual indica que no cumple la permisibilidad permitida por la norma, pero por otro lado existe una disminución de 940 $\mu\text{s/cm}$, esto es dado por que el agua tiene altos niveles de sales que son asimilados por las plantas y los microorganismos presentes en el sistema, pero en pocas proporciones; por la misma razón de que altos contenidos de sales generan poca absorción por parte de estos, de igual manera el estado de la conductividad eléctrica está directamente ligada a las sales presentes en el agua razón por la cual se liga al comportamiento que tuvieron los cloruros donde las plantas acuáticas como el Buchón y la *Salvinia minima* L., por medio de rizo filtración extraen grandes cantidades de sales, gracias a la ayuda de los microorganismos presentes en la rizósfera. Sin embargo no se hace la extracción necesaria para aumentar en mucho más nivel la conductividad de las aguas (Fernández, 2012).

Teniendo en cuenta que este parámetro es fundamental en el desarrollo de la mejoría del sistema, una de las alternativas más viables es el aumento de la capacidad de los tanques que en este caso se emplearon, de esta manera lo afirma British Columbia (2003), donde hacen referencia de que el aumento de las plantas y su capacidad hacen que la absorción de los Cloruros y otros elementos por parte de las plantas sea mayor, de esta manera se disminuyen sales y aumenta la Conductividad Eléctrica (ETAP, 2010).

ZINC (Zn)

El zinc es un micronutriente, que junto a otros nutrientes cumple una función primordial para el crecimiento de las plantas. La función principal del zinc es activar las enzimas dando lugar a algunos procesos del metabolismo que hace que las plantas se desarrollen a un ritmo constante y gradual. Por otro parte influye notablemente en formar los hidratos de carbono que a su vez cumplen la función de producir elementos genéticos apropiados para la planta. A continuación se muestra la Figura N° 13 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 13 - Tratamiento Vs Sin Tratamiento Zinc



Los microorganismos utilizados como bioabsorbentes, aislados a partir de ecosistemas contaminados como es el caso del biodigestor que en el sistema que se está manejando, donde ellos retienen los metales pesados a intervalos de tiempo relativamente cortos al entrar en contacto con soluciones de dichos metales, como lo es con el caso del Zinc. Esto minimiza los costos en un proceso de remediación, esto se argumenta por Frers (2008), ya que en su documento nos describe que se no requiere el agregado de nutrientes al sistema, al no requerir un metabolismo microbiano activo.

El proceso químico más importante de la remoción de suelos de los humedales artificiales es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes, en el caso del Zinc la absorción se hace por medio de la *Salvinia Minima*L., donde por el comportamiento que presenta la planta un leve amarillamiento y las hojas caídas, esto es motivo a que la planta realiza la fitoextracción y absorbe por hojas. También Frers (2008), asegura que además de la fitoextracción existe una rizofiltración, ya que las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.

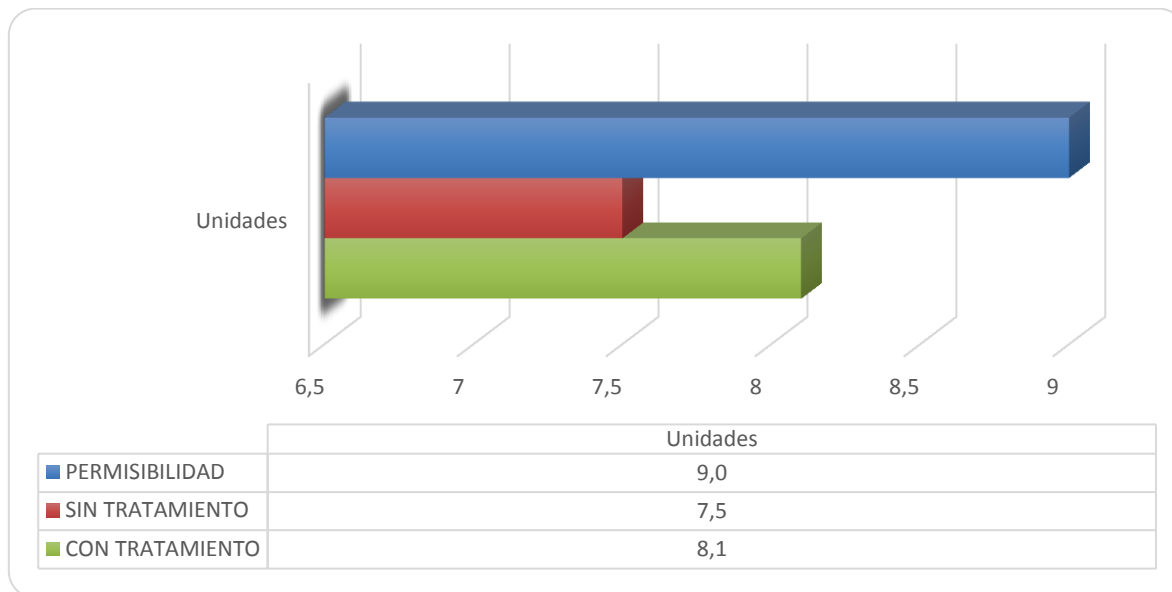
En la figura se observa que según el Resolución 1207 del 2014, los límites máximos permitidos en contenido de Zinc para aguas para riego es de 3,0 mg/L, y frente a nuestros resultados de la concentración inicial 5,10 mg/L y final es de 0,42 mg/L, lo cual demuestra que se cumple la permisibilidad permitida y la disminución en el parámetro es bastante alta con relación a los demás parámetros evaluados, adicional al ello se evidencia que efectivamente la eficiencia del sistema respecto a este elemento es favorable, eso lo afirma de igual manera Frers (2008) donde describe que este tipo de sistemas basados en los humedales

artificiales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material articulado, en este caso el Zinc.

pH

El pH de un cuerpo de agua es un parámetro a considerar cuando queremos determinar la especiación química y solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en agua. Es un factor abiótico que regula procesos biológicos mediados por enzimas, como es el caso de la fotosíntesis y la respiración de las plantas; la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano en muchos ecosistemas. (Atlas y Bartha., 1992). A continuación se muestra la Figura N° 14 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 14 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento pH



Las plantas acuáticas cumplen importantes y variadas funciones en el sistema de tratamiento ya que mejoran la calidad del agua al oxigenarla y regulan el pH en el proceso de la fotosíntesis, oxigenan el suelo con sus raíces, en el

caso de la regulación del Ph trabajan todas las plantas empleadas en el sistema así como también los microorganismos en el biodigestor aportan en esto, ya que así como lo afirma Schutz (2004), donde especifica que las plantas y los microorganismos asimilan sustancias nocivas compuestos de toda clase, oxigenando y la descomposición de excrementos, material vegetal y putrefacción de restos de comida que en el sistema para, regular el pH en el agua y agilizando el proceso mismo de las plantas, por la asimilación de los diferentes nutrientes.

En la figura se observa que según la Resolución 1207 del 2014, los límites máximos permitidos de Ph en unidades para aguas para riego es de 9,0 , y frente a nuestros resultados de la concentración inicial 7,5 y final que es de 8,1, lo cual demuestra que se cumple la permisibilidad permitida y aunque el parámetro aumenta en 0,6 unidades se evidencia que la razón por la cual existe este pequeño aumento es respecto al trabajo ejercido por la plantas y microorganismos presentes aumentan las sales, como se ve en la conductividad y en los cloruros y esto hace que aumente el pH en la soluciones de agua de igual forma lo afirma Sánchez*et al.*,(2008), en su documento describiendo que el aumento o la incorporación de sales en fuentes hídricas causa que el pH en una solución aumente, de igual manera el pH se eleva debido a la producción de bicarbonato como consecuencia de la oxidación de los nutrientes orgánicos.

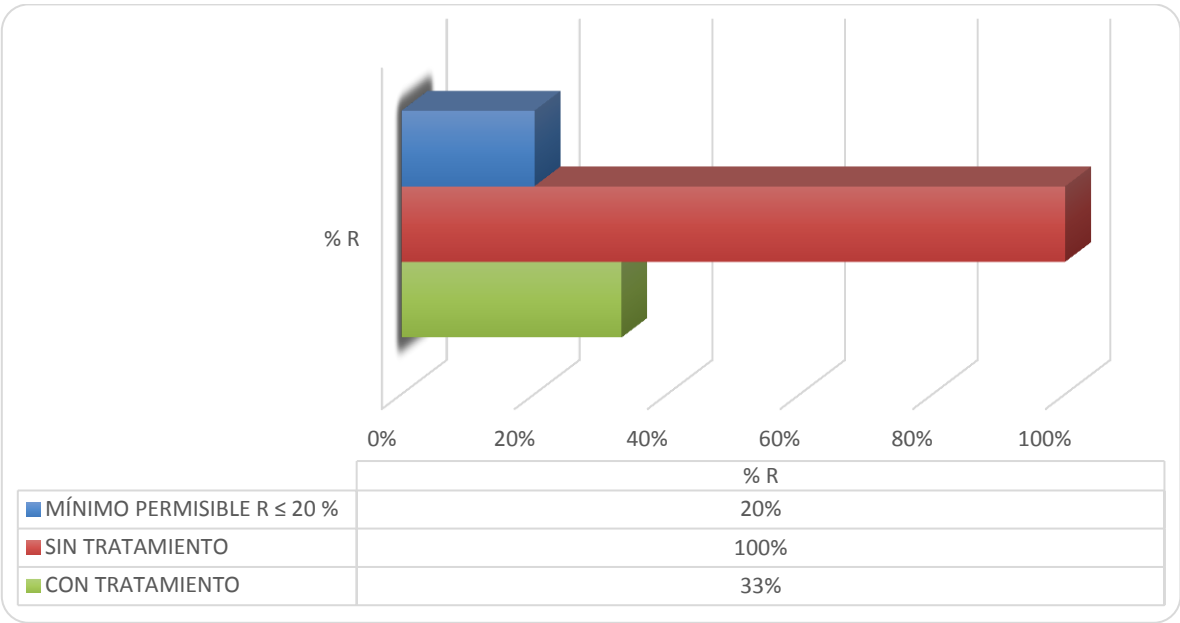
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO)

Sawyer y McCarty (2001) denominan a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) como aquella medida que cuantifica la cantidad de oxígeno necesaria ó consumida para la descomposición microbiológica (oxidación) de la materia orgánica en el agua. Es un indicador importante para el control de la contaminación de las corrientes donde la carga orgánica se debe restringir para mantener los niveles deseados de oxígeno disuelto, por otra parte la CAN (2005) asegura que el aporte de carga orgánica acelera la proliferación de bacterias que agotan el oxígeno, provocando que algunas especies de peces y otras especies

acuáticas deseables ya no puedan vivir en las aguas donde están presentes dichos microorganismos. Es útil para medir la capacidad de purificación de las corrientes monitoreadas y sirve para orientar normas de control de calidad de los efluentes descargados a estas aguas (Sawyer y McCarty, 2001).

Es útil para medir la capacidad de purificación de las corrientes monitoreadas y sirve para orientar normas de control de calidad de los efluentes descargados a estas aguas (Sawyer y McCarty, 2001). A continuación se muestra la Figura N° 15 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 15 – Porcentaje de Remoción D.B.O. con Tratamiento Vs sin Tratamiento



En la figura se observa que este parámetro según el Decreto 1594 del 1984, el cual en los contenidos de DBO debe presentar una disminución menor o igual al 20%, observando la gráfica y luego de comparar en el sistema los resultados de entrada vs salida, en los cuales solo se logró disminuir la demanda biológica en un 67% lo cual nos indica que aunque no se obtuvo una calidad de aguas optimas según la norma, si se logra un cambio significativo en las aguas

residuales tratadas por el sistema, razón por la cual se cree que la alta carga de microorganismos, los materiales biodegradables que se encuentran dentro del sistema que se implementaron y al poco espacio en el cual se trataron las aguas influyeron de manera directa en el resultado final del proceso.

Freire (2001) asegura que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo. La DBO de una muestra de agua expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno y se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra de agua manteniendo la temperatura a 20 °C en un periodo de 5 días. Una DBO grande indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua. (Santambrosio, 2003).

En el efluente de los humedales la DBO se incrementa debido a la degradación de la materia orgánica de las plantas que trae consigo que al agua pasen una serie de sustancias solubles principalmente aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y otras sustancias que son fácilmente degradados por los microorganismos. Se ha observado incluso que en humedales en los que no se suministra agua residual, sus efluentes mantienen una concentración de DBO variables que puede estar entre 2 y 10 mg/L, siendo el valor típico entre 3 y 5 mg/L. Lo anterior demuestra que la DBO en los efluentes de los humedales está compuesta por la DBO remanente del residual afluente y de la DBO aportada por las plantas al ser degradadas (García y Corzo, 2008).

La constante de velocidad de remoción de la DBO varía a medida que el agua residual pase a través del humedal, debido a que la DBO puede estar en forma soluble, coloidal o en forma de partículas suspendidas. Además, la remoción puede ocurrir por mecanismos aerobio/anóxicos/anaerobios y por floculación/sedimentación. Debido a que la respuesta al tratamiento decrece a medida que los contaminantes son removidos (Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 2003).

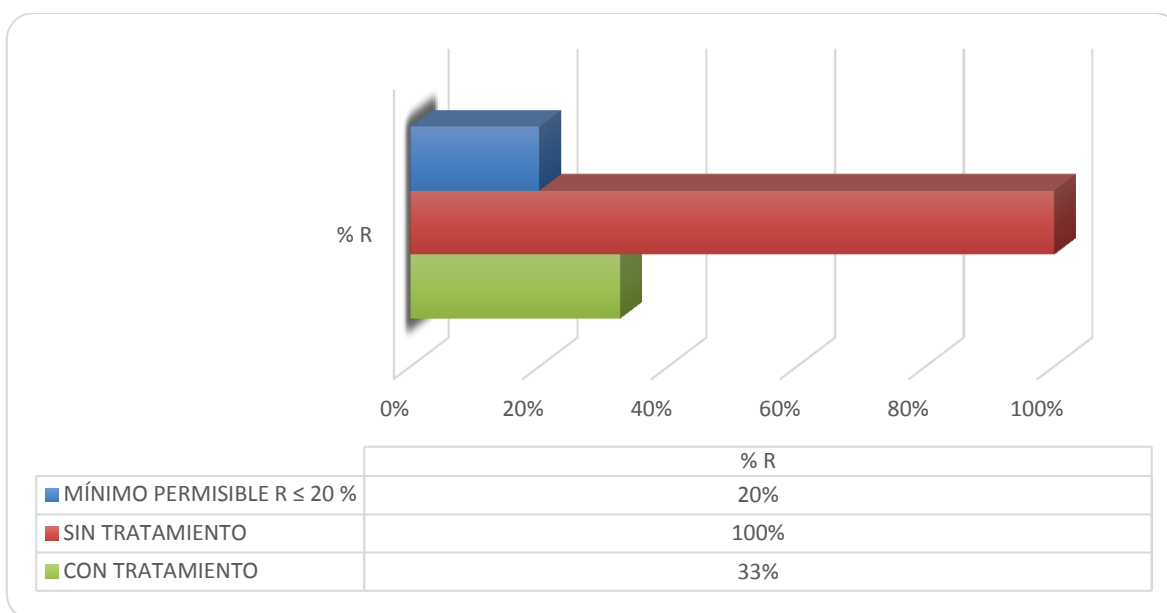
Los niveles altos de DBO, indican que el agua está contaminada y necesita un tratamiento para darle un uso. La contaminación del agua por materia orgánica causaría en las plantas, que estos contaminantes orgánicos se acumulen en las raíces o extremidades de los vegetales, y los afectados son los organismos que los ingieren directamente. Las deficiencias de oxígeno disuelto posibilitan el desprendimiento de hierro y manganeso y su disolución causando, posibles problemas en el tratamiento de aguas. El sabor y olor son también un riesgo en ausencia de oxígeno disuelto, a causa de la potencial producción de sulfuro de hidrogeno y otros compuestos de azufre. La putrefacción de la materia orgánica en el agua produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO) que causa graves daños a la flora y fauna acuática. El aumento de la DBO, al igual que la DQO ocasiona disminución del oxígeno disuelto, afectando la vida acuática. Es importante tener en cuenta las variaciones relativas de oxígeno ya que si estas variaciones son grandes es síntoma de que ha habido un aumento anormal de vegetales, materia orgánica, gérmenes aerobios, reductores anaerobios (Estándares de calidad ambiental de agua, 2006).

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La DQO o Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica e inorgánica oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación

orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos da una idea muy real del grado de toxicidad del vertido. Se entiende por demanda química de oxígeno (DQO), la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte (Caza, 2009). A continuación se muestra la Figura N° 16 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 16 – Porcentaje De Remoción D.Q.O. Con Tratamiento Vs Sin Tratamiento



Teniendo en cuenta la figura anterior, en la cual se especifica un cambio significativo en la demanda química de oxígeno y basándonos en el Decreto 1594 del 1984 el cual determina para este parámetro una disminución menor o igual al 20%, al realizar el análisis comparativo de entrada vs salida nos muestra una disminución de un 67 % en la carga química de oxígeno, esto probablemente se debe a la alta carga contaminante que producen este tipo de aguas residuales además de la magnitud en el espacio empleado para el sistema que intervino directamente en la demanda de oxígeno.

García (2013) asegura que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) está definida como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumido se expresa en términos de oxígeno equivalente. Debido a sus propiedades químicas únicas, el ión hexavalente ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) es el oxidante específico en este método. Para muestras de una fuente específica, puede relacionarse empíricamente la DQO con la DBO, carbón orgánico total, o materia orgánica. La evaluación de la DQO es sugerida dentro de los análisis de aguas, ya que sirve inicialmente como base para la estimación de la DBO; el parámetro puede dar información sobre el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de residuos industriales o domésticos, así como al estar correlacionado con otros parámetros de interés ambiental, puede proveerse como indicador de contaminación en fuentes de agua.

Los microorganismos en las condiciones de la medida de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), en presencia de oxígeno disuelto metabolizan las materias orgánicas biodegradables de las muestras a examinar, de procedencia urbana o industrial. Las reacciones bioquímicas de esta actividad metabólica se resumen en reacciones de síntesis de nuevos organismos, reacciones de producción de energía, para desarrollo de su actividad y reacciones de degradación de los propios microorganismos, consumiendo estas tres reacciones oxígeno, hasta que el sustrato disponible se agota, comenzando entonces la fase de metabolismo endógeno, caracterizado por un consumo mínimo de oxígeno. La DBO mide el consumo de oxígeno en una muestra causado por las reacciones indicadas (Caza, 2009).

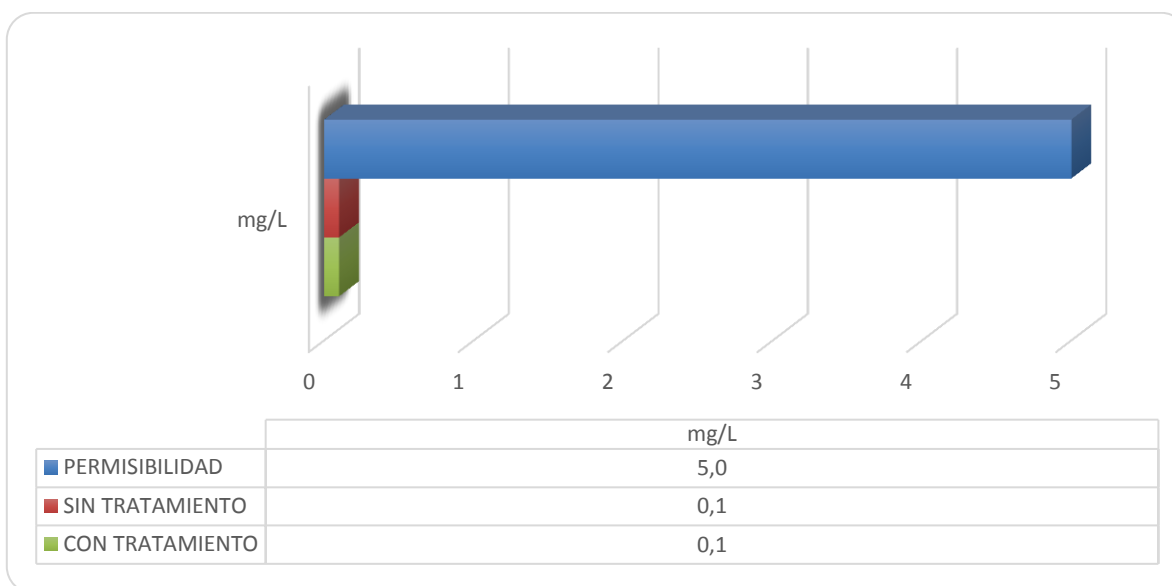
NITRATOS

El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas, se presenta generalmente a nivel de trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas. Se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales

domésticas, pero en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico desnitrificante, puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como N/L. El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos. Una concentración alta de nitratos es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. En las aguas de algunos pozos suele encontrarse cantidades apreciables de nitratos, lo que es objetable desde el punto de vista sanitario (Secretaría de Economía de México, 2001).

A continuación se muestra la Figura N° 17 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 17 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Nitratos



En cuanto a la carga de nitratos encontradas en estas aguas, la figura expresa un cumplimiento con la normatividad basados en la resolución 1209 del 2014 la cual establece como máximo permitido de estas aguas para riego de praderas que las concentraciones de este parámetro no sean superiores a 5.0 mg/L por lo tanto al realizar una comparación de entrada vs salida podemos

asegurar que estamos dando un cumplimiento a la norma y que la calidad de las aguas es óptima para su posterior aprovechamiento. Los niveles de nitratos en estas aguas se mantuvieron estables debido a que no se tenía certeza si el sistema podría degradar este tipo de parámetros razón por la cual no se incorporaron microorganismos específicos que ayudaran a mejorar la calidad de este parámetro se debe realizar un análisis más profundo en estudios posteriores que determinen la mejoría del mismo con la incorporación de nuevas alternativas microbiana.

En las aguas residuales, los nitratos se forman por oxidación bacteriana de la materia orgánica, principalmente la eliminada por los animales. En las aguas superficiales y subterráneas, la concentración de nitratos tiende a aumentar como consecuencia del incremento del uso de fertilizantes y del aumento de la población (Colprim, 2003).

Los nitratos se encuentran distribuidos en la litosfera en forma de sales sódicas y potásicas. Las concentraciones de los nitratos en aguas superficiales se deben a diferentes orígenes, se libera cuando la materia orgánica se descompone por las bacterias del suelo y por disolución de rocas y de efluentes industriales. Por otro lado, la principal fuente de nitratos es la agricultura, donde se utilizan como componente de abonos y fertilizantes nitrogenados. La presencia natural de nitratos y nitritos en el medio ambiente es una consecuencia del ciclo del nitrógeno, por lo tanto las alteraciones de este ciclo por causas antropogénicas o naturales, tendrán como resultado una modificación en la presencia y concentración de dichos iones en el ambiente (Estándares de Calidad Ambiental de Agua, 2006).

El Nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas y está presente en todos los vegetales y granos. Por ésta razón, el uso predominante de nitrato en la industria es como fertilizante. El nitrato-N es encontrado naturalmente en el suelo y agua, pero usualmente a relativas bajas concentraciones (menos de 4 mg/L en

agua). Sin embargo el nitrato es altamente soluble y es transportado fácilmente cuando fuentes contaminantes entran en contacto con el agua. Fuentes comunes de contaminación por nitrato incluyen sistemas sépticos, basureros, fertilizantes, estiércol, y material vegetal en descomposición. La precipitación o la irrigación va a percolar nitrato de estas fuentes. Cuando el agua se infiltra en la tierra y corre en la superficie, el nitrato es llevado a las aguas subterráneas y/o a las aguas superficiales. Porque el nitrato es fácilmente movilizadado en agua, es considerado a menudo un indicador temprano de que una fuente de contaminación está llegando al suministro de agua (Sigler y Baude, 2007).

En la degradación aeróbica, dos grupos de microorganismos participan en este proceso de degradación: aeróbicos quimioheterótrofos, oxidando compuestos orgánicos y liberando amonio; y aeróbicos quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato. El último proceso es llamado nitrificación. Sin embargo, debido a la tasa de metabolismo más alta, los heterótrofos son principalmente responsables para la remoción del material orgánico; por lo tanto, la presencia de oxígeno disuelto es un factor limitante (Delgadillo *et al.*, 2010).

La principal preocupación derivada de la presencia de nitratos en alimentos o en agua potable tiene dos motivos: por un lado, los efectos tóxicos producidos por un exceso de nitratos en la dieta; por otra parte, pueden causar la formación endógena de N-nitroso compuesto, de efectos cancerígenos (como las nitrosaminas). Los N-nitroso compuestos son agentes teratógenos, mutágenos y probables carcinógenos, altamente peligrosos para la salud humana. Se originan como consecuencia de la reacción de las aminas secundarias (aromáticas y alifáticas) con el ácido nitroso HONO (Almudena y Lizaso, 2001).

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados así como la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua. Generalmente los nitratos son solubles y nos e absorben a los componentes del suelo, por lo que son

inmovilizados con facilidad por las aguas superficiales y subterráneas (Albert, 2008).

El transporte de nitratos a través del perfil del suelo se encuentra influenciado, no solo por las propiedades del mismo y las dosis de fertilización, sino también por el tipo de cultivo y la aplicación de riego. En suelos con contenidos importantes de arenas finas o limos se evidenciaron las mayores pérdidas de nitrógeno bajo riego. Dada la relación entre el riego y el movimiento de los nitratos en el suelo, la eficiencia en el uso del agua de irrigación y del nitrógeno aplicado por fertilización adquiere gran relevancia, si se pretende realizar una producción sustentable (Estándares de Calidad Ambiental de Agua, 2006).

El nitrógeno más fácilmente asimilable se encuentra en forma de nitrato (NO_3^- -N) y de amonio (NH_4^+ -N). La forma más frecuente en las aguas de riego es, sin embargo, la de nitrato, mientras que en ellas, el nitrógeno en la forma de amonio es rara vez superior a 1 mg/l, a menos que contengan aguas residuales o fertilizantes que contienen nitrógeno amoniacal. El factor más importante para las plantas es el nitrógeno total, ya sea si su contenido se expresa en forma de nitrato, en forma de amonio o como nitrógeno orgánico. Los cultivos sensibles resultan afectados por concentraciones de nitrógeno superiores a 5 mg/l, mientras que la mayor parte de los otros cultivos no son afectados hasta que las concentraciones exceden de 30 mg/l (Estándares de Calidad Ambiental de Agua, 2006).

A elevadas concentraciones de nitrógeno el cultivo aumenta de tamaño, mientras que su azúcar disminuye en su contenido y pureza, los excesos de nitrógeno prolongan su periodo vegetativo al mismo tiempo que disminuyen su producción, como consecuencia las cosechas son menores y las frutas tienden una maduración tardía y menor contenido de azúcar. Las concentraciones excesivas de nitratos causan trastornos sanguíneos. Además, los altos niveles de nitratos y fosfatos en el agua estimulan el crecimiento de algas verde-azules, que

llevan a la desoxigenación (eutrofización), (Estándares de Calidad Ambiental de Agua, 2006).

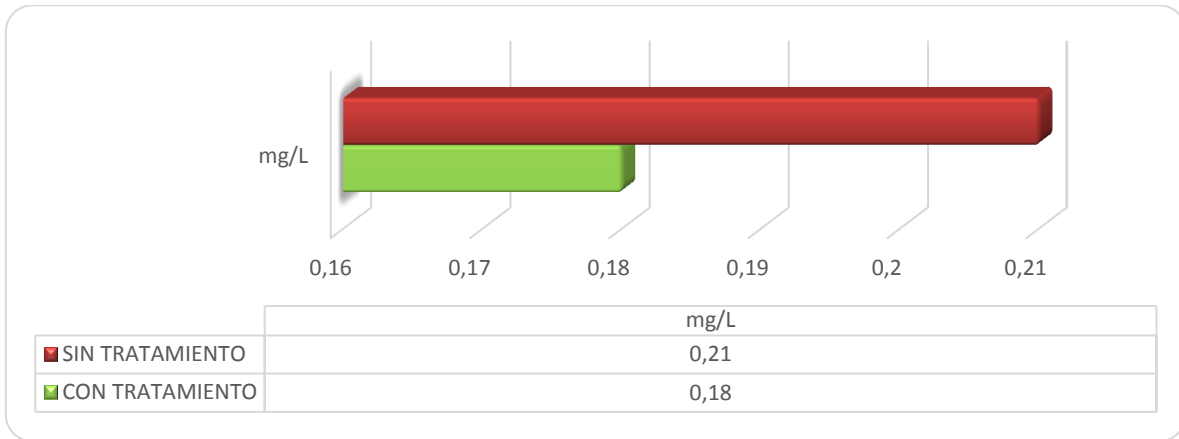
OXIGENO DISUELTO (OD)

Se define como oxígeno disuelto a la cantidad efectiva de oxígeno gaseoso (O₂) en el agua, expresada en términos de su presencia en el volumen de agua (miligramos de O, por litro) ó de su proporción en el agua saturada (porcentaje). La concentración de oxígeno disuelto es importante para evaluar la calidad del agua superficial y para el control del proceso de tratamiento de desechos. Es uno de los factores más asociados a la vida acuática, al incidir en casi todos los procesos químicos y biológicos; las condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) favorecen la diversidad de especies deseables como los peces (que en general pueden subsistir a concentraciones de OD superiores a 4 mg/l) (Guiza, 2011).

La medida de Oxígeno Disuelto puede usarse como indicador del grado de contaminación orgánica, de la tasa de degradación de sustancias orgánicas e inorgánicas susceptibles de ser oxidadas y de la capacidad de autodepuración de corrientes superficiales. Las descargas de vertimientos con alto contenido de materias orgánicas y nutrientes, conducen al descenso de la concentración de oxígeno, por el incremento de la demanda para su degradación. En los casos en que la reducción de los niveles de oxígeno es severa se llega a condiciones anaerobias (déficits de OD superiores a 40%), especialmente en las zonas más profundas del cauce (Guiza, 2011).

A continuación se muestra la Figura N° 18 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 18 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Oxígeno Disuelto



Este parámetro tan esencial para la vida acuática de invertebrados en el agua se ve disminuido como se expresa en la anterior figura debido a la serie de tratamientos que se le realizaron posterior a su evaluación principalmente en el proceso de biodigestión proceso en el cual el oxígeno disuelto baja su capacidad principalmente a la reacciones de oxidación, sedimentación y secuestro de materiales bioestabilización y floculación, además de gran cantidad de DBO y DQO que se requieren en estos procesos, las plantas macrófitas ayudan a mejorar este parámetro pero no es lo suficiente como para dejarlas en las condiciones inicialmente recibidas se cree que esto puede suceder a la limitación del espacio con el que se cuenta para su tratamiento. Por lo cual se observa una disminución significativa pero no relevante si lo evaluamos después de todos los procesos químicos por los que pasaron las aguas. Dentro de la reglamentación colombiana no se especifica un límite para este parámetro razón por la cual nos permite reutilizar y aprovechar las aguas en riego o en diversos servicios agroambientales.

Es el oxígeno que esta disuelto en el agua, esto se logra por la aireación y como un producto de desecho de la fotosíntesis. La solubilidad del oxígeno en agua depende, además de su presión parcial, de la temperatura. La concentración de oxígeno disuelto en las aguas naturales es crucial para los animales acuáticos que lo utilizan en la respiración. El oxígeno disuelto es necesario para la

respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que pueden estar presentes en la solución, viene acondicionada por los siguientes aspectos como solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera; temperatura, y pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.), (UNAD, 2000).

La velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en los meses de verano, debido a que el caudal de los cursos de agua es generalmente menor, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto (UNAD, 2000). Las deficiencias de oxígeno disuelto posibilitan el desprendimiento de hierro y manganeso y su disolución causando, posibles problemas en el tratamiento de aguas. El sabor y olor son también un riesgo en ausencia de oxígeno disuelto, a causa de la potencial producción de sulfuro de hidrogeno y otros compuestos de azufre. La putrefacción de la materia orgánica en el agua produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO) que causa graves daños a la flora y fauna acuática, pero que desaparece al término del proceso de putrefacción (UNAD, 2000).

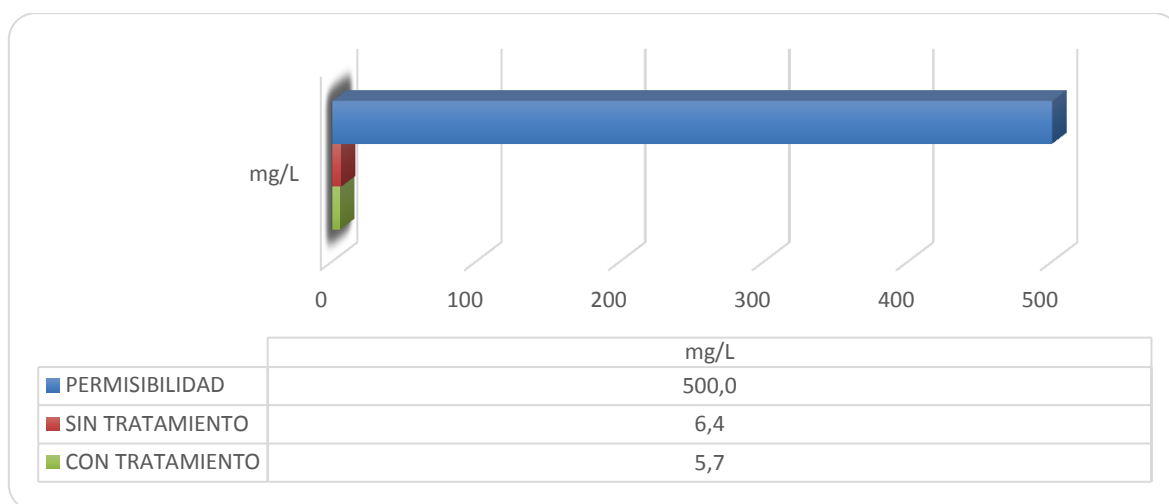
Las macrófitas modifican el ambiente físico y químico circundante durante el período fotosintético incrementando la temperatura, pH y oxígeno disuelto y durante el período oscuro elevan la conductividad y disminuyen la concentración de oxígeno. Las plantas flotantes realizan el intercambio gaseoso directamente con la atmósfera y en exceso de población no contribuyen a la oxigenación de las aguas en contacto ya que cuando la densidad de biomasa es grande, queda poca superficie de contacto con la atmósfera y la re aireación es menor; el oxígeno puede escasear y se facilita la degradación anaerobia de los lodos. Como

consecuencia de ello, se producen sulfhídrico y metano que provocan un efecto de gasificación de los sedimentos. Estos se movilizan y contribuyen a aumentar el Total de Sólidos Suspendidos y la Demanda Biológica de Oxígeno (UNAD, 2000).

SULFATOS

El origen de los sulfatos se debe fundamentalmente a la disolución de los yesos, dependiendo su concentración de los terrenos drenados. Se encuentra disuelto en las aguas debido a su estabilidad y resistencia a la reducción, aunque en agua pura se satura a unos 1500 ppm, como sulfato de calcio, la presencia de otras sales aumenta su solubilidad. Tiende a formar sales con los metales pesados disueltos en el agua, y debido a que el valor del producto de solubilidad de dichas sales es muy bajo, contribuye muy eficazmente a disminuir su toxicidad (Madueño, 2009). Los sulfatos son las sales o los esteres del ácido sulfúrico, estos contienen como unidad común un átomo de azufre en el centro del tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno; el ión de sulfato es uno de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de las aguas naturales (Madueño, 2009). A continuación se muestra la Figura N° 19 la cual ilustra los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos sobre la permisividad frente al agua con tratamiento y sin tratamiento.

Figura N° 19 – Tratamiento Vs Sin Tratamiento Sulfatos



En la figura se observa que según al Decreto 1594 de 1984, los límites máximos permitidos de Sulfatos en mg/L para aguas para riego es de 500,0 mg/L, y frente a los resultados la concentración inicial es de 6,4 mg/L y final es de 5,7 mg/L, lo cual demuestra que se cumple la permisibilidad exigida por la norma y este comportamiento lo atribuimos a que los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias, la razón por la cual hubo cierta disminución fue la implementación del Biodigestor en sistema, donde los microorganismos allí presentes actúan ejerciendo la anterior reducción; de igual manera lo afirma Madueño (2009), ya que aseguran que se puede formar sulfuro de hidrógeno (H₂S) al combinarse con el hidrógeno.

Por otro lado Valderrama (2005), afirman que los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200mg/l, afortunadamente estas concentraciones no son comunes. El sulfuro presenta riesgo de formación de gas sulfhídrico, el que en baja concentración genera olor desagradable y en alta concentración puede ser muy tóxico.

8.5. ANÁLISIS GENERAL DE LOS RESULTADOS

Los análisis fisicoquímicos realizados arrojaron una Efectividad Aproximada de 74% frente al cumplimiento del Decreto 1594 de 1984 y la Resolución 1207 del 2014 y una Efectividad de cambios significativos y positivos del Sistema de Biorremediación de un 87%, analizando los parametros evaluados positivos, frente a los parametros negativos, sobre el total de los parámetros analizados. De acuerdo a lo anterior, se propuso la reutilización de las aguas con fines agroambientales, como son el riego de praderas y maderables, aumentando así la materia orgánica, disminuyendo la erosión y ayudando a la formación de nuevo material vegetal; además de esto el agua tratada se empleó en el lavado de las cocheras disminuyendo la demanda de agua potable que se utilizaba semanalmente para tal fin, creando conciencia del reúso y dando cumplimiento al

artículo N° 5 de la Ley 373 de 1997 la cual se refiere a programas de uso eficiente y ahorro del agua, de la misma manera se logra cumplir con las normatividad referente a los límites establecidos en el agua para riego.

Teniendo en cuenta la efectividad expresada anteriormente, evidenciamos que en la implementación del sistema de Biorremediación se obtuvieron beneficios adicionales como son: el uso de los residuos provenientes de las podas mensuales que se le realizan a las plantas acuáticas contenidas en los tanques del sistema cuya finalidad es el proceso de captación de materiales contaminantes, con estos desechos en conjunto de los residuos obtenidos por los cribados, desechos vegetales de la finca, cal y EM se realiza la formación de pilas de compostaje transformándolo en un abono para los suelos.

Como valor adicional se tiene la producción de gas combustible a partir de desechos orgánicos transformados en el Biodigestor, por medio de reacciones químicas y biológicas se efectúa un proceso de fermentación, donde intervienen una serie de microorganismos anaeróbicos como son las bacterias hidrolíticas, que producen ácido acético, compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos policarbonados; las bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno; las homoacetogénicas que convierten una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o monocarbonados en ácido acético; y finalmente las metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de un 40 a 70 % de metano (CH₄), entre un 30 a 60 % de dióxido de carbono (CO₂), de 0 a 1 % de hidrógeno (H₂) y de 0 a 3 % de gas sulfhídrico, (FAO, 1995), esto ha generado gran aceptación en el productor, ya que la generación del biogás está siendo empleada para la regulación de la temperatura del establo de los cerdos y adicional a esto se emplea en la cocción de la dieta alternativa de los cerdos.

La producción del Biogás es constante y le permite al productor emplearlo por un espacio de dos a tres horas diarias, los siete días de la semana; lo cual

significa una disminución en los costos mensuales que el productor generaba y que ahora se emplean en otras actividades de bienestar familiar. Es energía alternativa que sustituye la energía eléctrica. Además de los beneficios ambientales que se generan al mitigar las fuentes de contaminación se observa la importancia de desarrollar prácticas agrícolas que estén en armonía con la comunidad y que empleen los recursos locales.

8.6. TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTOS

Una vez entendido el funcionamiento del sistema y al lograr la aceptación del mismo por parte del productor, se realizó una capacitación con su familia utilizando una herramienta denominada “Cuando Cuentas Cuencas”, propuesta por el Proyecto WET - UNESCO y del Programa Hidrológico Internacional (PHI) para América Latina y el Caribe (Rita y Ferrari, 2011), cuya misión es contribuir con los países de la región en el desarrollo, implementación y evaluación de un programa educativo en materia de agua. La metodología de esta herramienta tiene como finalidad generar conciencia sobre las fuentes hídricas presentes en la zona teniendo en cuenta, los beneficiarios del agua, los usos que se le administran y las ventajas y desventajas de un mal uso de la misma; esta actividad se realizó con 8 personas que conforman el núcleo familiar del productor, allí se dividieron en grupos de trabajo donde realizaron la construcción de modelos de fincas autosostenibles con el fin de resaltar la importancia del agua, el respeto hacia los recursos naturales y un aprovechamiento responsable de los mismos, generando de esta manera alternativas que ayuden a volver más eficientes los sistemas productivos y al mismo tiempo buscar soluciones a los impactos suscitados por el uso inadecuado de estos recursos.

Como resultado de esta actividad se obtuvo la participación activa de la comunidad, el entendimiento de la importancia del agua, de igual manera se les capacitó frente al mantenimiento del sistema y del cuidado que se le debe realizar, donde se explicó que la extracción de las plantas se debe realizar una vez al mes

y dejando la mitad de la superficie descubierta así como lo sugiere Chara (1995), estos desechos se mezclan junto a los otros desechos resultantes en la finca procediendo a la creación de los abonos, allí se aclaró que para una mejor y rápida descomposición de materia orgánica se debe adicionar melaza, expresando la importancia del Biodigestor en el sistema y las oportunidades y beneficios, finalmente se obtuvo la satisfacción de una labor social cumplida, al aportar a través del conocimiento soluciones de fácil aplicación que ayuden a mitigar los impactos ambientales generados como resultado de las actividades agrícolas y por el uso inadecuado de los recursos naturales.

9. CONCLUSIONES

- El biodigestor realiza una Biorremediación microbiana, la cual ayuda a eliminar no solo la materia orgánica que contiene el agua residual porcícola, sino también se encarga de degradar Sólidos Suspendidos y Sedimentables, ciertas cantidades de metales pesados y demás elementos saturados, además de estabilizar la demanda biológica y química de oxígeno (D.B.O Y D.Q.O).
- El sistema es efectivo en la reducción de Hierro y Zinc ya que los tres tipos de plantas emplean estos elementos como catalizadores en sus procesos fotosintéticos, regulando el consumo de Nitrógeno y ayudando en los procesos respiratorios.
- A pesar de que la Conductividad Eléctrica y los Cloruros que manejan las aguas del sistema son bastante altas, se observó un descenso en los resultados finales producto de la depuración de las aguas en su paso por el sistema y el caudal que se manejó en el mismo.
- Se observó un cambio significativo en la variación del pH, producto de su paso por el sistema, influyendo directamente en el resultado final de los parámetros obtenidos ya que muchos de los microorganismos y plantas requieren condiciones específicas para realizar su trabajo.
- La literatura recomienda la construcción de biodigestores máximo hasta 1800 msnm; sin embargo, se comprobó que es posible construir un sistema a 2700 msnm. Además, es una alternativa que contribuye a la depuración de aguas residuales porcícolas.

- El sistema permite un tratamiento de las aguas residuales porcícolas, disminuyendo las cargas contaminantes de las mismas y generando aguas aptas para riego de praderas y maderables.
- La generación de materia orgánica por parte del sistema nos permite incorporar alternativas agroecológicas de fácil replicación y de esta manera generar un beneficio adicional al productor.
- Se determinó que este tipo de proyectos generan un impacto positivo en la comunidad, demostrando así el interés por parte de productores de la zona en replicar este sistema de tratamiento de aguas residuales.

10.RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar estudios a las plantas fitorremediadoras que absorben y acumulan altas concentraciones de elementos contaminantes, ya que muchos de estos al ser reincorporados al ecosistema, pueden ocasionar problemáticas ambientales de contaminación.
- Es importante tener en cuenta que muchos de los elementos contaminantes son degradados totalmente, transformados o adquieren un proceso de transmutación ya sea por plantas o por microorganismos reduciéndolos a sustancias menos tóxicas.
- La Biorremediación es considerada una técnica con un excelente futuro, dentro de la biotecnología aplicada al medio ambiente, que con el pasar del tiempo cobrará una mayor importancia y, por lo tanto, se debe continuar esta línea de investigación, hasta lograr satisfacer las necesidades requeridas.
- Los estándares de calidad ambiental para riego de vegetales, servirán como un instrumento de gestión ambiental para garantizar no solo alimentos de calidad para la población, sino la conservación de los recursos hídricos en áreas de producción agrícola.
- Es importante seguir investigando este tipo de biotecnologías, con el fin de implementarla en producciones pecuarias que generen contaminación de aguas, buscando el aprovechamiento de los productos y subproductos generados por el sistema de tratamiento de aguas residuales en el mismo sistema productivo.

- Se debe tener en cuenta la calidad de los materiales, ya que este factor es fundamental en la durabilidad del sistema. A su vez, la disponibilidad de espacio es importante, ya que, la optimización del sistema es función del área disponible.
- Es importante y de especial cuidado, la selección de las plantas fitorremediadoras, ya que, deben ir en función del agua residual a tratar.
- Es indispensable manejar un caudal apropiado según el tipo de sistema, con el fin de evitar empozamientos y la reproducción de vectores nocivos para la salud de los productores.
- El tipo de aguas a tratar varía según la dieta alimenticia que cada productor maneja y el tipo de producción, por lo cual se recomienda hacer un estudio previo que facilite la aplicación de un modelo eficiente en la depuración de las aguas residuales.
- La mayor contribución al medio ambiente debe ser la de no contaminarlo, antes que biorremediarlo; por lo que se debe incentivar la innovación de procesos de producción menos contaminantes.
- El trabajo participativo entre productores y la academia es fundamental, ya que ayuda a mejorarlas condiciones del entorno y a minimizar el impacto en los agroecosistemas buscando la autosostenibilidad del mismo.

11. ANEXOS

Anexo N° 1 (Sistema de Biorremediación San Miguel de Sema)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2013

Anexo N° 2 (Ventajas y Desventajas de la Biorremediación)

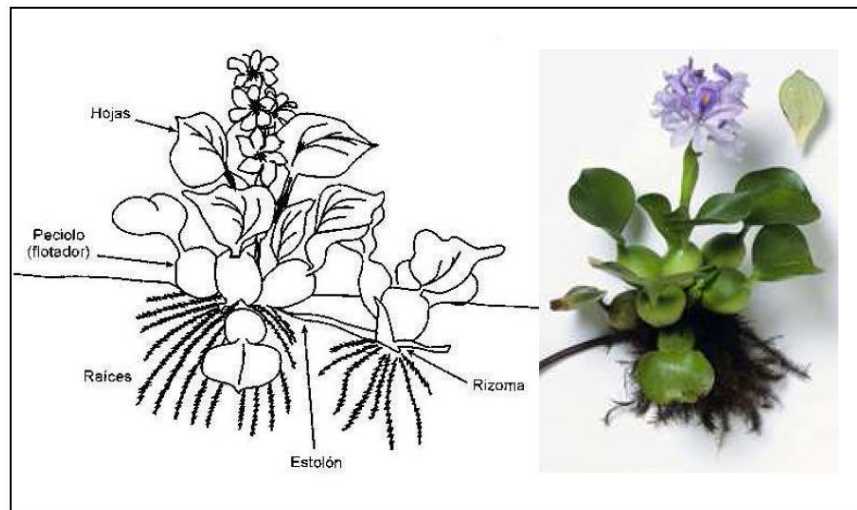
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ol style="list-style-type: none">1. Generalmente sólo origina cambios físicos menores sobre el medio.2. Cuando se usa correctamente no produce efectos adversos significativos.3. Puede ser útil para la descontaminación de aguas residuales.4. Ofrece una solución más simple y completa que las tecnologías mecánicas.5. Es menos costosa que otras tecnologías.	<ol style="list-style-type: none">1. Para muchos tipos de contaminante su efectividad no ha sido determinada.2. El tiempo necesario para actuación es a largo plazo.3. Su implementación es específica para cada lugar contaminado.4. Su optimización requiere información sustancial acerca del lugar contaminado y las características del vertido.5. La etapa limitante de la biodegradación o decodificación de la mayoría de compuestos en el medio ambiente se relacionan con la biodisponibilidad

Anexo N° 3 (Taxonomía buchón de agua “*Eichornia crassipes* L.”)

Reino	<i>Vegetal</i>
Clase	Liliopsida
Orden	Pontederiales
Familia	Pontederiaceae
Genero	<i>Eichornia</i>
Especie	<i>Crassipes</i>

Fuente: IFAS (1990).

Anexo N° 4 (Buchón de Agua y sus Estructuras)



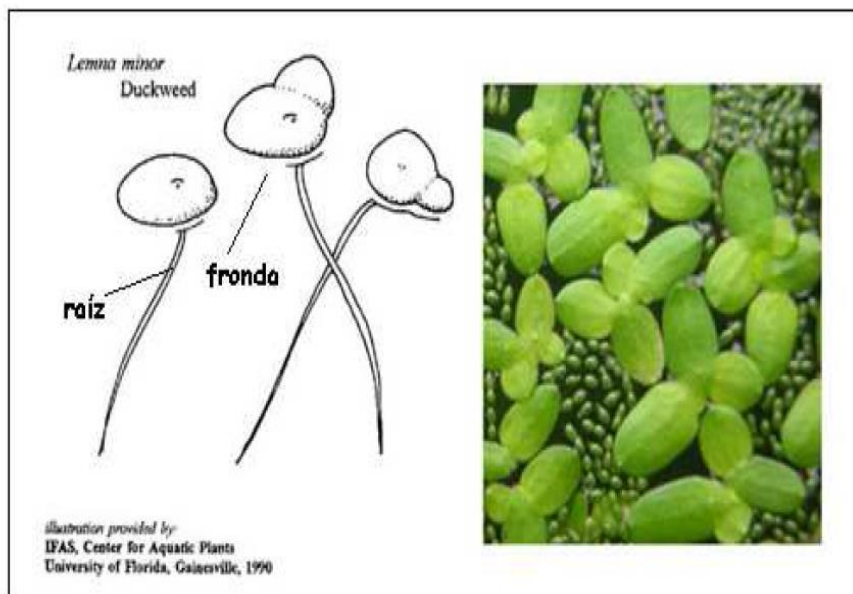
Fuente: IFAS (1990).

Anexo N° 5 (Taxonomía Lenteja de Agua “*Lemna minor* L.”)

<i>Reino</i>	<i>Vegetal</i>
<i>División</i>	Magnoliophyta
<i>Clase</i>	Liliopsida
<i>Orden</i>	Arales
<i>Familia</i>	Lemnaceae
<i>Genero</i>	<i>Lemnaminor.</i>

Fuente: IFAS (1990).

Anexo N° 6 (Lenteja de Agua y sus Estructuras)



Fuente: IFAS (1990).

Anexo N° 7 (Taxonomía Oreja de Ratón “*Salvinia Minima L.*”)

<i>Reino</i>	<i>Vegetal</i>
<i>División</i>	Pteridophyta
<i>Clase</i>	Polypodiopsida
<i>Orden</i>	Salviniales
<i>Familia</i>	Salviniaceae
<i>Genero</i>	<i>Salvinia</i>

Anexo N° 8 (*Salvinia Minima L.* y sus Estructuras)



Fuente: IFAS (1990).

Anexo N° 9 (Diagnóstico de la Zona)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2013

Anexo N° 10 (Reunión con Productor)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2014

Anexo N° 11 (Vinculación Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2014

Anexo N° 12 (Construcción Sistema Biorremediación)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2014

Anexo N° 13 (Técnico ANALQUIM)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 14 (Envases de Muestreo)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 15 (Equipos de Muestreo)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N°16 (Creación de Abonos)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 17 (Creación de Compostaje)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 18 (Biotransformación)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 19 (Biogás)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 20 (Biocombustión)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 21 (Biodigestor)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 22(Capacitación Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 23 (Capacitación Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 24 (Capacitación Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 25 (Capacitación Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 26(Actividad“Cuando Cuentas Cuencas” Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 27 (Actividad “Cuando Cuentas Cuencas” Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 28 (Actividad “Cuando Cuentas Cuencas” Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 29 (Actividad “Cuando Cuentas Cuencas” Vecinos y Familia)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 30 (Instalaciones Producción Porcícola)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 31 (Lavado Sistema Porcícola)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 32 (Llenado de Cajas de Inspección)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 33 (Caja de Inspección)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 34 (Biodigestor Construcción)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 35 (Materiales)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 36 (Calefacción de Lechones)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 37 (Tanques de Recepción de Agua)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

Anexo N° 38 (Sistema de Biorremediación)



Fuente: Martínez, Murcia y Suarez 2015

12. BIBLIOGRAFÍA

1. ACUANOVEL., (2015). *La función del hierro en el acuario plantado plantas acuáticas, especies y cuidados*. Recuperado el 29 de Marzo del 2015 de: <http://aquanovel.com/antigua/hierro.htm>.
2. Agrotterra., (2012). *Microorganismos Efectivos (EM-1)*. Recuperado el 02 de Marzo de 2014 de: <http://agroterrasas.blogspot.com>
3. Albert., L. (2008). *Nitratos y Nitritos*.- pdf. Capítulo 17. México, México D.F.
4. Alcaldía de Ubaté. (2011). *Análisis de situación salud 2011*. Colombia, Ubaté. Recuperado el 20 de agosto de 2014 de: <http://www.ubate-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/35343366306331363034396662663332/microsoft-word-perfil-epidemiologico-2011-ubate-ultimo.pdf>
5. Almudena., A, Lizaso., J., (2010). *Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas*. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. Madrid, España.
6. Anderson., L., (2003). *A review of aquatic weed biology and management research conducted by the United States Department of Agricultura – Agricultural Research Service*. Pest Management Science 59. Estados Unidos, Chicago pag 801-813.
7. Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú (APROLAB), (2007). *Producción de Abono Orgánico con Microorganismos Eficaces EM-1*. Lima. 53 – 89 pp
8. Arce., A., Calderón., C., Tomasini., A., (2000). *Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua*. Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. México D.F. México.
9. Arias., J., (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association. Estados Unidos., Washington. 1265 pp.
10. Arias., S., Betancur., F., Gómez., G., Salazar., J., Hernández., M., (2010), *Fitorremediación con Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales Porcinas*. Artículo Científico del Informador Técnico (Colombia) Vol 74., 12 – 22 pp.

11. Arroyave., (2004). *Lenteja de agua (Lemna minor L.): ina planta acuática promisoría*. Revista EIA, ISSN 1794 – 1237. Escuela de ingeniería de Medellín. Revisado el 05 de Marzo del 2014 de: <http://revista.eia.edu.co/articulos1/3.pdf>
12. Asociación Colombiana de Porcicultores (2000). *Uso de la Porquinaza como fertilizante*. Cartilla. 56 – 65 pp.
13. Atlas & Bartha., (1992). *Parametros Fisico-Quimicos*: Recuperado el 03 de Abril del 2015: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-ph.pdf>.
14. Atlas R., y Unterman R., (1999). *Bioremediation. In: Demain AL & Davies JE (Eds) Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2nd ed (666-681 p), ASM Press, Washington D.C. 65 – 75 pp. Tomado de: (http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/fundamentos_%20biorremediacion.pdf)
15. Azorín A., y Sánchez C., (1994). *Métodos y Aplicaciones del Muestreo*, Editorial Limusa Madrid España. 45 – 78 pp.
16. Baker., P., (2010). *Oportunités abound in Anaerobic Digestion*. Waste Management World, enero-febrero, 16 – 18 pp.
17. Banco Mundial, (2007). Water and Sanitation Program (WSP), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosud), Unicef y Banco Interamericano para el Desarrollo (Bid), *Saneamiento para el desarrollo*. Conferencia Latinoamericana de Saneamiento, Cali.
18. Belmonte M., Rodríguez D.C., Hsieh Ch., Pozo G., Vidal G. (2008) *Estudios Preliminares de Trazabilidad a un Purín de Cerdo*. XXXI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Santiago, Chile, 87 – 95 pp.
19. Biorremediación., (2009). *La Biorremediación*. Recuperado el 02 de Marzo de 2014 de: www.biorremediacion.org.
20. British Columbia Ministry of Environment (2003). *Lands and Parks (BC MELP)*. Ambient Water Quality Guidelines for Chloride. 125 – 141 pp.
21. Bryman, A., (2008). *Métodos de investigación social* (Oxford, University Press), 5 – 21 pp.
22. California GraywaterStandards., (2005). *GraywaterSystemsFor Single FamilyDwellings*. Title 24, Part 5, California AdministrativeCode, Recuperado el 30 de Septiembre de: (URL:http://www.owue.water.ca.gov/docs/Revised_Graywater_Standards.pdf)

23. Campos., R., (1998). *Biomassa Fija: Reactores Anaerobios*. III Taller y Seminario Latinoamericano “Tratamiento de Anaerobio De Aguas residuales”, Montevideo – Uruguay, 169 – 184 pp.
24. Catalinas P., y Ortega E., (2002). *Reutilización de aguas residuales en España*. Informe no publicado.
25. Caza., C., (2009). *Reducción de la Demanda Química de Oxígeno el Agua de Formación del Terminal Petrolero de Bala o Mediante la Utilización de Bacterias para Evitar la Contaminación Ambiental*. Universidad Tecnológica Equinoccial. Ecuador., Quito. Pag 22.
26. Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente (2005). *Tecnología Sostenible para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Proyecto ASTEC SUCHER & HOLZER. Austria - Nicaragua. Managua: 43 – 57 pp.
27. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)., (2003). *Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Colombia*. Sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: realidad y potencial. Recuperado el 08 de octubre de 2013 de: (www.cepis.ops.oms.org).
28. Cerón., A y Rojas., P., (1995). *Uso de Macrófitas en Depuración de Aguas Residuales. Santiago de Cali, Colombia*, Trabajo de grado (Ingeniero Sanitario). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Programa académico de Ingeniería Sanitaria. 98 – 114 pp.
29. Chará, J., Pedraza, G., y Conde, N., (1999). *The productive water decontamination system: A tool for protecting water resources in the tropics. Aquaculture and Recycling Research Group*. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Investigaciones Ganaderas para el Desarrollo Rural Volume 11 – Number N° 1. 1 – 8 pp.
30. Chará, J., y Pedraza, G., (2002). *Instalación y mantenimiento de biodigestores plásticos*. En: Chará, J.D. (ed.). Biodigestores plásticos de flujo continuo, investigación y ransferencia en países tropicales. CIPAV, Cali, Colombia, 26-35 pp.
31. Chara., J., (1997). *Uso del Recurso Hídrico a Nivel Mundial y Perspectivas para su Manejo Sostenible*. En: Sabanas, Vegas y Palmares. El uso del agua en la Orinoquía Colombiana. Villavicencio: 319 – 332 pp.
32. Chara., J., (2007). *El Potencial de las Excretas Porcinas para uso Múltiple y los Sistemas de Descontaminación Productiva*. Recuperado el 10 de

Septiembre de 2014 de:
http://www.cipav.org.co/index.php?option=com_wrapper&Itemid=84.

33. Chujsol., (2009). *Microorganismos eficientes*. (En línea). Recuperado el 02 de Marzo de 2014 de: [www. Chujsol.com](http://www.Chujsol.com)
34. Cifuentes O., y Sartor A., (2012). *Propuesta de Ley Nacional para el Reúso de Aguas Residuales*. 18° Congreso Argentino de Saneamiento de Medio Ambiente. Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente. AIDIS Buenos Aires (2-14 pp).
35. Colprim., J., (2003). *Tratamiento de aguas industriales: Modelización de procesos biológicos en la depuración de aguas residuales*. Fundación Universitaria Iberoamericana, Barcelona, España.
36. Comunidad Andina., CAN.,(2005), *Indicadores De Los Aspectos Ambientales Del Desarrollo Sostenible.*, Manual de Estadísticas Ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra., 31 – 45 pp.
37. CONAGUA., (2009). *Cuánta agua tiene el planeta*. Centro Virtual de Información del Agua. Recuperado el 27 de septiembre de 2013, de (<http://www.agua.org.mx/content/section/5/27>).
38. Concejo Argentino Para la Información y el desarrollo de la Biotecnología., (2008), *“El Cuaderno de Porque Biotecnología”*. De Argenbio. Boletín Docente
39. Concha., D., (2010). *Asistencia Técnica para el Control de Macrófitas: Mejora de la Gestión de los Embalses del Bajo Ebro*. URS (United Research Services España, S.L. - Sociedad Unipersonal). España.
40. Consejo Nacional de Política Económica y Social., (2002). *Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales*. Documento CONPES 3177. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, D.C.
41. Consejo Nacional de Política Económica y Social., (2006). *Estrategia para el Manejo Ambiental de la Cuenca Ubaté - Suárez*. Documento CONPES 3451. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, D.C.
42. Constitución Política Nacional., (1991). *Normatividad Ambiental y Sanitaria*. Recuperado el 20 de noviembre de 2013 de: <https://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=8etzX7tWLWk%3D&tabid=273>
43. Cook J., y Westlake., (1972). *Microbial Utilization of Crude Oil*. Appl. Microbial. B.W.S. 23(6): 11082-1089.

44. Cookson J., (1995). *Biorremediation Engineering*. Madrid. Mc Graw Hill. 4 – 55 pp.
45. Córdoba A., (2010), *Tratamiento de agua residual domesticas mejorando las características de vertimiento final: Evaluación de los microorganismos eficientes (EM)*. CO. (En línea). Recuperado el 02 de Marzo de 2014 de: www.grupoprotech.net/publicacion/informefinal.html
46. Corporación Autónoma Regional (CAR)., (2006). POMCA. *Diagnostico Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica de los Ríos Ubate y Suarez*. Revisado el 14 de Agosto del 2013, de: <http://www.ikongroup.net/ubate/FSCCommand/pomcadoc.pdf>.
47. Cortón E., y Viale A., (2006). *Solucionando grandes problemas ambientales con la ayuda de pequeños amigos: las técnicas de Biorremediación*. Ecosistemas. Recuperado el 24 de septiembre de: (URL: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=446&Id_Categoria=4&tipo=portada).
48. Cusato R., (2002). *Biorremediación De Aguas Y Suelos*. Facultad de Agronomía de la Universidad de Los Andes y L. Valiente y M. Puelles (CEQUIPE – INTI). 119 – 145 pp.
49. DANE., (2005). *Boletín Censo General Perfil Ubate Cundinamarca*. Recuperado el 25 de agosto de 2013 de: http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/25843T7T000.PDF
50. Defensoría del Pueblo., (2000). *Diagnóstico Sobre la Calidad del Agua para el Consumo Humano en Colombia, en el Marco del Derecho Humano al Agua*. Informe Defensorial No. 39 – B. Actualización del Informe Defensorial No. 39. recuperado el 16 de febrero de 2014 de: http://www.defensoria.org.co/pdf/informes/informe_116.pdf
51. Delgadillo., O., Camacho., A., Perez. ,L., Andrade., M., (2010). *Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales*. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Agronomía. Cochabamba, Bolivia.
52. Delgado H., y Perez W., (2010). *Biofiltros Domiciliarios. Filtros Biológicos para la Remoción de Nutrientes de Aguas Grises*. República de Nicaragua. Recuperado el 11 de Septiembre del 2013 de: <http://es.scribd.com/doc/185467557/Biofiltro>.

53. Departamento Nacional de Planeación., (2004). *Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia*. Versión Final. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Departamento Nacional de Planeación.
54. Díaz., E., Kreling., J., Botero., R., Murillo, J., (2007). *Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales*. Tierra tropical, Costa Rica: Universidad Earth. N° 3, V.2, 149-160 pp.
55. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico., (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Ras*. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C.
56. ENOHSA., (2003). *Guías para presentación de proyectos de Agua*. Criterios Básicos. Estudios preliminares para el diseño de obras. Capítulo 2. Buenos Aires (Argentina).
57. Ercoli E., (1996). *Et al 2º Simposio de Producción de Hidrocarburos*. Instituto Argentino del Petróleo. Mendoza Argentina. Tomo1 487-496 pp.
58. Estándares de Calidad Ambiental de Agua (2006). *Riego de Vegetales y Bebida de Animales*. Recuperado el 24 de abril de 2015 de: http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/16agua.html
59. Estándares de Calidad Ambiental de Agua., (2006). *Grupo N° 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales*. Recuperado el 24 de abril de 2015 de: <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Ba.htm>
60. Estándares de Calidad Ambiental de Agua., (2006). *Grupo N° 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales*. Revisado el 24 de abril de 2014 de http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0712101-075103/04ComponentesAguas06.pdf
61. Estándares De Calidad Ambiental De Agua., (2006). *Riego de Vegetales y Bebida de Animales*. Recuperado el 24 de abril de 2015 de: <http://www.prodigyweb.net.mx/bservin/gloters.htm>.
62. Estándares de Calidad Ambiental de Agua., (2006). *Riego de Vegetales y Bebida de Animales*. Recuperado el 23 de abril de 2014 de: <http://web.minambiente.gov.co/oau/nivel3.php?indicador=SSTPBic&observ=6>.
63. ETAP., (2010). *Aguas Residuales. (MOPT)*. Recuperado el 01 de Abril del 2015de: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/residuales.pdf>.

64. Etnier, C., y Guterstam, B., (1997). *Ingeniería Ecológica de Tratamiento de Aguas Residuales*. CRC Press Inc. Boca Raton, 451 pp.
65. Eweis J., et al., (2000). *Principios de Biorremediación*. Mc Graw Hill. Madrid. 12-13 pp.
66. Faisal, M., y Hasnain, S., (2003). *Synergistic removal of Cr (VI) by EichorniacrassipesL. in conjunction with bacterial strains*. Pakistan. Journal of Biological Sciences. 6/3: 264 – 268 pp.
67. Fals Borda., et al., (1991). *Acción y conocimiento. Como romper el monopolio con investigación-acción participativa*. Santafé de Bogotá, Cinep, 10 – 17 pp.
68. FAO (1995). *Biodigestor de plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas*. Guatemala: CIPAV - Fundación Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, 17 – 29 pp.
69. FAO., (1990). *Agua y desarrollo agrícola sostenible. Una estrategia para la aplicación del Plan de Acción de Mar del Plata para el decenio de 1990*. Ciudad: Roma.
70. FAO., (1993). *Los Problemas Del Agua Y La Agricultura*. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Recuperado el 09 de marzo de 2013 de: <http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s09.htm>.
71. FAO., (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sois (GCES)*. Ciudad: Roma. Editorial: R. Roose. Bulletin Pédologique de la FAO No. 70.
72. FAO., (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Estudio FAO: Riego y drenaje. Recuperado el 11/04/2013 de: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s03.htm#efectos> de la agricultura en la calidad del agua.
73. FAO., (2000). *Sistema de Producción Animal Industrial*. Producción Porcina. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014 de: <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/indust/PigMatrix.htm>
74. FAO., (2007), *Irrigation and Drainage Papers, Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos Pag 22- 50*. Recuperado el 09 de marzo de 2013 de: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s03.htm>.
75. FAO., (2012). *Políticas Agroambientales En América Latina Y El Caribe*. Análisis de casos de Brasil, Chile, Colombia, México y Nicaragua.

76. FAO., (2003). *Rethinking the approach to groundwater and food security*. Ciudad: Roma. Editorial: AGL Water Publication No.24.
77. FAO/CEPE., (1995). *Legislation and Measures for the Solving of Environmental Problems Resulting from Agricultural Practices (With Particular Reference to Soil, Air and Water), Their Economic Consequences and Impact on Agrarian Structures and Farm Rationalization*. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, (CEPE) Y FAO. Ciudad: Naciones Unidas, Ginebra. Editorial: Agri/Agrarian Structures and Farm Rationalization Report No. 7.
78. Fernandez J., (2012), *El agua como fuente de conflictos*, UNESCO. Recuperado el 04 de abril de 2013 de: www.unesco.org/ny/phi/libros/conflictos.pdf.
79. Fernandez, M., (2012). *Validación De Los Ensayos De Alcalinidad, Cloruros Y Dureza En El Agua Tratada Y Cruda En La Planta De Tratamiento De Empocabal*. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías Escuela de Química Programa De Química Industrial Pereira.
80. Ferreira, L., y Amaral, L., (2003). *Partial characterization of the polluting load of swine wastewater treated with an integrated biodigestion system*. *Bioresour. Technol* 90(2):101 – 108 pp.
81. Freire., M., (2001), *Demanda Biológica De Oxígeno*. Calidad del agua. México, México D.F.
82. Frers C., (2008). *El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. *Consultor Ambiental*. Recuperado el 03 de Abril del 2015 de: <http://www.ecojoven.com/Ecologia/aresiduales.hl>.
83. Gallo., (2006), *Plantas De Tratamientos De Aguas Grises*. Universidad de Moron. Recuperado el 20 de Octubre del 2013 de: <https://docs.google.com/document/d/18Pv7yv1wDSwG1e4tuxZuxFOhLGBKYKiUQZ-OXO4Fbms/edit?copiedFromTrash>
84. Galvis A., (1986), *El Modelo SWMM y el Sistema de Drenaje Urbano*. XXXIX Congreso Nacional de la Asociación colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ACODAL. Manizales.
85. Garassini L., (1997). *Microbiología Agraria*. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 428 - 444 pp.
86. Garbisu C., et al, (2002). *Biorremediación y Ecología*. *Revista Ecosistemas* 2002/2003 España año XI N° 3/ 2002 Septiembre-Diciembre. 118 pp.

87. García L., (2009), *Aguas Residuales: Problemática Y Necesidad Para Un Desarrollo Sustentable*. Procesos Industriales, Comité Editorial: Revista VIRTUALPRO, ISSN 1900-6241 N° 86 (1-2 pp).
88. García L., y Carzo J., (2008). *Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM) sobre la calidad de un agua residual doméstica*. 78 – 89 pp.
89. García T., (2013), *La Agroecología: ciencia, enfoque y plataforma para su desarrollo rural sostenible y humano*. Revista “AGROECOLOGIA”, Ed. LAV.
90. García, R. (2000). Manual de prácticas de Laboratorio de Ingeniería Sanitaria. Aspectos Básicos de Aguas tratadas. México, México D.F.
91. García., J., Corzo., A, (2008). *Depuración con Humedales Construidos*. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. España, Madrid.
92. García., M., (2012). *Comparación y Evaluación de Tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*. Universidad Nacional De Ingeniería .Facultad De Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.
93. García., M., (2013). *Protocolo para la Determinación de DQO*. Universidad de la Guajira., Colombia, la Guajira.. Pag 3.
94. García., y Colaboradores., (2007), *Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por Pseudomonas spp y su efecto sobre el ciclo celular de Allium cepa*. Recuperado el 09 de marzo de 2013 de: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/rmv/v04n1/pdf/a04v4n1.pdf>.
95. Glazer A., y Nikaido H., (1995). *Microbial Biotech-nology: Fundamentals of Applied Microbiology*. W. H. Freeman and Company, New York. Tomado de: (http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/fundamentos_%20biorremediacio.pdf)
96. Glazer y Nikaido., (1995). *Biorremediación. Agua Residual y Aire*. (En línea). Recuperado el 02 de Marzo de 2014 de: [www. lenntech.com](http://www.lenntech.com).
97. Gómez C., (2000). *Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Laboratorio de Contaminación*. Gaceta, 310 – 318 pp.
98. González M., et al., (1990). *Propiedades Físicoquímicas De Suelos Y Aguas*. Instituto Geográfica Agustín Codazzi (IGAC) Subdirección Agrícola. Bogotá.

99. Guiza., Y., (2011). *Sistema de Indicadores Ambientales. Sistema de Información Ambiental de Colombia, SIAC*. Colombia, Bogotá D.C.
100. Guzmán., S., (2008). *Apuntes Sobre Consumo Energético de Biomasa*. Diplomado en Energía SNAP, Proyecto No. 003/2008, PROLEÑA Soluciones Energéticas Eficientes, La Paz, Bolivia: 19 – 27 pp.
101. Hahn W., et al., (1992). *Biological Treatment of Petroleum oily Sludges*. Society os Petroleum Engineers Inc. 519-528 pp.
102. Hallab N., (1995). *Surface Charge, Biofilm Composition and Cellular Morphology as Related to Cellular Adhesion to Biomaterials*. 81 – 84 pp.
103. Hilbert., A., (2003). *Manual para la Producción de Biogás*. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57 – 68 pp.
104. Hinostroza F., et al., (2000). *Estudio de síntesis de la yuca y su desarrollo agroindustrial en las principales zonas productivas del país. (Poligrafiado)*. Eds. 49. 46 – 58 pp.
105. Hodge D., et al., (1994). *Biofilter Treatment of Etanol Vapors*. Enviromental Progress. Vol. 13 No. 3.
106. Holmes J., (1997). *Biofilter Removal of VOCs and Toxics from Airborne Emissions: Desing Optimization*. ResearchNites. P.O. Box 2815, Sacramento CA 98512. No. 97-12 pp.
107. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Humedales Construidos., (2003). *Estados del arte I*. Recuperado el 10 de marzo de 2015 de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/ispjae/humedales2.pdf>
108. Jiménez., A., (2009). *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas*. Revista interdisciplinar de gestión ambiental, Vol. 2, N° 23, 12 -19 pp.
109. Kiely P. et al., (2011). *Anode microbial communities produced by changing from microbial fuel cell to microbial electrolysis cell operation using two different wastewaters*. Bioresource Technology, 388 – 394 pp.
110. Knapp R., et al., (1997). *In Situ Microbial Filters. Bioremediation Technologies P*. 1 - 4 pp.
111. Lara., J., (2009). *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*. Trabajo final (Titulo Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental). Universidad Politécnica de Cataluña. Instituto Catalán de

Tecnología, Barcelona, España. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014 de: <http://sites.google.com/site/humedalesartificiales/7-diseno-hidraulico>

112. Lasat, M., (2002). *Phytoextraction of toxic metals*. Journal of Environmental Quality 31: 109 – 120 pp.
113. Lelie D., et al (2002). *Biorremediación. Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*.Nº 61, España.
114. Leson G., et al., (1991). *Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology*. For VOC Emissions. Air & Waste Management Association. Vol. 41, No. 8. 1045-1054 pp.
115. Levin M., et al., (1997). *Biotratamiento de Residuos Tóxicos y Peligrosos*. Mc Graw Hill. 326-328 pp.
116. Levin M., y Gealt M., (1997). *Biotratamiento de Residuos Tóxicos y Peligrosos*.Visión general del Biotratamiento y su futuro. En: Levin M. A., Gealt M. A. Editors. McGraw Hill / Interamericana, Madrid, España. (1 – 19pp).
117. Lopera M, y Campos S., (2011). *Desarrollo de Capacidades en el Uso Seguro de Aguas Residuales para Agricultura*. Ciudad: Bogotá D.C. Recuperado el 11/04/2012 de: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/118/Colombia_Informe%20Nacional.pdf.
118. Lora F., (2000). *Técnicas de Defensa del Medio Ambiente*. Labor S.A. Madrid. 74 – 95 pp.
119. Lutz, P., (2009). *Producción de biogás a través de fermentación seca de biomasa: La solución para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos e industriales*. Documento Técnico. BEKON Energy Technologies GmbH & Co. KG., Landshut, Alemania, 9 – 22 pp.
120. Madigan, T., et al., (1998). *Biología de los Microorganismos*. Editorial Prentice may. Octava Edición, 505-652 pp.
121. MadueñoJ. y SalvadorC. (2009). *“Evaluación del uso de la Planta acuática Lemna minor L. para determinar la eficiencia remocional de nutrientes a escala reactor del efluente de la laguna Secundaria de la planta CITRAR” Tesis para Optar el Título Profesional*. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Pág. 123 – 125.

122. Mara D., (1996). *Waste stabilization ponds: effluent quality requirements and implications for process design*. *Wat. Sci. Tech.* 33(7), (23-31 pp).
123. Marchaim, U.,(1992). *Biogas processes for sustainable development*. *Agricultural Services Bulletin (FAO)*, no. 95, Rome, Italy, 233 - 256pp.
124. Marco A., Esplugas S., y Saum., G., (1997). *Tratamiento biológico de aguas residuales*. (*Revista Tecnología del Agua*, Marzo de 2000).
125. Márquez., K., (2005). *Estudio del tratamiento de lodos provenientes de pisciculturas mediante un sistema de digestión anaerobio*. Trabajo de Título (Licenciado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Ambiental). Universidad Católica de Temuco, Temuco: 51 – 62 pp.
126. Martel., J., Lara., B., (2012). *Macrófitas Flotantes en el Tratamiento de Aguas Residuales; Una Revisión del Estado del Arte*. *Ingeniería y Ciencia, Ing. Cienc.* ISSN 1794–9165. Volumen 8, numero 15., paginas 221–243.
127. Marty., B., (1984). *Microbiology of Anaerobic Digestion*. In: A.M. Bruce, A. Kouzeli-Katsiri y P.J. Newman. *Anaerobic digestion of sewage sludge and organic agricultural wastes*. Elsevier, New York.72 – 85 pp.
128. McCarty, P., (2001). *Anaerobic waste treatment fundamentals*. Part 1. *Chemistry and microbiology*. *Public Works*, N° 95, 123 – 126 pp.
129. McCaskey., A., (1990). *Microbiological and chemical pollution potential of swine waste*. In: *Memorias del Primer Ciclo Internacional de Conferencias sobre Manejo y Aprovechamiento de Estiércol de Cerdos*. CINVESTAV. Guadalajara, Jal., México. 12 – 32 pp.
130. Medio Ambiente., (2012). *El buchón de agua*. Recuperado el 05 de Maro del 2014 de: [http://medioambiente2012.webnode.es/biologia/buchon-de-agua-/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.](http://medioambiente2012.webnode.es/biologia/buchon-de-agua-/COOK,C.D.andB.J.GUT.1974.Waterplantsoftheworld:Amanualfortheidentificationofthegeneraoffreshwatermacrophytes.TheHague:Junk,560p)
131. Mejía., M., (1996). *Digestión Anaeróbica*. Folleto Técnico 1. Mérida, México: Universidad Autónoma de Yucatán, 73 – 88 pp.
132. Metecalf., y Eddy., (1995), *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*, 3 a., ed., Madrid, España, 45 – 61 pp.

133. Michael T., et al., (2000). *Biología de los microorganismos*. Prentice may. Octava Edición. 505-652 pp.
134. Microorganismos Efectivos., (2009). *El impacto ambiental de la actividad agroindustrial*. (En línea). Recuperado el 02 de Marzo de 2014 de: en: [www.agroforo.blogspot.com/... /El-impacto-ambiental-de-la-actividad](http://www.agroforo.blogspot.com/.../El-impacto-ambiental-de-la-actividad).
135. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural., (2011), *Desarrollo de Capacidades en el Uso Seguro de Aguas Residuales para Agricultura*. Recuperado el 20 de Octubre del 2013 de: http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/119/Colombia_Informe%20Nacional.pdf
136. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., DIARIO OFICIAL 49242., RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014.*
137. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., (2006). *Términos de Referencia, Sector de Infraestructura, Estudio de Impacto Ambiental, Construcción y Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*. Bogotá. Colombia. Recuperado el 16 de febrero de 2014 de: www.minambiente.gov.co/.../tdr_construccion_y_operacion_plantas_tratamiento.
138. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible., (2003). *Definición del Nivel de Complejidad y Evaluación de la Población, Dotación y la Demanda del Agua*. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Guía RAS N° 001. Bogotá D.C 2013. 17- 25 pp.
139. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de los Andes., (1998). *Manejo Integrado de Cuerpos de Agua Urbanos*. Bogotá D.C.
140. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Asociación Colombiana de Porcicultores., (2002). *Guía ambiental para el sector porcícola en Colombia*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014 de: <http://www.minambiente.gov.co/documentos/porc%C3%ADcola.pdf>
141. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., (2008). *Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia*. Departamento Nacional de Planeación. Op. Cit.
142. Ministerio de Medio Ambiente. (2002). *Guía para la Gestión, Manejo, Tratamiento y Deposición Final de las Aguas Residuales*. 64. (P. D. Impresión, &. A. Matta B., Edits.) Bogotá, Colombia: Fotolito América Ltda.

143. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). *Tasa retributiva. Decretos N° 3930 - 4728*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014 de: www.minambiente.gov.co
144. Ministerio del Medio Ambiente., (2002). *Guía Ambiental para el Subsector Porcícola*. Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), Asociación Colombiana de Porcicultores (ACP).Bogotá. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014 de: http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/AGRICOLA%20Y%20PECUARIO/Gu%C3%ADa%20Ambiental%20para%20el%20subsector%20Porc%C3%ADcola.pdf
145. Ministerio del Medio Ambiente., CRPML., ACP., (2003). *Nueva industria. Producción más limpia y competitividad*. 96 p. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014 de: www.minambiente.gov.co
146. Ministerio del Medio Ambiente., SAC., (2002). *Guía Ambiental para el Sector Porcícola*. Asociación Colombiana de porcicultores. 232 – 244 pp.
147. Montes A., (2009). *Análisis de la Contribución de los Sanitarios Secos al Saneamiento Básico Rural*. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales. Recuperado el 17 de Agosto del 2013 de: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/720/1/eam39.pdf>
148. Moreno., G., (2003). *Toxicología Ambiental*. Evaluación de riesgo para la salud humana. Editorial McGraw-Hill / Interamericana de España, Madrid, España.
149. Morgenroth.,et al., (1996). *Nutrient Limitation in a Compost Biofilter Degrading Hexane*. Journal of the Air & Waste Management Association. Vol 46. April. 300 – 308 pp.
150. Mueller T., (1996). *Química Inorgánica*. Editorial Reverté S.A. 312 pag. España.
151. Nagal G., (1997). *Controlling Emissions. Chemical Engineering*. The Odor Impact Model. Note-Book. Air & Waste Management Association. 125 – 131 pp.
152. Navas I., y Arciniegas J., (2008). *Estudio del Proceso de Elaboración del Yogurt Batido con Extracto Natural de Albahaca*. Universidad Industrial de Santander, 21 – 34 pp. Recuperado el 18 de Octubre del 2013 de: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/11634/2/126184.pdf>

153. Noyola R., (1997). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. En: Foro Internacional Comparación de dos Tecnologías en Aguas Residuales Domésticas para Municipalidades. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 40 p.
154. Olgúin E., Hernández E., y Ramos I., (2002). *The effect of both different light conditions and the pH value on the capacity of *Salvinia minima* L. Baker for removing cadmium, lead and chromium*. ActaBiotechnol.
155. Oñate et al., (2003). Citado por Daza M & Colaboradores (2011). *Selección de Sistemas Agroambientales con Mayor Potencial para la Aplicación de Compost Proveniente de Biorresiduos de PMRS en el Valle del Cauca*. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. 59 – 65 pp. Recuperado el 17 de Septiembre del 2013 de: http://ingenieria.uao.edu.co/gral/presentaciones_gral/sala_aprovechamiento/seleccion_sistemas_agroambientales_con_mayor_potencial_para_compost.pdf
156. Ordenanza Municipal para el Ahorro de Agua., (2005). *Grupo de trabajo Nueva Cultura del Agua “Xarxa de Citatats i Pobles capa a la Sostenibilitat”*. Diputació de Barcelona. Recuperado el 30 de Septiembre de: (URL: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8815/1/00.pdf>)
157. Paredes., D., Guerrero., J., Castaño., J., (2001). *Metodología para la Evaluación de la Calidad del Agua*. Scientia et technica, N° 5, pag 113-119.
158. Parpatiyar., (1996). *Treatment of trichloroethylene (TCE) in MembraneBiofilter*, Biotechnology and Bioengineering, Vol. 50. 57 – 66 pp.
159. Chará, J., y Pedraza, G., (1997). *Aspectos Tecnicos y Conceptuales en la Descontaminación Productiva De Aguas*. Es: Osorio, H., y Espinel, R., (eds) Memorias del V Seminario-Taller Internacional en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. CIPAV.Cali.
160. Pedraza., G. (1994). *Reciclaje del efluente de Origen animal con tres especies de plantas acuáticas*. Livestock Research for Rural Development. 671: 1 – 7 pp.
161. Piedrahita, D., (2000). *Elementos para una tecnología sobre producción de biogás*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 137 p.
162. Pierce D., y Turner K., (1990). *Economics resources and the environment*. John Hopkins Press, Washington D.C.

163. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia (PMAR)., (2003). *República de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial. Departamento Nacional de planeación*. Recuperado el 27 de Agosto del 2013 de: http://www.minvivienda.gov.co/Agua/Programas/Documents/PLAN_NACIONAL_DE_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf
164. PNUMA., (1991). *Freshwater Pollution*. UNEP/GEMS Environmental Library, N° 6. Nairobi.
165. PNUMA., (2000). *Diagnostico Regional sobre las Actividades Realizadas en Tierra que Afectan los Ambientes Marinos, Costeros y Dulceacuícolas Asociados en el Atlántico Sudoccidental Superior*. Informes y Estudios del Programa de Mares Regionales del PNUMA No. 170. 60 pp.
166. PNUMA., (2000). *Perspectivas del Medio Ambiente. América Latina y el Caribe*. GEO-ALC del PNUMA (Oficina Regional para América Latina y el Caribe), Costa Rica. 144 pp.
167. Ramón., J., Romero., L., Simanca., J., (2006). *Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo*. Revista Ambiental: Aire, Agua y Suelo. Vol. 1, 15 – 23 pp.
168. Red Nacional de Conservación de Suelos y Aguas., (2007). *El Recurso Agua. Facultad de Ciencia Agropecuarias*. Universidad Nacional. Medellín Colombia, Recuperado el 04 de Octubre de 2013 de: (<http://www.redaguas.edu.co/default.php?link=recursos&sub=agua>).
169. Reij M., et al., (1997). *Biofiltration of Air Containig Low Concentrations of Propene Using a Membrane Bioreactor*. American Chemical Society and American Institute of Chemical Engineers. Vol 13 P. 380-386.
170. Reinaga J., Atalaya A., Flores J., (2010). *Manual de elaboración de productos naturales para la fertilidad de suelos y control de plagas y enfermedades*. Experiencias en la zona biocultural subcentral Waca Playa, Tapacarí. Agroecología Universidad Cochabamba. Cochabamba. Bolivia. Recuperado el 15 de febrero de 2014 de: <http://www.agruco.org/bioandes/pdf/manual%20agroecologia.pdf>
171. Reitec, G. (2010). *Turbidez Aspectos Teóricos*. Recuperado el 24 de abril de 2015 de: <http://www.reitec.es/Pdf/agua05.pdf>.

172. Restrepo I., (1995). *Modelo Para Planeación De Inversiones En Agua Y Saneamiento Para Zona Rural De Cali*. Tesis de Maestría. Maestría en Ingeniería de Sistemas Universidad del Valle. Colombia.
173. Rica C., (2010). *Biorremediación Como Una Alternativa*. Universidad Complutense de Madrid, Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación, Departamento de Química Analítica, Facultad de ciencias exactas.
174. Rita., R y Ferrari.,B., (2011). *Cuando Cuentas Cuencas, Avances en Agua y Educación para las Américas y el Caribe*. UNESCO. Aqua-LAC - Vol. 3 - Nº 1. 60 – 67pp
175. Rodríguez R., (2008), *Reutilización de Aguas Grises. Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental. Seminario de Agua. Universidad Tecnológica Nacional*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires.
176. Rodríguez T., (2000). *Tratamiento biológico de aguas residuales*.(Revista Tecnología del Agua, Marzo).
177. Rodríguez, J., y Palma, J., (2000). *Valor nutritivo de la lenteja de agua (Lemna minor L.) y su posible uso en la alimentación animal*. Zootecnia Tropical. V 18. Nº 1. 210 – 222pp.
178. Rodríguez., Alba., y Colaboradores, (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Informes de Vigilancia Tecnológica (137 p). Madrid: CITME, CEIM, Comunidad de Madrid.
179. Romero J., (1996). *Acuaquímica: contaminación del agua*. Tratamiento de agua. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, CO. Editorial Presencia. 222- 226 pp.
180. Salazar., G., (1993). *Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación*. Guadalajara, Jalisco, México: SARH-INIFAP-CIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco, 15 p.
181. Sánchez G.,González E., Pérez A., y Olguín E., (2005). *Remoción de Pb (II) por Salvinia minima L. no viable en sistemas por lote*. En: Memorias del XI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Mérida, Yucatán, México.
182. Sánchez, G., Monroy, O., Gómez, J., Olguín E., (2008). *Assessment of the Hyperaccumulating Lead Capacity of Salvinia minima L. Using Bioadsorption and ntracellular Accumulation Factors*. Water Air Soil Pollut 194: 77–90 pp.

183. Santambrosio., E.,(2001), *Cátedra de biotecnología DBO*. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rosario. Rosario, Argentina.
184. Santana C., (2012). *Creer En Ubate Vale La Pena*. *Alcaldía Municipal de Ubate*. Recuperado el 25 de Agosto del 2013de: <http://www.ubate-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/36353439643834353439313862666138/plan-de-desarrollo.pdf>
185. Santana C., y Colaboradores., (2012). *Creer En Ubate Vale La Pena 2012-2015*. Alcaldía Municipal de Ubate. Cundinamarca.
186. Sawyer., C., Mccarty., P.,(2001), *Química para Ingeniería Ambiental*. 4a edición. Mc Graw Hill: Colombia., 586 pp.
187. Schutz J., (2004).*Importancia de las Plantas en el Acuario*. en (ref. 13). Recuperado el 03 de Abril del 2015de:<http://www.mascotasdigital.com/midiav2/2012/10/importancia-plantas>.
188. Secretaria de comercio y fomento industrial., DGN., (2000).*Análisis De Agua - Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método De Prueba* (Cancela A La Nmx-Aa- 007-1980). México., México D.F.
189. Secretaria de Economía Mexicana., (2001). *Análisis De Agua - Determinación de Turbiedad en Aguas Naturales, Residuales Y Residuales Tratadas - Método de Prueba* (Cancela A La Nmx-Aa-038-1981). México, México D.F.
190. Shareefdeen Z., et al., (1993). *Biofiltration of Metanol Vapor*. Biotechnology and Bioengineering, Editorial John Wiley & Sons, Inc. Vol. 41. 512 – 527 pp.
191. Sharma V., et al. (1997). *Ferrate (VI) Oxidation of Hydrogen Sulfide*.Environmental Science & Technology. Vol. 31. No. 9. 12 – 22 pp.
192. Sigler., A., Baude., J., (2007). *Educación en el Agua de pozo, Nitritos y Nitratos*. Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales. Montana. Estados Unidos.
193. Soubes., M., (1994). *Biología de la Digestión Anaerobia*. In: III Taller y Seminario Latinoamericano “Tratamiento de Aguas Residuales”. Montevideo, Uruguay. 136 - 148 pp.

194. Suárez., W., (2007). *Propuesta de un Plan De Manejo del Impacto Ambiental Ocasionado por plantas de Beneficio de Bovinos y Porcinos*. Especialista en planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. Bogotá.
195. Sztern., Daniel y Pravia Miguel A., (2003). *Manual Para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales y Procedimientos*. Recuperado el 14 de julio de 2014 de: www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf.
196. Taiganides, P.,(1994). *Reciclaje y manejo de excretas de ganado porcino: una perspectiva global y colombiana*. En: VII Congreso Nacional y III Congreso Internacional de Porcicultura. Universidad del Valle, Cali, Colombia. 20 – 52 pp.
197. Texto unificado de legislación ambiental SECUNDARIA (TULAS),, (2004). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98.
198. Torres E., (2009). *Propuesta de Gestión del Uso y Manejó de las Aguas de Rio la Vega de la Ciudad de Tunja Departamento de Boyacá*. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el: 10 de Septiembre del 2013de: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/721/1/eam40.pdf>
199. Torres P., y Rodríguez O., (2003). *Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: Influencia del medio de soporte (en línea)*. Cali, CO. Recuperado el 02 de Marzo de 2014 de: www.dpav.org.co/irrd17/cont1707.htm
200. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD (2000). *Utilización de macrófitas*. Recuperado el 24 de abril de 2014 de: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358022/contenidoLinea/5574696c697a616369c3b36e5f64655f6d616372c3b36669746173.PDF>.
201. URPA (2002). *Producción agropecuaria en el Departamento de Cundinamarca*. Gobernación de Cundinamarca.
202. VALDERRAMA L.T. (2005). "Evaluación del Efecto del Tratamiento con Plantas Acuáticas en la Remoción de Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas Residuales Domésticas". Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental – Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia. Pág.3-7.
203. Vázquez del mercado R., y Benítez S., (2011). *Avances en Agua y Educación para las Américas y el Caribe*. Aqua-LAC - Vol. 3 - Nº 1 . pp.

- 60 - 67. Recuperado el 15 de febrero de 2014 de:
http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/AquaLAC-Numero1-Vol3_-_pag_60_a_67_-_0411.pdf
204. Veenstra, S., y Alaerts G.,(1998). *Technology selection for pollution control*.En: Memorias Conferencia Internacional de Agua y Sostenibilidad. CINARA - Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. 67 – 88 pp.
205. Villamil., C., Duque., C., Caicedo., L., (2005). *Sistemas de Tratamiento para los Residuos de la Industria Porcícola*. ACP, Universidad Nacional, CORPOICA. 120 p.
206. Winker, M., (2005). *Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho*. Limusa México 15 – 43 pp.
207. Zaragoza (2005).*Calidad de Agua Potable*, editorial Acribia,N.F.GRAY, S.A.,España. Recuperado el 01 de Abril del 2015 de: <Http://www.abcagro.com/fertilizantes/quelatos.asp>.
208. Zayed, A., (1998). *Phytoaccumulation of trace elements by wetlands*. Journal of Environmental Quality. 27(3):715 – 721 pp (Abstract).