



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN GESTIÓN  
AMBIENTAL**

**TEMA:**

**PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL SISTEMA DE LAGUNAJE PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA CANTONAL  
DE PALESTINA.**

**AUTOR:**

**ING. CIVIL. DIEGO MARCEL CONTRERAS OLVERA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. QCO. GONZALO VILLA MANOSALVAS MSc.**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**NOVIEMBRE - 2016**

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA</b>		
<b>FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN ESPECIAL</b>		
<b>TÍTULO “Propuesta de rehabilitación del sistema de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales de la cabecera cantonal de Palestina”</b>		
<b>AUTOR:</b> Ing. Civil Diego Marcel Contreras Olvera	<b>REVISORES:</b> Ing. Sandra Ronquillo Castro	
<b>INSTITUCIÓN:</b> Universidad de Guayaquil	<b>FACULTAD:</b> Ingeniería Química	
<b>CARRERA:</b> Maestría Gestión Ambiental		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	<b>N° DE PÁGS.:</b>	
<b>ÁREA TEMÁTICA:</b> Contaminación Ambiental		
<b>PALABRAS CLAVES:</b> Agua residual, Cantón Palestina, Lagunas de estabilización.		
<p><b>RESUMEN:</b> Uno de los factores indispensables para tener una conveniente protección de las fuentes de suministro de agua es contar con las técnicas que provean un tratamiento efectivo y adecuado al agua residual. Para generalizar esta práctica es necesario contar con los recursos económicos y humanos necesarios que, para la realidad de nuestro país, se traduce en implantar sistemas poco mecanizados y de bajo costo de inversión y operación. En este contexto, las pequeñas comunidades e industrias aisladas que generan residuos líquidos biodegradables pueden considerar a las lagunas de estabilización como una opción de tratamiento.</p>		
<b>N° DE REGISTRO(en base de datos):</b>	<b>N° DE CLASIFICACIÓN:</b> N°	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>SI</b>	<input type="checkbox"/> <b>NO</b>
<b>CONTACTO CON AUTOR:</b>	<b>Teléfono:</b> +593991378589	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:diego.contreras.olvera@gmail.com">diego.contreras.olvera@gmail.com</a> <a href="mailto:die01cel_co87@hotmail.com">die01cel_co87@hotmail.com</a>
<b>CONTACTO DE LA INSTITUCIÓN</b>	<b>Nombre:</b>	
	<b>Teléfono:</b>	

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del estudiante Ing. Diego Marcel Contreras Olvera, del Programa de Maestría en Gestión Ambiental, nombrado por el Decano de la Facultad de Ingeniería Química CERTIFICO: que el estudio titulado “Rehabilitación Del Sistema De Lagunaje Para El Tratamiento De Aguas Residuales De La Cabecera Cantonal De Palestina”, en opción al grado académico de Magíster en Gestión Ambiental, cumple con los requisitos académicos, científicos y formales que establece el Reglamento aprobado para tal efecto.

**Atentamente**

---

Ing. Qco. Gonzalo Villa Manosalvas Msc.  
**TUTOR**

Guayaquil, noviembre 30 del 2016

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios, a mis viejos Aurora y Cesar, a mis hermanos Julio y Manuel, a mis familiares y amigos. Para todos ellos que no perdieron la fe en mí y que de alguna u otra manera colaboraron en la culminación de mi masterado y de mi tesis de grado. Gracias.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, en particular al Departamento de Posgrado quienes brindaron el apoyo requerido y todos los conocimientos intelectuales que me permitieron llegar a ser un profesional en este ámbito.

Al Ing. Gonzalo Villa que transmitió sus conocimientos para apoyar el desarrollo de este estudio. Al Gobierno Autónomo Descentralizado de Palestina, quien colaboró con la apertura para la obtención de la información, a todos los departamentos que ayudaron durante el desarrollo de esta tesis.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación especial, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL”

---

**Ing. Diego Marcel Contreras Olvera**

## ABREVIATURAS

$A_{\text{rect}}$	área del rectángulo
C	coeficiente de colmatación
CH <sub>4</sub>	metano
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
COT	carbono orgánico total
Cr	coeficiente de retorno
CV <sub>A</sub>	carga volumétrica
CV <sub>Smax</sub>	carga volumétrica superficial máxima
d	dotación, día
DBO	demanda bioquímica de oxígeno
DBO <sub>0</sub>	demanda bioquímica de oxígeno en el afluente
DBO <sub>e</sub>	demanda bioquímica de oxígeno en el efluente
DQO	demanda química de oxígeno
E	eficiencia
e	espesor de barras
h	profundidad
H <sub>2</sub> S	sulfuro de hidrógeno
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
k <sub>1</sub>	coeficiente de consumo máximo diario
K <sub>1</sub>	coeficiente de velocidad de remoción de DBO
L	Luz entre barras, longitud del desarenador
M	factor de mayoración

n	coeficiente de rugosidad de Manning
P <sub>a</sub>	población actual
P <sub>f</sub>	población futura
pH	potencial de hidrógeno
P <sub>m</sub>	perímetro mojado
Q	caudal – gasto
Q <sub>Ce</sub>	caudal por conexiones erradas
Q <sub>D</sub>	caudal de diseño
Q <sub>Inf</sub>	caudal de infiltración
Q <sub>MD</sub>	caudal máximo diario
Q <sub>md</sub>	caudal medio diario
Q <sub>MH</sub>	caudal máximo horario
R	tasa de crecimiento
s	pendiente
S	superficie
SENAGUA	Secretaria Nacional del Agua.
T	temperatura
t	periodo de diseño
TRH	tiempo de retención hidráulico
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental
V	velocidad

# ÍNDICE

Resumen.....	xi
Introducción .....	xiii
Delimitación del problema.....	1
Formulación del problema .....	1
Justificación .....	1
Campo de acción o de investigación.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos .....	2
La novedad científica.....	2
CAPÍTULO 1.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Teorías generales.....	4
1.2. Teorías sustantivas .....	10
1.3. Referentes empíricos.....	16
CAPÍTULO 2.....	18
MARCO METODOLÓGICO.....	18
2.1. Metodología .....	18
2.3. Premisas o Hipótesis .....	23
2.4. Universo y muestra .....	23
2.5. Gestión de datos.....	23
2.6. Criterios éticos de la investigación .....	24
CAPÍTULO 3.....	25
RESULTADOS.....	25
3.1. Antecedentes de la unidad de análisis o población.....	25
3.2. Diagnóstico o estudio de campo .....	26
3.3. Propuesta de rediseño y rehabilitación de las lagunas de estabilización .....	28
Conclusiones.....	46
Recomendaciones .....	47
Bibliografía .....	48
Anexos. ....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: POBLACIÓN DEL CANTÓN PALESTINA.....	18
TABLA 2: POBLACIÓN DEL CANTÓN PALESTINA, 2016.....	19
TABLA 3: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA CABECERA CANTONAL DE PALESTINA. .....	22
TABLA 4: SERVICIOS BÁSICOS DE PALESTINA EN PORCENTAJE.....	26
TABLA 5: DOTACIONES RECOMENDADAS SEGÚN EL NÚMERO DE HABITANTES.....	29
TABLA 6: APORTES POR CONEXIONES ERRADAS.....	32
TABLA 7: APORTES POR INFILTRACIÓN EN SISTEMAS DE AGUAS RESIDUALES. ....	32
TABLA 8: CRITERIO DE DISEÑO PARA REJILLAS.....	33
TABLA 9: CRITERIO DE DISEÑO PARA DESARENADORES.....	35
TABLA 10: LAGUNAS ANAEROBIAS CON TRH MENORES A 5 DÍAS.....	38
TABLA 11: PARÁMETROS TÍPICOS DE DISEÑO PARA LAGUNAS DE TRATAMIENTO.....	38
TABLA 12: TEMPERATURA DEL AIRE – ESTACIÓN METEOROLÓGICA CAMPOSANO #2. ....	40
TABLA 13: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DIAGRAMA DE UNA LAGUNA ANAEROBIA.....	13
FIGURA 2: DIAGRAMA DE UNA LAGUNA FACULTATIVA.....	14
FIGURA 3: IMPLANTACIÓN TOPOGRÁFICO DE LAS ACTUALES LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	20
FIGURA 4: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN 1 Y 2.....	20
FIGURA 5: ESTADO ACTUAL DE LAGUNAS N°1 Y 2.....	21
FIGURA 6: TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL.....	21
FIGURA 7: CANTÓN PALESTINA.....	25
FIGURA 8: DIMENSIÓN DE REJILLA EN METROS.....	35
FIGURA 9: SECCIÓN DEL DESARENADOR EN METROS.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>

## Resumen

Uno de los factores indispensables para tener una conveniente protección de las fuentes de suministro de agua es contar con las técnicas que provean un tratamiento efectivo y adecuado al agua residual. Para generalizar esta práctica es necesario contar con los recursos económicos y humanos necesarios que, para la realidad de nuestro país, se traduce en implantar sistemas poco mecanizados y de bajo costo de inversión y operación. En este contexto, las pequeñas comunidades que generan residuos líquidos biodegradables pueden considerar a las lagunas de estabilización como una opción de tratamiento. Dentro del sistema de lagunas de estabilización que presenta actualmente la cabecera cantonal de Palestina, se prevé plantear el rediseño y rehabilitación de la estructura del tratamiento, mediante la recopilación de información técnica concerniente a sistemas de lagunaje. Para proponer el plan de rehabilitación es fundamental conocer la caracterización que presenta el agua residual que ingresa a las lagunas de estabilización, así mismo realizar un diagnóstico del procedimiento actual considerando el caudal para el cual las lagunas deben trabajar. Dentro de la sugerencia de rehabilitación se debe realizar el cálculo de las variables tales como la población futura de la cabecera cantonal de Palestina y caudal de diseño considerando el 100% de la población urbana conectada a la red de recolección de aguas residuales. Se expone la rehabilitación del sistema de lagunas de estabilización, el cual concluye con el rediseño de la laguna anaerobia y facultativa, que satisface analíticamente el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes en nuestro país.

**Palabras clave:** *Cantón Palestina*, Lagunas de estabilización, Características físico-químicas, Agua residual.

## Summary

One of the indispensable factors to have a suitable protection of the sources of water supply is to have the techniques that provide an effective treatment and adequate to the residual water. In order to generalize this practice, it is necessary to have the necessary economic and human resources that, for the reality of our country, translate into the implementation of low-mechanized and low-cost systems of investment and operation. In this context, small communities that generate biodegradable liquid waste may view stabilization ponds as a treatment option. Within the system of stabilization ponds currently under the cantonal head of Palestine, it is planned to propose the redesign and rehabilitation of the treatment structure, through the collection of technical information concerning lagoon systems. In order to propose the rehabilitation plan, it is essential to know the characterization of the wastewater entering the stabilization ponds, as well as to make a diagnosis of the current procedure considering the flow rate for which the lagoons must work. Within the rehabilitation suggestion, the variables such as the future population of the cantonal headland of Palestine and design flow should be calculated considering 100% of the urban population connected to the wastewater collection network. The rehabilitation of the stabilization lagoon system is discussed, which concludes with the redesign of the anaerobic and facultative lagoon, which satisfies analytically the compliance with environmental regulations in force in our country.

**Key words:** *Canton Palestine, Stabilization ponds, Physical and chemical characteristics, Wastewater.*

## **Introducción**

Desde hace más de un siglo ya se trabaja en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales. En las dos últimas décadas, se han incorporado diversos procesos que tienen por objetivo promover la remoción de compuestos específicos, como por ejemplo el nitrógeno, fósforo y DBO de las aguas residuales, especialmente en las de tipo doméstico. Pues las descargas de aguas residuales con este tipo de constituyentes, producen efectos altamente negativos en los cuerpos receptores, tales como la eutrofización, la reducción del oxígeno disuelto o la disminución de la efectividad de los procesos de desinfección en las plantas de tratamiento.

Actualmente se operan tecnologías para el manejo y cuidado de los recursos hídricos por lo que se han venido implementando normativas que permitan cumplir con este propósito. Por lo general las poblaciones generan efluentes con cargas contaminantes y por tal motivo tienen el desafío de establecer tecnologías que permitan devolver el agua a los cuerpos hídricos en las condiciones especificadas por las leyes ambientales vigentes, pero que a la vez impliquen bajos costos en la realización de este fin.

Los sistemas de lagunas de estabilización son alternativas biológicas que han venido aplicándose hace algunos años por permitir un tratamiento para aguas residuales, los que implican bajos costos de implementación y con efectividad en los resultados. Actualmente la cabecera cantonal de Palestina busca cumplir con su responsabilidad ambiental por lo que han optado por estrategias limpias y eficientes para sus efluentes mediante la rehabilitación de sus lagunas, ya que en la actualidad el tratamiento empleado no cumple con las expectativas ambientales deseadas. Para este proyecto se realizó la caracterización de los efluentes generados por la población urbana de Palestina, la rehabilitación de las lagunas de estabilización está en función del análisis de la mejor alternativa, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales.

## **Delimitación del problema**

El presente trabajo de investigación tiene como enfoque principal las lagunas de estabilización que procesan las aguas residuales domésticas de la zona urbana de la Cabecera Cantonal de Palestina. De acuerdo a lo verificado en el sitio, el tratamiento actual no cumple con las expectativas de depuración de aguas residuales ya que la dimensión de las lagunas actuales es mayor en comparación al caudal que ingresa diariamente a ellas, lo que genera un problema ambiental en el cantón.

## **Formulación del problema**

Conociendo la existencia de un sobredimensionamiento en las lagunas de estabilización del cantón Palestina, ¿Es posible mejorar el tratamiento de aguas residuales domésticas implementando una propuesta de rediseño de las lagunas de estabilización de la cabecera cantonal de Palestina?

## **Justificación**

Todo componente de un sistema de tratamiento de agua residual se justifica con la identificación de un problema de salud pública o del medio ambiente, el cual tiene como proyección la rehabilitación del sistema de lagunas de estabilización existente en la cabecera cantonal de Palestina implementando el rediseño de las mismas. Es decir mediante el análisis de las lagunas existente y de acuerdo a la caracterización del agua residual doméstica que es producida por la población, se desea implementar la opción de rehabilitación y rediseño más viable para mitigar problemas ambientales y cumplir con lo estipulado en las normas que son reguladas por la legislación ambiental del país para descargas en cuerpos hídricos.

## **Objeto del estudio**

El objeto de estudio de la presente investigación se centra en el análisis de una alternativa que solucione las falencias que presenta el actual sistema de tratamiento de lagunas de estabilización para aguas residuales urbanas de la cabecera cantonal de Palestina.

## **Campo de acción o de investigación**

El presente trabajo tiene como campo de acción realizar la rehabilitación del sistema de lagunaje, el que involucra la caracterización del agua residual doméstica, la aplicación teórica de fundamentos sobre lagunas de estabilización y, proponer un replanteo que favorezca a la población de Palestina, que además, cumpla con el régimen ambiental.

## **Objetivo general**

Proponer la rehabilitación del sistema de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales de la cabecera cantonal de Palestina.

## **Objetivos específicos**

- Caracterizar el agua residual que ingresa al sistema de lagunas de estabilización.
- Calcular las variables necesarias para la propuesta de rediseño.
- Formular el plan de rediseño y la propuesta de rehabilitación de las lagunas de estabilización de la cabecera cantonal de Palestina.

## **La novedad científica**

La novedad científica que presenta el actual proyecto de investigación radica en realizar el diagnóstico de las lagunas de estabilización existentes en la

cabecera cantonal de Palestina. El desarrollo de esta evaluación nos permitirá encontrar las falencias que posee el sistema para así realizar las sugerencias y establecer los criterios técnicos con la mejor opción de rediseño y rehabilitación, el cual permita beneficiar a los habitantes de la cabecera cantonal de Palestina solucionando aspectos concernientes a la salud pública, y así mismo el cumplimiento de la legislación ambiental actual.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Teorías generales

#### 1.1.1. Aguas residuales

Se denominan aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial, se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales. El término residual se emplea ya que el agua luego de ser usada constituye un residuo que no se puede usar directamente, son negras por el color que habitualmente tienen. Algunas veces se hace una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales considerando la procedencia de las primeras solo de uso doméstico mientras a las segundas correspondientes a la mezcla de aguas domésticas e industriales (*Gabriela Toscano Pozo, 2014*).

#### 1.1.2. Aguas residuales urbanas

Las aguas residuales urbanas tienen una composición más o menos uniforme, que facilita los procesos de tratamiento, y las distingue claramente de las aguas residuales industriales, cuya variedad es en muchos casos indescriptible. Aun así, aunque derive sólo de efluentes domésticos, la composición varía influenciada por algunos factores como son los hábitos alimentarios, consumo de agua, uso de productos de limpieza en el hogar, entre otros. La composición, al igual que la cantidad de aguas residuales, sufre también variaciones respecto al tiempo. Varía en el transcurso de las distintas horas del día, en función de los días de la semana y se presentan variaciones estacionales (*M. Espigares García y J. A. Pérez López*).

#### 1.1.3. Aguas Residuales Industriales

Los efluentes industriales deben su diversidad a los procesos de los que proceden, y, en función de ellos, pueden tener una composición más o menos constante,

o estar sujeta a variaciones cualitativas y/o cuantitativas considerables, según los horarios de funcionamiento de las industrias, la demanda del mercado o la posible influencia estacional en la producción (*M. Espigares García y J. A. Pérez López*).

#### **1.1.4. Características de las aguas residuales**

Las aguas residuales son una mezcla de agua (99%) y contaminantes orgánicos e inorgánicos (1%), en suspensión o disueltos, los mismos que se presentan en pequeñas concentraciones (*Henry & Heinke, 1996*).

##### **1.1.4.1. Microorganismos**

Donde exista alimento adecuado, nutrientes, humedad suficiente y temperatura idónea, los microorganismos pueden prosperar, por esto las aguas residuales proporcionan un ambiente ideal para la proliferación de los mismos, sobre todo bacterias y protozoarios. Por otro lado éstas aguas pueden contener también patógenos (organismos causantes de enfermedades), provenientes de los excrementos de las personas con enfermedades infecciosas susceptibles de transmitirse en las aguas contaminadas. Los microorganismos que contienen éstas aguas se clasifican en tres grupos: aerobios, anaerobios y facultativos (*Henry & Heinke, 1996*).

##### **1.1.4.2. Sólidos en suspensión**

Son importantes ya que pueden ocasionar situaciones desagradables como depósitos de lodos, olores, demanda de oxígeno (pueden generar condiciones anaerobias) y problemas de estética (*Corbitt, 1999*). Un metro cúbico de agua residual pesa aproximadamente 1.000.000 g y contiene alrededor de 500 g de sólidos; la mitad están disueltos y los restantes están insolubles; de los cuales 125 g permanecen en suspensión durante largos periodos de tiempo (SS) y el resto se sedimentan (*Mackenzie y Masten, 2004*).

#### **1.1.4.3.Materia orgánica**

Las proteínas, carbohidratos y lípidos constituyen el 90% de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas, los cuales son fácilmente biodegradados en un medio acuático, consumiendo oxígeno disuelto. Por esto es muy fácil disminuir el contenido de oxígeno de una corriente (pudiéndose cambiar a condiciones anaerobias) si no se controla el vertido de estas sustancias orgánicas. La mayor parte de las sustancias también pueden degradarse bajo condiciones anaerobias, proceso generalmente más lento y produce malos olores, principalmente cuando los sistemas no operan adecuadamente (*Henry & Heinke, 1996; Corbitt, 1999*).

Se utilizan diversos parámetros como medida de la concentración orgánica de las aguas residuales, como: carbono orgánico total (COT) que se basa en la cantidad de carbono orgánico presente en los residuos; otros métodos se basan en la cantidad de oxígeno que se necesita para convertir el material oxidable en productos finales estables, los dos métodos de uso más frecuente son las pruebas de la demanda química de oxígeno (DQO) y para material biodegradable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (*Henry & Heinke, 1996*).

#### **1.1.4.4.Componentes inorgánicos**

Estos elementos son macro y micro nutrientes para los microorganismos en el medio ambiente, pero los más importantes en el tratamiento del agua residual son el carbonato, nitrógeno y fósforo. En el agua residual doméstica se encuentra más carbono que nitrógeno y más nitrógeno que fósforo (*Corbitt, 1999*).

Los componentes inorgánicos comunes de las aguas residuales se detallan a continuación (*Henry & Heinke, 1996*):

- **Cloruros y sulfatos:** presentes normalmente en el agua y en los residuos generados por la población.
- **Nitrógeno y fósforo:** en formas orgánicas e inorgánicas, presente en los residuos de los seres humanos y fósforo adicional en los detergentes.
- **Carbonatos y bicarbonatos:** normalmente presentes en el agua en forma de sales de calcio y magnesio.

Además de estos componentes la concentración de gases disueltos, en especial de oxígeno, y la concentración de iones hidrógeno (expresado como pH) son parámetros de interés en las aguas residuales, ya que influyen en la eficiencia de los sistemas de tratamiento de las mismas.

#### **1.1.4.5. Características físicas**

Generalmente las aguas residuales envejecidas y sépticas son ofensivas al sentido del olfato y presentan un color negro, mientras que las aguas frescas y aeróbicas tienen un olor característico a tierra recién revuelta y tienen un color gris. Las temperaturas oscilan entre 10 y 20° C, siendo en general la temperatura del agua residual mayor que la del suministro de agua, debido a la adición de agua tibia de los hogares y al calentamiento dentro del sistema de drenaje (*Mackenzie y Masten, 2004*).

#### **1.1.5. Sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Aquellos métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas se conocen como operaciones unitarias y los métodos de tratamiento en los que la remoción de contaminantes es inducida por reacciones químicas o biológicas se denominan procesos unitarios. La aplicación secuencial combinada de estas operaciones y procesos unitarios da lugar a la generación de los diferentes niveles de

tratamiento, que generalmente son conocidos como: 1) preliminar, 2) primario o físico, 3) secundario o biológico, 4) terciario (*Darío Ortiz Muñoz, 2011*).

#### **1.1.5.1. Tratamiento preliminar**

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual. Se pretende con el pretratamiento la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las máquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora. En el pretratamiento se efectúa un desbaste para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua residual así como elementos flotantes (*Gabriela Toscano Pozo, 2014*).

#### **1.1.5.2. Tratamiento primario**

El tratamiento primario es un proceso mecánico, a veces complementado con procesos químicos que consisten en la remoción de una fracción de sólidos en suspensión, sólidos insolubles como arena, materia orgánica y materiales como grasas, aceites y espumas. Algunas de las acciones que se realizan en esta fase son: la sedimentación, la floculación, la flotación, entre otros. (*Asano Takashi, 2007*). En la actualidad existe una variante más tecnificada de este nivel de tratamiento, la cual es conocida como “Tratamiento Primario Avanzado” (*CEPT-TPA*), el cual incluye un proceso físico-químico que le permite precipitar simultáneamente las diversas clases de contaminantes de las aguas residuales, atrapándolos en flóculos de fácil remoción, esto proporciona elevadas tasas de depuración en una sola etapa de tratamiento y permite duplicar la capacidad y eficiencia en las plantas pre-existentes, siendo capaz de remover simultáneamente DBO, sólidos suspendidos totales y fósforo (*Tsukamoto Ricardo, 2007*).

### **1.1.5.3. Tratamiento secundario**

Tiene como propósito la eliminación de sólidos suspendidos y los componentes orgánicos biodegradables, incluye usualmente la desinfección como parte del proceso (*Metcalf & Eddy, 1996*). El tratamiento secundario incluye una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que se destacan las bacterias) para realizar la eliminación de contaminantes, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal; es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales (*CITME, 2006*). Una variación más tecnificada de este nivel, es el tratamiento secundario avanzado, cuyo objetivo es la eliminación de compuestos que contienen los nutrientes nitrógeno y fósforo (N y P), mediante los procesos de nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo (*Asano Takashi et al, 2007*).

### **1.1.5.4. Tratamiento terciario**

Su objetivo es conseguir una calidad de efluente superior a la del tratamiento secundario, usualmente por medio de filtración granular, filtración superficial, o membranas. El proceso de desinfección también es comúnmente usado en el tratamiento terciario. La remoción de nutrientes es a menudo incluida en esta fase (*Asano Takashi et al, 2007*).

### **1.1.5.5. Tratamiento avanzado**

Su propósito es alcanzar altos niveles de calidad del efluente, por encima de los obtenidos mediante tratamiento secundario o terciario, pues su meta es la recuperación y reutilización de las aguas tratadas (*Asano Takashi et al, 2006*). Emplea procesos y tecnologías más específicos y complejos que los usados en otros niveles de tratamiento:

adsorción con carbón activado, intercambio iónico, procesos avanzados de oxidación (ozonación, foto-fentón, ultrasonido, radiación UV, métodos electroquímicos, etc.), membranas (microfiltración, ultrafiltración, osmosis inversa, nanofiltración y electrodiálisis) (CITME, 2006).

#### **1.1.5.6. Tratamiento de fangos**

Un aspecto importante en el tratamiento de aguas residuales lo constituye la manipulación y el destino final de los lodos producidos, sean estos orgánicos o inorgánicos. Los lodos producidos en los tratamientos biológicos pueden provenir de sedimentadores primarios, secundarios o de tratamientos terciarios, estos lodos están constituidos fundamentalmente de materia orgánica, con una fracción volátil entre 60% y 80%. Los tratamientos físico-químicos producen lodos que son eminentemente de naturaleza inorgánica. Tanto los lodos orgánicos como inorgánicos poseen un alto porcentaje de agua, lo cual dificulta su manipulación y disposición debido a los altos volúmenes generados. La naturaleza de los lodos orgánica o inorgánica, define el tratamiento al que deben ser sometidos antes de su disposición final (Menéndez & Pérez, 2007).

### **1.2. Teorías sustantivas**

Las teorías de referencia y que se enmarcan dentro de la investigación y que son el sistema de lagunas de estabilización, tratamiento que consta de estructuras construidas en tierra, con flujo a cielo abierto, diseñadas específicamente para tratar aguas residuales domésticas o industriales biodegradables, son fáciles de construir y operar. Asimilan grandes fluctuaciones de flujo y proporcionan un tratamiento muy próximo al de los sistemas convencionales, con costos mucho más bajos. La economía es el principal factor que decide la opción de lagunas de tratamiento (Spellman, 2003).

Las lagunas pueden ser usadas de forma aislada o en combinación con otros métodos de tratamiento. En ellas la materia biodegradable es estabilizada mediante agentes naturales durante TRH largos. El grado real de tratamiento depende del tipo y número de lagunas usadas. (*Srinivas, 2008*).

### **1.2.1. Tipos de lagunas de estabilización**

Las lagunas de estabilización suelen clasificarse en:

- Aerobias.
- Anaerobias.
- Facultativas.
- Maduración.

#### **1.2.1.1. Lagunas aerobias**

Reciben aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas. Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5m de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada, 20-30 días (*Romero, 1999*). Las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas.

- a) Lagunas aerobias: la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interfase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.
- b) Lagunas aireadas: en ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesitándose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier zona de una laguna aerobia depende de factores tales como la carga orgánica, el grado de mezcla de la laguna, el pH, los nutrientes, la luz solar y la temperatura (Romero, 1999).

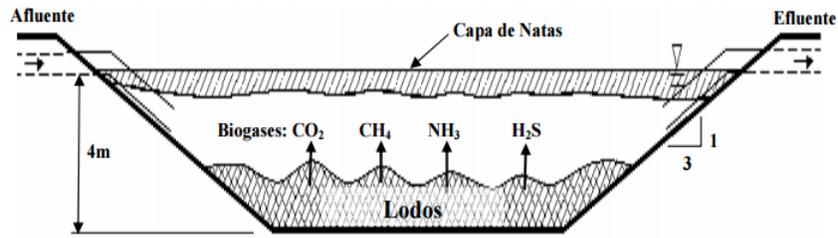
#### **1.2.1.2. Lagunas anaerobias**

El tratamiento se lleva a cabo por la acción de bacterias anaerobias. Como consecuencia de la elevada carga orgánica y el corto periodo de retención del agua residual, el contenido de oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión, que pasan a incorporarse a la capa de fangos acumulados en el fondo y eliminar parte de la carga orgánica. La estabilización en estas lagunas tiene lugar mediante las etapas siguientes:

- a) *Hidrólisis*: los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.
- b) *Formación de ácidos*: los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles.
- c) *Formación de metano*: una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono.

Las lagunas anaerobias suelen tener profundidad entre 2 y 5 m, el parámetro más utilizado para el diseño de lagunas anaerobias es la carga volumétrica que por su alto valor lleva a que sean habituales tiempos de retención con valores comprendidos entre 2-5 días (Romero, 1999).

Figura 1: Diagrama de una laguna anaerobia.



Fuente: Oakley, 2005.

### 1.2.1.3. Lagunas facultativas

Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes (Rolim, 2000). En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos, en el fango del fondo, hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Además de las bacterias y protozoarios, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son los principales suministradoras de oxígeno disuelto (Rolim, 2000).

El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes. La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical (Rolim, 2000).

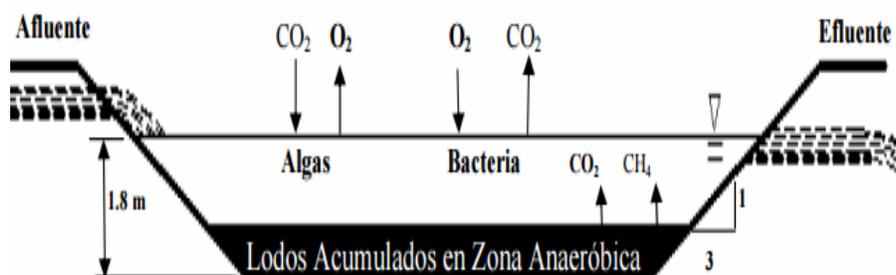
Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, estos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa (Rolim, 2000).

En una laguna facultativa existen tres zonas:

1. Una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente.
2. Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.
3. Una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas.

Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono por las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{CH}_4$ , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera (Rolim, 2000).

Figura 2: Diagrama de una laguna facultativa



Fuente: Oakley, 2005.

#### 1.2.1.4. Lagunas de maduración

Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta

eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado. Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales. Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional, debido a la eliminación de agentes patógenos, si se reutiliza el agua depurada (Rolim, 2000).

### **1.3.2. Ventajas e inconvenientes de las lagunas de estabilización**

#### **1.2.2.1. Ventajas**

- 1) La estabilización de la materia orgánica alcanzada es muy elevada.
- 2) La eliminación de microorganismos patógenos es muy superior a la alcanzada mediante otros métodos de tratamiento.
- 3) Presentan una gran flexibilidad en el tratamiento de puntas de carga y caudal.
- 4) Pueden emplearse para el tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos en materia biodegradables.
- 5) Desde el punto de vista económico, es mucho más barato que los métodos convencionales, con bajos costos de instalación y mantenimiento.
- 6) El consumo energético es nulo.

#### **1.2.2.2. Inconvenientes**

- 1) La presencia de materia en suspensión en el efluente, debido a las altas concentraciones de fitoplancton.
- 2) Ocupación de terreno, que es superior a la de otros métodos de tratamiento.
- 3) Las pérdidas considerables de agua por evaporación en verano.

### **1.3. Referentes empíricos**

#### **Tratamiento de aguas residuales urbanas mediante lagunas de alta carga: evaluación experimental.**

En referencia a lo expresado por: *Joan García, Mariona Hernández-Mariné y Rafael Mujeriego* tenemos:

*“El objetivo del presente estudio es determinar las condiciones de explotación de dos lagunas experimentales que permiten obtener un mayor rendimiento de eliminación de la materia orgánica y los nutrientes del agua residual urbana. También se pretende establecer el rendimiento de los decantadores secundarios experimentales utilizados para la separación de la biomasa del fitoplancton que crece en las lagunas. Se han estudiado durante un año dos lagunas de alta carga provistas cada una de un decantador secundario en serie. La eliminación de la materia orgánica y los nutrientes se ha evaluado mediante estrategias operacionales diferenciadas definidas a través del control del tiempo de retención hidráulico”.*

#### **Límite procesal en sistema dual de lagunas de estabilización de alta carga.**

En referencia a lo expresado por: *Rebeca M. Sánchez; Eudoro E. López L.; María Virginia Najul; Henry Blanco* tenemos:

*“El seguimiento y evaluación de la operación del sistema de lagunas existentes en la Planta Experimental de Tratamiento de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela constituido por una laguna facultativa primaria conectada en serie con una aerobia, permitió demostrar la capacidad de las unidades para operar bajo condiciones de alta carga cuando el líquido residual tratado es de origen doméstico y las condiciones ambientales corresponden a las típicas de clima tropical. El mencionado sistema*

*se evaluó por un período de dos años, utilizando criterios convencionales tales como: eficiencia de remoción de materia orgánica, nutrientes y otros parámetros de interés, así como la capacidad del sistema para mantener las condiciones para las cuales fue diseñado (laguna aerobia o laguna facultativa), y no convencionales: análisis probabilístico basado en la confiabilidad y estabilidad del efluente producido en términos del contenido de materia orgánica”.*

### **Diseño, construcción y evaluación de lagunas de estabilización.**

En referencia a lo expresado por: *Fernando Franco Jara* y *Marcelo Galeano Kegler* tenemos:

*“Sabido, que los climas tropicales como el de Paraguay, propician un medio ambiente ideal para el tratamiento natural de aguas residuales, y que el tratamiento de efluentes en lagunas de estabilización se enmarca dentro de los procedimientos con bajo costo, debido a su fácil construcción, escaso mantenimiento, y la utilización de una mano de obra poco especializada para su control, se optó por llevar a cabo una investigación experimental a escala real de este sistema apuntado como adecuado para la reducción de patógenos y remoción de materia orgánica, resolviendo así el problema de salud.”*

## CAPÍTULO 2

### MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Metodología

La metodología que se utilizó para realizar esta investigación se expone a continuación:

1. Selección de información de censos, topografía y caracterización de agua residual de la cabecera cantonal de Palestina.
2. Diagnosticar el estado actual del sistema de lagunas de estabilización de la cabecera cantonal de Palestina.
3. Calcular los parámetros necesarios para implementar el rediseño.
4. Realizar la propuesta de rehabilitación del sistema de lagunaje actual.

#### 2.2. Métodos

El crecimiento de la población se ve reflejada mediante la comparación de los censos que existen en nuestro país, cuyos datos se encuentran disponibles en la página oficial del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo - INEC. De acuerdo al censo poblacional realizado en el 2010 en el cantón Palestina, podemos obtener los siguientes datos que se reflejan en la tabla 1:

**Tabla 1:** Población del cantón Palestina

<b>Cantón Palestina – Censo 2010</b>	<b>Población (hab.)</b>	<b>%</b>
Población Urbana	8809	52.80
Población Rural	7875	47.20
<b><i>Población Total=</i></b>	<b><i>16684</i></b>	<b><i>100</i></b>

Fuente: INEC – Censo 2010.

Mediante proyecciones demográficas por año y cantón realizadas por el INEC, podemos obtener la población del presente año, la cual es de 17795 habitantes, cuya cantidad servirá

para obtener la población futura del cantón. De esta manera y considerando los mismos factores expuestos en la tabla anterior tenemos las siguientes consideraciones:

**Tabla 2:** Población del cantón Palestina, proyección 2016

<b>Cantón Palestina – Proyección INEC - 2016</b>	<b>Población (hab.)</b>
Población Urbana - Cabecera cantonal.	9396
Población Rural.	8399
<b>Población Total=</b>	<b>17795</b>

Fuente: INEC - 2010 – Proyección.

La población a ser considerada para el cálculo corresponde a los habitantes de la cabecera cantonal de Palestina (9396 hab.), porción que será empleada en la fórmula de crecimiento geométrico para cálculo de población futura con una tasa de crecimiento del 1.58% otorgada por el INEC, la ecuación es la siguiente:

$$Pf = Pa(1 + r)^t$$

Donde:

Pf: población futura

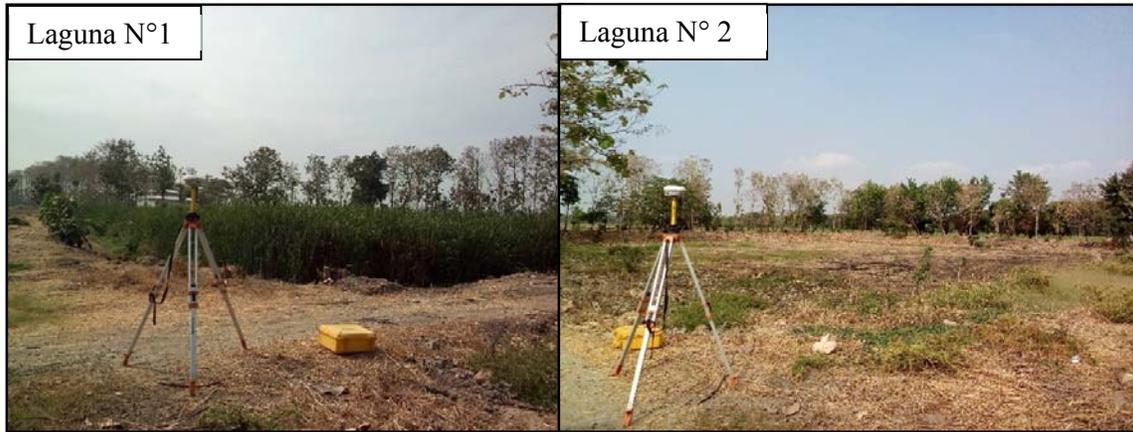
Pa: población actual

r: tasa de crecimiento

t: periodo de diseño.

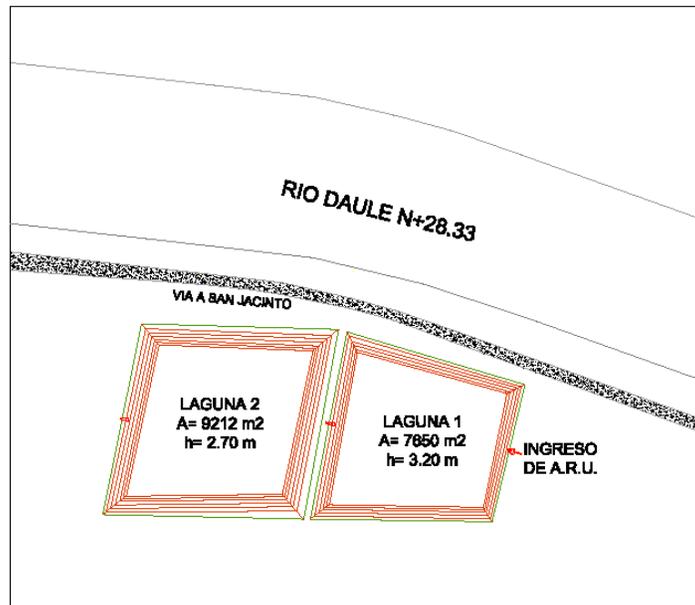
También se realizó el levantamiento topográfico de la zona de estudio para conocer la georeferenciación de las lagunas de estabilización y de la estación de bombeo de aguas residuales. Conocido el relieve del sector en mención, se pudo obtener el área y la profundidad actual de las lagunas de estabilización.

**Figura 4:** Levantamiento topográfico de las lagunas de estabilización del cantón Palestina.



**Elaborado por:** Diego Contreras Olvera.

**Figura 3:** Implantación topográfica de las actuales lagunas de estabilización.



**Elaborado por:** Diego Contreras Olvera.

Mediante recorrido efectuado en el lugar donde se ubican las lagunas, se evidencio que el estado actual no presenta garantías para el tratamiento de las aguas residuales. En la laguna N°1 que posee un área promedio de 7650 m<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 3.20 m, se logró observar que las aguas residuales que llegan a ella se encuentran estancadas, presencia de maleza y, que de ninguna manera se cumple el proceso de tratamiento para las aguas residuales. En la laguna N°2 que presenta un área promedio de 9212 m<sup>2</sup> y una

profundidad promedio de 2.70 m, no se observó presencia de agua residual y poca maleza como podemos contemplar en las siguientes imágenes.

**Figura 5:** Estado actual de lagunas de estabilización del cantón Palestina.



**Elaborado por:** Diego Contreras Olvera.

Para conocer las características del agua residual que llega hasta las lagunas de estabilización, se realizó la toma de tres muestras puntuales, de las cuales se conocerán parámetros básicos e indispensables como la DBO, DQO, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, nitrógeno y nitratos. De la caracterización obtendremos los valores de ciertos parámetros que son indispensables para realizar la rehabilitación de las lagunas de estabilización.

**Figura 6:** Toma de muestras de agua residual.



**Elaborado por:** Diego Contreras Olvera.

Del resultado de los análisis de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3:** Caracterización del agua residual de la cabecera cantonal de Palestina.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como:</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado ARD-P1</b>	<b>Resultado ARD-P2</b>	<b>Resultado ARD-P3</b>	<b>Limite Max. Perm.</b>
<b>Demanda Bioquímica de oxígeno</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/l	DBO Trak	260	192	150	100
<b>Demanda química de oxígeno</b>	DQO	mg/l	5220D	347	298	256	200
<b>Solidos Suspendedos</b>	-	mg/l	2540D	120	100	80	130
<b>Solidos Totales</b>	-	mg/l	2540C	570	520	490	-
<b>Nitrógeno</b>	N	mg/l	HACH 10071	26.40	23.20	25.60	-
<b>Nitratos</b>	N-NO <sub>3</sub>	mg/l	8171 HACH	12.80	8.20	9.10	-

**Elaborado por:** Laboratorio de Aguas – Petróleo y Medio Ambiente, U.D.G.

Con lo expuesto anteriormente se calculará la población futura, los caudales que servirán para el rediseño con referencias obtenidas de las normas de la Secretaria Nacional del Agua – SENAGUA y, con la caracterización del agua residual, se realizará la propuesta de rehabilitación y rediseño de las actuales lagunas de estabilización para

la DBO<sub>5</sub> más desfavorable en el afluente, rehabilitación que tiene como finalidad cumplir con las leyes ambientales vigentes para descargas en cuerpos hídricos.

### **2.3. Premisas o Hipótesis**

Proponer la rehabilitación del sistema de lagunas de estabilización de la cabecera cantonal de Palestina para un periodo de diseño de 20 años, considerando los parámetros de carga actual de las aguas residuales.

### **2.4. Universo y muestra**

Para este caso de investigación el enfoque principal recae sobre el sistema de tratamiento (lagunas de estabilización) de la cabecera cantonal de Palestina, las cuales son las encargadas de realizar la depuración de las aguas residuales urbanas. Se efectuó la obtención de tres muestras de agua residual, las que se tomaron siguiendo el protocolo establecido por el laboratorio encargado de realizar los análisis. Esto nos permitirá obtener información certera de los parámetros que se van a analizar y que son de importancia para la rehabilitación.

### **2.5. Gestión de datos**

Una vez obtenidos los datos proporcionados por el censo poblacional del 2010, la caracterización de las muestras del agua residual y la topografía del lugar de las lagunas de estabilización, se procede a realizar los cálculos de población futura, caudales medio – máximo diario – máximo horario y de diseño. Con la determinación de estos datos previos se plantea la rehabilitación y se realizará el cálculo final para el rediseño de las nuevas lagunas de estabilización.

## 2.6. Criterios éticos de la investigación

La selección de datos y criterios que sustentan el presente trabajo de investigación, resultado de la investigación de información relacionada a sistemas de lagunaje y de las cuales tenemos:

- ❖ Las normas ambientales vigentes TULSMA – AM097A – Libro VI – Anexo N°1; Tabla 9 con los Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- ❖ Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes – SENAGUA.
- ❖ Del informe final de los parámetros analizados de las muestras de agua residual realizado por el Laboratorio de Aguas Petróleo y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Química.
- ❖ Referencias bibliográficas sobre lagunas de estabilización de donde se adoptaron las formulas y criterios de diseño.

## CAPÍTULO 3

### RESULTADOS

#### 3.1. Antecedentes de la unidad de análisis o población

El cantón Palestina en el año 1957 se erige como parroquia por su constante crecimiento poblacional y su desarrollo sostenido en el 1988, se convierte en nuevo cantón de la provincia del Guayas cuenta con una población promedio de 10.000 habitantes en el área urbana y unos 9.000 en el área rural. Se encuentra ubicada en la región centro occidental a unos 80 kilómetros de la capital de la provincia (Guayaquil), tiene un clima tropical con una temperatura promedio anual de a 25° grados centígrados y se caracteriza por tener el 80% del área en una zona plana.

Figura 7: Cantón Palestina.



Fuente: Gobierno Provincial del Guayas.

Mediante información recopilada por el censo poblacional del 2010, podemos verificar información básica sobre el porcentaje de habitantes que cuentan con servicios básicos tales como abastecimiento de agua potable, red de alcantarillado sanitario, recolección de residuos sólidos urbanos los que se muestran a continuación en la tabla N°4:

Tabla 4: Servicios básicos de Palestina en porcentaje.

<b>Cantón Palestina – Servicios Básicos</b>	<b>Forma de eliminar los residuos sólidos urbanos</b>						
	<b>Por carro recolector</b>	<b>La arrojan en terreno baldío o quebrada</b>	<b>La queman</b>	<b>La entierran</b>	<b>La arrojan al río, acequia o canal</b>	<b>De otra forma</b>	<b>Total</b>
	57.62 %	0.80 %	40.69 %	0.43 %	0.30 %	0.16 %	100 %
	<b>Tipo de descarga de aguas servidas domesticas</b>						
	<b>Conectado a red pública de alcantarillado</b>	<b>Conectado a pozo séptico</b>	<b>Conectado a pozo ciego</b>	<b>Con descarga directa al mar, río, lago o quebrada</b>	<b>Letrina</b>	<b>No tiene</b>	<b>Total</b>
	23.22 %	40.76 %	12.38 %	0.11 %	5.55 %	17.97 %	100 %
	<b>Procedencia principal del agua potable recibida</b>						
	<b>De red pública</b>	<b>De pozo</b>	<b>De río, vertiente, acequia o canal</b>	<b>De carro repartidor</b>	<b>Otro (Agua lluvia/albarrada)</b>		<b>Total</b>
	53.83 %	41.79 %	3.54 %	0.11 %	0.73 %		100 %

Fuente: INEC – Ecuador en cifras, 2010.

### 3.2. Diagnóstico o estudio de campo

Es importante conocer que las lagunas de estabilización de la cabecera cantonal de Palestina fueron construidas en el año 1998 con un periodo de diseño de 20 años, las mismas que se encuentran próximas a cumplir su ciclo de vida útil. Es necesario indicar que actualmente las lagunas de estabilización no cumplen el proceso de depuración de aguas residuales, lo que se demostrará mediante las siguientes deducciones obtenidas de la literatura técnica sobre sistemas de lagunas de estabilización.

La profundidad en los sistemas de lagunaje cumple un papel fundamental en la designación del tipo de lagunas, ya que según Metcalf & Eddy (1996) las anaerobias tienen profundidades que oscilan entre 2.40 y 4.80 metros, mientras que en las facultativas tienen valores entre 1.20 y 2.40 metros. Entonces la primera laguna que conforma el sistema de tratamiento se considera de tipo anaerobia por los datos obtenidos en la topografía del sitio, la cual tiene las siguientes dimensiones: longitud de 90 metros, ancho de 85 metros y una profundidad medida desde la corona hasta la parte inferior de 3.20 metros, con altura útil de 2.70 metros. La segunda laguna por su estructura se considera de tipo facultativa ya que tiene las siguientes dimensiones: longitud de 98 metros, ancho de 94 metros y una profundidad medida desde la corona hasta la parte inferior de 2.70 metros, con altura útil de 2.20 metros.

Entonces empleando la fórmula constituida por *Silva (1982)* se cuantificara el caudal de diseño para que se lleve a cabo el cumplimiento del proceso de depuración en el sistema de lagunas existentes en el cantón:

$$A = \frac{Q * TRH}{h} \cong Q = \frac{A * h}{TRH}$$

Datos:

TRH: Tiempo de retención hidráulica, día.

Q: el caudal de diseño, m<sup>3</sup>/día.

h: profundidad de laguna, m.

A: área de la laguna anaerobia, m.

Según *Rolim (2000)*, establece que los TRH de las lagunas anaerobias oscilan entre 2 y 5 días en temperaturas de 25 a 30° C; del cual estimaremos un TRH de 2 días para nuestra comprobación ya que el área de la laguna anaerobia es de 7650 m<sup>2</sup> y, conociendo que la temperatura anual promedio fijada por el INAMHI para la zona de estudio es de 26° C. Entonces tenemos:

$$Q = \frac{90 \text{ m} * 85 \text{ m} * 2.70 \text{ m}}{2 \text{ d}}$$

$$Q = 10327.50 \text{ m}^3/\text{d} = 119.53 \text{ l/s}$$

Calculado el valor del caudal para el cual debe trabajar el vigente sistema de lagunaje, podemos aseverar que existe una sobredimensión en las lagunas por el elevado valor del caudal en relación a la población urbana actual de Palestina, la cual será comprobada analíticamente con la realización del cálculo de la propuesta de rehabilitación.

### **3.3. Propuesta de rediseño y rehabilitación de las lagunas de estabilización**

Conocido el actual estado de las lagunas de estabilización y, verificando que el sistema no cumple con el tratamiento de depuración de las aguas residuales para la población actual por una aparente sobredimensión de las mismas, se detalla a continuación el cálculo del rediseño para una laguna anaerobia y una laguna facultativa en serie, provisto de un tratamiento preliminar compuesto de unas rejillas de sólidos y un desarenador.

#### **3.3.1. Cálculo de la población futura $P_f$**

Para realizar el cálculo de la población futura adoptamos el método geométrico, la tasa de crecimiento es de 1.58% según el censo del 2010 y la población proyectada al 2016 de 9396 habitantes de la cabecera cantonal de Palestina. Entonces tenemos:

$$P_f = P_a(1 + r)^t$$

$P_f$ : población futura

$r$ : 1.58%

$t$ : tiempo estimado del periodo de diseño = 20 años

$P_a$ : 9396 hab. (Cabecera cantonal de Palestina)

$$P_f = 12856 \text{ hab.}$$

### 3.3.2. Cálculo de los diferentes caudales

Para el cálculo de los diferentes caudales se consideró los criterios establecidos por SENAGUA en las normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, de donde se obtienen los datos para la dotación y coeficientes de variación y que se muestra en la siguiente tabla N°5:

**Tabla 5:** Dotaciones recomendadas según el número de habitantes.

<b>Población (Hab.)</b>	<b>Clima</b>	<b>Dotación media futura (l/hab*d)</b>
Hasta 5000	Frio	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
De 5000 a 50000	Frio	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Más de 50000	Frio	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Fuente: SENAGUA.

Para el cálculo y de acuerdo a la tabla de dotaciones establecidas por SENAGUA, se considera un valor igual a 200 l/hab\*d, entonces tenemos:

$$Q = P_f \times \text{dotacion de agua (l. hab. día)}$$

$P_f$ : 12856 hab.

Dotación: 200 l/hab\*d.

$$Q = 12856 \text{ hab} \times 200 \text{ l/hab. día}$$

$$Q = 2571200 \text{ l/día}$$

$$Q = 2571.20 \text{ m}^3/\text{día}$$

### A. Caudal medio de aguas servidas $Q_{mD}$

Se considera un coeficiente de retorno del 80% que regresa al sistema de aguas servidas

$$Q_{mD} = \frac{CR \times d \times P_f}{86400}$$

Donde:

Q: caudal medio de aguas residuales domésticas, l/s.

CR: coeficiente de retorno, 80%.

d: dotación de agua potable, 200 l/hab\*d.

Pf: población futura, 12856 hab.

$$Q_{mD} = \frac{80\% \times 200 \times 12856}{86400}$$

$$Q_{mD} = 23,81 \text{ l/s}$$

### B. Caudal máximo diario $Q_{MD}$

El coeficiente de variación del consumo máximo diario debe establecerse en base a estudios de sistemas existentes y aplicar la analogía al proyecto en estudio. En caso contrario se recomienda utilizar valores entre el rango para k1 de 1.30 – 1.50. Para el presente estudio el valor de k1 será de 1.30 (*SENAGUA*).

$$Q_{MD} = Q_{md} \times K_1$$

Donde:

$Q_{MD}$ : caudal máximo diario, l/s.

$Q_{md}$ : caudal medio diario, 23.81 l/s.

k1: coeficiente de consumo máximo diario, 1.30

$$Q_{MD} = 23,81 \text{ l/s} \times 1,30$$

$$Q_{MD} = 30.95 \text{ l/s}$$

### C. Caudal máximo horario $Q_{MH}$

El factor de mayoración para estimar el caudal máximo horario con base en el caudal medio diario, tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El factor de mayoración disminuye en la medida que el número de habitantes aumenta. El factor de mayoración se puede realizar teniendo en cuenta las relaciones aproximadas de Harmon, válidas para poblaciones de 1000 a 1000000 de habitantes (RAS, 2000) cuya fórmula es:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f}}$$

M: factor de mayoración.

Pf: población futura

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{12856}}$$

$$M = 1,12$$

$$Q_{MH} = Q_{MD} * M$$

$$Q_{MH} = 30.95 \text{ l/s} * 1,12$$

$$Q_{MH} = 34.67 \text{ l/s}$$

### D. Cálculo del caudal de diseño $Q_D$

Para el cálculo del caudal de diseño se aplica la siguiente formula:

$$Q_D = Q_{MH} + Q_{Inf} + Q_{Ce}$$

Donde:

$Q_D$ : caudal de diseño

$Q_{MH}$ : caudal maximo horario.

$Q_{Inf}$  : caudal de infiltracion

$Q_{Ce}$  : caudal por conexiones erradas.

- I. **Caudal por conexiones erradas  $Q_{ce}$** - es el caudal que proviene de las conexiones que equivocadamente se hacen de las aguas lluvias domiciliarias y de las conexiones clandestinas.

**Tabla 6:** Aportes por conexiones erradas.

Nivel de complejidad del sistema	Aporte (l/s*has)
Bajo y medio	0,20
Medio alto y alto	0,10

Fuente: Norma RAS 2000.

Para el presente estudio y con el nivel bajo de complejidad del sistema adoptamos un aporte de 0.20 l/s\*has, para un area de 107.26 has que posee la cabecera cantonal de Palestina.

$$Q_{ce} = 0.20 \frac{l}{s * has} * 107.26 has$$

$$Q_{ce} = 21.45 l/s$$

- II. **Caudal de infiltración  $Q_{inf}$** - es inevitable las filtraciones de aguas superficiales a las redes de sistema de alcantarillado sanitario, especialmente freáticas, a través de fisuras en las redes, juntas ejecutadas deficientemente, filtración en las cámaras de inspección, entre otros.

**Tabla 7:** Aportes por infiltración en sistemas de aguas residuales.

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L /s*ha)	Infiltración media (L /s*ha)	Infiltración baja (L /s*ha)
Bajo y medio	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

Fuente: Norma RAS 2000.

Por el nivel de complejidad medio del sistema adoptamos un aporte de 0.13 l/s\*has, para un area de 107.26 has que posee la cabecera cantonal de Palestina.

$$Q_{Inf} = 0.13 \frac{l}{s * has} * 107.26 has$$

$$Q_{Inf} = 13.94 l/s$$

Conocidos los valores de los caudales por conexiones erradas, de infiltración y máximo horario, se deduce el caudal de diseño de la siguiente manera:

$$Q_D = 34.67 l/s + 13.94 l/s + 21.45 l/s$$

$$Q_D = 70.06 l/s$$

### 3.3.3. Diseño del tratamiento preliminar

#### 3.3.3.1. Diseño de rejillas para gruesos

El dimensionamiento de la rejilla de gruesos, se realizará mediante la siguiente formula:

$$S = \frac{Q_D}{V} * \frac{L + e}{L} * \frac{1}{C}$$

Donde:

S: superficie de rejas, m<sup>2</sup>

V: velocidad de aproximación, m/s.

L: luz entre barras, mm.

e: espesor de barra, mm.

C: coef. de colmatación.

Las rejillas se calcularan con el caudal de diseño y datos que se adoptaran de la tabla N° 8. Se reemplaza los valores en la formula descrita anteriormente.

**Tabla 8:** Criterio de diseño para rejillas.

Parámetro	Criterio de diseño
Forma de barra	Rectangular

Ancho de barra	5 – 15 mm
Espesor de barra	25 – 50 mm
Espaciamiento o luz entre barras	25 – 50 mm
Inclinación con la vertical	45 – 60°
Velocidad de aproximación	0.45 m/s
Velocidad a través de las barras	$\geq 0.60$ m/s para caudal promedio $\leq 0.90$ m/s para caudal máximo
Perdidas de carga máxima	0.15 m
Cantidades de material retenido	0.008 – 0.038 m <sup>3</sup> /1000m <sup>3</sup>
Coefficiente de colmatación	0.7 – 1.0

Fuente: Lagunas de estabilización en Honduras, Oakley 2005.

Donde:

S: superficie de rejas, m<sup>2</sup>

Q: caudal de diseño, 0.070 m<sup>3</sup>/seg.

V: velocidad de aproximación, 0.60 m/s.

L: luz entre barras, 50 mm.

e: espesor de barra, 25 mm.

C: coef. de colmatación 0.70.

$$S = \frac{0.070 \text{ m}^3/\text{s}}{0.60 \text{ m/s}} * \frac{50\text{mm} + 25\text{mm}}{50\text{mm}} * \frac{1}{0.70}$$

$$S = 0.25 \text{ m}^2$$

Se establece que la forma de la rejilla es rectangular y, definimos sus dimensiones.

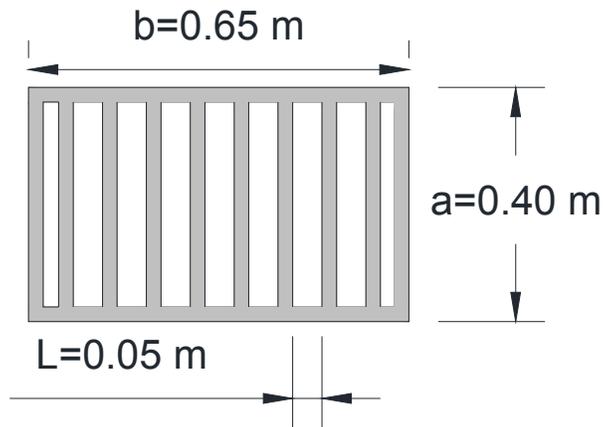
$$A_{rect} = a * b$$

$$0.25 \text{ m}^2 = a * b$$

$$a = 0.40 \text{ m}$$

$$b = 0.65 \text{ m}$$

**Figura 8:** Dimensión de rejilla en metros.



Elaborado por: Diego Contreras Olvera.

### 3.3.3.2. Diseño del desarenador

La valoración del desarenador se lo realizara con los rangos de la tabla N°9:

**Tabla 9:** Criterio de diseño para desarenadores.

Parámetro	Valor o rango
Carga superficial	10-70 m/h
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	30 a 180 s
Velocidad horizontal	0.20 a .40 m/s
Borde libre (por encima del caudal punta al final del periodo de diseño)	0,3 a 0,4 m
Coefficiente de rugosidad de Manning	0,014 (independientemente del material de construcción)

Fuente: Lozano-Rivas, Tratamiento de Aguas Residuales, 2012.

Para el cálculo del área transversal del desarenador, se aplica la siguiente formula:

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

Donde:

S: superficie de rejas,  $m^2$

Q: caudal de diseño,  $m^3/seg.$

V: velocidad horizontal, m/s.

Reemplazando los valores en la formula tenemos:

$$S = \frac{0.070 \text{ m}^3/\text{s}}{0.30 \text{ m/s}}$$

$$S = 0.23 \text{ m}^2$$

Se establece que la el desarenador tendrá una forma rectangular y, definimos sus dimensiones conociendo que las rejillas tienen un ancho  $b=0.65 \text{ m}$ .

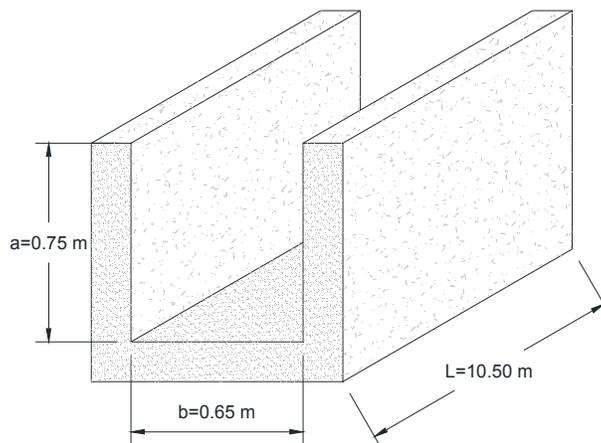
$$A_{rect} = a * b$$

$$0.23 \text{ m}^2 = a * 0.65 \text{ m}$$

$$a = 0.35 \text{ m}$$

El valor calculado de “a” es desde el fondo del desarenador hasta la lámina de agua, por lo que se considera un borde libre de  $0.40 \text{ m}$ , y tendríamos una altura total de  $a=0.75 \text{ m}$ .

**Figura 9:** Sección del desarenador en metros.



**Elaborado por:** Diego Contreras Olvera.

Considerando un TRH de 30 segundos podemos calcular la longitud del desarenador con la siguiente formula:

$$L = TRH * V$$

Donde:

L: Longitud del desarenador, m

V: velocidad horizontal, m/s.

$$L = 35 \text{ s} * 0.30 \text{ m/s}$$

$$L = 10.50 \text{ m}$$

Para obtener la pendiente del desarenador aplicamos la siguiente formula de Manning:

$$V = \frac{(A/Pm)^{2/3}}{n} * s^{1.2}$$

Donde:

s: pendiente, %.

V: velocidad horizontal, m/s.

n: coeficiente de rugosidad de Manning.

A: area,  $m^2$ .

Pm: perímetro mojado, m.

$$0.30 \text{ m/s} = \frac{\left( \frac{0.23 \text{ m}^2}{0.35 \text{ m} + 0.65 \text{ m} + 0.35 \text{ m}} \right)^{2/3}}{0.014} * s^{1/2}$$
$$s = 0.02\%$$

### **3.3.4. Dimensionamiento del sistema de lagunas de estabilización en serie**

#### **3.3.4.1. Laguna anaerobia**

La recomendación tradicional en el caso de las aguas residuales domesticas e industriales biodegradables es que la carga volumétrica para lagunas anaerobias este comprendida entre 100 y 400 grDBO/ $m^3$ \*día. Según *Silva (1981)*, para las aguas residuales domésticas, el ideal es que la carga orgánica volumétrica se acerque al valor de 300 grDBO/ $m^3$ . En la siguiente tabla N°10 podremos observar resultados obtenidos para lagunas anaerobias que tratan aguas residuales domesticas con periodos de retención menores a los cinco días (*Arceivala, 1981*).

**Tabla 10:** Lagunas anaerobias con TRH menores a 5 días.

Temperatura de la laguna anaerobia (°C)	TRH (días)	Probable eficiencia de remoción de DBO (%)
10 - 25	4 - 5	30 - 40
15 - 20	3 - 4	40 - 50
20 - 25	2.5 - 3	40 - 60
25 - 30	2 - 5	60 - 70

Fuente: Arceivala, 1981.

En la tabla N° 11 también se establecen criterios de diseño de lagunas de estabilización que se muestran a consideración:

**Tabla 11:** Parámetros típicos de diseño para lagunas de tratamiento.

Parámetro	Tipo de estanque					
	Aerobio de baja carga	Aerobio de alta carga	Aerobio - maduración	Aerobio - anaerobio - facultativo	Anaerobio	Laguna aireada
Régimen de flujo	Mezcla intermit.	Mezcla intermit.	Mezcla intermit.	Estrato superficial mezclador	-	Mezcla completa
Tamaño del estanque, has	<4 unidades múltiples	0.20 - 0.80	0.80 - 4.00 unidades múltiples	0.20 - 0.80 unidades múltiples	0.20 - 0.80 unidades múltiples	0.80 - 4.00
Funcionamiento	Serie o paralelo	Serie	Serie o paralelo	Serie o paralelo	Serie	Serie o paralelo
TRH (días)	10 - 40	4 - 6	5 - 20	5 - 30	20 - 50	3 - 10
Profundidad	0.90 - 1.20	0.30 - 0.45	0.50 - 0.90	1.20 - 2.4	2.4 - 4.8	1.80 - 6.00
pH	6.50 - 10.50	6.50 - 10.50	6.50 - 10.50	6.50 - 8.50	6.50 - 7.20	6.50 - 8.00
Intervalo de temperatura, °C	0 - 30	5 - 30	0 - 30	0 - 50	6 - 50	0 - 30
Temperatura óptima, °C	20	20	20	20	30	20
Carga de grDBO/m <sup>3</sup> *día	67 - 134	90 - 180	<17	56 - 200	225 - 560	-
Conversión de DBO en %	80 - 95	80 - 95	60 - 80	80 - 95	50 - 85	80 - 95
Concentraciones de algas	40 - 100	100 - 260	5 - 10	5 - 20	0 - 5	-
SS en el efluente, mg/l	80 - 140	150 - 300	10 - 30	40 - 60	80 - 160	80 - 250

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996.

Para el cálculo y dimensionamiento de la laguna anaerobia se estimó la conexión total del 100% de la población urbana del cantón Palestina, adoptándose los siguientes criterios de diseño:

Datos:

TRH: tiempo de retención hidráulica, día.

DBO<sub>0</sub>: concentración inicial de DBO en el afluente, mg/l.

Q<sub>D</sub>: el caudal de diseño, m<sup>3</sup>/día.

CV<sub>A</sub>: carga volumétrica, grDBO/m<sup>3</sup>\*día.

h: profundidad de laguna, m.

DBO<sub>0</sub>: 260 mg/l.

Q<sub>D</sub>: 6053.46 m<sup>3</sup>/día.

CV<sub>A</sub>: 130 grDBO/m<sup>3</sup> \* día.

h: 4.00 m

Se procede a realizar el cálculo de TRH de la laguna con la siguiente formula:

$$TRH = \frac{DBO_0}{CV_A}$$
$$TRH = \frac{260 \text{ mgDBO/l}}{130 \text{ grDBO/m}^3 \text{ día}}$$
$$TRH = 2 \text{ d}$$

Conocido el caudal de diseño 6053.46 m<sup>3</sup>/día y el TRH de 2 días, se puede calcular el área necesaria para realizar la depuración anaerobia.

$$A = \frac{Q * TRH}{h}$$
$$A = \frac{6053.46 \text{ m}^3/\text{d} * 2\text{d}}{4 \text{ m}}$$
$$A = 3026.73 \text{ m}^2$$

Calculada el área y establecida la altura, podemos implantar las dimensiones de la laguna anaerobia de la siguiente forma L=86.00 m, B= 40.00 m y h= 4.00

además considerando una eficiencia de remoción de la DBO del 50% en la primera laguna, podríamos calcular un efluente con un DBO teórico, el cual se lo puede obtener con la siguiente ecuación:

$$DBO_e = DBO_o * (1 - E)$$

Donde:

DBO<sub>e</sub>: concentración de DBO en el efluente, mg/l.

DBO<sub>o</sub>: concentración inicial de DBO en el afluente, mg/l.

E: eficiencia de remoción, %.

DBO<sub>o</sub>: 260 mg/l

E: 50 %

$$DBO_e = 260 * (1 - 0.50)$$

$$DBO_e = 130 \text{ mg/l}$$

### 3.3.4.2. Laguna Facultativa

Para realizar el cálculo de las lagunas facultativas se tomaron en cuenta los siguientes parámetros como la temperatura del aire, carga volumétrica superficial y el DBO<sub>e</sub> que proviene del sistema anaerobio. En la tabla N°12, del anuario meteorológico proporcionado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI, se pueden apreciar las temperaturas de los diferentes meses en la estación meteorológica Camposano #2, la cual es la más cercana al lugar de estudio.

**Tabla 12:** Temperatura del aire – estación meteorológica Camposano #2.

Estación meteorológica Camposano #2								
Mes	Heliofania (Horas)	Temperatura del aire a la sombra (°C)						
		Absolutas				Medias		
		Máxima	Día	Mínima	Día	Máxima	Mínima	Mensual
Enero	-	-	-	18.00	26	30.80	20.10	25.80
Febrero	-	32.40	16	18.80	1	30.70	21.30	25.80
Marzo	-	32.60	18	20.20	31	31.00	21.50	26.00
Abril	-	33.50	6	20.00	11	31.30	21.30	26.00
Mayo	-	32.80	22	19.80	31	30.90	21.30	25.90
Junio	89.40	33.60	7	18.00	12	31.40	20.20	25.90

Julio	39.80	33.80	20	-	-	31.60	20.10	25.70
Agosto	127.40	33.80	21	-	-	31.70	19.40	25.60
Septiembre	118.80	33.90	15	16.40	21	32.00	19.00	25.60
Octubre	124.60	33.90	7	-	-	31.90	19.40	25.50
Noviembre	109.30	34.00	12	17.40	19	32.00	19.50	25.80
Diciembre	116.9	34.40	25	-	-	32.30	20.10	26.00
<b>Valor anual</b>	-	-	-	-	-	<b>31.50</b>	<b>20.30</b>	<b>26.00</b>

Fuente: INAMHI - 2015.

Para calcular la carga orgánica superficial existen diferentes ecuaciones que se basan en la temperatura. La ecuación presentada por *McGarry y Pescod (1970)* representa la máxima carga que puede aplicarse a una laguna facultativa antes de que decaiga, es decir, de que se convierta en anaerobia, donde:

$$CV_{smax} = 60(1.099)^T$$

Datos:

$CV_{smax}$ : carga orgánica superficial máxima, kgDBO<sub>e</sub>/ha\*d.

T: temperatura del aire, °C.

T= 25.00°C

Para el cálculo de la carga orgánica superficial se adoptará una temperatura de 26 °C que es el valor promedio anual según el INAMHI. Entonces reemplazando en la fórmula tenemos:

$$CV_{smax} = 60(1.099)^{26.00}$$

$$CV_{smax} = 698.38 \text{ kgDBO/ha} * d$$

Para evaluar la superficie que tendrá la laguna se aplicará la siguiente ecuación de *Mara (1976)*:

$$A = \frac{10 * DBO_e * Q}{CV_{smax}}$$

Donde:

A: Superficie de la laguna, m<sup>2</sup>.

DBO<sub>e</sub>: concentración de DBO en el efluente de laguna anaerobia, mg/l.

Q: caudal de diseño, m<sup>3</sup>/d.

CV<sub>smax</sub>: carga orgánica superficial máxima, mg/l.

DBO<sub>e</sub>: 130 mg/l.

Q: 6053.46 m<sup>3</sup>/d.

CV<sub>smax</sub>: 685.32 kgDBO<sub>e</sub>/ha\*d.

$$A = \frac{10 * 130 \text{ mg/l} * 6053.46 \text{ m}^3/\text{d}}{698.38 \text{ kgDBO}_e/\text{ha} * d}$$

$$A = 11268.49 \text{ m}^2$$

Calculada el área podemos implantar las dimensiones de la laguna facultativa de la siguiente forma L=107.00 m, B= 106.00 m y h= 2.40 m. Para lagunas que tienen temperaturas entre 25 y 5 °C, el tiempo mínimo de retención hidráulica según *Broome (1986)* ya establece valores de cinco días en las lagunas facultativas. Entonces el tiempo de retención hidráulica del presente estudio será de:

$$TRH = \frac{A * h}{Q}$$

Donde:

TRH: tiempo de retención hidráulica, día.

A: superficie de la laguna, m<sup>2</sup>.

Q: caudal de diseño, m<sup>3</sup>/d.

h: altura útil, m.

Q: 6053.46 m<sup>3</sup>/d.

A: 11236.00 m<sup>2</sup>.

h: 1.20 a 2.40 según Metcalf & Eddy (1996); se adopta 2.40 m.

$$TRH = \frac{11236.00 \text{ m}^2 * 2.40 \text{ m}}{6053.46 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$TRH = 4.63 = 5 \text{ dias}$$

Para conocer la eficiencia de la laguna facultativa se aplicará la fórmula establecida por *Yáñez (1993)*:

$$E = \frac{100K_1 * TRH}{1 + K_1 * TRH}$$

Donde:

E: eficiencia de la laguna, %.

TRH: tiempo de retención hidráulica, día.

K<sub>1</sub>: coeficiente de velocidad de remoción de DBO, d<sup>-1</sup>.

EL coeficiente de velocidad de remoción de DBO puede estimarse mediante la ecuación presentada por *Mara (1976)*:

$$K_1 = 0.3(1.05)^{T-20}$$

Conocida la temperatura podemos calcular el K<sub>1</sub>, entonces:

$$K_1 = 0.3(1.05)^{26-20}$$

$$K_1 = 0.40 \text{ d}^{-1}$$

Reemplazando los valores obtenidos del TRH y del K<sub>1</sub>, la eficiencia de la laguna seria de:

$$E = \frac{100 * 0.40 \text{ d}^{-1} * 5 \text{ d}}{1 + (0.40 \text{ d}^{-1} * 5 \text{ d})}$$

$$E = 67 \%$$

La concentración teórica de la DBO en el afluente de la laguna facultativa seria de:

$$DBO_e = DBO_o * (1 - E)$$

$$DBO_e = 130 * (1 - 0.67)$$

$$DBO_e = 43.00 \text{ mg/l}$$

Con esta ecuación podemos establecer que el afluente de la laguna está dentro de los parámetros establecidos por el TULSMA en los límites de descarga a cuerpos hídricos de agua dulce, cuyo valor podemos observar en la siguiente tabla:

**Tabla 13:** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

<b>TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo permisible</b>
Aceites y Grasas	Sostenible en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro Total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>2</sup>	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>2</sup>	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	0,1
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color Real	Color real	Unidades de color	inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente		mg/l	0,5
<b><i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)</i></b>	<b><i>DBO5</i></b>	<b><i>mg/l</i></b>	<b><i>100</i></b>
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5
Fluoruros	Fenol	mg/l	5
Fosforo total	P	mg/l	10
Hierro total	Fenol	mg/l	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Material flotante	visibles	mg/l	ausencia
mercurio total	Hg	mg/l	0,005
níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Nitrógeno total Kjendahl	N	mg/l	50

Compuestos Oragnoclorados	Oragnoclorados totales	mg/l	0,05
Compuesto Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de Hidrógeno	pH	mg/l	6---9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Solidos suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Solidos Totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C	mg/l	condición natural +3
Tensoactivos	Sustancias Activas al Azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono			
La apreciación del Color se estima sobre 10 cm de muestra diluida			

Fuente: TULSMA, actualización del 2015.

## Conclusiones

Mediante el cálculo de los diversos parámetros que forman parte fundamental del análisis del presente proceso de investigación y conociendo las características físico químicas del agua residual; se determinó la implementación de una propuesta de rehabilitación del sistema de lagunaje de la cabecera cantonal de Palestina mediante el rediseño de las mismas. Concluido el análisis matemático de la propuesta de rediseño y rehabilitación, se puede definir lo siguiente:

- Se determinó la existencia de una sobredimensión en la laguna anaerobia, la que presenta un área de 7650 m<sup>2</sup> mientras que en el análisis se obtuvo un área de 3440 m<sup>2</sup>, lo que representa una reducción del 45% del área de trabajo, estableciendo que el presente estudio se considera para el 100% de la población urbana conectada al sistema de alcantarillado sanitario.
- En la eficiencia del sistema calculado tenemos que el agua residual cruda ingresa con 260 mgDBO<sub>5</sub>/l a la laguna anaerobia, la cual remueve el 50% es decir, el efluente de esta laguna será de 130 mgDBO<sub>5</sub>/l. Mientras que la eficiencia de remoción de la laguna facultativa es del 67%, dejando un efluente final de descarga al cuerpo hídrico de 43 mgDBO<sub>5</sub>/l, el que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA.
- El cálculo de la laguna facultativa presenta un incremento en el área de 2130 m<sup>2</sup>, lo que significa el 25% que debe ser considerada a futuro. El aumento del área está en función de la carga superficial y la temperatura de la cabecera cantonal de Palestina.

## Recomendaciones

Las lagunas de estabilización constituyen uno de los procesos más eficientes que existen para el tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, dichas lagunas, por ser consideradas uno de los sistemas de tratamientos de aguas residuales más sencillos que se conocen tanto desde el punto de vista constructivo como operacional, se recomienda:

1. Elaborar un plan de desarrollo del alcantarillado sanitario a corto plazo por parte de Gobierno Autónomo Descentralizado de Palestina, el cual ejecute no solo la red de recolección de aguas residuales, sino también la conexión intradomiciliaria a la red de AA.SS, ya que el actual diseño contempla el 100% de la población urbana.
2. Controlar los vectores, tales como el desarrollo de insectos, crecimiento de maleza y plantas acuáticas, etc.
3. Realizar sondeos constantes de indicadores del funcionamiento mediante análisis de caracterización del afluente que descarga al río Daule.
4. Realizar un cerco perimetral de árboles en el sistema de tratamiento para minimizar los olores producidos por lagunas anaerobias.

## Bibliografía

1. Abbas, H. N. (2006). *Study of Waste Stabilization Pond Geometry for Wastewater Treatment Efficiency*. *Ecol. Eng.*
2. Alcivar Pinargote, S. S. (2015). *Rediseño de la laguna de estabilización del cantón Chone, provincia de Manabí*.
3. Barahona, M. Q. (2014). *Evaluación Tecnológica De Lagunas De Estabilización De Cárdenas, Tabasco*.
4. Camacho Durán, E. &. (2003). *Tesis. Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/7334>*.
5. Cortés, M. F. (2014). *Función objetivo en el diseño de laguna facultativa (caso de estudio)*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
6. Daguer Guarin, G. P. (2010). *Evaluacion de efluentes de lagunas de estabilizacion con fines de reuso agricola*. *Cuenca Rio Subachoque*.
7. Dueñas Corrales, R. P. (2015). *Evaluación Y Propuestas De Mejoramiento De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales En El Centro Poblado De Quiquijana, Distrito De Quiquijana, Provincia De Quispicanchis, Región Cusco*.
8. Gaviria, J. (1994). *"Tratamiento de aguas residuales por lagunaje. Master en Contaminación Ambiental " Universidad Politécnica de Madrid"*.
9. INAMHI. (2015). *Instituto Nacional de Metereologi e Hidrologia del Ecuador - Anuario Metereologico, Estacion Camposano #2*.
10. INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadisticas y Censos del Ecuador. Censo poblacional 2010*.
11. MAE. (2015). *Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Medio Ambiente. Libro VI: De la Calidad Ambiental. ANEXO 1. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Ecuador*.
12. Metcalf & Eddy, I. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. *New York: McGraw-Hill*.
13. Metcalf & Eddy, I. (2000). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ª edición. Ed. McGraw-Hill. Madrid*.
14. Molina, M. (2000). *Tesis. Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/7252>*.
15. Nodal, & Elida B. (2000). *Procesos Biológicos Aplicados al Tratamiento de Aguas Residuales*. *Empresa de Aguas de La Habana*.
16. Oakley. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras. Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad*.
17. OPS. (2005). *Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores. OPS/CEPIS*.

18. OPS/CEPIS. (2005). *Organización Panamericana de la Salud/Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización*. OPS/CEPIS. Lima.
19. Oswald, W. (1995). *Ponds in the Twentyfirst Century. Water Science and Technology. Principles of Wastewater Treatment. Biological processes*.
20. Peralta Palacios, K. L. (2013). *Lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Junín y la calidad ambiental del área intersectada*.
21. Pinzón Acevedo, L. A. (2010). *Estrategias para la implementación y operación del programa de tratamiento de aguas residuales con lagunas de estabilización, en el Fuerte Militar de Tolemaida aplicando NTC-ISO 14001/2004*.
22. RAS. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS – 2000. República de Colombia. Bogotá*.
23. Rojas, J. R. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y diseño*.
24. Rolim. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío*.
25. Ruiz Berna, C. E. (2013). *El viento-factor importante en el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización*.
26. SENAGUA. (2009). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.
27. SENPLADES. (2012). *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Plan De Ordenamiento Territorial De La Provincia Del Guayas*.
28. Tchabanoglous, G. C. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*.
29. Thirumurthi. (1991). *Biodegradation in Waste Stabilization Ponds (Facultative Lagoons)*.
30. Toscano Pozo, J. G. (2014). *Diseño de lagunas de oxidación para tratamiento de aguas residuales generadas en el campamento El Coca de la Empresa Triboilgas*.
31. Yáñez. (1992). *Lagunas de Estabilización: Teoría, Diseño, Evaluación, y Mantenimiento, Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, Ministerio de Salud Pública, Quito-Ecuador*.
32. Zurita-Martínez, F. C.-H.-S. (2011). *El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. Revista mexicana de ciencias agrícolas*.

## **Anexos.**

 UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	 <b>UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>LABORATORIOS</b> <b>AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE</b> Facultad de Ingeniería Química Universidad de Guayaquil Cda. Universitaria Salvador Allende Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772 Guayaquil - Ecuador	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>  <b>POR EL SAE CON ACREDITACIÓN</b>  <b>N° OAE LE C 08-003</b>
---	---	--

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

INFORME N°: LA / 196 / 16

SOLICITADO POR:	ING. DIEGO CONTRERAS	
EMPRESA:	-	
DIRECCIÓN:	27 de Mayo y General Barona	
Fecha de inicio de análisis:	2016 / 11 / 24	Fecha de recepción:
Fecha de culminación de análisis:	2016 / 11 / 29	2016 / 11 / 24

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

A: Residual doméstica Palestina 1.	TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL <sup>(1)</sup>
	FECHA DE MUESTREO: 2016 / 11 / 23 <sup>(1)</sup>
	DESCARGA: Cuerpo de agua dulce <sup>(1)</sup>

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	U (k=2)	Limites Máximos	Método
			A	incert.	Permisibles <sup>(2)</sup>	
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. <sub>5</sub>	mg/l	260	-	100	DBO Trak
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	347	± 35	200	5220D PEE/UCC/LA/03
Sólidos suspendidos	-	mg/l	120	± 12	130	2540 D PEE/UCC/LA/05
Sólidos totales disueltos	-	mg/l	570	± 57	-	2540 C PEE/UCC/LA/08
*Nitrógeno	N	mg/l	26.4	-	-	HACH 10071
*Nitratos	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	12.8	-	-	8171 HACH

**OBSERVACIONES:**

\*Los ensayos marcados (\*) NO están incluidos en el alcance de la Acreditación del SAE.

<sup>(1)</sup> Dato proporcionado por HISA.

<sup>(2)</sup> Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

 ING. MARLON RAMIREZ L. DIRECTOR TÉCNICO	Fecha de emisión: 2016 / 12 / 05
---	-------------------------------------

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE.

\* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.  
 NOTA: \* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

 UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	 <b>UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD LABORATORIOS AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE</b> Facultad de Ingeniería Química Universidad de Guayaquil Cda. Universitaria Salvador Allende Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772 Guayaquil - Ecuador	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>  <b>POR EL SAE CON ACREDITACIÓN</b>  <b>N° OAE LE C 08-003</b>
---	---	--

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

INFORME N°: LA / 196 / 16

SOLICITADO POR:	ING. DIEGO CONTRERAS		
EMPRESA:	-		
DIRECCIÓN:	27 de Mayo y General Barona		
Fecha de inicio de análisis:	2016 / 11 / 24	Fecha de recepción:	2016 / 11 / 24
Fecha de culminación de análisis:	2016 / 11 / 29		

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

B: Residual doméstica Palestina 2.	TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL <sup>(1)</sup>
	FECHA DE MUESTREO: 2016 / 11 / 24 <sup>(1)</sup>
	DESCARGA: Cuerpo de agua dulce <sup>(1)</sup>

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	U (k=2)	Limites Máximos	Método
			B	incert.	Permisibles <sup>(2)</sup>	
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. <sub>5</sub>	mg/l	192	-	100	DBO Trak
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	298	± 31	200	5220D PEE/UCC/LA/03
Sólidos suspendidos	-	mg/l	100	± 10	130	2540 D PEE/UCC/LA/05
Sólidos totales disueltos	-	mg/l	520	± 52	-	2540 C PEE/UCC/LA/08
*Nitrógeno	N	mg/l	23.2	-	-	HACH 10071
*Nitratos	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	8.2	-	-	8171 HACH

**OBSERVACIONES:**

\*Los ensayos marcados (\*) NO están incluidos en el alcance de la Acreditación del SAE.

<sup>(1)</sup> Dato proporcionado por IISA.

<sup>(2)</sup> Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

 ING. MARLON RAMIREZ L. DIRECTOR TÉCNICO	Fecha de emisión: 2016 / 12 / 05
---	-------------------------------------

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE.

\* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.  
 Nota: \* Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

 UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	 <b>UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>LABORATORIOS</b> <b>AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE</b> Facultad de Ingeniería Química Universidad de Guayaquil Cda. Universitaria Salvador Allende Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772 Guayaquil - Ecuador	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>  <b>POR EL SAE CON ACREDITACIÓN</b>  <b>N° OAE LE C 08-003</b>
---	---	--

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

INFORME N°: LA / 196 / 16

SOLICITADO POR:	ING. DIEGO CONTRERAS	
EMPRESA:	-	
DIRECCIÓN:	27 de Mayo y General Barona	
Fecha de inicio de análisis:	2016 / 11 / 24	Fecha de recepción:
Fecha de culminación de análisis:	2016 / 11 / 30	2016 / 11 / 24

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS**

C: Residual doméstica Palestina 3.	TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL <sup>(1)</sup> FECHA DE MUESTREO: 2016 / 11 / 26 <sup>(1)</sup> DESCARGA: Cuerpo de agua dulce <sup>(1)</sup>
------------------------------------	--

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	U (k=2)	Limites Máximos	Método
			C	incert.	Permisibles <sup>(2)</sup>	
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. <sub>5</sub>	mg/l	150	-	100	DBO Trak
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	256	± 27	200	5220D PEE/UCC/LA/03
**Sólidos suspendidos	-	mg/l	80	-	130	2540 D PEE/UCC/LA/05
Sólidos totales disueltos	-	mg/l	490	± 49	-	2540 C PEE/UCC/LA/08
*Nitrógeno	N	mg/l	25.6	-	-	HACH 10071
*Nitratos	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	9.1	-	-	8171 HACH

**OBSERVACIONES:**

\*Los ensayos marcados (\*) NO están incluidos en el alcance de la Acreditación del SAE.

\*\*Rango de acreditación: SST: 100 - 1 000 mg/l.

<sup>(1)</sup> Dato proporcionado por IISA.

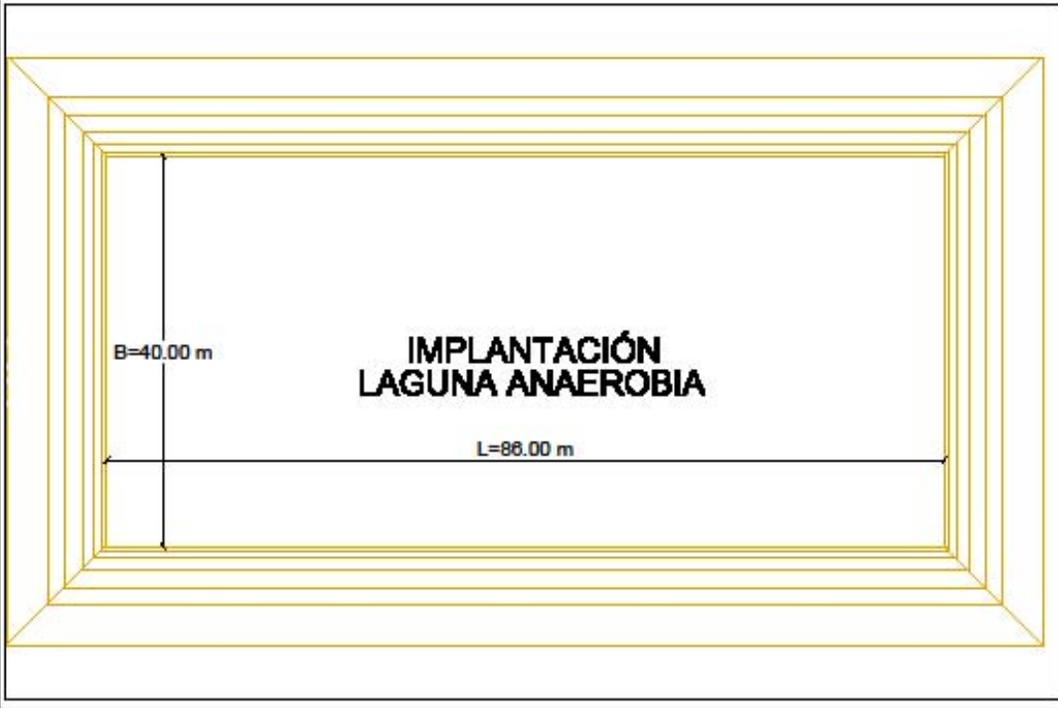
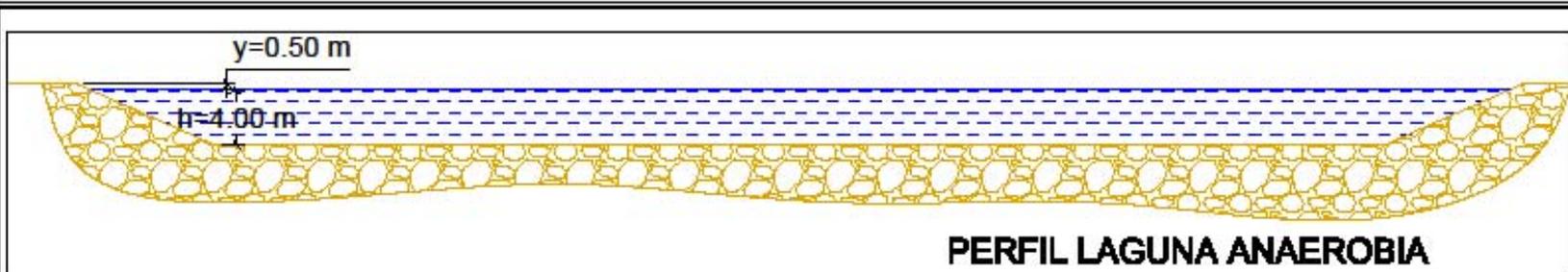
<sup>(2)</sup> Legislación Ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo Ministerial N° 083B; 097-A; 140. Noviembre 2015.

 ING. MARLON RAMIREZ L. DIRECTOR TÉCNICO	Fecha de emisión: 2016 / 12 / 05
---	-------------------------------------

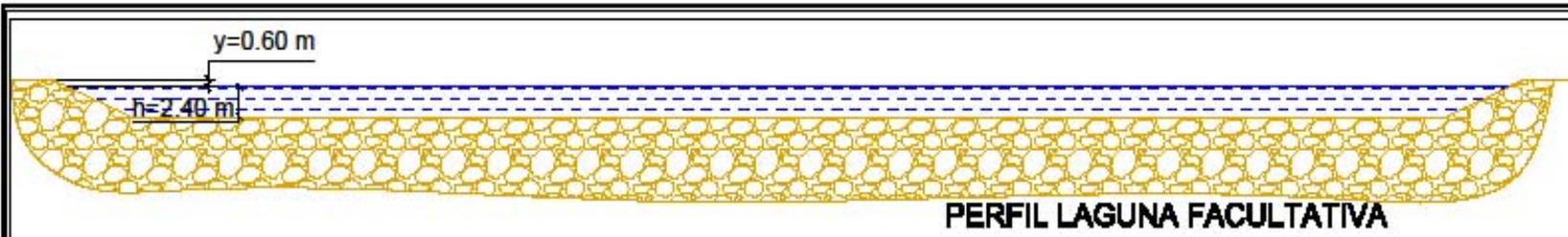
Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE.

\* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.  
 Nota: \*Queda prohibido la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		
		
<b>FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA</b>		
<b>TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		
<small>PROYECTO</small> PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL SISTEMA DE LAGUNAJE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA CANTONAL DE PALESTINA		
<small>CONTIENE</small> <b>PERFIL E IMPLANTACIÓN DE LAGUNA ANAEROBIA</b>		
<small>AUTOR:</small> DIEGO CONTRERAS OLVERA	<small>REVISADO:</small> UDG - FIQ - MGA	<small>LAMINA</small>
<small>ESCALA DIBUJO:</small> S/E	<small>FECHA:</small> NOVIEMBRE 2006	<small>DEBUJANTE:</small> J.C.C.O.
		01



 <b>UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL</b> 	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA</b>	
<b>TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	
<small>PROYECTO</small> PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL SISTEMA DE LAGUNAJE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA CANTONAL DE PALESTINA	
<small>CONTIENE</small> <b>PERFIL E IMPLANTACIÓN DE LAGUNA FACULTATIVA</b>	
<small>AUTOR:</small> <b>DIEGO CONTRERAS OLVERA</b>	<small>REVISADO:</small> <b>UDG - FIQ - MGA</b>
<small>ESCALA DIBUJO:</small> <b>S/E</b>	<small>FECHA:</small> <b>NOVIEMBRE 2016</b>
<small>DEBUTANTE:</small> <b>J.C.C.O.</b>	<b>LAMINA</b>  <span style="font-size: 2em;"><b>01</b></span>

