

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN POST TRATAMIENTO POR LAGUNA DE  
MADURACIÓN DE BAJO CALADO PARA EL EFLUENTE DE UN  
DIGESTOR ANAEROBIO DOMÉSTICO RURAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**ROSA NATHALI ROMERO NAVARRETE**  
rosa.romero01@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. ISAÍAS MARCELO MUÑOZ RODRÍGUEZ**  
marcelo.munoz@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL**  
marla.aldas@epn.edu.ec

**Quito, mayo 2017**

## DECLARACIÓN

Yo ROMERO NAVARRETE ROSA NATHALI, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

ROSA NATHALI ROMERO NAVARRETE

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por ROSA NATHALI ROMERO NAVARRETE, bajo mi supervisión.

---

Ing. Marcelo Muñoz Rodríguez  
DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. María Belén Aldás Sandoval  
CODIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTOS**

Para no dejar a nadie fuera he tomado un fragmento de la obra literaria de Ralf Isau, Círculo del Crepúsculo el Fuego Ultraterreno que pone en palabras el sentimiento que me embarga.

Tantas han sido las almas nobles que me han apoyado en mi camino, que me resulta difícil ahora recordar todos sus nombres. Siempre que había caído en desanimo había aparecido un rayo de luz, la mayoría de las veces en la figura de una buena persona. Por ellos y las personas como ellos es que he llegado donde estoy, con gran afecto les agradezco.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto de titulación a mis padres y familiares por todo su apoyo.

De una forma especial también quiero dedicar este trabajo a la persona que estuvo a mi lado de principio a fin durante la elaboración de este proyecto, aguantando y comprendiendo mi montaña rusa de emociones, dándome su mano y aliviando mis cargas.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIV
PRESENTACIÓN.....	XVI
CAPITULO 1 .....	1
<b>ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. ALCANCE .....</b>	<b>4</b>
CAPITULO 2 .....	6
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1. AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS RURALES .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2. IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL SANEAMIENTO EN EL ECUADOR.....</b>	<b>12</b>

<b>2.3. TIPOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1. TRATAMIENTOS PRELIMINARES .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.2. TRATAMIENTOS PRIMARIOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.3. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.4. TRATAMIENTOS TERCARIOS O AVANZADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.5. TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS POR DIGESTORES ANAEROBIOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.6. TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. ELIMINACIÓN DE PATÓGENOS POR RADIACIÓN SOLAR (FOTOINHIBICIÓN).....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.1. RADIACIÓN SOLAR .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2. EFECTOS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LAS BACTERIAS Y VIRUS .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.3. EFECTIVIDAD DE LA FOTOINHIBICIÓN.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5. LEGISLACIÓN ACERCA DEL SANEAMIENTO EN EL ECUADOR .....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.2. LEY ORGÁNICA DE SALUD.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.3. LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.4. LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.5. CODIFICACIÓN DE LA LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.6. CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN (COOTAD).....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.7. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA).....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.8. ACUERDO MINISTERIAL 061 – MINISTERIO DEL AMBIENTE.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPITULO 3 .....</b>	<b>32</b>

<b>METODOLOGÍA</b> .....	32
<b>3.1. AFLUENTE A LA LAGUNA DE MADURACIÓN DE BAJO CALADO</b> .....	32
<b>3.2. MUESTREO</b> .....	33
<b>3.3. MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS- QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS</b> .....	34
<b>3.4. DISEÑO DE LA LAGUNA</b> .....	35
<b>3.4.1. MODELO CINÉTICO</b> .....	35
<b>3.4.2. CAUDAL</b> .....	35
<b>3.4.3. CARGA ORGÁNICA SUPERFICIAL</b> .....	36
<b>3.4.4. CÁLCULOS</b> .....	36
<b>3.4.5. DIMENSIONAMIENTO</b> .....	38
<b>3.5. CONSTRUCCIÓN DE LA LAGUNA DE MADURACIÓN DE BAJO CALADO</b> 39	
<b>3.5.1. MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b> .....	39
<b>3.5.2. PROCESO</b> .....	40
<b>3.6. MONITOREO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LAGUNA</b> .....	41
<b>3.7. EFICIENCIA DE ELIMINACIÓN</b> .....	42
<b>3.8. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PROVOCADOS POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA LAGUNA DE BAJO CALADO</b> .....	42
<b>3.8.1. CALIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL</b> 43	
<b>3.8.2. CATEGORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES</b> .....	44
<b>CAPITULO 4</b> .....	45
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	45
<b>4.1. FUNCIONAMIENTO DE LA LAGUNA</b> .....	45
<b>4.2. EFICIENCIA DE ELIMINACIÓN</b> .....	47
<b>4.2.1. CALCULO DE EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN</b> .....	48



4.2.2. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE NORMAS .....	49
4.3. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES ....	50
4.4. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	52
CAPITULO 5 .....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
ANEXOS .....	62
ANEXO I.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LAS OBSERVACIONES DE LA LAGUNA DE MADURACIÓN DE BAJO CALADO.....	63
ANEXO II.- RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS ANÁLISIS DE COLIFORMES FECALES Y DQO .....	66
ANEXO III.- MATRICES CAUSA-EFECTO PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES .....	73

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. Esquema de los efluentes descargados en las aguas superficiales. ....	7
FIGURA 2.2. Mapa comparativo de las coberturas de alcantarillado por provincias.	11
FIGURA 2.3. Mapa de proporción de municipios que realizan procesos de tratamiento a las aguas residuales. ....	13
FIGURA 2.4. Etapas de la digestión anaerobia con flujo de energía. ....	15
FIGURA 2.5. Clasificación de los digestión anaerobia. ....	16
FIGURA 2.6. a) Modelo chino; b) indiano; c) horizontal .....	17
FIGURA 2.7. Esquema representativo del sistema de la laguna de maduración. ....	19
FIGURA 2.8. Valores de Producción de las algas.....	22
FIGURA 2.9. Absorción del espectro solar en diferentes longitudes de onda. ....	24
FIGURA 2.10. Secuencia del ADN normal y ADN modificado, dimerización. ....	25
FIGURA 3.1. Esquema de la laguna, vista superior y lateral. ....	39

## INDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 2.1 Contaminación de las aguas superficiales por descarga y ganado.....	9
IMAGEN 2.2 Laguna de alta tasa de algas. ....	21
IMAGEN 3.1. Salida de agua del Biodigestor anaerobio.....	32
IMAGEN 3.2. Salida de agua del Biodigestor anaerobio.....	33
IMAGEN 3.3. Entrada y salida de la laguna de maduración de bajo calado .....	34
IMAGEN 3.4. Envases y forma preservación de las muestras .....	34
IMAGEN 3.5. Limpieza del terreno.....	40

IMAGEN 3.6. Nivelación del terreno.....	40
IMAGEN 3.7. Laguna instalada con geomembrana, tuberías y pantallas .....	41
IMAGEN 4.1. Coloración rojiza del agua de la laguna. ....	45
IMAGEN 4.2. Coloración rojiza del agua de la laguna de Jipijapa .....	46
IMAGEN 4.3. Coloración verde del agua de la laguna .....	47

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 Agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica .....	8
TABLA 2.2 Composición de las aguas domésticas.....	10
TABLA 2.3 Características típicas de las lagunas de maduración. ....	18
TABLA 2.4. Características típicas de las lagunas de maduración de bajo calado... ..	20
TABLA 2.5. Características típicas de las lagunas de algas de alta tasa.....	22
TABLA 3.1. Criterios de puntuación de la Importancia y valores asignados. ....	44
TABLA 3.2. Relevancia del impacto evaluado.....	44
TABLA 4.1. Valores de las concentraciones de DQO y Coliformes Fecales, en el afluente y efluente de la laguna de maduración. ....	48
TABLA 4.2. Límite máximo permisible de descarga y uso del agua.....	50
TABLA 4.3. Factores Ambientales .....	51
TABLA 4.4. Impactos observados en el proyecto.....	52
TABLA 4.5. Detalle de costos de la implementación de la laguna de maduración....	53

## RESUMEN

El objetivo del siguiente proyecto fue la implementación de un post tratamiento mediante una laguna de maduración de bajo calado para el efluente de un digestor anaerobio doméstico rural, que trata aguas negras, situado en una residencial en el área rural, en la comunidad de Magnolia de la parroquia García Moreno del catón Cotacachi.

Se usó la concentración de coliformes fecales como indicador de contaminación por patógenos y la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como parámetros de evaluación cuyos valores fueron determinados por análisis de laboratorio.

La laguna de maduración fue diseñada en base a la carga orgánica superficial de 0.12 kgDBO5/m2día con un área superficial de 5 m<sup>2</sup>. Las mediciones de los parámetros fueron realizados a los 0,07 m y 0,15 m de calado con tiempos de residencia de 3 y 7 días respectivamente.

El digestor estuvo funcionando en la fase acidogénica, el sustrato que entraba a la laguna tenía una alta concentración de ácidos orgánicos y un pH bajo de 6,6, originando el crecimiento de bacterias fotosintéticas del azufre, dando una coloración rojiza a la laguna, que se corrigió elevando el pH con bicarbonato de sodio a 7,8 de esta manera la laguna, tomo la coloración verde típica.

Los resultados en cuanto a la eficiencia de eliminación de patógenos fueron del 99.99% para los dos tiempos de residencia, mientras que para la DQO se obtuvieron remociones de 34,5% para el tiempo de residencia de 3 días y 48,4% para el tiempo de residencia de 7 días.

El costo de la construcción de la laguna se estableció en 57\$.

La normativa vigente se consideró para determinar que el afluente de la laguna de maduración de bajo calado esté dentro del límite máximo permisible para el reúso en el sector agrícola, siendo su mayor concentración de coliformes fecales de 220 NMP/100ml.

Las lagunas de maduración de bajo calado son un tratamiento eficiente en la eliminación de patógenos con un 99,9%, de bajo costo, con impactos negativos al ambiente insignificantes.

## ABSTRACT

The objective of the project was wastewater treatment implementation with a low draft maturation lagoon for the effluent of a rural domestic anaerobic digester that treats black water.

The fecal coliforms concentration as indicator of pathogen contamination and the concentration of The Chemical Oxygen Demand (COD) were used within monitoring strategy.

The maturation lagoon was designed based on the superficial organic load of 0.12 kgDBO5 / m<sup>2</sup> with a surface area of 5 m<sup>2</sup>. Parameters were determinate at 0.07 m and 0.15 m draft with retention times of 3 and 7 days, respectively.

The digester was functioning in the acidogenic phase with low pH, causing the growth of photosynthetic bacteria of the sulfur, giving a reddish coloration to the lagoon. The pH raise with sodium bicarbonate to 7.8. To this way the lagoon take the typical green coloration.

The results of pathogens elimination efficiency were 99.99% for the two retention times, while for the COD removals of 34.5% were obtained for retention time of 3 days and 48.4% for retention time of 7 days.

The lagoon constructing cost was of \$ 57.

The affluent of the low draft maturation lagoon is within the maximum permissible limit, being its highest fecal coliform concentration of 220 MPN/ 100ml. The water can be reuse in agriculture for crops cooked before eating.

The lagoon is an efficient treatment in the elimination of pathogens with 99.9%, low cost, with insignificant negative impacts to the environment.

## PRESENTACIÓN

Este trabajo de implementación de una laguna de maduración de bajo calado como post tratamiento al efluente de un biodigestor anaerobio doméstico rural, tiene la siguiente estructura:

En el primer capítulo se presenta la introducción, justificación del proyecto, objetivos y alcance del mismo.

En segundo capítulo se presenta el fundamento teórico, contaminación de las aguas superficiales, importancia del tratamiento de aguas servidas, tipos de tratamientos de aguas servidas, fotoinhibición y la legislación en cuanto al saneamiento.

En el tercer capítulo, se describe la metodología usada en el presente proyecto para la caracterización del afluente, muestreos, modelos de análisis de los parámetros, diseño de la laguna, construcción, monitoreo y evaluación de impactos ambientales.

En el cuarto capítulo, se presentan los cálculos de diseño, el dimensionamiento de la laguna, los resultados de las observaciones y los análisis de laboratorio y discusión de los mismos.

Para finalizar, se exponen las conclusiones del proyecto y recomendaciones.



# CAPITULO 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico, es indispensable para el ser humano y los sistemas ecológicos. El consumo del recurso, va desde 5 litros/persona-día en áreas pobres a más de 400 litros/persona-día en países desarrollados y la demanda va en aumento rápidamente (PNUD, 2006). Más del 90% de la población mundial tiene acceso a fuentes mejoradas de agua potable, mientras que el resto de la población se abastece de las fuentes superficiales, subterráneas o no tiene ningún acceso a éstas. Se conoce que 8 de cada 10 personas que aún no tiene acceso a las fuentes mejoradas viven en las áreas rurales (OMS/UNICEF, 2015a).

El deterioro del abastecimiento de agua debido a la degradación de las fuentes ya sean superficiales o subterráneas por causas climáticas, deshielos, sequías, disminución de la capa forestal, cambios de uso del suelo, entre otros, provocan la disminución de la disponibilidad del agua para el uso (Shaxon y Barber, 2005). Además los asentamientos humanos, la industria, la agricultura, el turismo y la recreación, están provocando la pérdida paulatina de la calidad en el recurso hídrico (UNWATER, 2010).

Existen varias formas de tratar y recuperar el agua. Éstas se realizan dependiendo de la calidad en la que se encuentra y a la cuál se quiere llegar, ya sea para consumo humano, industria, recreación, agricultura o devolver el recurso al ecosistema en buenas condiciones para un futuro uso. El uso de las lagunas de estabilización como tratamiento de aguas servidas ha sido frecuente. En Estados Unidos constituyen uno de cada tres tratamientos más usados, con 7500 lagunas de tratamiento, Alemania posee 3000 y Francia 2500. Por otro lado, en Asia y Latinoamérica aún el uso es bajo y se espera que el número aumente (Mara, 2009).

En el Ecuador, el uso consuntivo del recurso hídrico es de un 80% por parte del sector agrícola, el 13% para consumo humano y el 7% por el sector industrial. Lo que significa una demanda de agua en promedio de 235 m<sup>3</sup>/habitante-día para consumo humano y 13.100 m<sup>3</sup>/ha-año para riego. De toda el agua usada apenas el 7% de ésta es tratada, por lo que vuelve en pésimas condiciones al ecosistema siendo una amenaza a las condiciones sanitarias y nutricionales del país. En las poblaciones de bajos recursos se tiene mayor afectación de enfermedades de origen hídrico (ECUADOR-CEPAL, 2012).

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La recuperación de los cuerpos de agua mediante diferentes métodos de tratamiento, ha llevado a estudios para determinar la forma más eficiente, rápida y económica de lograrlo. Las lagunas de estabilización, son una de las alternativas más prometedoras para cumplir con estos requerimientos; además de satisfacer las necesidades energéticas y de alimentación de la demanda actual (Oswald, 1995).

El estudio de las diferentes formas de tratamiento de efluentes antes de verterlos a los cuerpos de agua, es de vital importancia para mantener la calidad óptima del recurso esencial para la vida del ser humano y para el ecosistema, evitando problemas de salud en las comunidades del Ecuador (zonas rurales), tales como las comunidades de la zona de Intag, situadas en la provincia de Imbabura. En la parroquia García Moreno catón Cotacachi, no se tiene sistemas de saneamiento y el agua es descargada muchas veces afuera de las viviendas para llegar directamente al río, por riachuelos formados o arrastrados por escorrentía e infiltración. Por su carga de contaminantes, causan enfermedades hídricas (ECUADOR-CEPAL, 2012) al consumir esta agua. Las comunidades necesitan un tratamiento a estas aguas antes de su vertido al río. Las lagunas de maduración, tienen como objetivo la disminución de patógenos del agua; además son fáciles de instalar y tienen un costo bajo para el beneficio que se obtendría.

Las lagunas de estabilización, aprovechan las reacciones bilaterales entre las bacterias y las algas que usan la energía solar para producir oxígeno, que es

utilizado por las bacterias en la descomposición de la materia orgánica. Las algas se benefician mediante la utilización del CO<sub>2</sub> producido por la respiración bacteriana junto con los nutrientes liberados para derivar energía y fijar carbono para su crecimiento a través de la fotosíntesis (Polprasert y Kittipongvises, 2011).

En las lagunas de bajo calado, más conocidas como lagunas de maduración de alta tasa, se conocen rendimientos teórico-experimentales relativamente altos mayores al 70% en la disminución de patógenos y DQO. En el caso de estas lagunas, es necesario que el agua tenga procesos previos, por lo que se usa como complemento a la tecnología del biodigestor. Además del tratamiento de las aguas se obtiene una alta producción de algas y una remoción de nutrientes al cosechar las mismas (Jairo A., 2005). A estas algas posteriormente se le puede dar usos alimenticios o bioenergéticos (Mehrabadi et al., 2016).

En el ambiente se puede encontrar géneros de parásitos que coinciden con los encontrados en muestras fecales en diferentes concentraciones, por lo que se aísla a los patógenos para el ser humano (Juárez y Rajal, 2013). Se realiza una diferenciación para saber cuáles son introducidos en la descarga de aguas servidas a los ríos y determinar el tratamiento óptimo. Las coliformes fecales, representan de mejor manera la presencia de contaminación fecal, debido a que éstas se encuentran exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente (Campos, 2003) lo que denota una contaminación antrópica y su necesario tratamiento para disminuir la carga de patógenos.

Un estudio experimental se ha realizado acerca de las lagunas de estabilización de bajo calado, con áreas superficiales relativamente pequeñas de 0,8 m<sup>2</sup> y tiempos de residencia cortos menores a 1 día, con eficiencias de eliminación de patógenos considerablemente altos del 99,99% (Muñoz et al., 2006).

La luz solar, cumple una función muy importante en el tratamiento de aguas en una laguna de bajo calado (<0,45 m). La luz llega a toda la laguna, permitiendo que las reacciones fotosintéticas se realicen y se evite la fotoinhibición de patógenos (Kohn et al., 2016).

La laguna funciona como un reactor de flujo pistón. Las partículas del fluido pasan a través de la laguna y salen en el mismo orden en el que entraron, permaneciendo en el interior el mismo tiempo que el tiempo teórico con el que se modela la laguna (Metcalf y Eddy, 2003). Según el estudio de Muñoz (2006), el tiempo necesario para el proceso es de al menos 1 día. El rendimiento del proceso es directamente proporcional al tiempo en que el agua tenga contacto directo con la luz solar; por lo tanto a tiempos de residencia mayores, mayor eficiencia de eliminación tendrá la laguna.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Implementar un post tratamiento mediante una laguna de maduración de bajo calado para el efluente de un digestor anaerobio doméstico rural.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer las características físico-químicas del efluente del biodigestor anaerobio previo al tratamiento propuesto.
- Diseñar y optimizar una la laguna de maduración de bajo calado a través del tiempo de residencia y la evaluación de la eficiencia de DQO y coliformes fecales para el tratamiento del efluente del biodigestor.
- Comparar con la normativa el efluente del biodigestor y establecer su reúso.
- Identificar los impactos ambientales que provoca la laguna en la zona de influencia y establecer costos de implementación.

### **1.4. ALCANCE**

La comunidad Magnolia perteneciente a la parroquia de García Moreno, cantón Cotacachi, tiene una economía agropecuaria principalmente y turismo. Las personas

de este lugar como de muchos otros lugares en la zona toman el agua de tubería, agua de origen pluvial, almacenada en tanques donde se le realiza cloración para después ser distribuida. No se tiene un sistema de alcantarillado, ni de saneamiento por lo que algunos pobladores han optado por usar biodigestores para disminuir la carga orgánica descargada hacia el río y evitar la contaminación de éste, inicialmente con ayuda y asesoría del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) (Guachagmira, 2016), pero este tratamiento no es suficiente en la disminución de patógenos, por lo que es necesario un post tratamiento, como las lagunas de maduración de bajo calado que funcionan eficientemente para mejorar la calidad del agua del efluente del biodigestor anaerobio doméstico rural con tiempos de residencia relativamente cortos menores a 10 días son una buena opción.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES**

La contaminación de las aguas superficiales hace referencia a cambios de las características del agua que las vuelven no aptas para los diferentes usos, las causas pueden ser naturales o antrópicas (Torres et al., 2009).

La contaminación natural puede ser causada por el arrastre de material particulado y disuelto (Torres et al., 2009), eventos naturales como el vulcanismo que afectan directa o indirectamente a los cuerpos de agua.

La contaminación antrópica, como se puede observar en la Figura 2.1, está directamente relacionada a las actividades del ser humano. El vertimiento de aguas residuales, la disposición final de los residuos sólidos, agroquímicos y nutrientes que por escorrentía se desplazan hacia los cuerpos de agua (fertilizantes, plaguicidas). Como agentes potenciales de contaminación están principalmente las actividades industriales, asentamientos poblacionales y actividades agropecuarias (ECUADOR-CEPAL, 2012).

FIGURA 2.1. Esquema de los efluentes descargados en las aguas superficiales.



FUENTE: SENAGUA (2014)

La contaminación de las aguas superficiales por patógenos, es un problema de salud pública y de necesaria atención. Se llama patógenos, a los agentes biológicos como bacterias, helmintos, protozoos y virus que ocasionan enfermedades al ser humano (Campos, 2003). Determinadas enfermedades son causadas por patógenos específicos, algunos de ellos están enlistados en la Tabla 2.1. Como se puede observar, existen patógenos que pueden causar desde un malestar intestinal hasta una enfermedad crónica que necesita tratamiento urgente.

Estos patógenos, se encuentran en los animales de sangre caliente, como ganado y el mismo ser humano. Al poner en contacto las excretas de estos animales y al ser humano con el agua, se contamina de los patógenos contenidos en las excretas (Campos, 2003).

TABLA 2.1 Agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica.

Organismo	Enfermedad	Observación
<b>Bacteria</b> <i>Escherichia c.</i> <i>Legionella</i> <i>pneumophila</i> <i>Leptospira</i> <i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella</i> <i>Shigella</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Yersinia enterolítica</i>	Gastroenteritis Legionosis Leptodpirosis Fiebre tifoidea Salmonelosis Shigelosis Cólera Yersinosis	Diarrea Enfermedades respiratorias agudas Fiebre, enfermedad de Weil Fiebre alta, diarrea, úlceras intestinales Envenenamiento de alimentos Disentería bacilar Diarreas fuertes, deshidratación Diarrea
<b>Virus</b> <i>Adenovirus</i> <i>Enterovirus</i>  <i>Hepatitis A</i> <i>Agente Norwalk</i> <i>Reovirus</i> <i>Rotavirus</i>	Respiratorias Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis Hepatitis Gastroenteritis Gastroenteritis Gastroenteritis	Leptospirosis, fiebre Vómitos
<b>Protozoos</b> <i>Balantidium coli</i> <i>Cryptosporidium</i> <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i>	Balantidiasis Criptosporidiosis Amebiasis Giardiasis	Diarrea, disentería Diarrea Diarreas abscesos al hígado e intestino Diarrea, náuseas, indigestión
<b>Helminfos</b> <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Enterobius vericularis</i> <i>Fasciola hepática</i> <i>Hymenolepis nana</i> <i>Taenia saginata</i> <i>T. solium</i> <i>Trichuris trichiura</i>	Ascariasis Enterobiasis Fascioliasis Hymenlepiasis Teniasis Teniasis Trichuriasis	Infestación de gusanos Gusanos Gusanos Tenia enana Tenia (buey) Tenia (cerdo) Gusanos

FUENTE: Metcalf y Eddy (2003)

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)



La contaminación por patógenos, se produce por la evacuación directa o indirecta del agua de inodoros, letrinas, pozos ciegos, fosas sépticas, entre otras a las aguas superficiales. Las excretas de los animales asociadas a las actividades pecuarias, son arrastrados por escorrentía a los ríos en las grandes y pequeñas fincas como se observa en la Imagen 2.1.

IMAGEN 2.1 Contaminación de las aguas superficiales por descarga y ganado.



FUENTE: Veras (2015)

### **2.1.1. AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS RURALES**

Aguas servidas domésticas se denominan aquellas que provienen de las zonas residenciales (Metcalf y Eddy, 2003), hogares que usan el agua para limpieza (alimentos, habitaciones, vestimenta, higiene diaria), cocción de alimentos e inodoros. La diferencia con el área rural, es la cantidad de agua que se usa para cada actividad y la mezcla con otros productos ( Zhang et al., 2015). Las aguas residuales en zonas rurales tienen diferentes características que las aguas en las zonas urbanas como se observa en la Tabla 2.2, por lo que hay que tomar en cuenta

la diferenciada composición en el agua de descarga para el diseño de tratamientos (Li et al., 2011; Lutterbeck et al., 2017).

TABLA 2.2 Composición de las aguas domésticas.

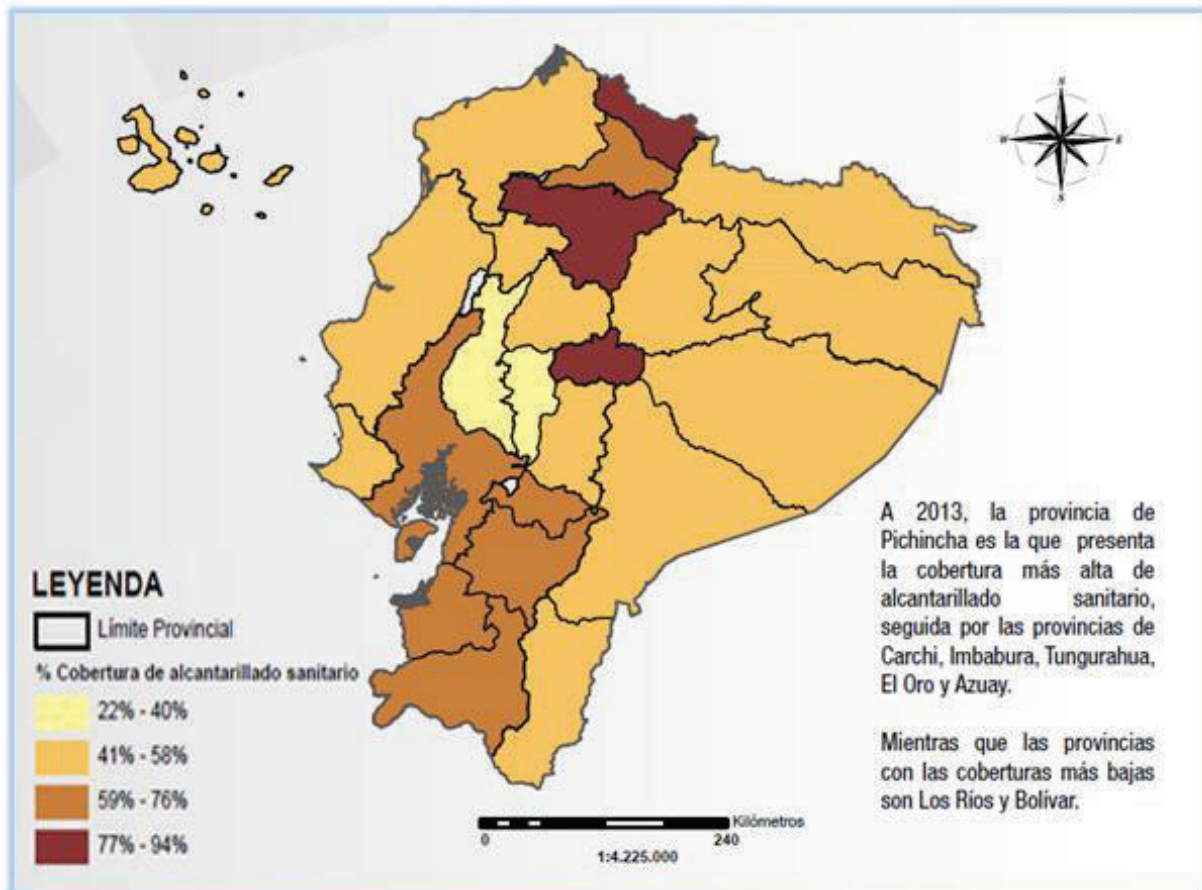
DESCRIPCIÓN	CONCENTRACIÓN (ml/L)	
	Típico domestico	Típico rural
<b>CONTAMINANTES</b>		
Sólidos sedimentables	10	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	500	500
Nitrógeno total	40	35
Fósforo Total	8	7
Cloruros	50	50
Sulfatos	35	30
Grasas y aceites	100	90
Compuestos orgánicos volátiles		100-400
Coliformes totales		$10^7$ - $10^8$
Coliformes fecales		$10^4$ - $10^5$

FUENTE: Taolongo. (2012)

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

Las zonas rurales en el Ecuador, representan el 37% de la población del territorio nacional (MIDUVI, 2015), A nivel nacional el 60% cuentan con alcantarillado por red pública concentrado en las zonas principales del país, como se ve en la Figura 2.2. En tanto que un total del 78.9% realizan una correcta eliminación de excretas por alcantarillado, fosas sépticas o pozo ciego en las zonas rurales (INEC, 2014), reduciendo problemas de sanidad en la población.

FIGURA 2.2. Mapa comparativo de las coberturas de alcantarillado por provincias.



FUENTE: SENPLADES (2014)

En las zonas rurales, predominan el uso de fosas sépticas o pozos ciegos siendo solo el 22,3% alcantarillado por red pública. Tanto agua tratada como no tratada es dispuesta en ríos, quebradas y en otros lugares como el suelo, lagos y lagunas (INEC, 2015).

El Ecuador cuenta con una gran extensión de aguas superficiales, donde en sus cercanías se han desarrollado varios poblados, que le han dado uso a este recurso de distintas formas (Acosta y Martínez, 2010). El agua es usada principalmente para el consumo agrícola en un 80% con un caudal concedido para riego de 13100 m<sup>3</sup>/ha-año, uso doméstico 13% y la industria 7% (ECUADOR-CEPAL, 2012).

Las poblaciones de las zonas rurales tienen acceso al agua por medio de una junta de agua que en un 31,1% se encarga de la gestión del recurso hídrico (INEC, 2015). Estas zonas tienen acceso al recurso por medio de tubería, previo a un tratamiento de desinfección, canales o toman el agua directamente del río para cubrir sus necesidades básicas.

## **2.2. IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS**

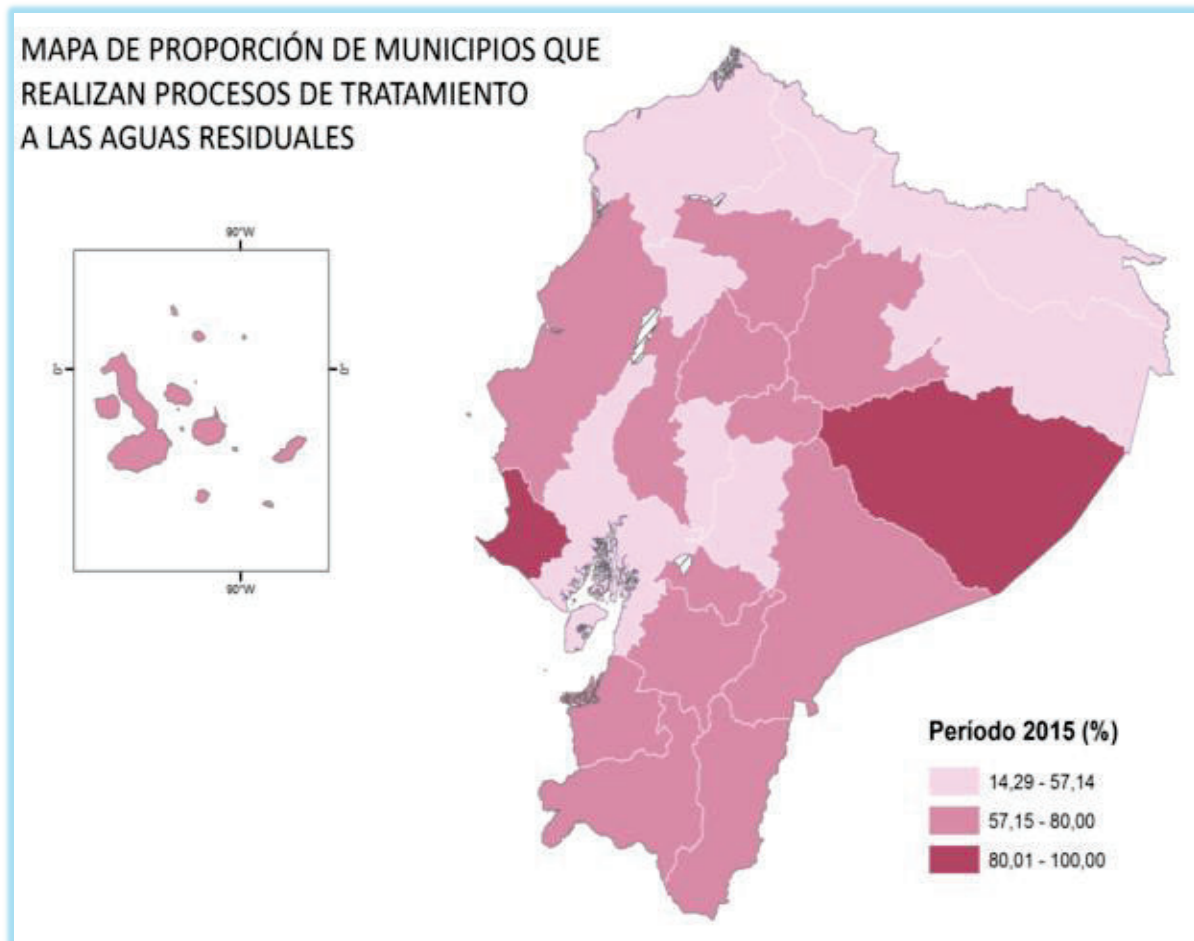
El agua es vital para los humanos y la vida en general. La cantidad de agua dulce en la Tierra, es limitada y su calidad está en constante degradación (Yakarta, 2010).

El desarrollo sostenible de las poblaciones se ve afectado por la contaminación de los recursos hídricos y la degradación asociada a ellos (ECUADOR-CEPAL, 2012). Existe una relación directa entre la pobreza, el acceso y saneamiento del agua (OMS/UNICEF, 2015; PNUD, 2006; UNWATER, 2010). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud y la UNICEF, alrededor de 1.000 niños menores de cinco años mueren a diario a causa de la diarrea causada por agua, saneamiento e higiene inadecuados.

### **2.2.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL SANEAMIENTO EN EL ECUADOR**

El tratamiento de las aguas servidas es algo poco común en el Ecuador, el cual se ha visto incrementado en los últimos años. Para el 2015 solo 133 de los GAD municipales realizó algún tipo de tratamiento, contando con 421 plantas de tratamiento de aguas residuales distribuidas como se muestra en la Figura 2.3, según el INEC, en Ecuador se tratan aproximadamente 128'643 251.40 metros cúbicos de agua residual (INEC, 2012).

FIGURA 2.3. Mapa de proporción de municipios que realizan procesos de tratamiento a las aguas residuales.



FUENTE: INEC (2015)

### 2.3. TIPOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS

El tratamiento de las aguas residuales, esta agrupado en cuatro categorías de tratamientos:

- Preliminares
- Primarios
- Secundarios
- Terciarios o avanzados

### **2.3.1. TRATAMIENTOS PRELIMINARES**

Proceso en la cual se elimina material suspendido grueso de las aguas residuales para evitar los problemas de mantenimiento y funcionamiento, y los más usados son: rejillas, tamices, trituradores, tanques de igualación y desarenadores (Metcalf y Eddy, 2003).

### **2.3.2. TRATAMIENTOS PRIMARIOS**

La función principal es la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual, a base de la sedimentación de partículas sedimentables o por flotación para grasas, éstas pueden realizarse a base de una sedimentación primaria, precipitación química (coagulación), flotación o por un tanque Imhoff (SENAGUA, 2014).

### **2.3.3. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS**

Su principal finalidad es la eliminación de la  $DBO_5$  soluble (SENAGUA, 2014), compuestos orgánicos biodegradables y eliminación de los sólidos en suspensión no removidos en procesos anteriores. Este proceso elimina alrededor del 85% de la DBO y en porciones muy bajas la remoción de nutrientes, metales pesados y patógenos (Metcalf y Eddy, 2003).

Entre los tratamientos secundarios están los procesos aerobios, que utilizan la materia orgánica como alimento para las bacterias en presencia de oxígeno disuelto en el agua como: ríos y riachuelos, lagunas facultativas, zanjas de oxidación, filtros percoladores y lodos activados (SENAGUA, 2014).

### **2.3.4. TRATAMIENTOS TERCIARIOS O AVANZADOS**

Los tratamientos avanzados se realizan en aguas residuales que necesitan una atención especial a sus constituyentes, que no fueron eliminados por procesos anteriores. (Metcalf y Eddy, 2003). En este grupo de constituyentes de difícil eliminación, se tienen a los metales pesados, fósforo, nitrógeno, DQO soluble, entre otros (SENAGUA, 2014). Los procesos avanzados eliminan compuestos específicos tales como los patógenos por lagunas de maduración.

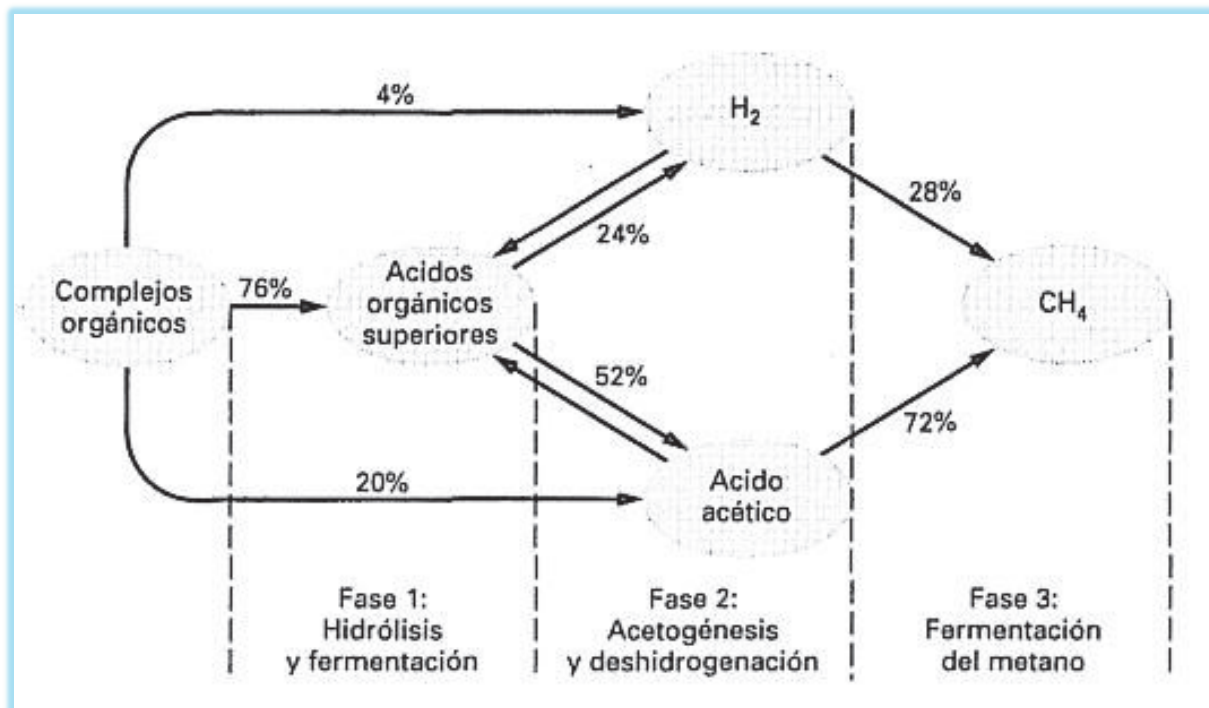


### 2.3.5. TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS POR DIGESTORES ANAEROBIOS

La digestión anaerobia es un proceso secundario en los sistemas de tratamiento de aguas servidas, donde se promueve la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno. La materia orgánica procesada es transformada a biogás mayormente compuesto por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Moletta et al., 2008; Yang et al., 2016) en un reactor cerrado completamente, con tiempos de residencia variados entre 5 – 60 días.

La descomposición de la materia orgánica se da en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis como se puede ver en la figura 2.4, por acción conjunta de diferentes microorganismos que se encargan de la hidrólisis, mientras que las bacterias fermentan los productos de la descomposición produciendo ácidos orgánicos (Metcalf y Eddy, 2003).

FIGURA 2.4. Etapas de la digestión anaerobia con flujo de energía.



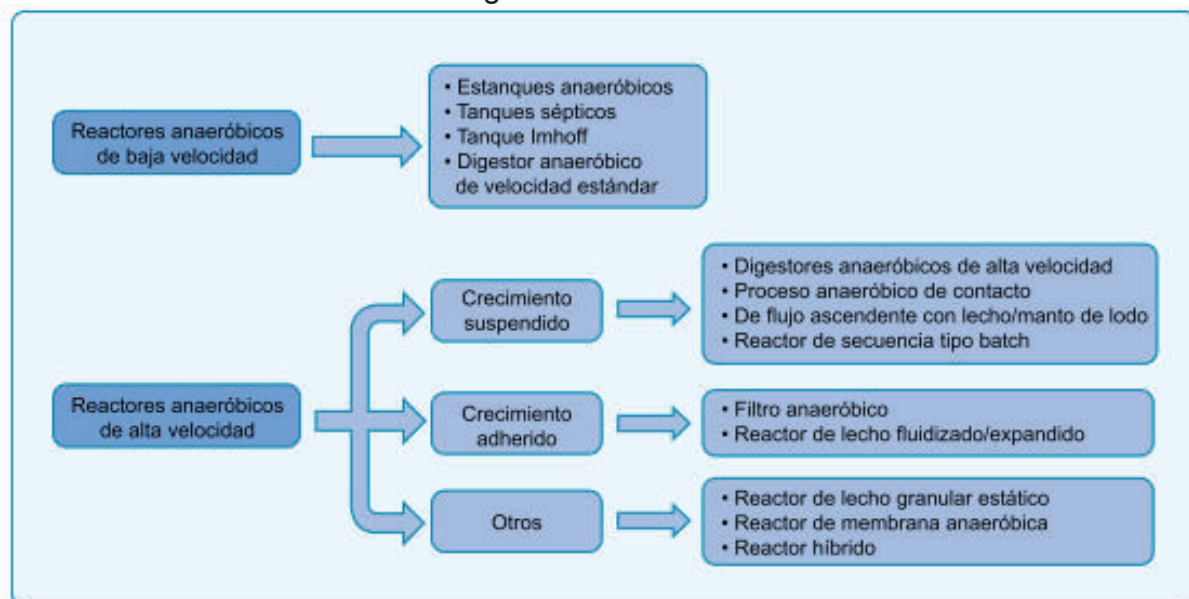
FUENTE:(Metcalf y Eddy, 2003)

Los digestores o biodigestores anaerobios se clasifican en digestores de alta tasa y baja tasa, como se muestra en la Figura 2.5. De acuerdo a las necesidades de

tratamiento, se realiza la elección del reactor que mejor se acomode al tratamiento; además de tener en cuenta el costo, el lugar y el espacio que necesita el reactor para funcionar adecuadamente (Varnero, 2011).

Por las diferentes investigaciones se tiene biodigestores cada vez más especializados para tareas específicas con altas eficiencias (Neumann y Jeison, 2015; Pubule et al., 2011; Soria Fregoso et al., 2000; H. Zhang et al., 2017; Zheng et al., 2016)

FIGURA 2.5. Clasificación de la digestión anaerobia.

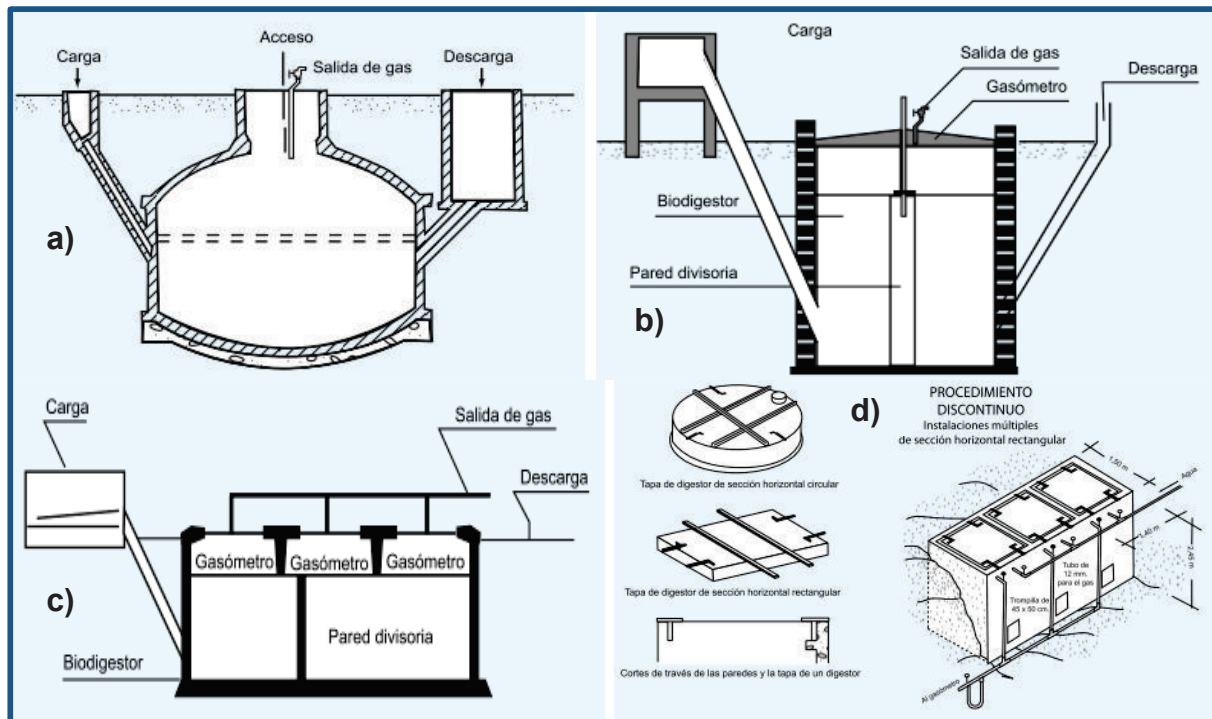


FUENTE: Varnero (2011)

Según la FAO (2011), los biodigestores más frecuentemente usados en las zonas rurales son los modelos chinos, modelos indios, horizontales y tipo batch o discontinuo mostrados en la Figura 2.6.



FIGURA 2.6. a) Modelo chino; b) indiano; c) horizontal; y d) tipo batch.



FUENTE: Varnero (2011)

### 2.3.6. TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Las lagunas de estabilización son el método más simple y eficaz para el tratamiento de aguas residuales, siendo el más rentable en la captura de energía solar, reciclado de agua y nutrientes además de ser amigable con el ambiente (Cubillos, 2001; Ghermandi y Fichtman, 2015; Oswald, 1995).

#### 2.3.6.1. LAGUNAS DE MADURACIÓN

Las lagunas de maduración son consideradas como un tratamiento avanzado, es decir la última etapa de un sistema de tratamiento (Cubillos, 2001), que recibe el efluente de tratamientos anteriores como de lagunas facultativas, biodigestores, entre otros. Las características típicas de estas lagunas, se muestran en la Tabla 2.3. Los principales mecanismos de eliminación son la inactivación de patógenos por luz ultravioleta (UV) y la sedimentación de los sólidos suspendidos en el estanque, pero además pueden eliminar  $DBO_5$  (Polprasert y Kittipongvises, 2011).

TABLA 2.3 Características típicas de las lagunas de maduración.

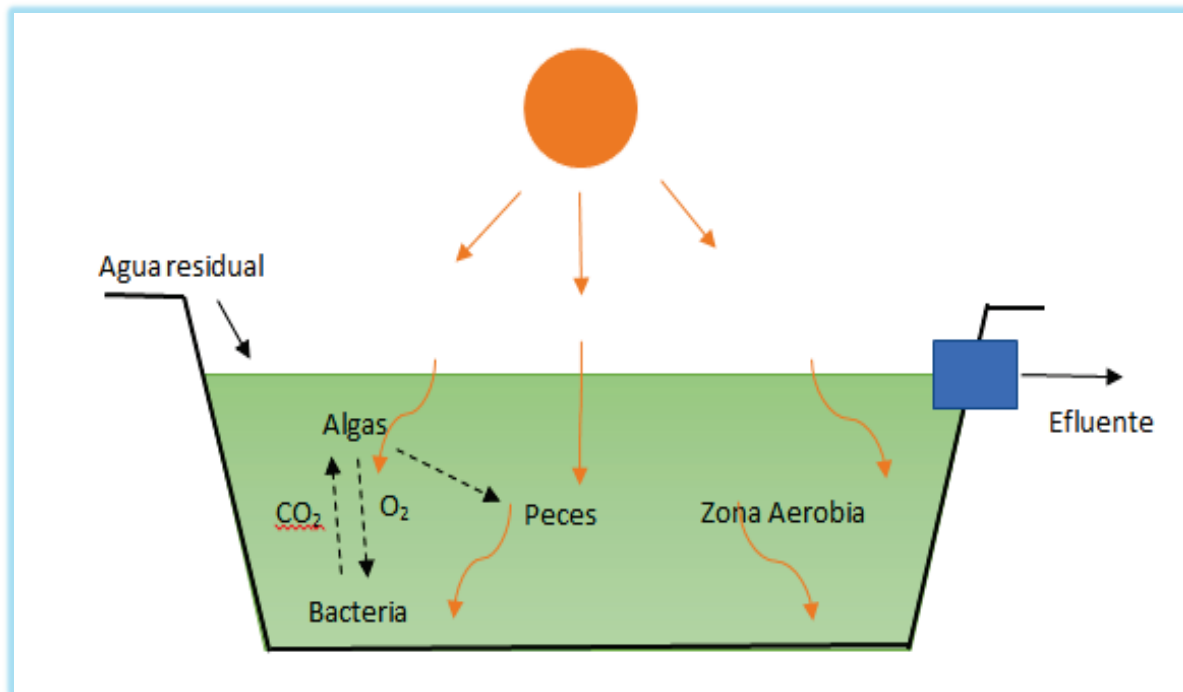
Parámetro	Valor
Área (ha)	0,8-4
Tiempo de residencia (días)	5-20
Profundidad (m)	0,3-1,2
Carga orgánica de entrada (kgDBO <sub>5</sub> /ha-d)	<170
Organismos responsables de la eliminación	Bacterias aerobias, bacterias facultativas y algas
Productos	Biomasa de Algas, CO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub>
Funciones principales	Postratamiento, eliminación de sólidos suspendidos, DBO <sub>5</sub> y patógenos

FUENTE: Jairo A. (2005); Polprasert y Kittipongvises (2011)

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

Estas lagunas son de bajas profundidades, menores a 1,2 m donde la luz solar incide sobre todo el cuerpo de agua como se puede ver en la Figura 2.7, con tiempos de residencia de 5 a 20 días y área superficial entre 0,8-4 ha. La degradación de la materia orgánica, se produce mediante la actividad de bacterias aerobias y facultativas entre las más representativas tenemos *Anabaena*, *Chlorella*, *Chlamydomonas* (Palmer, 1962). Las bacterias consumen el oxígeno producido por las algas verdes-azuladas, por lo que existe oxígeno disuelto (OD) en toda la masa de agua. En el día el OD, se encuentra saturado por la gran producción de éste. En la noche el OD disminuye debido a que por falta de luz solar no se puede hacer fotosíntesis y la biomasa de la laguna consume el OD disponible (Metcalf y Eddy, 2003; Polprasert y Kittipongvises, 2011).

FIGURA 2.7. Esquema representativo del sistema de la laguna de maduración.



FUENTE: Polprasert y Kittipongvises (2011)

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

### 2.3.6.2. LAGUNAS DE MADURACIÓN DE BAJO CALADO

Las lagunas de maduración de bajo calado, tienen profundidades menores a los 0,45 m, son una subdivisión de las lagunas de maduración, especializadas en la eliminación de patógenos por fotoinhibición gracias a la radiación solar. Sus características típicas son mostradas en la Tabla 2.4.

TABLA 2.4. Características típicas de las lagunas de maduración de bajo calado.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Tiempo de residencia (días)</b>	10-40
<b>Profundidad (m)</b>	<0,45
<b>Carga orgánica de entrada (kgDBO<sub>5</sub>/ha-d)</b>	<135
<b>Organismos responsables de la eliminación</b>	Bacterias aeróbicas, bacterias facultativas y algas verde azuladas
<b>Productos</b>	Biomasa de algas, CO <sub>2</sub> y bacterias
<b>Funciones principales</b>	Eliminación de patógenos

FUENTE: Jairo A. (2005)

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

La eficiencia de la eliminación de las lagunas de maduración, dependerá principalmente de factores ambientales y climatológicos y además de los procesos bioquímicos y el modelo de flujo (Dahl et al., 2017). Los factores climatológicos más importantes son la lluvia, nubosidad y radiación solar, siendo el último muy importante para la producción de oxígeno y la fotoinhibición de las bacterias. Además, los factores ambientales y bioquímicos juegan un rol importante, como la temperatura, el pH, la disminución de nutrientes; los cuales son necesarios para las bacterias asociadas a los procesos de tratamiento en la laguna.

Esta laguna tiene una menor estratificación horizontal, con una gran diversidad de algas.

### **2.3.6.3. LAGUNAS DE ALTA TASA (ALGAS)**

Son lagunas especializadas usadas para el tratamiento de aguas residuales y la producción de biomasa de algas.

Consisten en un canal continuo como se observa en la Imagen 2.2, equipado con un aireador de mezcla que recircula el contenido de la laguna. Se caracterizan por tener elevada relación de área/volumen mayor a 2/1, con profundidades menores a los 0,6 m para que la luz solar ingrese hasta la profundidad de la laguna. Son lagunas con

tiempos de residencia cortos y alta producción de algas como se muestra en la Tabla 2.5.

IMAGEN 2.2 Laguna de alta tasa de algas.



FUENTE: Polprasert y Kittipongvises (2011)

TABLA 2.5. Características típicas de las lagunas de algas de alta tasa.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Relación longitud/anchura</b>	>2:1
<b>Tiempo de residencia (días)</b>	1,5-8
<b>Profundidad (m)</b>	0,2-0,6
<b>Carga orgánica de entrada (kgDBO<sub>5</sub>/ha-d)</b>	100-200
<b>Organismos responsables de la eliminación</b>	Bacterias aeróbicas y algas
<b>Productos</b>	Biomasa de algas
<b>Funciones principales</b>	Disminución de DBO <sub>5</sub>

FUENTE: Polprasert y Kittipongvises (2011)

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

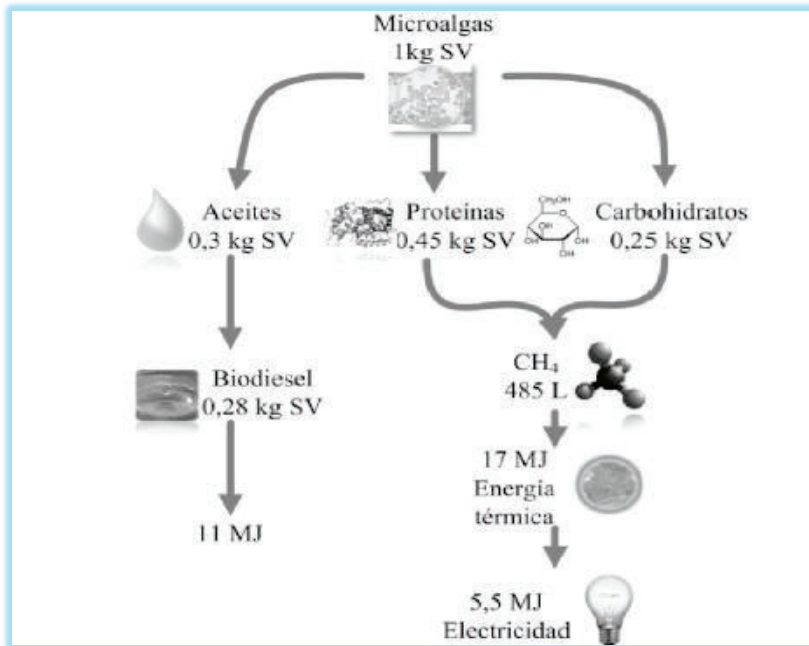
Una vez realizado el tratamiento, se separa las algas para su posterior uso como alimento o energía alternativa, como se observa en la Figura 2.8, se pueden producir 5,5 MJ de energía eléctrica por cada kg de sólidos volátiles de microalga cosechada (Neumann y Jeison, 2015).

El efluente obtenido ya sin algas del sistema, sale con muy baja carga orgánica, menor a 20 mg/L y oxígeno disuelto aproximadamente de 0,5 mg/L (Polprasert y Kittipongvises, 2011).

Los factores que afectan la eficiencia de estas lagunas son: la intensidad de luz, la mezcla o agitación, la temperatura, las fuentes de carbono y nutrientes disponibles para la producción de algas (Von Sperling, 2005).

La producción promedio de biomasa de algas es de 35 a 70 toneladas/ha-año de proteína de alga en una laguna de maduración de alta tasa en Bangkok, Tailandia (Polprasert y Kittipongvises, 2011).

FIGURA 2.8. Valores de producción de las algas.



FUENTE: Neumann (2015)

## 2.4. ELIMINACIÓN DE PATÓGENOS POR RADIACIÓN SOLAR (FOTOINHIBICIÓN)

### 2.4.1. RADIACIÓN SOLAR

El sol emana hacia la tierra enormes cantidades de radiación solar, a ésta se la puede definir como la propagación de la energía en el espacio (Cairns, 1998). La radiación de luz solar va desde el rango de luz visible a ultravioleta (Rayos UV). La radiación que llega hasta la superficie terrestre se encuentra dividida en diferentes rangos de longitud de onda que van desde 13,6 a 800 nm (Soares, 2012).

Esta radiación solar, es absorbida en parte por la capa de ozono y la otra parte es absorbida y dispersada en la atmósfera como se muestra en la Figura 2.9 (Cairns, 1998).

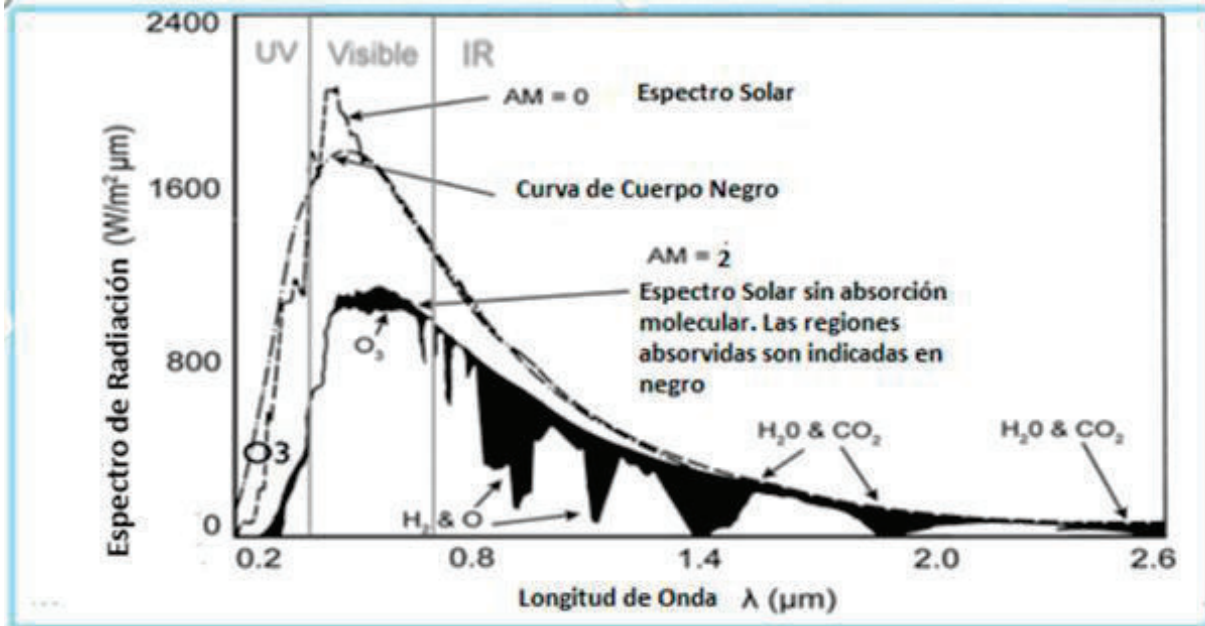
En los estratos biológicos los efectos asociados a la absorción de esta radiación son los siguientes (Soares, 2012):

- Fluorescencia
- Fotosensibilización, Sensibilización fotodinámica



- Reacciones fotoquímicas
- Emisión de Calor
- Absorción selectiva de la Radiación Solar

FIGURA 2.9. Absorción del espectro solar en diferentes longitudes de onda.



FUENTE:ITACA (2017)

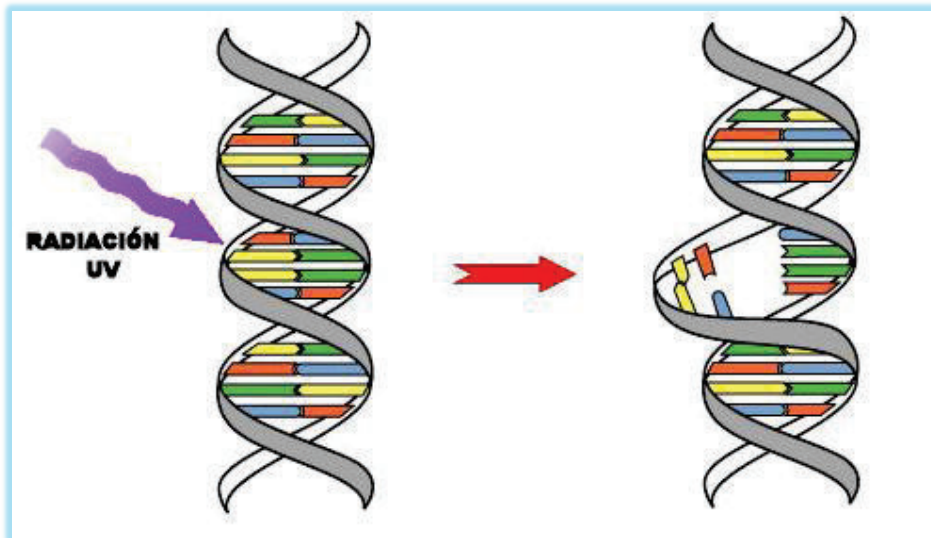
#### 2.4.2. EFECTOS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LAS BACTERIAS Y VIRUS

La radiación UV, dependiendo la longitud de onda a la que se exponga las moléculas biológicas, tiene efecto letal o mutagénico. La absorción de los rayos UV por el ADN a 260 nm es equivalente al espectro de acción biológica de la luz UV mientras que las proteínas tienen dos máximos de absorción a 230 y 280 nm debido a los enlaces peptídicos y los aminoácidos que las componen (Cairns, 1998; Soares, 2012).

Los rayos UV provocan dimerización del ADN llamados fotoproductos como se muestra en la Figura 2.10.



FIGURA 2.10. Secuencia del ADN normal y ADN modificado, dimerización.



FUENTE: Marcó (2017)

La dimerización es la modificación de la secuencia del ADN a causa de la radiación absorbida. Los enlaces se forman entre nucleótidos adyacentes obteniéndose un dímero de tiamina-tiamina, citosina-citosina, citosina-tiamina y dimerización del uracilo. Estas variaciones no llegan a ser letales debido a que el ADN tiene mecanismos para mitigar o eliminar estas modificaciones. La letalidad se da cuando se afecta al único cromosoma de la bacteria inactivándolo. Los efectos letales son los más comunes y luego los mutagénicos en menor proporción (Soares, 2012).

Los virus tienen cromóforos que una vez que la luz UV ha sido absorbida por los ácidos nucleicos o los aminoácidos en el revestimiento proteico promueven alteraciones fotoquímicas. Estas moléculas esenciales pueden degradarse e inactivar al virus. También pueden transferir energía o electrones a los constituyentes en disolución como el oxígeno disuelto. Éstos a su vez conducen a la formación de una diversidad de especies reactivas transitorias, que pueden oxidar a los constituyentes virales e inactivan al virus (Kohn et al., 2016).

La luz solar puede matar bacterias debido a que las biomoléculas que absorben energía, pueden remitir esta energía a otras moléculas provocando foto-oxidaciones en las proteínas y en las bases de los ácidos nucleicos de las bacterias que puede provocar la destrucción de la célula (Kohn et al., 2016).

### 2.4.3. EFECTIVIDAD DE LA FOTOINHIBICIÓN

La fotoinhibición depende de la radiación neta que incide en el cuerpo de agua, ésta se verá afectada por factores ambientales, latitud y meteorología propios del lugar donde se realizará el ensayo. Por lo cual, se utiliza frecuentemente luz artificial producida por lámparas de mercurio, que permiten controlar los parámetros de funcionamiento y ajustar su longitud de onda que mejor se adapte a las necesidades. La UV es muy eficiente con bacterias gram-positivas y gram-negativas (Cairns, 1998; Kohn et al., 2016; Soares, 2012).

El conocimiento del funcionamiento de la luz solar como desinfectante, ha motivado a la integración de la información de tal manera que permita predecir la eficiencia de desinfección en lagunas de tratamiento de aguas residuales y de esta manera mejorar los diseños de los sistemas de tratamiento natural (Kohn et al., 2016).

## 2.5. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental Se define como “el cambio benéfico o perjudicial que se ocasiona en el ambiente por efecto de una obra, proyecto o actividad” (Arboleda, 2008). Lo que significa que un impacto no es solo negativo, puede ser positivo y significar un cambio para bien del ambiente.

La evaluación de impactos ambientales tiene dos etapas:

**La identificación de los impactos.-** Consiste en identificar y describir las interacciones que entre una actividad que puede causar un efecto y un factor ambiental que puede recibir ese efecto.

**La evaluación o valoración de los impactos.-** Consiste en determinar un valor que pueda representar la significancia de los impactos identificados.

La evaluación de impactos ambientales, se la realiza con el objetivo de generar un plan de manejo ambiental para mitigar o incrementar según sea el caso, los impactos

ambientales que se produjeran por las actividades realizadas en la ejecución de cada etapa del proyecto.

Existe un abanico de metodologías para la realización de la evaluación de impactos ambientales. Por lo tanto, no existe un único método de evaluación. Estas pueden ser de diferente índole, generales o específicas, cualitativas o cuantitativas, sencillas o complejas, entre otras. Depende de evaluador decidir la metodología a usar de acuerdo a la información disponible y requerimientos.

La identificación de impacto se la realiza mediante diagramas o redes de interacción proyecto- ambiente o matrices de interacción causa-efecto.

La valoración de impactos ambientales tiene varias metodologías, tales como:

- Listas de chequeo
- Matriz de Leopold
- Método de Conesa
- Método de Integral
- Método de Batelle
- Superposición de mapas
- Método de los criterios relevantes integrados

### **2.5.1. MÉTODO DE LOS CRITERIOS RELEVANTES INTEGRADOS**

La importancia de los impactos ambientales se obtiene por medio la suma de los productos de cada una de las calificaciones individuales por su respectivo peso, la cual permite maximizar los efectos más notorios y minimizar los poco importantes.

En este método se utilizan los indicadores siguientes:

**Riesgo (R):** “Es la probabilidad de que el impacto se produzca durante la vida del proyecto”.

**Extensión (E):** “Es la medida del ámbito espacial (superficie, longitud, tamaño,...) en que ocurre la afectación”.

**Duración (D):** “Es el período durante el cual se sienten las repercusiones del proyecto. Se mide por el número de años que dura la acción que genera el impacto”.

**Reversibilidad (Rv):** “Es la expresión de la capacidad del medio para retornar a una condición similar a la original”.

**Ponderación de los indicadores:** “La prueba del método en numerosos proyectos indicó la necesidad de diferenciar el peso de cada indicador”. Los diferentes análisis indicaron que los mejores resultados se obtenía con la siguiente ponderación: Riesgo 20%, extensión 40%, duración 10% y reversibilidad 30%.

## **2.6. LEGISLACIÓN ACERCA DEL SANEAMIENTO EN EL ECUADOR**

En torno al saneamiento en el Ecuador, empezando desde la Constitución de la República del Ecuador, se tienen leyes, reglamentos, acuerdos ministeriales y normas que regulan, penalizan y establecen los parámetros para una adecuada gestión. Se tiene la siguiente legislación:

- LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL
- LEY ORGÁNICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
- LEY ORGÁNICA DE SALUD
- CODIFICACIÓN DE LA LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
- CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN – COOTAD
- ACUERDO MINISTERIALES PROCLAMADOS POR EL MINISTERIO DEL AMBIENTE

### **2.6.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

La Constitución de la República del Ecuador (ASAMBLEA CONSTITUYENTE, 2008), Registro Oficial 449 del 20 de octubre de 2008 establece:

Que, “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir” (Art. 14).

Que, “El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto” (Art. 15).

Que, “El estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales” (Art. 395).

Que, “El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua” (Art. 411).

### **2.6.2. LEY ORGÁNICA DE SALUD**

Es la Ley 2006-67, publicada en el Registro Oficial, Suplemento No. 423, del 22 de diciembre de 2006 (R.O., 2006).

Establece que, “El fin es regular las acciones que permitan efectivizar el derecho universal a la salud, con enfoque de derechos, intercultural, de género, generacional y bioético”.

### **2.6.3. LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA**

Emitida por la Asamblea Nacional, publicada en el Registro Oficial No. 305 segundo suplemento, del 6 de agosto de 2014 (R.O., 2014). Trata preferentemente del recurso natural agua, regula el aprovechamiento de las aguas superficiales, subterráneas y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos y formas.

#### **2.6.4. LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL**

Expedida bajo la Codificación 2004-019, publicada en el Suplemento del Registro Oficial No. 418, del 10 de Septiembre de 2004 (R.O., 2004b).

Establece, los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia (Art. 1).

#### **2.6.5. CODIFICACIÓN DE LA LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

Codificación 2004-020, publicada en el Registro Oficial, Suplemento No. 418, del 10 de septiembre de 2004 (R.O., 2004a).

Referente a la prevención y control de la contaminación del agua establece:

Que, “Prohibición de descargar aguas residuales, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales (Art. 6).

Que, “La SENAGUA, el MAE y el Ministerio de Salud, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor” (Art. 7).

#### **2.6.6. CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN (COOTAD)**

Registro Oficial Suplemento 303 de 19 de Octubre de 2010 (R.O., 2010).

“Art. 1.- Ámbito.- Este Código establece la organización político-administrativa del Estado ecuatoriano en el territorio...”

Los fines de los Gobiernos Autónomos Descentralizados con respecto al componente ambiental son: “La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de un ambiente sostenible y sustentable; la obtención de un hábitat seguro y

saludable para los ciudadanos; distribuir equitativamente los recursos y la riqueza, y alcanzar el buen vivir.” (Art. 4).

#### **2.6.7. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)**

Decreto Ejecutivo No. 3516, publicado en el Registro Oficial No. 2, del 31 de marzo de 2003 (R.O., 2003);

En su Libro VI: De la Calidad Ambiental, Anexo 1: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes: Recurso Agua establece los límites máximos permisibles para descarga y las características del agua para sus diferentes usos.

#### **2.6.8. ACUERDO MINISTERIAL 061 – MINISTERIO DEL AMBIENTE**

Registro Oficial N° 316. 4 de mayo de 2015 (R.O., 2015).

Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria

Que en su ámbito establece “los procedimientos y regula las actividades y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental. Se entiende por calidad ambiental al conjunto de características del ambiente y la naturaleza que incluye el aire, el agua, el suelo y la biodiversidad, en relación a la ausencia o presencia de agentes nocivos que puedan afectar al mantenimiento y regeneración de los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza.”

## CAPITULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1. AFLUENTE A LA LAGUNA DE MADURACIÓN DE BAJO CALADO

El afluente de la laguna de maduración proviene de un biodigestor anaerobio instalado en una residencia en la comunidad de Magnolia mostrado en la Imagen 3.1, que trata las aguas negras de la residencia.

Este biodigestor usa el diseño proporcionado por el MAGAP (Guachagmira, 2016), consta de una entrada del afluente, una salida del efluente y una salida del biogás. Sus dimensiones son 6 m de largo y 1,2 m de diámetro con un tiempo de residencia de 60 días. .

IMAGEN 3.1. Salida de agua del Biodigestor anaerobio tubular.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)



### 3.2. MUESTREO

Se tomaron muestras puntuales para determinar parámetros físico-químicos y biológicos del agua en base a la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2 169:98, 2 176:1998 y 2 226:2000.

Se realizaron dos campañas de muestreo:

- En la primera campaña, se tomaron las muestras del efluente del biodigestor para determinar las concentraciones Coliformes Fecales y DQO que sirvieron para el diseño preliminar de la laguna de acuerdo a las necesidades y características del agua a tratar. Tres muestras de agua se tomaron a la salida del biodigestor anaerobio que se muestra en la Imagen 3.2, en los meses de junio, octubre y noviembre.

IMAGEN 3.2. Salida de agua del Biodigestor anaerobio.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

- La siguiente campaña de muestreo, se realizó una vez terminado el periodo estacionario de la laguna de maduración de bajo calado. Se tomaron las muestras del efluente y el afluente de la laguna de maduración de bajo calado como se ve en la Imagen 3.3. Para determinar las concentraciones

de DQO y Coliformes Fecales, que posteriormente se usaron para el análisis de eficiencia de la laguna. Estos muestreos se realizaron de forma consecutiva cada semana durante un mes.

IMAGEN 3.3. Entrada y salida de la laguna de maduración de bajo calado.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

Las muestras fueron envasadas y preservadas de acuerdo a las consideraciones preestablecidas en la normativa vigente, tal y como se puede ver en la Imagen 3.4.

IMAGEN 3.4. Envases y forma preservación de las muestras.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

### 3.3. MÉTODO DE ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

Para la determinación de los valores de los parámetros se usaron el método colimétrico para la DQO. Para las Coliformes Fecales, se usa el método del Número Más Probable en Medio *Escherichia coli* (EC) determinación por tubos múltiples.

Ambos métodos descritos en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (American Public Health Association, 1998).

### 3.4. DISEÑO DE LA LAGUNA

El dimensionamiento de la laguna de maduración, se realizó en este caso en función de sus características hidráulicas y biológicas.

#### 3.4.1. MODELO CINÉTICO

El modelo cinético usado fue el propuesto por Muñoz et al. (2006), el cual usa la siguiente ecuación:

$$N_e = N_o * e^{-kt} \quad (3.1)$$

donde,

$N_o$  = Coliformes fecales afluente (CF/100 ml)

$N_e$  = Coliformes fecales efluente (CF/100 ml)

$k$  = Coeficiente de mortalidad (días<sup>-1</sup>)

$t$  = Tiempo de residencia (días)

#### 3.4.2. CAUDAL

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3.2)$$

donde,

$Q$  = Caudal de efluente (m<sup>3</sup>/día)

$V$  = Volumen de la laguna (m<sup>3</sup>)

$t$  = tiempo de residencia (días)

Usando las relaciones de las ecuaciones 3.1 y 3.2 es posible realizar un despeje para obtener el tiempo de residencia necesario para el tratamiento de un valor determinado de coliformes fecales.

### 3.4.3. CARGA ORGÁNICA SUPERFICIAL

Se calcula la carga orgánica superficial en función de la temperatura, según la ecuación de Mara 1976 mostrada a continuación,

$$L_s = 20t - 120 \quad (3.3)$$

donde,

$L_s$  = Carga orgánica superficial (kgDBO<sub>5</sub>/hab-día)

$t$  = temperatura media ambiente (°C)

### 3.4.4. CÁLCULOS

Se toma a consideración la carga orgánica superficial y el tiempo de residencia para la determinación del área superficial.

CON TIEMPO DE RESIDENCIA, se realizaron los cálculos con tiempo de residencia de un día, que es el valor crítico usado en los ensayos experimentales de Muñoz et al. (2006).

$$Tr = 1 \text{ día}$$

$$Q_{AR(Inodoro)} \text{percapita} = 35 \frac{L}{\text{hab. día}}$$

$$Q_{AR(Inodoro)} = 3 \text{ hab.} * 35 \frac{L}{\text{hab. día}}$$

$$Q_{AR(Inodoro)} = 105 \frac{L}{\text{día}}$$

$$V = 105 \frac{L}{\text{día}} * 1 \text{ día}$$

$$V = 105 L$$

Para una altura de 0,1 m.

$$A = \frac{0,105 m^3}{0,1 m}$$

$$A = 1,05 m^2$$

Para una altura de 0,2 m.

$$A = \frac{0,105 m^3}{0,2 m}$$

$$A = 0,05 m^2$$

Para una altura de 0,3 m.

$$A = \frac{0,105 m^3}{0,3 m}$$

$$A = 0,35 m^2$$

CON CARGA ORGÁNICA SUPERFICIAL, se tomó como temperatura media anual, el valor de 18°C (Mora, 2015) para la zona donde está ubicado el proyecto. La carga superficial per capita para regiones cálidas se toma el valor de 0,04 kgDBO5/hab-día (Mara, 1976).

$$L_s = 20t - 120$$

$$L_s = 20(18) - 120 = 240 \frac{kg.DBO_5}{hab.día}$$

$$C.O.percapita = 0,04 \frac{kg.DBO_5}{hab.día}$$

$$C.O. = \#habitantes * C.O.percapita$$

$$C.O. = 3 \text{ hab.} * 0,04 \frac{\text{kg. DBO}_5}{\text{hab. día}}$$

$$C.O. = 0,12 \frac{\text{kg. DBO}_5}{\text{día}}$$

$$\text{Área} = \frac{C.O.}{Ls}$$

$$A = \frac{0,12 \frac{\text{kg. DBO}_5}{\text{día}}}{240 \frac{\text{kg. DBO}_5}{\text{ha. Día}}}$$

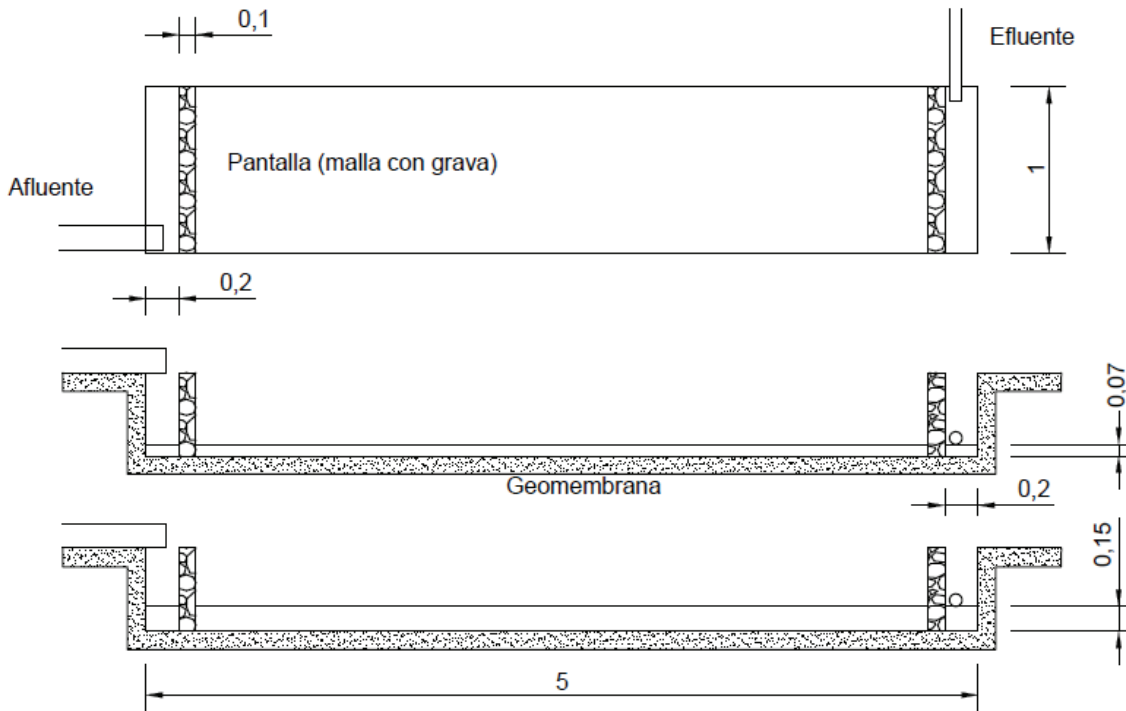
$$A \approx 5 \text{ m}^2$$

### 3.4.5. DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento a base del tiempo de residencia, da como resultado una laguna muy pequeña, con área no mayor a 1 m<sup>2</sup>. El reducido tamaño dificulta la construcción, por lo que se toma el valor del área en base a la carga orgánica superficial que da 5 m<sup>2</sup>.

Las dimensiones de la laguna, se establecen en 1 m de ancho por 5 m de largo, colocando una geomembrana en el fondo y los laterales de la laguna y dos pantallas de grava a la entrada y a la salida dispuestas como muestra la Figura 3.5.

FIGURA 3.1. Esquema de la laguna, vista superior y lateral.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

### 3.5. CONSTRUCCIÓN DE LA LAGUNA DE MADURACIÓN DE BAJO CALADO

#### 3.5.1. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

- Azadón
- Pala
- Machete
- Flexómetro
- Estacas de madera
- Cinta
- Tubería PVC
- Geomebrana (plástico)
- Pantallas de malla plástica con grava



### 3.5.2. PROCESO

Se realizó en primer lugar la limpieza del terreno como se ve en la Imagen 3.5, destinado a la construcción de la laguna.

IMAGEN 3.5. Limpieza del terreno.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

Luego la remoción de tierra y la nivelación del terreno se realizaron como se ve en la Imagen 3.6. Finalmente, se realizó una apertura del terreno y la remoción de tierra a una profundidad de 0,50 m incluido la altura de seguridad con un ancho de 1 m y 5 m de largo.

IMAGEN 3.6. Nivelación del terreno.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)



La impermeabilización de la laguna se realizó con una geomembrana (plástico).

La tubería se instaló al ingreso y salida de la laguna. Y las pantallas de grava se colocaron como muestra la Imagen 3.7 para homogenizar el agua a la entrada y a la salida de la laguna.

IMAGEN 3.7. Laguna instalada con geomembrana, tuberías y pantallas.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

### **3.6. MONITOREO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LAGUNA**

Los monitoreos se realizaron de manera periódica, al menos una vez por semana, durante todo el periodo de estabilización de la laguna. Siendo éste referido al

estado estacionario de crecimiento de las algas y de bacterias donde existe un equilibrio dinámico en la biomasa de algas y bacterias. El cual no puede ser definido exactamente por los diferentes factores que afectan a su desarrollo (Cabrera, 2008; Romero López, 2011). Por lo que se toma un valor referencial de acuerdo a Muñoz et al. (2006), de 20 días a un mes.

### **3.7. EFICIENCIA DE ELIMINACIÓN**

Mediante el análisis de laboratorio de los parámetros a la entrada y la salida de la laguna de maduración de bajo calado, se determinó la eficiencia de remoción en porcentaje de Coliformes Fecales y DQO usando la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Centrada - Csalida}{Centrada} * 100\% \quad (3.4)$$

donde,

$\eta$  = Eficiencia de remoción

*Centrada* = Concentración del parámetro a la entrada de la laguna

*Csalida* = Concentración del parámetro a la salida de la laguna

### **3.8. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PROVOCADOS POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA LAGUNA DE BAJO CALADO**

La identificación de impactos, se realiza de acuerdo al método matricial de identificación de impactos. Donde se ingresan las acciones de proyecto (ASPI) y los factores ambientales (FARI). Mientras que el Impacto ambiental, se determina mediante el método de los criterios relevantes integrados (Arboleda, 2008; García, 2004).

### 3.8.1. CALIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

La metodología evalúa los indicadores de Riesgo, Extensión, Duración y Reversibilidad de cada interacción, e introduce una ponderación a cada indicador de acuerdo a la importancia relativa.

El cálculo del valor de Importancia de cada impacto, se realizó utilizando la ecuación (García, 2004):

$$V_{Imp} = (R_i * W_{ri}) + (W_e * E) + (W_d * D) + (W_r * R) \quad (3.5)$$

donde:

$V_{Imp}$  = Valor del Impacto Ambiental

$R_i$  = Valor del indicador de Riesgo

$W_e$  = Peso del indicador de Riesgo

$E$  = Valor del indicador de Extensión

$W_e$  = Peso del indicador de Extensión

$D$  = Valor del indicador de Duración

$W_d$  = Peso del indicador de Duración

$R$  = Valor del indicador de Reversibilidad

$W_r$  = Peso del indicador de Reversibilidad

Se debe cumplir que:

$$W_{ri} + W_e + W_d + W_r = 1 \quad (3.6)$$

Para el presente caso, se usaron pesos comúnmente usadas (Arboleda, 2008) y están bajo la subjetividad del evaluador.

$W_{ri} = 0,2$

$W_e = 0,4$

$W_d = 0.1$

$W_r = 0.3$

TABLA 3.1. Criterios de puntuación de la Importancia y valores asignados.

Indicadores de Impacto	Rangos de puntuación			
	2	5	7	10
Riesgo	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Extensión	Puntual	Local	Extensiva	General
Duración	Instantánea	Corta (2 a 5 años)	Media (5 a 10 años)	Larga (>10 años)
Reversibilidad	Completamente Reversible	Reversible a corto plazo (< a 5 años)	Reversible a largo plazo (5 a 20 años)	Irreversible

FUENTE: Arboleda (2008)

### 3.8.2. CATEGORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

La categorización de los impactos ambientales identificados y evaluados, se realizó en base al Valor del Impacto. Se conforma con 4 categorías de impactos mostrados en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2. Relevancia del impacto evaluado.

RELEVANCIA	VALOR DEL IMPACTO
Altamente significativos	8
Significativos	6 – 7,9
Medios	4,5-5,9
Despreciables	4,5

FUENTE: Arboleda (2008)

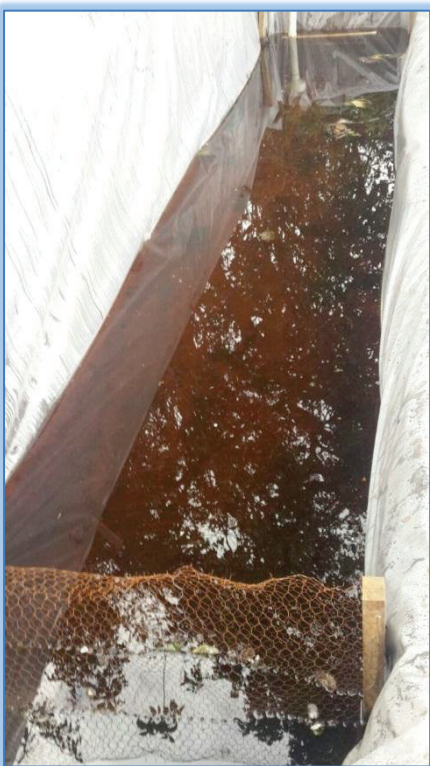
## CAPITULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. FUNCIONAMIENTO DE LA LAGUNA

Observaciones de campo se realizaron para verificar cambio en el entorno llevando un registro fotográfico (ANEXO 1) de los aspectos más relevantes a partir de su instalación, para verificar el crecimiento de algas en ésta, hasta llegar a su estabilización. Como primera observación importante, se notó el cambio paulatino de la coloración del agua a partir de la primera semana, teniéndose a la segunda semana un tono evidentemente rojo como se observa en la Imagen 4.1.

IMAGEN 4.1. Coloración rojiza del agua de la laguna.



ELABORACIÓN: (Romero R., 2017)



El tono rojizo en el agua se debió posiblemente a la presencia de bacterias fotosintéticas del azufre o también llamadas bacterias rojas del azufre, tal cual el caso de estudio de la laguna de Jipijapa que se observa el mismo tono, como se muestra en la Imagen 4.2. Las bacterias contienen bacterioclorofila y pigmentos carotenoides, lo que les proporciona colores como el púrpura, el rojo y el café, (UNAM, 2014) dando esta tonalidad al agua. El alto contenido de carga orgánica y la radiación solar provocó la proliferación de este tipo de bacterias fotosintéticas en la laguna a condiciones no profundas, anóxicas y ácidas (Massol, 2015). Así, a la salida del biodigestor se detectó una carga orgánica de 1098 mg/L DQO mayor que a su entrada. El pH bajo generó que el biodigestor se mantuviera en la fase acidogénica y no se daba paso a la metanogénesis. Por lo que se usó 3,5 kg de  $\text{NaHCO}_3$  para subir el pH de 6,6 a 7,8 en el biodigestor.

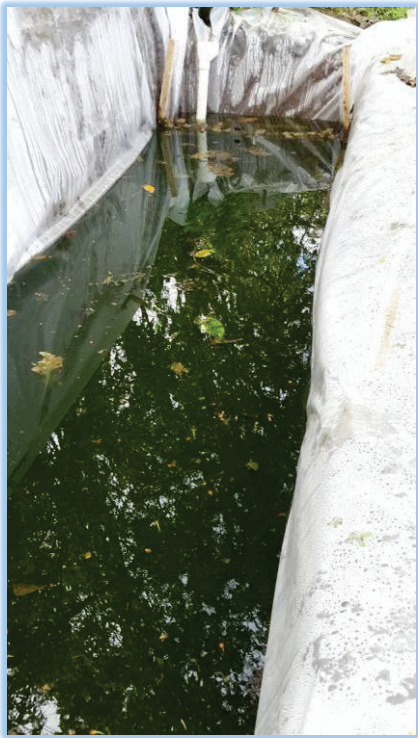
IMAGEN 4.2. Coloración rojiza del agua de la laguna de Jipijapa.



Fuente: Muñoz y Albuja (comunicación personal, 2017)

Ya estabilizado el pH, la coloración de la laguna cambio a verde por el crecimiento de algas como se observa en la Imagen 4.3. Posteriormente, la DQO se analizó a la salida del biodigestor y ésta disminuyó a 378 mg/L.

IMAGEN 4.3. Coloración verde del agua de la laguna.



ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

Las observaciones y control de pH se continuaron durante el mes de estabilización de la laguna, una vez llegado al punto de estabilización, siendo éste referido al estado estacionario de crecimiento de las algas y de bacterias, se realizaron muestreos a la entrada y salida de la laguna obteniéndose los resultados de DQO y coliformes fecales en diferentes horas y días.

#### **4.2. EFICIENCIA DE ELIMINACIÓN**

Con los resultados de laboratorio del análisis de los parámetros de coliformes fecales y DQO que se pueden ver en el ANEXO 2, de las muestras de agua tomadas con anterioridad se realiza un resumen mostrada en la tabla 4.1.

TABLA 4.1. Valores de las concentraciones de DQO y Coliformes Fecales en el afluente y efluente de la laguna de maduración.

Parámetro	Afluente	Tr=7 días	Tr=3 días
		Efluente	Efluente
DQO (mg/L)	1098	-	-
	409,7	301	382,4
	397,6	226,9	497,3
	326,6	335	216,4
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	5025000	170	210
	6000	13	34
	1300000	140	220
	1600		
	1600		
	1940000		

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

#### 4.2.1. CALCULO DE EFICIENCIAS DE ELIMINACIÓN

El cálculo de las eficiencias se realizó con los valores promedio calculados de los diferentes parámetros mostrados en la Tabla 4.1.

#### EFICIENCIA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA

$$Tr = 3 \text{ días} \rightarrow \eta = \frac{557.98 - 365.37}{557.98} * 100\% = 34.52\%$$

$$Tr = 7 \text{ días} \rightarrow \eta = \frac{557.98 - 287.63}{557.98} * 100\% = 48.45\%$$



## EFICIENCIA ELIMINACIÓN DE PATÓGENOS

$$Tr = 3 \text{ días} \rightarrow \eta = \frac{1379033.33 - 154.67}{1379033.33} * 100\% = 99.99\%$$

$$Tr = 7 \text{ días} \rightarrow \eta = \frac{1379033.33 - 107.67}{1379033.33} * 100\% = 99.99\%$$

Por bibliografía se conoce que las lagunas de maduración tiene eficiencias de eliminación de patógenos mayores al 70%, usando como indicadores las coliformes fecales (Von Sperling, 2005). Así mismo, la laguna instalada a condiciones ambientales en la parroquia de García Moreno tiene eficiencias de 99.99% para un tiempo de residencia de 3 días y de 99.99% para un tiempo de residencia de 7 días, siendo estos valores típicos en este tipo de lagunas en la eliminación de coliformes fecales (Dahl et al., 2017; Martínez y Escobar, 2008; Von Sperling, 2005).

La eficiencia en la disminución de DQO está alrededor de 34.52% y 48.45% para tiempos de residencia de 3 y 7 días respectivamente, valores altos (Sánchez & Matsumoto, 2012), considerado que este tipo de lagunas no son comúnmente usadas para la remoción de carga orgánica. Además, esta eliminación sería secundaria a su principal propósito (Polprasert y Kittipongvises, 2011) .

Se puede decir que para diferentes tiempos de residencia, se tiene la misma eficiencia de remoción de patógenos por lo que el tiempo de residencia óptimo es de 3 días. Sin embargo, si se desea una eliminación mayor de carga orgánica, el tiempo de residencia debe aumentar.

### 4.2.2. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE NORMAS

La verificación de normas se realizó mediante la comparación de los análisis de los parámetros químico – biológicos. Estos son DQO y coliformes fecales del afluente de acuerdo a la normativa vigente presentada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

TABLA 4.2. Límite máximo permisible de descarga y uso del agua.

<b>Detalle</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Valor Máximo permisible</b>
Uso Agrícola	Coliformes totales	NMP/100mL	menor a 1000
Uso Pecuario	Coliformes fecales	NMP/100mL	menor a 1000
Descarga en cuerpos de agua dulce	Coliformes fecales	NMP/100mL	3000
	DQO	mg/L	250

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

Los valores máximos obtenidos en la descarga son de 170 NMP/ml y de 220 NMP/ml de coliformes fecales, para su respectivo tiempo de residencia de 3 y 7 días. Estos se encuentran bajo el límite máximo permisible, para el uso agrícola y pecuario establecido en la normativa, por lo que se puede usar el agua en sembríos de tallo alto y no consumibles crudos (Vazquez-Montiel et al., 1996). La Organización Mundial de la Salud (OMS), recomienda el reúso en la agricultura para productos enlatados y cultivos que no se consuman crudos. La materia orgánica obtenida en el agua tratada, es procesada en el suelo por digestión aerobia y facultativa

#### **4.3. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**

Para la identificación de los impactos ambientales, se ha conformado un registro en base a la descripción del proyecto y las actividades que se desarrollan en la instalación y operación de la laguna.

Los factores ambientales considerados fueron aquellos susceptibles de cambio por el efecto del proyecto. Para lo cual se determinó el impacto que causaría a cada una de

las componentes ambientales, como se puede observar en la Tabla 4.3, resumida a continuación:

TABLA 4.3. Factores Ambientales

No.	COMPONENTE AMBIENTAL	ASPECTO AMBIENTAL	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
1	Aire	Olores	Características que presenta el aire que se respira en el área del proyecto.	Contaminación atmosférica
	Suelo	Calidad del suelo	Cambios en la composición y estructura de los suelos.	Degradación del suelo
	Agua	Calidad del agua	Cambios en la composición del agua.	Contaminación del agua
2	Flora	Cobertura vegetal o uso de suelo	Conjunto de especies de flora que se verían afectadas por el proyecto.	Deforestación
	Fauna	Vectores	Especies vectoras que usan el agua para su hábitat y reproducción.	Salud
3	Socioeconómico	Generación de empleo	Actividades directas e indirectas generadas a base del proyecto.	Calidad de vida

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

Las matrices causa-efecto se realizaron como se puede ver en el ANEXO III para determinar un valor de impacto. De esta manera se cuantificó los impactos del proyecto en el área determinada como área de influencia directa. que en este caso es el terreno donde se encuentra la residencia utilizada para el proyecto (MAE, 2015).

La evaluación del impacto ambiental arrojó como resultado los valores mostrados en la Tabla 4.4, teniéndose que los impactos negativos al ambiente son medios y

despreciables, representando al 50% de las interacciones de los impactos identificados. Sin embargo, hay que poner atención a los vectores que habitan en la laguna, en este caso los zancudos que causan molestias a los habitantes de la casa. Además, se observó como crecían alrededor de 8 larvas por cm<sup>2</sup>. Los zancudos son responsables de transmisión de algunas enfermedades y podrían volverse tema de salud pública ( Zhang et al., 2015).

Por otro lado, se tienen 5 impactos beneficiosos, por el servicio que da la laguna a los habitantes de la casa al reciclar el agua para otros usos (agrícola) y al no ser una fuente de contaminación del suelo ni del agua dulce cercano.

TABLA 4.4. Impactos observados en el proyecto.

IMPACTOS	CANTIDAD	%
Altamente significativos	0	0
Significativos	0	0
Medios	2	20%
Despreciables	3	30%
Benéficos	5	50%
Totales	10	10

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

#### 4.4. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Para el desarrollo de todo el proyecto se establecieron los costos de construcción, resumidos en la Tabla 4.5. Los costos de operación y de mantenimiento se supondrían nulos, salvo el caso en que el sistema deje de funcionar por la mala operación del mismo por lo que se deben seguir las recomendaciones realizadas.

TABLA 4.5. Detalle de costos de construcción de la laguna de maduración.

<b>Detalle</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Unidades</b>	<b>SubTotal</b>
<b>Materiales</b>			
Estacas de madera	0,50	12	6,00
Malla	1,90	3	5,70
Madera 0.05 m de espesor (m)	1,50	4	6,00
Geomembrana (Plástico) (m)	2,75	7	19,25
Bicarbonato de Sodio (kg)	3,00	4	12,00
Accesorios PVC (codos, uniones, otros)	1,50	3	4,50
Tubería PVC sanitaria 110 mm (m)	3,60	1	3,60
<b>TOTAL</b>			<b>57,05</b>

ELABORACIÓN: Romero R. (2017)

Para el proyecto se necesitaron alrededor de 57\$ para materiales. Sin embargo, este valor se puede disminuir con la sustitución por los recursos madereros existentes en la zona. De este modo, la cifra inicial sería de \$38, asequible para una familia en la zona rural. Además, el resto de materiales son fáciles de comprar en el centro poblado más cercano.

La utilización de una laguna de maduración de bajo calado, tiene un de bajo costo y alta eficiencia para la eliminación de patógenos como ya se había revisado en la bibliografía acerca de las lagunas de tratamiento de aguas residuales (Mburu et al., 2013).

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se comprobó que las lagunas de maduración de bajo calado, tienen una alta eficiencia en la eliminación de patógenos con el 99,99%, tal cual se había revisado en la bibliografía. Las lagunas de maduración de bajo calado no tienen como principal función la eliminación de la carga orgánica. Sin embargo tiene una remoción relativamente alta con valores de 34,5% y 48,4% de eficiencia de remoción para los tiempos de residencia de 3 y 7 días respectivamente.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de las eficiencias de remoción de la laguna de maduración de bajo calado, se puede concluir que a mayor tiempo de residencia las eficiencias son mejores para la eliminación de DQO. Sin embargo, se puede decir que la laguna funciona óptimamente con 3 días de residencia al obtener eficiencia del 99,9% en la eliminación de patógenos.
- El efluente de la laguna de maduración de bajo calado se encuentra dentro los criterios de reusó en el riego de cultivos no consumibles crudos, en la normativa ecuatoriana y la OMS.
- Las lagunas de maduración de bajo calado tienen impactos positivos y negativos sobre su entorno y el medio ambiente. Los impactos negativos fueron medios y despreciables según la metodología usada. Cabe destacar que la evaluación de impactos ambientales está bajo la subjetividad del autor.

- Los costos de implementación de la laguna de maduración de bajo calado, son bajos y asequibles en la zona rural siendo estos de 57\$.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso del digestor bajo los parámetros de diseño, para mantener el correcto funcionamiento.
- Mantener un continuo monitoreo del funcionamiento del biodigestor, manteniendo el pH de éste básico y de la misma manera de la laguna de maduración.
- Realizar a la laguna mantenimientos continuos, que consisten en remover la hojarasca de la superficie para que no impida la penetración de la radiación solar a todo el cuerpo de agua de la laguna de maduración.
- Es recomendable mantener monitoreo sobre los vectores que anidan en la laguna y que hacen de este su hábitat para evitar complicaciones a la salud con las enfermedades que estos vectores transmitan en diferentes épocas del año.
- Se recomienda utilizar los insumos de la zona para la construcción y abaratar costos de los materiales.
- Es recomendable continuar el estudio y la implementación de las lagunas de maduración en los diferentes tratamientos que necesite el agua, para el uso y aprovechamiento de ésta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo Ministerial 061*. R.O. (2015). 77pp.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). (1998). *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (20th ed.).
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitucion De La Republica Del Ecuador*. 219pp.
- Acosta, A., y Martínez, E. (2010). *AGUA Un derecho humano fundamental*. (N. Montalvo Rueda, Ed.). Quito: ABYA-YALA. 363pp.
- Arboleda, J. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellin. 144pp.
- Cabrera, M. (2008). Tasa de crecimiento poblacional del rotífero *Brachionus rotundiformis* (Rotifera: Brachionidae) en un quimiostato de dos cámaras. *Revista de Biología Tropical*, 56(3), 1149-1157.
- Cairns, H. B. W. W. L. (1998). Luz ultravioleta. *Trojan Technologies*, 1-28.
- Campos, C. (2003). Indicadores de contaminación fecal en aguas. Recuperado de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/> (julio de 2016).
- Codificacion De La Ley De Prevención Y Control De La Contaminacion Ambiental*. R.O. (2004a). 4pp.
- Codigo Organico De Organización Territorial Autonomia Y Descentralizacion (Cootad)*. R.O. (2010). 227pp.
- Cubillos, A. (2001). Estado del arte en el diseño de lagunas de estabilización. *Intercambio*, 3(2), 80-91.
- Dahl, N. W., Woodfield, P. L., Lemckert, C. J., Stratton, H., y Roiko, A. (2017). A practical model for sunlight disinfection of a subtropical maturation pond. *Water Research*, 108, 151-159.
- ECUADOR-CEPAL. (2012). Diagnóstico De Las Estadísticas Del Agua En Ecuador.



81pp.

- García, L. A. (2004). Metodologías de Evaluación del Impacto Ambiental. En *Evaluación Ambiental* (pp. 39-114).
- Ghermandi, A., y Fichtman, E. (2015). Cultural ecosystem services of multifunctional constructed treatment wetlands and waste stabilization ponds: Time to enter the mainstream?. *Ecological Engineering*, 84, 615-623.
- Guachagmira, R. (2016). MUNDO INTAG ECUADOR. Recuperado de <http://biodigestoresmundointag.blogspot.com/> (marzo de 2016).
- INEC. (2012). *Censo de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2012*. 45pp.
- INEC. (2014). *Compendio de resultados encuesta condiciones de vida ECV sexta ronda 2015*. 197pp.
- INEC. (2015). *Estadística De Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015 (Agua Y Alcantarillado)*. 34pp.
- ITACA. (2017). Solar Energy Reaching The Earth's Surface. Recuperado de <http://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-2-solar-energy-reaching-the-earths-surface/> (marzo de 2017).
- Jairo A., R. R. (2005). *Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales*. Colombia. 300pp.
- Juárez, M. M., & Rajal, V. B. (2013). Parasitosis intestinales en Argentina: Principales agentes causales encontrados en la población y en el ambiente. *Revista Argentina de Microbiología*, 45(3), 191-204.
- Kohn, T., Mattle, M. J., Minella, M., & Vione, D. (2016). A modeling approach to estimate the solar disinfection of viral indicator organisms in waste stabilization ponds and surface waters. *Water Research*, 88, 912-922.
- Ley De Gestion Ambiental*. R.O. (2004b). 11pp.
- Ley Organica De Salud*. R.O. (2006). 61pp.
- Ley Organica De Recursos Hidricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua*. R.O. (2014). 32pp.
- Li, S., Liu, S. H., y Chen, Y. X. (2011). Experiment on the Treatment of the Rural Wastewater by the Paddy Wetland System. *Advanced Materials Research*, 347-

353, 2103-2106.

- Lutterbeck, C. A., Kist, L. T., Lopez, D. R., Zerwes, F. V., & Machado, Ê. L. (2017). Life cycle assessment of integrated wastewater treatment systems with constructed wetlands in rural areas. *Journal of Cleaner Production*, 148. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.024>
- MAE. (2015). *Guía técnica para definición de áreas de influencia*. 16pp.
- Mara, D. D. (1976). *Sewage treatment in hot climates*. (Wiley, Ed.). 168pp.
- Marcó, J. (2017). Sistemas basados en la desinfección mediante radiación ultravioleta. Recuperado de <http://www.quimicadelagua.com/Bacterias.Tratamiento.2.html#> (marzo de 2017).
- Martínez, S. A. C., & Escobar, C. A. A. (2008). Evaluación De La Capacidad De Remoción De Bacterias Coliformes Fecales Y Demanda Bioquímica De Oxígeno De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales «La Totora», Ayacucho, Perú. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 165-171.
- Massol, A. (2015). *Nutrientes Y Gases: AZUFRE. Manual De Ecología Microbiana*. Mayagüez. 24pp. Recuperado de <http://depa.fquim.unam.mx/amyd/>
- Mburu, N., Tebitendwa, S. M., Bruggen, J. J. A., Rousseau, D. P. L., y Lens, P. N. L. (2013). Performance comparison and economics analysis of waste stabilization ponds and horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater: A case study of the Juja sewage treatment works. *Journal of Environmental Management*, 128, 220-225.
- Mehrabadi, A., Farid, M. M., y Craggs, R. (2016). Variation of biomass energy yield in wastewater treatment high rate algal ponds. *Algal Research*, 15, 143-151.
- Metcalf, y Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill Higher Education. 1085pp.
- MIDUVI. (2015). *Informe Nacional de Ecuador para la III Conferencia de NNUU sobre vivienda y desarrollo sostenible HABITAT III*. Quito. 106pp.
- Moletta, M., Wery, N., Delgenes, J. P., y Godon, J. J. (2008). Microbial characteristics of biogas. *Water Science and Technology*, 57(4), 595-599.
- Mora, F. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Parroquia García Moreno*. Cotacachi. 82 pp.

- Muñoz, M., Cabrera, R., y Villacrés, D. (2006). Modelo Cinético Para El Diseño De Lagunas De Maduración De Baja Profundidad. En *XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS*. Punta del Este, Uruguay.
- Neumann, P., y Jeison, D. (2015). Contribución energética de la digestión anaerobia al proceso de producción de biodiesel a partir de microalgas. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 23(2), 276-284.
- OMS/UNICEF. (2015). *UNICEF Y LA OMS: 2 , 4 mil millones de personas carecen de acceso a saneamiento , lo que debilita los logros en materia de salud* (Vol. 30). 77-79.
- Oswald, W. J. (1995). Ponds in the twenty-first century. *Water Science and Technology*, 31(12), 1-8.
- Palmer, M. (1962). *Algas en abastecimientos de agua* (Centro Reg). Cleveland. 91pp.
- PNUD. (2006). Más allá de la escasez: Poder, Pobreza y crisis mundial del agua. *Informe sobre Desarrollo Humano 2006*, 440pp.
- Polprasert, C., y Kittipongvises, S. (2011). Constructed Wetlands and Waste Stabilization Ponds (pp. 277-298). Elsevier.277-298.
- T. Sridevi Dhanarani, C. Shankar, P. Prakash, T.K. Poornima Priyadharshani y K. Thamaraiselvi (2011). Conversion of poultry litter into class A biosolids using autothermal thermophilic aerobic digestion. 13pp.
- Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente (TULSMA)*. R.O. (2003). 373pp.
- Romero López, T. (2011). Desarrollo de *Chlorella* spp. en riles orgánicos pesqueros y su influencia en la remoción de la contaminación. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXII(3), 32-38.
- Sánchez, A., y Matsumoto, T. (2012). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias. *Ingeniería y Desarrollo*, 30, 199-222.
- SENAGUA. (2014). *Gestión de Aguas Residuales*. Quito. Recuperado de alexis.sanchez@senagua.gob.ec%0A (agosto de 2016).
- SENPLADES. (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el*

- Ecuador*. Quito. Recuperado de [www.planificacion.gob.ec](http://www.planificacion.gob.ec) (agosto de 2016).
- Soares, R. (2012). *Agentes Biológicos: Factores ambientales y los procariontes*. Santa Cruz de la Sierra. 26pp.
- Soria Fregoso, M. J., Ferrera Cerato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, G., Trinidad Santos, J., Borges Gómez, L., y Pereyda Pérez, G. (2000). Produccion De Biofertilizantes Mediante Biodigestion De Excreta Liquida De Cerdo . *Publicado en Terra*, 19, 1-10.
- Toalongo, E. (2012). Diseño De Un Sistema De Recolección, Depuración Y Aprovechamiento De Aguas Residuales Para Fincas Agroecológicas Familiares En La Parroquia El Valle – Cantón Cuenca. *Universidad De Cuenca*. 65pp.
- Torres, P., Cruz, C. H., y Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- UNAM. (2014). Microorganismos fotosintéticos. *UNAM en línea*. Recuperado de [www.unamenlinea.unam.mx/](http://www.unamenlinea.unam.mx/) (febrero de 2017)
- UNWATER. (2010). *Agua limpia para un mundo sano. Día Mundial del Agua 2010*. Recuperado de [www.unwater.org/worldwaterday/index\\_es.html](http://www.unwater.org/worldwaterday/index_es.html) (agosto de 2016).
- Varnero, M. (2011). *MANUAL DE BIOGÁS*. Santiago de Chile. 119pp.
- Vazquez-Montiel, O., Horan, N. J., y Mara, D. D. (1996). Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Water Science and Technology*, 33(10-11), 355-362.
- Veras, M. (2015). Alternativas para Cuidar el Medio Ambiente. Recuperado de <http://consultoriaempresariaslimpias.blogspot.com/2015/04/la-contaminacion-del-agua.html> (marzo de 2017).
- Von Sperling, M. (2005). Modelling of coliform removal in 186 facultative and maturation ponds around the world. *Water Research*, 39(20), 5261-5273.
- Yakarta, E. (2010). Implementación de mejoras para la calidad del agua y la protección de servicios ecosistémicos, 1-12.
- Yang, H., Deng, L., Liu, G., Yang, D., Liu, Y., & Chen, Z. (2016). A model for methane production in anaerobic digestion of swine wastewater. *Water Research*, 102,

464-474. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.060>

- Zhang, H., Xu, J., Su, X., Bao, J., Wang, K., y Mao, Z. (2017). *Citric acid production by recycling its wastewater treated with anaerobic digestion and nanofiltration. Process Biochemistry*. Elsevier Ltd. 33 pp.
- Zhang, N. S., Liu, Y. sheng, Van den Brink, P. J., Price, O. R., & Ying, G. G. (2015). Ecological risks of home and personal care products in the riverine environment of a rural region in South China without domestic wastewater treatment facilities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 417-425.
- Zhang, W., Saint, C., Weinstein, P., y Slaney, D. (2015). Reclaimed Water Systems : Biodiversity Friend or Foe ? *American Chemical Society*. 20pp.
- Zheng, M., Schideman, L. C., Tommaso, G., Chen, W.-T., Zhou, Y., Nair, K., Wang, K. (2016). Anaerobic digestion of wastewater generated from the hydrothermal liquefaction of Spirulina: Toxicity assessment and minimization. *Energy Conversion and Management*. 9pp.

## **ANEXOS**

**ANEXO I.- REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LAS  
OBSERVACIONES DE LA LAGUNA DE MADURACIÓN DE  
BAJO CALADO**



Primer día de funcionamiento de la laguna.



Primera semana de funcionamiento de la laguna.



Segunda semana de funcionamiento de la laguna (pH ácido).



Tercera semana de funcionamiento de la laguna (pH ácido).





Cuarta semana de funcionamiento de la laguna (pH básico).



Quinta semana de funcionamiento de la laguna (pH básico).



Sistema Biodigestor-Laguna.



**ANEXO II.- RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS  
ANÁLISIS DE COLIFORMES FECALES Y DQO**



**ALS Ecuador**  
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
 Quito, Ecuador  
 T: +59 3 2341 4080

<b>PROCOLO N°: 48591/2017-1.0</b>	RU-49
	Revisión: 10
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Página 2 de 4

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	5630
				MagS 2.2
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	497.3
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	34.0



**ALS Ecuador**  
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
 Quito, Ecuador  
 T: +59 3 2341 4080

<b>PROCOLO N°: 44651/2017-1.0</b>	RU-49
	Revisión: 10
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Página 2 de 4

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	5347
				MagS 2.1
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	397.6
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	1600.0



**ALS Ecuador**  
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
 Quito, Ecuador  
 T: +59 3 2341 4080

<b>PROCOLO N°: 35852/2017-1.0</b>	RU-49
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Revisión: 10
	Página 2 de 4

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	3891-1
				Mag3-E
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	336,6
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	1600,0



**ALS Ecuador**  
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
 Quito, Ecuador  
 T: +59 3 2341 4080

<b>PROCOLO N°: 35855/2017-1.0</b>	RU-49
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Revisión: 10
	Página 2 de 4

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	3891-2
				Mag3-S
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	335,0
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	140,0





**ALS Ecuador**  
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
 Quito, Ecuador  
 T: +59 3 2341 4080

<b>PROTOCOLO N°: 30766/2017-1.0</b>	RU-49
	Revisión: 10
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Página 2 de 4

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	3659-2
				Mag2-S
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	13,0
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 D	PA - 01.00	mg/l	226,9



**ALS Ecuador**  
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
 Quito, Ecuador  
 T: +59 3 2341 4080

<b>PROTOCOLO N°: 30767/2017-1.0</b>	RU-49
	Revisión: 10
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Página 2 de 4

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	3659-1
				Mag2-E
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	210,0
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	362,4



**ALS Ecuador**  
Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
Quito, Ecuador  
T: +59 3 2341 4080

<b>PROTOCOLO N°: 3776/2017-1.0</b>	RU-49
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Revisión: 10
	Página 2 de 4

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	1073-1
				MAG S
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	170,0
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	301,0



**ALS Ecuador**  
Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
Quito, Ecuador  
T: +59 3 2341 4080

<b>PROTOCOLO N°: 3777/2017-1.0</b>	RU-49
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Revisión: 10
	Página 2 de 4

**RESULTADOS OBTENIDOS**

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	1073-2
				MAG E
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	130,0
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, 5220 A y 5220 D	PA - 32.00	mg/l	409,7



**ALS Ecuador**  
 Rigoberto Heredia Oe6-157 y Huachi  
 Quito, Ecuador  
 T: +59 3 2341 4080

<b>PROTOCOLO N°: 53315/2017-1.0</b>	RU-49
<b>SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN</b>	Revisión: 10
	Página 2 de 4

#### RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	MÉTODO INTERNO ALS	UNIDAD	6187
				Mag 2.3
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012. 5220 D	PA - 01.00	mg/l	218,4
COLIFORMES FECALES	Standard Methods Ed. 22, 2012. 9221 B, E y F	PA - 66.00	NMP/100ml	220,0



#### INFORME DE ENSAYOS No. 21712-01



**NOMBRE DEL CLIENTE:** Nathali Romero  
**DIRECCION:** Puná E5-270 Y Adrián Navarro  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Agua Residual  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Código de Muestra: M1  
**FECHA DE RECEPCION:** 13 de febrero del 2017  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 13 de febrero del 2017 al 17 de febrero del 2017  
**FECHA DE EMISION:** 17 de febrero del 2017

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Coliformes Fecales (E.Coli)	APHA 9223 B - PEE/ANNCY/76	NMP/100ml	1	194 E+04

#### VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE

Ensayo	Rango	Incertidumbre
Coliformes Fecales (E.Coli)	1 - 100 E+06	L ± 30% NMP/100ml K=2, nivel confianza 95.45%

Atentamente,

**Ing. Cecilia Morales B.**  
 GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.



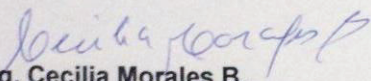
**DIRECCION:** Puná E5-270 Y Adrián Navarro  
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Agua Residual  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Código de Muestra: Muestra 2 - Magnolia  
**FECHA DE RECEPCION:** 12 de octubre del 2016  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 12 de octubre del 2016 al 17 de octubre del 2016  
**FECHA DE EMISION:** 17 de octubre del 2016

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Coliformes Fecales (E.Coli)	APHA 9223 B - PEE/ANNCY/76	NMP/100ml	1	1300000

**VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE**

Ensayo	Rango	Incertidumbre
Coliformes Fecales (E.Coli)	1 - 100 E+06	L ± 30% NMP/100ml K=2, nivel confianza 95.45%

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.**

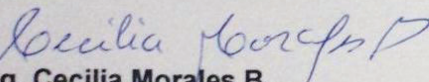
**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:** Agua Residual  
**IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:** (Referencia dada por el Cliente)  
 Código de Muestra: Magnolia  
**FECHA DE RECEPCION:** 30 de septiembre del 2016  
**FECHA DE ANALISIS:** Del 30 de septiembre del 2016 al 3 de octubre del 2016  
**FECHA DE EMISION:** 4 de octubre del 2016

Ensayo	Métodos Referencia - Laboratorio	Unidades	Límite de Cuantificación	Resultado
Coliformes Fecales (E.Coli)	APHA 9223 B - PEE/ANNCY/76	NMP/100ml	1	60 E+02

**VALORES DE INCERTIDUMBRE DE USO DE ENSAYOS ACREDITADOS POR EL OAE**

Ensayo	Rango	Incertidumbre
Coliformes Fecales (E.Coli)	1 - 100 E+06	L ± 30% NMP/100ml K=2, nivel confianza 95.45%

Atentamente,

  
**Ing. Cecilia Morales B.**  
**GERENTE LABANNCY CIA. LTDA.**



**ANEXO III.- MATRICES CAUSA-EFECTO PARA LA  
EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**

**TABLA 1**  
**MATRIZ CAUSA EFECTO - IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES**

ACTIVIDADES DEL PROYECTO	FACTORES AMBIENTALES							IMPACTO DIRECTO	IMPACTO INDIRECTO
	FÍSICO			BIOLÓGICO		SOCIAL	ECONÓMICO		
	AGUA	AIRE	SUELO	FAUNA	FLORA				
Remoción cobertura vegetal	CALIDAD DEL AGUA	OLOR	CALIDAD DEL SUELO	VECTORES	Cobertura Vegetal			1. Disminución de molestias por picadura de insectos. 2.1. Puede provocar deslizamientos de tierra en la ladera.	
Desplazamiento de tierra			1	1		2		1. Disminución de mosquitos. Eliminación cobertura vegetal. 2.	
Instalación						1		1. Cambio del uso del suelo. 2. Generación de empleo.	
Operación	1			2				1. Generación de empleo, circulación del capital. 1. Mejora en la calidad del Agua. 2. Hábitat vectores (zancudos).	
Mantenimiento	1	2				3		1. Mejora de la calidad del agua. 2. Generación de olor por falta de mantenimiento oportuno. 3. Gastos para la familia.	
El Proyecto en su conjunto								Mejora en la calidad de vida.	

**TABLA 2**  
**MATRIZ CAUSA EFECTO - EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**  
**CALIFICACIÓN DE LA EXTENSIÓN**

COMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASES				
		1	2	3	4	5
		Remoción cobertura vegetal	Desplazamiento de tierra	Instalación	Operación	Mantenimiento
Aire	Olores					2
Suelo	Calidad del suelo		2			
Agua	Calidad del agua				5	5
Flora	Cobertura vegetal o uso de suelo	1				
Fauna	Vectores	7			7	
Socio económico	Generación de empleo		2	5		5

**TABLA 3**  
**MATRIZ CAUSA EFECTO - EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**  
**CALIFICACIÓN DE LA DURACIÓN**

COMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASES				
		1	2	3	4	5
		Remoción cobertura vegetal	Desplazamiento de tierra	Instalación	Operación	Mantenimiento
Aire	Olores					2
Suelo	Calidad del suelo		2			
Agua	Calidad del agua				10	10
Flora	Cobertura vegetal o uso de suelo	2				
Fauna	Vectores	7			7	
Socio económico	Generación de empleo		2	2		2

**TABLA 4**  
**MATRIZ CAUSA EFECTO - EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**  
**CALIFICACIÓN DE LA REVERSIBILIDAD**

COMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASES				
		1	2	3	4	5
		Remoción cobertura vegetal	Desplazamiento de tierra	Instalación	Operación	Mantenimiento
Aire	Olores					2
Suelo	Calidad del suelo		2			
Agua	Calidad del agua				2	2
Flora	Cobertura vegetal o uso de suelo	2				
Fauna	Vectores	2			2	
Socio económico	Generación de empleo		2	2		2

**TABLA 5**  
**MATRIZ CAUSA EFECTO - EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**  
**CALIFICACIÓN DEL RIESGO**

COMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASES				
		1	2	3	4	5
		Remoción cobertura vegetal	Desplazamiento de tierra	Instalación	Operación	Mantenimiento
Aire	Olores					1,6
Suelo	Calidad del suelo	2				
Agua	Calidad del agua			2	2	
Flora	Cobertura vegetal o uso de suelo	2				
Fauna	Vectores	7			7	
Socio económico	Generación de empleo		2	2		2

**TABLA 6**  
**MATRIZ CAUSA EFECTO - EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**  
**VALOR DE IMPACTO AMBIENTAL**

COMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASES				
		1	2	3	4	5
		Remoción cobertura vegetal	Desplazamiento de tierra	Instalación	Operación	Mantenimiento
Aire	Olores					1,92
Suelo	Calidad del suelo		2			
Agua	Calidad del agua				4	4
Flora	Cobertura vegetal o uso de suelo	1,6				
Fauna	Vectores	5,5			5,5	
Socio económico	Generación de empleo		2	3,2		3,2
	PESO DE LA EXTENSIÓN	0,4				
	PESO DE LA DURACIÓN	0,1				
	PESO DE LA REVERSIBILIDAD	0,3				
	PESO DEL RIESGO	0,2				

**TABLA 7**  
**MATRIZ CAUSA EFECTO - EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**  
**CALIFICACIÓN VALOR DE IMPACTO AMBIENTAL**

COMPONENTE	FACTOR AMBIENTAL	FASES					IMPACTOS SEGÚN FILAS
		1	2	3	4	5	
		Remoción cobertura vegetal	Desplazamiento de tierra	Instalación	Operación	Mantenimiento	
Aire	Olores					1,92	1,92
Suelo	Calidad del suelo		2,00				3,33
Agua	Calidad del agua				4,00	4,00	3,20
Flora	Cobertura vegetal o uso de suelo	1,60					4,20
Fauna	Vectores	5,50			5,50		5,50
Socio económico	Generación de empleo		2,00	3,20		3,20	2,80
<b>IMPACTOS SEGÚN COLUMNAS</b>		<b>3,55</b>	<b>2,00</b>	<b>3,20</b>	<b>4,75</b>	<b>3,04</b>	
IMPACTOS		CANTIDAD					%
Altamente significativos		0	0	0	0	0	0
Significativos		0	0	0	0	0	0
Medios		1	0	0	1	0	20%
Despreciables		1	1	0	0	1	30%
Benéficos		0	1	1	1	2	50%