



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE
MANABÍ**

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, MODALIDAD
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TÍTULO:

**“ESTUDIO DEL PERIODO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN
LOS TRATAMIENTOS SANITARIOS CON LAGUNAS DE
MADURACIÓN DE 1.00 Y 1.50 METROS DE PROFUNDIDAD EN
LA CIUDAD DE MANTA.”**

AUTORES:

NAVIA MURILLO JOSÉ DANIEL

BOWEN CHAVEZ LUIS EDUARDO

TUTOR:

ING. GUSTAVO MERO BAQUE MSC.

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Gustavo Baque MSc., Docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, en calidad de tutor del trabajo de titulación.

CERTIFICO:

Que el trabajo de titulación: “Estudio del periodo de retención hidráulica en los tratamientos sanitarios con lagunas de maduración de 1.00 y 1.50 metros de profundidad en la ciudad de Manta.” Ha sido exhaustivamente revisado en varias sesiones de trabajo y se encuentra listo para presentación y apto para su defensa.

Las opiniones y conceptos plasmados en este trabajo de titulación son fruto del trabajo, perseverancia y originalidad de sus autores: **Navia Murillo José Daniel** y **Bowen Chávez Luis Eduardo**, siendo de su exclusiva responsabilidad.

Ing. Gustavo Mero Baque, MSc.

TUTOR

Manta, diciembre de 2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La responsabilidad de las opiniones, investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones presentadas en este trabajo de titulación, son exclusivos de sus autores.

Navia Murillo José Daniel
AUTOR

Bowen Chávez Luis Eduardo
AUTOR

Manta, diciembre de 2019

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el trabajo de titulación siguiendo la modalidad de proyecto de investigación, titulado: “Estudio del periodo de retención hidráulica en los tratamientos sanitarios con lagunas de maduración de 1.00 y 1.50 metros de profundidad en la ciudad de Manta.”, elaborados por los egresados **Navia Murillo José Daniel** y **Bowen Chávez Luis Eduardo** de la Carrera de Ingeniería Civil.

Ing. Darío Páez Cornejo, Msc
DECANO.

Ing. Gustavo Mero Baque, Msc
TUTOR.

Dr. Eric Cabrera Estupiñán
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

Ing. Javier Baque Solís
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor y dedicación eternos, por apoyarme incondicionalmente, y en especial por la paciencia, confianza y fe depositadas en mí.

Luis Eduardo Bowen Chávez.

DEDICATORIA

A mi madre, que fue mi sustento en todo mi proceso educativo, a ella por sus madrugadas junto conmigo; a mi tía Nancy que con su apoyo supo brindarme esta linda educación; a mis hermanos y familia en general que con sus consejos y críticas hicieron que hoy culmine mis estudios universitarios.

José Daniel Navia Murillo

AGRADECIMIENTO

Este trabajo investigativo es el esfuerzo de todos aquellos que contribuyeron en su realización.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y a todos los docentes que nos acompañaron y contribuyeron a nuestra formación profesional.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Gustavo Mero, quien nos ha guiado sabiamente en cada una de las etapas que conlleva la culminación de este proyecto de investigación.

Los Autores.

RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio del periodo de retención hidráulica en los tratamientos sanitarios mediante lagunas de maduración de 1.00 y 1.50 metros de profundidad en la ciudad de Manta, sometidas a un proceso de simulación de funcionamiento en recipientes de fibra de vidrio, todo esto mediante el método de muestra selectiva simple (de profundidad conocida).

Para llevar a cabo la investigación se realizaron pruebas de laboratorio entre las fechas 23 de enero y 12 de febrero del 2019, en las instalaciones del laboratorio de Microbiología de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la misma ciudad, se obtuvo un total de 7 muestras con intervalos de 3 días, teniendo en consideración 5 parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días de reposo (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Potencial de Hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Totales (ST). Además, se analizó la evaporación que se produce en los recipientes.

Al ser la zona de estudio una ciudad costera, para el análisis e interpretación de los resultados se hizo la comparativa con los límites de descarga en un cuerpo de agua marina, y se determinó un periodo de retención hidráulica óptimo de 16 días. Además, se realizó el diseño de las lagunas de maduración de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.

Palabras Claves

Laguna de maduración, retención hidráulica, demanda bioquímica de oxígeno, aguas residuales.

ABSTRACT

In this work, a study of the period of hydraulic retention in sanitary treatments is carried out through maturation lagoons of 1.00 and 1.50 meters deep in the city of Manta, subjected to a simulation process of operation in fiberglass containers, all this by the simple selective sample method (of known depth).

In order to carry out the investigation, laboratory tests were carried out between January 23 and February 12, 2019, in the facilities of the Microbiology laboratory of the Wastewater Treatment Plant of the same city, a total of 7 samples with intervals of 3 days, taking into account 5 parameters: Biochemical Oxygen Demand at 5 days of rest (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), Hydrogen Potential (pH), Suspended Solids (SS), Total Solids (ST). In addition, evaporation that occurs in the containers was analyzed.

Since the study area is a coastal city, for the analysis and interpretation of the results, a comparison was made with the discharge limits in a body of seawater, and an optimal hydraulic retention period of 16 days was determined. In addition, the design of the maturation lagoons of 1.00 and 1.50 meters deep was carried out.

Keywords

Maturation lagoon, hydraulic retention, biochemical oxygen demand, wastewater.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO 1 : ESTADO DEL ARTE.	5
1.1. Las Aguas residuales y sus efectos contaminantes	5
1.1.1. ¿Que son las aguas residuales?	5
1.1.2. Efectos contaminantes de las aguas residuales.	5
1.2. Objetivo del tratamiento de aguas residuales. Tecnologías existentes. 8	
1.2.1. Tratamiento primario.....	9
1.2.2. Tratamiento secundario.	9
1.2.3. Tratamiento terciario.....	10
1.3. Esquema General de Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales10	
1.3.1. Aspectos fundamentales del proceso de tratamiento de aguas residuales en lagunas de estabilización.	11
1.4. Tipos de Lagunas de Estabilización	13
1.4.1. Lagunas Aeróbicas	13
1.4.2. Lagunas Anaeróbicas	13

1.4.3. Lagunas Facultativas	15
1.4.4. Lagunas de Maduración.	16
1.5. Parámetros para Evaluar la Eficiencia del Funcionamiento de las Lagunas de Estabilización de Maduración en el Tratamiento de las Aguas Residuales.....	19
1.5.1. Decaimiento de los organismos patógenos	19
1.5.2. Constituyentes de las aguas residuales.....	23
1.5.3. Evaporación	26
1.6. Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina	26
CAPÍTULO 2 : MATERIALES Y METODOS.	32
2.1. Materiales y Equipos.....	32
2.2. Especificaciones de los recipientes de ensayo.....	33
2.3. Participantes	33
2.4. Zona de estudio	34
2.4.1. Localización georreferenciada del sitio de investigación.....	34
2.5. Periodo de tiempo de investigación.....	35
2.5.1. Plan de muestreo	35
2.5.2. Identificación del punto de muestreo	35
2.5.3. Frecuencia de muestreo	35
2.5.4. Condiciones de muestreo y tipo de muestra.	35
2.6. Parámetros para evaluar en laboratorio.	36
2.7. Diagramas de flujo de procedimientos	36
CAPÍTULO 3 : PROPUESTA.	41
3.1. Análisis e interpretación de los resultados	41
3.1.1. DBO ₅	41
3.1.2. DQO	43
3.1.3. pH.....	44

3.1.4. Sólidos Suspendidos	45
3.1.5. Sólidos Totales.	47
3.2. Resultados de los niveles de Evaporación.	48
3.3. Parámetros de diseño.	50
3.3.1. Criterios para diseñar lagunas naturales.....	50
3.3.2. Ecuaciones para el diseño de lagunas de maduración. (Modelo de Hermann y Gloyna).....	50
3.4. Propuesta	51
3.4.1. Diseño de lagunas.....	51
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	63
ANEXOS 1: FOTOGRAFÍAS	64
ANEXOS 2: PRUEBAS DE LABORATORIO	68

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. Desagüe de aguas contaminadas en la playa Los Esteros.....	8
Ilustración 1.2. Proceso de una laguna anaerobia.	14
Ilustración 1.3. Interacción de bacterias y algas en una laguna facultativa. ...	16
Ilustración 1.4. Escala logarítmica de pH.....	25
Ilustración 2.1. Imagen Satelital de las Lagunas de oxidación de la Ciudad de Manta.....	34
Ilustración 3.1. Esquema del diseño de lagunas.....	52
Ilustración 3.2. Vista en planta laguna de maduración de 1,50 m de profundidad.	55
Ilustración 3.3. Vista en corte a lo largo de laguna de maduración de profundidad 1,50 m.....	56

Ilustración 3.4. Vista en planta laguna de maduración de 1,00 m de profundidad.	56
Ilustración 3.5. Vista en corte a lo ancho de laguna de maduración de profundidad 1,00 m	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Resumen de Tecnologías en la Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales.	8
Tabla 1.2. Factores de Decaimiento bacteriano y su influencia.	20
Tabla 1.3. Límites de descarga en un cuerpo de agua dulce.	28
Tabla 1.4. Límites de descarga en un cuerpo de agua marina.....	30
Tabla 2.1. Materiales y Equipos utilizados en la investigación.	32
Tabla 2.2. Especificaciones de los recipientes de la investigación.....	33
Tabla 2.3. Cuadro de Coordenadas de los recipientes de ensayo.	34
Tabla 3.1. D.B.O ₅ para descarga en agua dulce.	41
Tabla 3.2. D.B.O ₅ para descarga en agua marina.....	41
Tabla 3.3. D.Q.O. para descargas en agua dulce.	43
Tabla 3.4. D.Q.O. para descargas en agua marina.....	43
Tabla 3.5. Resultados de pH en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad.	44
Tabla 3.6. Resultados de Sólidos Suspendidos en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad. Para descargas en agua dulce.	46
Tabla 3.7. Resultados de Sólidos Suspendidos en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad. Para descargas en agua marina.....	46
Tabla 3.8. Resultados de Sólidos Totales en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad. Para descargas en agua dulce.	47
Tabla 3.9. Resultados de la evaporación en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad.	49
Tabla 3.10. Criterios para el diseño de lagunas de tratamiento de aguas residuales.	50
Tabla 3.11. Ecuaciones para el cálculo del diseño de lagunas de maduración.	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Secuencia de Tratamientos de Aguas Residuales Domesticas. ...	11
Figura 2.1. Flujo de Procedimiento (DBO ₅).....	37
Figura 2.2. Flujo de Procedimiento (DQO)	37
Figura 2.3. Flujo de Procedimiento (Ph)	38
Figura 2.4. Flujo de Procedimiento (SS).....	39
Figura 2.5. Flujo de Procedimiento (Sólidos Totales)	39
Figura 2.6. Flujo de Procedimiento (Evaporación).....	40
Figura 3.1. Diagrama lineal de resultados de D.B.O ₅ en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.	42
Figura 3.2. Diagrama lineal de resultados de D.Q.O. en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.	44
Figura 3.3. Diagrama lineal de resultados de pH en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.	45
Figura 3.4. Diagrama lineal de resultados de Sólidos Suspendidos en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.	47
Figura 3.5. Diagrama lineal de resultados de Sólidos Totales en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.	48
Figura 3.6. Diagrama lineal de resultados de Evaporación en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.....	49

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1. Periodo de Retención Hidráulica	22
Ecuación 3-1. <i>Volumen de la laguna</i>	51
Ecuación 3-2. <i>Área promedio de la laguna</i>	51
Ecuación 3-3. <i>Ancho promedio de la laguna</i>	51
Ecuación 3-4. <i>Largo promedio de la laguna</i>	51
Ecuación 3-5. <i>Ancho superior de la laguna</i>	51
Ecuación 3-6. <i>Largo superior de la laguna</i>	51
Ecuación 3-7. <i>Ancho inferior de la laguna</i>	51
Ecuación 3-8. <i>Largo inferior de la laguna</i>	51

INTRODUCCIÓN

La primera instalación de una laguna de estabilización construida como resultado de un proyecto concreto para tratar aguas residuales domésticas, estuvo localizada en Dakota del Norte, EE. UU., en 1948. Este proyecto fue aprobado por las autoridades de salud pública, (Van Heuvelen & Svore , 1954). Desde entonces una gran cantidad de instalaciones fueron construidas en varios países.

En general, las lagunas son depósitos construidos mediante la excavación y compactación de la tierra que almacenan agua de cualquier calidad por un periodo determinado. Las lagunas constituyen un tratamiento alterno interesante ya que permiten un manejo sencillo del agua residual, la recirculación de nutrientes y la producción primaria de alimento en la cadena alimenticia. Su popularidad se debe a su simplicidad de operación, bajo costo y eficiencia energética. (W., 1995)

El déficit de sistemas de evacuación de aguas residuales, actualmente se ha constituido en uno de los principales problemas que existe en el Ecuador, once de los cantones de Manabí cuentan con plantas de tratamientos para aguas residuales municipales, para comprobar su eficiencia se han realizado pruebas de diferentes parámetros en varias muestras de aguas de ríos (como cuerpos receptores), antes y después de las lagunas de estabilización, y de esta forma determinar si los parámetros de dichas muestras tienen valores admisibles.

De los análisis realizados se determina que en la mayoría de los cantones las aguas tratadas tienen parámetros que no cumplen el rango permitido, pese a esto la salud pública se ve afectada seriamente, lo cual genera un atraso social, además de económico (externalidades). Las aguas servidas municipales, o llamadas también aguas servidas domésticas, son recolectadas, pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización (Salazar, 2012).

La ciudad de Manta no es ajena a estos problemas ambientales ocasionados por el crecimiento demográfico, lo cual origina que el volumen de agua residual a

tratar sea cada vez mayor, esto dificulta el adecuado funcionamiento de las lagunas de estabilización.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo fundamental el estudio y determinación del periodo de retención hidráulica en lagunas de oxidación de tipo maduración. Para esto se realiza la simulación de su funcionamiento en recipientes de fibra de vidrio de 1.00 y 1.50 metros de profundidad, llenándose los mismos con las aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento de la ciudad de Manta. Esto nos permitirá desarrollar un diseño preliminar del sistema de tratamiento sanitario mediante lagunas de maduración.

El trabajo investigativo está dividido en 3 capítulos:

CAPITULO 1	<p>Contiene fundamentación teórica de las aguas residuales, sus efectos contaminantes en un enfoque de macro a micro, en el mundo, el Ecuador y Manta.</p> <p>Su tratamiento, tecnologías existentes y el objetivo por el cual este se realiza.</p> <p>Además, se podrán apreciar los conceptos básicos de los parámetros considerados para el análisis, así como la normativa utilizada para la interpretación de los resultados obtenidos en laboratorio.</p> <p>Parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos Considerados para Evaluar la Eficiencia del Funcionamiento de las Lagunas de Estabilización de Maduración en el Tratamiento de las Aguas Residuales</p>
------------	---

<p style="text-align: center;">CAPITULO 2</p>	<p>Contiene descripción de la zona de estudio, métodos y materiales utilizados.</p> <p>Engloba como se procedió en el proceso de toma de muestras, y lo demás relacionado con la obtención de resultados para su posterior análisis. Asimismo, se establece los parámetros a evaluar en cada muestra de agua residual.</p>
<p style="text-align: center;">CAPITULO 3</p>	<p>Se presenta el análisis e interpretación de los resultados, también la propuesta, que trata del diseño de un sistema de tratamiento con lagunas de maduración de 1 y 1,5 metros de profundidad con su respectiva ilustración.</p>

OBJETIVOS

Objetivo General

- Desarrollar un estudio del periodo de retención hidráulica en los tratamientos sanitarios con lagunas de maduración de 1.00 metro y 1.50 metros de profundidad en la ciudad de Manta.

Objetivos Específicos

- Investigar los conceptos sobre las aguas residuales y las lagunas de oxidación.
- Recoger muestras periódicas de las aguas residuales a estudiar.
- Realizar las respectivas pruebas de laboratorio.
- Analizar e interpretar los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio.
- Determinar la evaporación que se produce.
- Realizar un diseño preliminar de lagunas de maduración a partir de los resultados obtenidos en el estudio del periodo de retención hidráulica.

Hipótesis.

H+: El periodo de retención hidráulica de la laguna de maduración de 1.00 metros de profundidad durante 20 días de tratamiento residual es menor que el periodo de retención hidráulica de la laguna de maduración de 1.50 metros de profundidad en la ciudad de Manta.

H-: El periodo de retención hidráulica de la laguna de maduración de 1.00 metros de profundidad durante 20 días de tratamiento residual es mayor que el periodo de retención hidráulica de la laguna de maduración de 1.50 metros de profundidad en la ciudad de Manta.

CAPÍTULO 1 : ESTADO DEL ARTE.

1.1. Las Aguas residuales y sus efectos contaminantes

1.1.1. ¿Que son las aguas residuales?

Las aguas residuales son aquellas que han sufrido degradación en su calidad original, luego de haber sido utilizada en domicilios, las grandes industrias, el campo agrícola y ganadero, y en innumerables usos para los que es requerida. Como se sabe el agua es un recurso indispensable para la vida en la Tierra.

1.1.2. Efectos contaminantes de las aguas residuales.

1.1.2.1. *Efecto mundial.*

Más de 1000 millones de toneladas de aguas residuales son vertidas anualmente al agua subterránea, a ríos, lagos y océanos del mundo, contaminándolos con metales pesados, disolventes, aceites, grasas, detergentes, ácidos, sustancias radioactivas, fertilizantes, pesticidas y otros productos químicos. Esta contaminación química del medioambiente se ha convertido en uno de los problemas globales más urgentes de la humanidad.

Esta contaminación se manifiesta con mayor intensidad en los países industrializados y con una explotación intensiva de la agricultura. China, por ejemplo, ha tenido que admitir que más del 80% de sus ríos están tan contaminados, que ya no son aptos para agua potable ni para lavar. En Estados Unidos, dos de cada cinco ríos, incluyendo casi todos los más grandes, están tan contaminados, que las autoridades sanitarias han tenido que advertir a los habitantes que no se bañen ni pesquen en ellos. La esperanza de antaño de que el ciclo del agua actuaría como planta purificadora a nivel global y que los océanos servirían como vertederos universales de basura para la moderna civilización hace ya tiempo que se ha revelado como una falacia y los sistemas de tratamiento de las aguas y la disposición final de los desperdicios para evitar que contaminen, se han tornado más

que costosos, inasequibles hasta para las economías más privilegiadas. (Rodríguez Pimentel, 2017)

1.1.2.2. Efectos en el Ecuador

Durante muchos años el tema del manejo del agua se ha limitado casi exclusivamente al manejo de embalses, construcción de canales de riego, drenajes, obras de captación, sistemas de agua potable, y alcantarillado. Es decir, se han centrado en la provisión de agua para las diferentes actividades, concentradas en la cantidad de agua que se puede entregar a una determinada población o para una determinada actividad. Sin embargo, Ecuador tiene una deuda muy alta en cuanto a los esfuerzos que se realizan para mejorar la calidad del agua, especialmente, del agua que se vierte producto de actividades industriales, domésticas y agropecuarias.

No se disponen de datos actualizados sobre la contaminación de los recursos hídricos en el Ecuador. Esto ha permitido que la discusión sobre la contaminación del agua se base más en anécdotas, percepciones, o discursos, que en datos reales. Los pocos datos existentes por esfuerzos puntuales realizados por Universidades, Empresas de agua y ONGs, demuestran altos grados de contaminación orgánica relacionada a la presencia de coliformes fecales y sedimentos provenientes de áreas deforestadas. (Calles, 2012)

En un contexto global de creciente escases de agua, el Ecuador presenta innegables ventajas ya que es uno de los países mejor dotados de agua en el Mundo. Sin embargo, la desigualdad de su distribución, así como la contaminación debida a actividades productivas y ante todo a la falta de tratamiento de las aguas servidas, ponen en peligro los derechos humanos al agua, a la salud, y naturaleza. (Secretaría Nacional del Agua, 2009)

1.1.2.3. Efectos en Manta

Es notable a simple vista el efecto de contaminación por parte de aguas residuales en el río que lleva el mismo nombre de su ciudad “Manta”, las industrias y la falta de control hacia las descargas de aguas negras de estas, y de los propios habitantes a lo largo del lecho del río, han ocasionado malos olores, entre otras molestias.

Manta es uno de los principales destinos de la costa manabita, sin embargo, desde hace años afronta un serio problema: la contaminación de sus playas. Los 12 balnearios que tiene esta ciudad, principalmente los que se encuentran junto al casco urbano, se ven afectados por tres factores: la descarga de aguas servidas domésticas, aguas servidas industriales y un turismo irresponsable.

Según la ley para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Ecuador (2008), las aguas no deben registrar niveles de contaminantes por encima de lo permitido, esto es en DBO 100mg/lit, y DQO 250mg/lit así como 100 coliformes fecales por cada 100 mg/lit de sólidos suspendidos, es decir, al superar estas cantidades de residuos se convierten en aguas no aptas para la natación.

En un estudio científico titulado “Análisis de Calidad del Agua en el Sector Urbano del Malecón de Manta” (Molina Flores, 2015), detalla que el rango de contaminación en balnearios como Murciélago y Tarqui, pueden llegar a niveles medio, alto y muy alto. Asimismo, el estudio estima que la principal fuente de contaminación es la actividad antropogénica producto de los desagües de origen doméstico e industrial pesquero de la zona.



Ilustración 1.1. Desagüe de aguas contaminadas en la playa Los Esteros.

Fuente: (Molina Flores, 2015)

1.2. Objetivo del tratamiento de aguas residuales. Tecnologías existentes

Tabla 1.1. Resumen de Tecnologías en la Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales.

TIPO		TECNOLOGIA	UTILIZADO PARA
Extensivo / Natural	Biomasa Fijada	IP (Infiltración - Percolación)	Terciario, Agricultura, Sin desinfección adicional
		IPS (IP Subterránea)	Terciario, Agricultura, Sin desinfección adicional
		Zona Húmeda Construida	Muy buena integración ambiental y paisajística
	Biomasa Libre	Estanques (Lagunaje)	Pequeñas comunidades con suficiente espacio disponible.
Intensivo / Duro	Modificación de los Lodos Activados	SBR (Reactores Secuenciales Discontinuos)	Cargas variables. Carga orgánica elevada
		RBC	Pequeñas comunidades.
		MBRs	Comunidades pequeñas o medianas.
	Químicos	Ozono	desinfección, descomposición de la materia orgánica. Los virus son sensibles.
		APA	desinfección en grandes depuradoras.
		ClO ₂	desinfección. Menos subproductos que el cloro.

Físicos	Filtro de Anillas	Terciario. Gran eliminación de SS
	UV	Sin reactivos, sin subproductos. Útil en todos los sistemas (dimensión)
	Físico - Químico	Adecuado para mediana y grandes instalaciones. Elimina DBO y SS
	Sonicación	Degradación de contaminantes. Desinfección en estudio
Tecnologías de membrana.	MF (Microfiltración)	Eliminar contaminantes de más de 0,1 - 1 μm
	UF (Ultrafiltración)	Eliminar contaminantes de más de 0,01 - 0,1 μm
	NF (Nanofiltración)	Eliminar contaminantes de más de 0,001 - 0,01 μm
	OI (Ósmosis Inversa)	Eliminar contaminantes de más de 0,001 μm
	EDR (Electrodialisis Reversible)	Eliminación de sales
	EDI (Electrodesionización)	Eliminación de sales

Elaborado por: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua

Fuente: (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, 2005)

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido conveniente para su disposición o reutilización. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

1.2.1. Tratamiento primario

Se nombran así porque reciben el agua residual cruda y pueden ser lagunas facultativas o anaerobias.

1.2.2. Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario de depuración constituye una serie de importantes procesos de naturaleza biológica de tratamiento de las aguas residuales que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de

materia orgánica biodegradable, tanto coloidal como disuelta, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P).

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente. (Romero Rojas, 1994)

1.2.3. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien, obtener la calidad adecuada para el reúso, factor de importancia en la planeación de recursos hidráulicos donde el abastecimiento de agua potable es limitado.

1.3. Esquema General de Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales

A continuación, se muestra una síntesis completa de la secuencia de los procesos de tratamiento que podrían aplicarse en las aguas residuales, tanto domésticas como industriales. (Grazia, 2010)

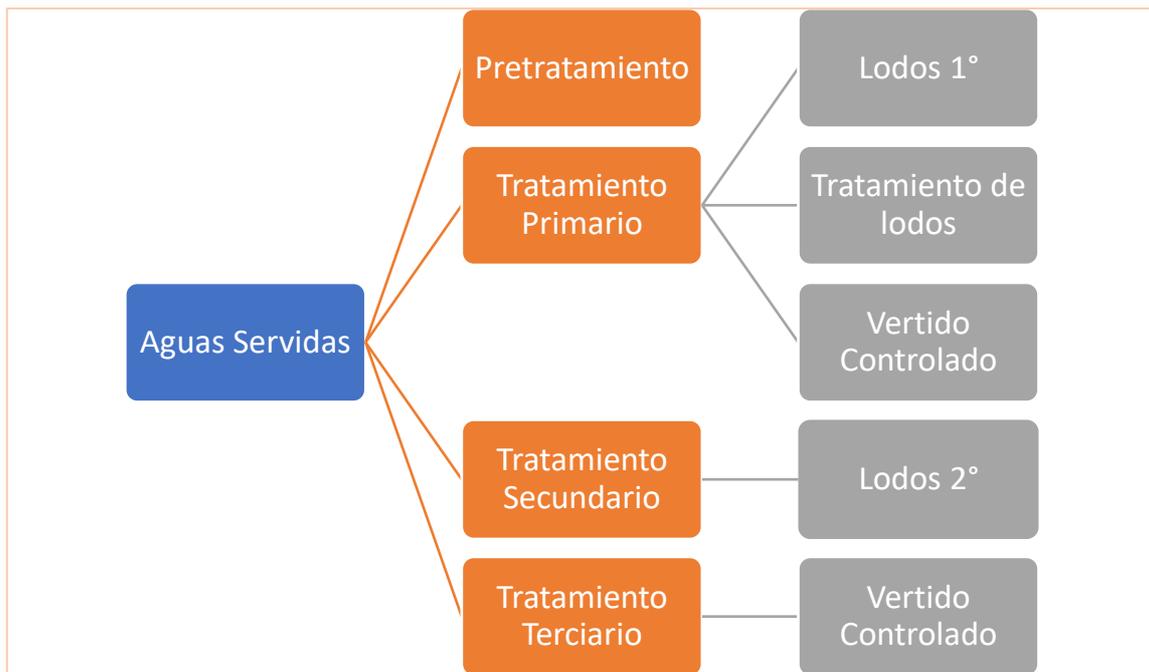


Figura 1.1. Secuencia de Tratamientos de Aguas Residuales Domésticas.

Fuente: Secuencia de Aguas Residuales Domésticas (Grazia, 2010)

Elaborado por: Fondo Nacional del Ambiente (2010)

1.3.1. Aspectos fundamentales del proceso de tratamiento de aguas residuales en lagunas de estabilización.

Cuando el agua residual es vertida en una laguna de estabilización se realiza de forma espontánea un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. La eficiencia de la depuración del agua residual presente en las lagunas de oxidación depende de importantes factores como son, la radiación solar, las condiciones climáticas de la zona, la temperatura y la frecuencia y fuerza de los vientos locales.

Este tipo de tratamiento opera con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos de tiempo prolongados. Los parámetros más usados para realizar la evaluación del comportamiento de las lagunas de estabilización de aguas residuales y la calidad de sus efluentes son la demanda biológica de oxígeno (DBO) la cual es la encargada de caracterizar la carga orgánica y la concentración de

coliformes fecales que asume la caracterización de la contaminación microbiológica.

A continuación, se establecen los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua que es llevado a cabo en las lagunas de estabilización:

- Es un proceso natural de autodepuración.
- La estabilización de materia orgánica es efectuada mediante la acción simbiótica de bacterias, algas, y otros organismos que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.
- Se presentan, procesos físicos de remoción y sedimentación de sólidos suspendidos en el recurso los cuales suelen representar una parte importante de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80% de la Demanda Biológica de Oxígeno del efluente.
- Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua los cuales mantienen las condiciones para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables.
- Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten eliminar gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales.

Dependiendo, de las condiciones del problema por resolver las lagunas de estabilización pueden utilizarse solas, combinadas con otros procesos de tratamiento biológico, o bien, entre ellas mismas (sistemas lagunares de tratamiento). Racault (1993) indica que el 60% de los sistemas que utilizan este método están compuestas por tres lagunas operando en serie y el 35%, de dos. Es frecuente el uso de lagunas para complementar ("pulir") el tratamiento biológico de sistemas de lodos activados y filtros percoladores.

1.4. Tipos de Lagunas de Estabilización

En general, las lagunas de estabilización pueden ser clasificadas dependiendo de su acción biológica dominante en cuatro tipos:

1.4.1. Lagunas Aeróbicas

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.

Según Romero (1999) son lagunas poco profundas de 1 a 1,5 m de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada, 20-30 días.

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, necesiéndose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

1.4.2. Lagunas Anaeróbicas

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.

- Hidrólisis: los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.
- 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.
- 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.

Según Romero (1999) 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.

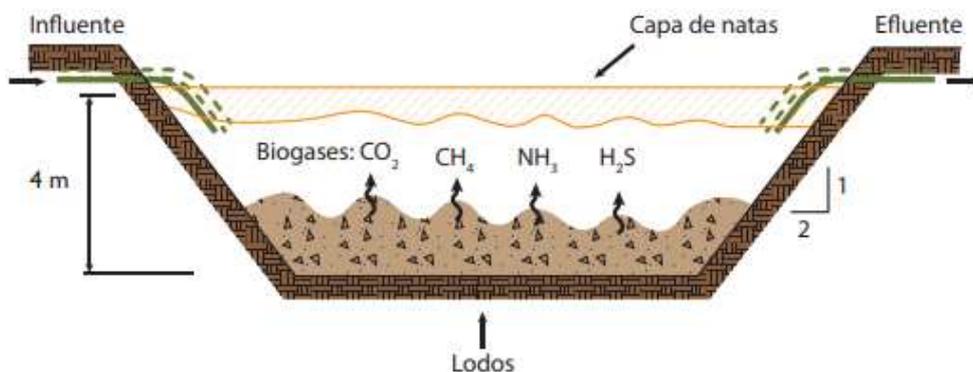


Ilustración 1.2. Proceso de una laguna anaerobia.

Fuente: Adaptado de (Oakley, 2005)

1.4.3. Lagunas Facultativas

Son aquellas que cuentan con una zona aerobia en superficie y una anaerobia hacia el fondo y tienen como finalidad estabilizar la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado principalmente por las algas presentes. En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos en el fondo, hasta aerobios estrictos en la zona adyacente a la superficie, la presencia de algas es muy importante ya que son las principales suministradoras de oxígeno. La profundidad de este tipo de lagunas está entre 1 y 2 metros.

En este tipo de lagunas existen tres zonas:

- Zona superficial donde existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica.

- Una zona intermedia parcialmente aerobia y anaerobia, los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio, los materiales orgánicos sólidos se oxidan por la acción de las bacterias aerobias empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie, el dióxido de carbono generado en el proceso de oxidación, 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 CO₂ (dióxido de carbono), H₂S (ácido sulfhídrico) y el CH₄ (metano).

- Zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.

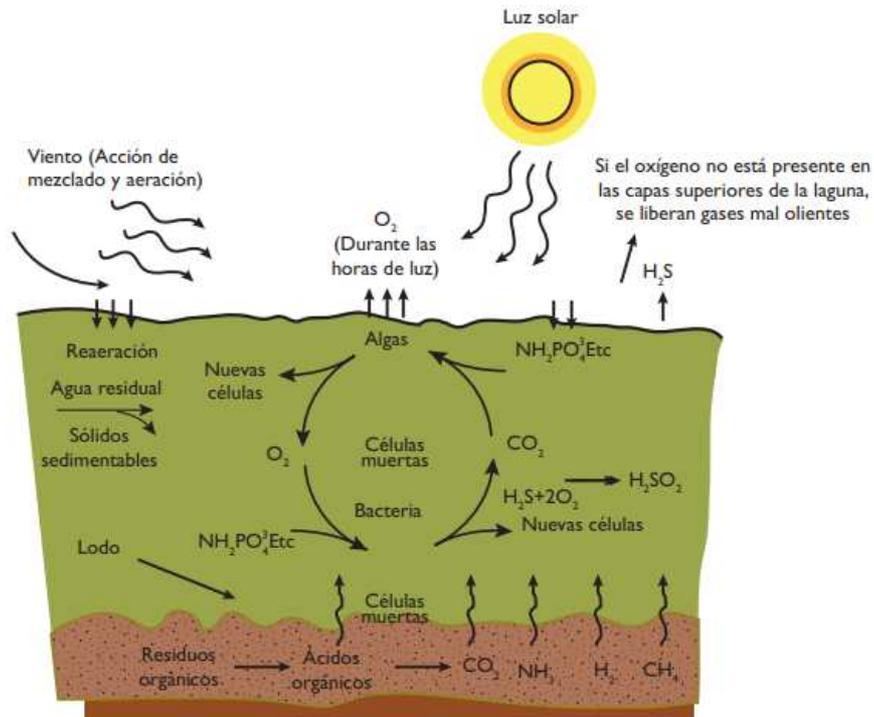


Ilustración 1.3. Interacción de bacterias y algas en una laguna facultativa.

Fuente: Adaptada de (CONAGUA/IMTA, 2007A)

1.4.4. 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 (Rolim, 2000).

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).

1.4.4.1. Aspectos básicos de las lagunas de maduración.

- *Aspectos Físicos*

En cuanto a su aspecto físico, las lagunas de maduración son muy similares a las facultativas, y en muchas ocasiones tienen incluso el mismo tamaño y profundidad.

Debido a que la alimentación de estas lagunas presenta un alto grado de estabilización de la materia orgánica, la demanda de oxígeno disuelto es mucho menor que en las facultativas, y la fotosíntesis y aireación superficial permiten obtener un ambiente aerobio en toda la columna de agua ((Dinges, 1982); (Mara, 1976); (W.H.O., 1987)).

La velocidad de eliminación de patógenos aumenta con la temperatura (Lantrip, 1983). Por tanto, la eficacia en la reducción de patógenos es máxima durante los meses de verano.

Puesto que en las lagunas de maduración la carga orgánica es muy baja, se produce una generación muy escasa de CO₂. Por otra parte, la actividad fotosintética suele ser bastante elevada, por lo que globalmente se suele apreciar un aumento de pH con respecto a las lagunas facultativas, que se traduce en un medio más desfavorable para la supervivencia de los microorganismos patógenos (Mitchell & Chamberlin, 1978).

Uno de los principales factores es la intensidad de la luz ((Kapusinski & Mitchell, 1981); (Krinsky, 1977); (Sieracki, 1980)). La eliminación de patógenos es mucho más rápida en presencia de luz, por lo que debe evitarse la construcción de lagunas de maduración profundas en las que buena parte de la columna de agua se encuentra en la oscuridad. Por la misma razón, la eliminación de patógenos es mucho más eficaz en días despejados, especialmente al comienzo del verano, cuando la duración del día es máxima.

Las algas secretan sustancias tóxicas que afectan a los microorganismos patógenos, algunas de ellas muy activas en presencia de la luz (Mitchell & Chamberlin, 1978). Por último, la presencia de predadores como protozoos, bacteriófagos, micro crustáceos y rotíferos da lugar a una fuerte reducción en las bacterias patógenas (Dinges, 1982).

- *Nitrificación*

Aunque la conversión biológica de nitrógeno amoniacal a nitratos puede iniciarse en las lagunas facultativas cuando la concentración de oxígeno disuelto es suficientemente elevada, el medio aerobio propio de las lagunas de maduración es mucho más adecuado para el desarrollo de las bacterias nitrificantes. Esta conversión tiene gran importancia para impedir el acceso del nitrógeno amoniacal a cursos de agua receptores donde puedan tener efectos tóxicos sobre la fauna (muchos peces presentan una tolerancia muy baja a la presencia de amoníaco en el agua) (U. S. Environmental Protection Agency, 1984). Por otra parte, aunque las oscilaciones de oxígeno disuelto durante el día son menos acusadas que en las lagunas facultativas, también se producen descensos durante la noche. Cuando estos descensos dan lugar a concentraciones nulas de oxígeno se inicia el ciclo nitrificación-desnitrificación, que conduce a una pérdida neta de nitrógeno hacia la atmósfera. Con este fenómeno se consigue una reducción neta de nutrientes, con efectos beneficiosos para los cursos de agua donde vaya a verterse el efluente final.

- *Reducción de nutrientes*

El descenso en la concentración de nutrientes solubles observado en las lagunas de maduración se debe fundamentalmente al consumo por el fitoplancton, posible desnitrificación durante la noche y a la precipitación de sales insolubles de fósforo que se incorporan al sedimento.

Además de los efectos principales de las lagunas de maduración recogidos en este capítulo, estas lagunas pueden suplir en parte el mal funcionamiento de las lagunas facultativas, permitiendo así obtener un efluente de calidad aceptable durante épocas del año en las que la depuración es muy lenta, o ayudando a absorber puntas de carga y

caudal. Aunque esto no es el objetivo para el que se construyen las lagunas de maduración, puede resultar muy conveniente su presencia ante situaciones excepcionales. Por otra parte, las lagunas de maduración garantizan que el efluente final va a contener una cantidad aceptable de oxígeno disuelto durante todo el año, especialmente en situaciones de sobrecarga.

Finalmente, otro efecto de las lagunas de maduración es la clarificación del efluente, sobre todo cuando se cuenta con varios módulos en serie. Este efecto se consigue debido a la sedimentación de las algas, presencia de predadores como la pulga de agua y el empobrecimiento del agua en nutrientes que impide nuevos crecimientos de microorganismos.

1.5. Parámetros para Evaluar la Eficiencia del Funcionamiento de las Lagunas de Estabilización de Maduración en el Tratamiento de las Aguas Residuales

1.5.1. Decaimiento de los organismos patógenos

1.5.1.1. Remoción de bacterias: procesos de transformación bioquímica

En las lagunas de maduración se presenta una disminución de la concentración de bacterias patógenas, que en la práctica de la ingeniería sanitaria se mide a través del decaimiento de las bacterias coliformes fecales. Esta razón de decaimiento es muy baja, lo que hace que, para lograr efluentes de buena calidad microbiológica, las lagunas de estabilización necesiten periodos de retención muy grandes (de 5 a 30 o más días), dependiendo de los requerimientos de calidad de los efluentes, de las características del agua residual, de la temperatura y de la radiación solar entre otras características.

La velocidad real a la que desaparecen las bacterias en una laguna de estabilización se representa como el valor de la constante K_b . Cuando se desarrolla una ecuación que describe la relación entre el valor K_b y las diferentes variables que influyen en este valor, se debe comprender el mecanismo subyacente a la eliminación de bacterias. A pesar de la

abundante investigación y especulación al respecto, estos mecanismos todavía no están completamente esclarecidos. Pero gracias a los estudios publicados sobre el tópico, es posible describir los diversos factores que influyen el decaimiento bacteriano. Se describe a continuación los siguientes factores:

Tabla 1.2. Factores de Decaimiento bacteriano y su influencia.

FACTORES	COMO INFLUYEN
<i>Temperatura del agua</i>	<ul style="list-style-type: none"> - La elevación de la temperatura aumentara el decaimiento bacterial presuntamente por incremento de la actividad metabólica, lo que origina mayor susceptibilidad a las sustancias toxicas (Perason et al., 1987) - Otro aspecto es que los predadores se multiplican más rápidamente a temperaturas más altas y por ello el número de bacterias disminuye más velozmente (Gloyna, 1971). - Otro papel importante de la temperatura es que mientras mayor sea, hay más crecimiento de algas. Un aumento en la concentración de algas mejorara la eficiencia del tratamiento de la laguna con relación a la remoción de bacterias.

<p style="text-align: center;"><i>Radiación solar</i></p>	<p>Existe un efecto directo e indirecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Efecto directo; las lagunas absorben la luz y se produce la formación de sustancias tóxicas de oxígeno, estas formas de oxígeno dañan y destruyen a las bacterias en las lagunas; este proceso es conocido como fotooxidación. (Curtis et al., 1992). - El efecto indirecto es que las algas crecerán más rápidamente con el incremento de la intensidad de la luz.
<p style="text-align: center;"><i>Materia Orgánica</i></p>	<p>Saqqar y Pescod (1992b) postularon que la carga orgánica por sí sola no influye en la remoción de coliformes, sino a través de cambios ambientales asociados a ella.</p>
<p style="text-align: center;"><i>DBO y Nutrientes</i></p>	<p>En general, las últimas lagunas en una serie tendrán menos DBO, DQO y concentración de sólidos suspendidos totales (esto es diferente cuando se combina con el crecimiento de algas).</p>
<p style="text-align: center;"><i>Oxígeno disuelto</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Es un indicador de cuán contaminada se puede encontrar el agua y si su nivel es alto tendremos un agua de mejor calidad. - La radiación solar a distintas horas del día afecta directamente al OD, son inversamente proporcionales,

	<p>es decir a mayor temperatura el OD en el agua, baja, y viceversa.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La presencia de O.D. en el agua residual es deseable para evitar la formación de olores desagradables.
<p><i>Concentración de algas</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Producir oxígeno para la descomposición de la materia orgánica y mantener las condiciones aeróbicas del líquido. - Remueven los nutrientes como son los compuestos del fósforo, nitrógeno y carbono para satisfacer necesidades nutricionales.

Fuente: (Rolim, 2000) (CONAGUA/IMTA, 2007A) (Metcalf & Eddy, 1995)
Elaborado por: Navia Daniel y Bowen Luis, 2019

1.5.1.2. *Periodo de retención hidráulico en lagunas de maduración*

Según (Banda, 2007) y (Oakley, 2005), el número de lagunas y sus dimensiones se determinan por el tiempo de retención necesario para la eliminación de coliformes fecales. Dos sugerencias importantes en el diseño de estas lagunas son: considerar la eliminación del organismo indicador hasta un 99.999% y definir la profundidad entre 0.6 a 1.5 metros ((CONAGUA/IMTA, 2007A); (Rolim, 2000)).

Varios autores, entre ellos Orozco (2005) mencionan que el tiempo necesario para la depuración de las aguas o tiempo de retención hidráulica se calcula a partir de:

Ecuación 1-1. Periodo de Retención Hidráulica

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

Donde:

THR= Tiempo de Retención Hidráulica (días)

V= Volumen (m^3)

Q= Caudal ($m^3/día$)

1.5.2. Constituyentes de las aguas residuales

1.5.2.1. Demanda Bioquímica de oxígeno (D.B.O.)

El parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la D.B.O., a los 5 días. Supone esta determinación, la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica y sirve para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

La Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) la define como el oxígeno disuelto necesario para que los organismos vivos que se encuentran en el agua descompongan la materia orgánica (EPA, 1999).

Las lagunas de estabilización son reactores que funcionan con una baja concentración de microorganismos. En todas las lagunas, excepto en las anaerobias, la Demanda Biológica de Oxígeno soluble es reducida mediante oxidación generada por bacterias, mientras que la concentración de DBO suspendida es removida mediante procesos de sedimentación. La transformación biológica que ocurre tanto en las lagunas de tipo facultativas como anaerobias se produce en forma anaerobia. La remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno en cualquier tipo de laguna de oxidación depende de dos factores importantes, el tiempo de retención del recurso en la laguna y la temperatura del agua.

1.5.2.2. *Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)*

El ensayo de la D.Q.O., se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas residuales como naturales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido. Puesto que algunos compuestos inorgánicos interfieren en el ensayo, deben eliminarse previamente. La D.Q.O., de un agua es por lo general, mayor que la D.B.O., porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que biológicamente. La D.Q.O., puede determinarse en aproximadamente 3 horas (Metcalf & Eddy, 1991).

Los sólidos suspendidos presentes en aguas residuales son removidos en las lagunas mediante procesos de sedimentación. La mayoría de los sólidos suspendidos encontrados en el efluente de estas plantas de tratamiento se componen por las propias algas que se desarrollan en las lagunas de oxidación. La concentración de sólidos suspendidos en el recurso puede alcanzar valores de 140 mg/L en lagunas de tipo aerobias, y de 60 mg/L en lagunas con aeración. Algunos procesos que se pueden emplear para mejorar la calidad de efluente de una laguna, cuando se presentan concentraciones elevadas de Sólidos Suspendidos Totales son:

- Filtros de arena intermitentes
- Microtamices
- Filtros de grava
- Flotación con aire disuelto (FAD)
- Plantas acuáticas flotantes
- Humedales artificiales

1.5.2.3. *Potencial de Hidrogeno (Ph).*

Controla los procesos biológicos del tratamiento de las aguas residuales (TAR). La mayoría de los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales se desarrollan en un rango de pH óptimo entre 6,5 y 8,5 unidades.

La concentración del ion hidrogeno es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales.

El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida acuática es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medio biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el afluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.



Ilustración 1.4. Escala logarítmica de pH.

Fuente: Carbotecnia

1.5.2.4. Sólidos Suspendidos

Estos sólidos se pueden evaluar por medio de la filtración, son aquellas partículas que se encuentran flotando en el agua que son apreciables a simple vista y pueden ser separados de forma sencilla. Aproximadamente el 75% de los sólidos suspendidos es de origen orgánico. (Metcalf & Eddy, 1995)

1.5.2.5. Sólidos Totales

Analíticamente, el contenido total de sólidos de un agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105 grados centígrados.

1.5.3. Evaporación

La evaporación es el resultado del proceso físico por el cual el agua cambia de estado físico, del líquido al gaseoso, retornando, directamente a la atmósfera en forma de vapor. (Duarte & Dias, 2003)

La evaporación es un cambio de estado y precisa de una fuente de energía que proporcione a las moléculas de agua la energía suficiente para efectuarlo, directa o indirectamente, esta energía proviene de las radiaciones solares. El fenómeno será tanto más difícil cuanto menor sea la agitación de las moléculas. Será necesario que el aire que envuelve la superficie evaporante tenga capacidad para admitir vapor de agua. Esta capacidad se conoce con el nombre de “Poder Evaporante de la Atmósfera”. (Smith, 1998)

1.6. Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina

- Los puertos deberán contar con un sistema de recolección y manejo para los residuos sólidos y líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves y otros medios de transporte, aprobados por la Dirección General de la Marina Mercante y la Entidad Ambiental de Control. Dichos sistemas deberán ajustarse a lo establecido en la presente Norma, sin embargo, los municipios podrán establecer regulaciones más restrictivas de existir las justificaciones técnicas.
- Se prohíbe todo tipo de descarga en:
 - a) Las cabeceras de las fuentes de agua.
 - b) Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determinará el CNRH, Consejo Provincial o Municipio Local y,
 - c) Todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos.

- Los regulados que exploren, exploten, refinen, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias peligrosas susceptibles de contaminar cuerpos de agua deberá contar y aplicar un plan de contingencia para la prevención y control de derrames, el cual deberá ser aprobado y verificado por la Entidad Ambiental de Control.

- Las normas locales para descargas serán fijadas considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas. Las normas guardarán siempre concordancia con la norma técnica nacional vigente, pudiendo ser únicamente igual o más restrictiva y deberán contar con los estudios técnicos y económicos que lo justifiquen.
 - En los tramos del cuerpo de agua en donde se asignen usos múltiples, las normas para descargas se establecerán considerando los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uno.

- Para el caso de industrias que capten y descarguen en el mismo cuerpo receptor, la descarga se hará aguas arriba de la captación.

- Para efectos del control de la contaminación del agua por la aplicación de agroquímicos, se establece lo siguiente:
 - Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de cincuenta (50) metros, y la aplicación aérea de los mismos, dentro de una franja de cien (100) metros, medidas en ambos casos desde las orillas de todo cuerpo de agua,

- La aplicación de agroquímicos en cultivos que requieran áreas anegadas artificialmente, requerirá el informe y autorización previa del Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Además de las disposiciones contenidas en la presente Norma, se deberá cumplir las demás de carácter legal y reglamentario sobre el tema, así como los listados referenciales de la Organización para la Agricultura y Alimentos de Naciones Unidas (FAO).

Tabla 1.3. Límites de descarga en un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20

¹ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	130
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ =	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Fuente: TULSMA 2015

Toda descarga a un cuerpo de agua marina, deberá cumplir, por lo menos con los siguientes parámetros:

Tabla 1.4. Límites de descarga en un cuerpo de agua marina.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas		mg/l	0,3
Arsénico total	As	mg/l	0,5
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,2
Cianuro total	CN-	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		² Remoción > al 99,9 %

² Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000 quedan exentos de tratamiento

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	200
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	400
Fósforo Total	P	mg/l	10
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	TPH	mg/l	20,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total kjedahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,2
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	250
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,25
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Zinc	Zn	mg/l	10

Fuente: TULSMA 2015.

CAPÍTULO 2 : MATERIALES Y METODOS.

2.1. Materiales y Equipos

Los materiales empleados en la investigación de campo, además de los que se tomaron en cuenta dentro del laboratorio, oficina y demás, entre todos ellos tenemos los siguientes.

Tabla 2.1. Materiales y Equipos utilizados en la investigación.

Campo	Laboratorio	Oficina	Instrumentos
<ul style="list-style-type: none"> • Ficha de Campo • Flexómetro • Mascarilla. • Baldes. • Botas. • Guantes de caucho. • Guantes quirúrgicos. • Alcohol • Frascos plásticos. • Hieleras portátiles. • Recipiente de ensayo (fibra de vidrio) de 1.0 metros de altura. • Recipiente de ensayo (fibra de vidrio) de 1.5 metros de altura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivos para análisis de aguas. • Equipo: HACH/HQ40d Portable Multi-Electrodo Intellical CDC401/LDO101/P HC301. • Equipo: Brand:HACH/Type: DR-890/Portable spectrophotometer. • Equipo: HACH/DRB200/Digital Reactor Block <p>Ver Anexo 1: Foto 1 “Equipos de laboratorio utilizados”</p>	Computadora	Celulares

Elaborado por: Navia Daniel y Bowen Luis, 2019.

2.2. Especificaciones de los recipientes de ensayo

Las especificaciones de los recipientes se detallan a continuación:

Tabla 2.2. Especificaciones de los recipientes de la investigación.

Ítem	Recipientes	
	R1	R2
Material Constituyente	Fibra de Vidrio	Fibra de Vidrio
Altura de Recipiente (m)	1,20	1,70
Borde libre (cm)	20	20
Profundidad de llenado (m)	1,00	1,50
Diámetro (m)	0,60	0,60
Espesor (cm)	1	1

Elaborado por: Navia Daniel y Bowen Luis, 2019.

Las especificaciones presentadas en la tabla 2.2. son necesarias para poder aproximar las condiciones físico-químicas y biológicas de los recipientes de ensayo, en relación con una laguna de estabilización real.

2.3. Participantes

Las personas que participaron en el desarrollo y ejecución del presente estudio son: Ing. Eduardo Pesantes en el desarrollo y monitoreo de todo el proceso en laboratorio, Ing. Gustavo Mero, tutor del Proyecto de Titulación, y el grupo investigador integrado por el Sr. Luis Eduardo Bowen y el Sr. José Daniel Navia.

El financiamiento de la investigación fue asumido directamente del grupo de investigadores.

2.4. Zona de estudio

La investigación se realiza dentro de los predios de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Manta.

Una vez hecho el reconocimiento de la zona de estudio se estableció el lugar idóneo para el posicionamiento de los recipientes de fibra de vidrio, con el fin de obtener muestras inalteradas y por facilidad en el proceso de llenado, se escogió un espacio de terreno próximo al cárcamo receptor de las aguas servidas. Ver Anexo 1 – Foto 3 “Cárcamo Receptor de las aguas servidas de la ciudad de Manta.”

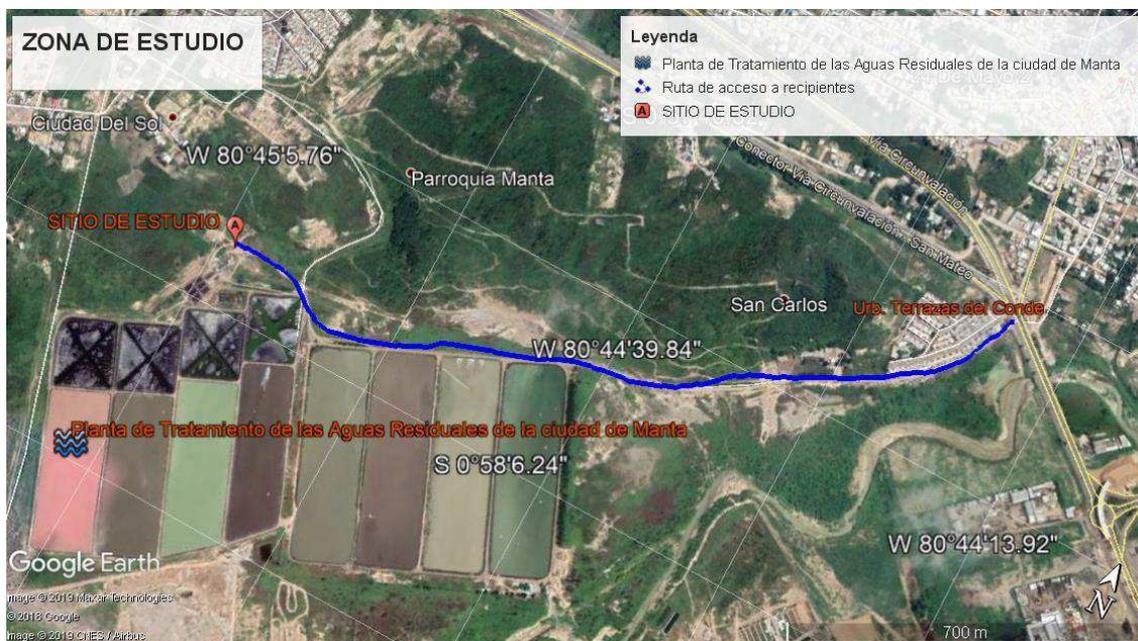


Ilustración 2.1. Imagen Satelital de las Lagunas de oxidación de la Ciudad de Manta

Fuente: Google Earth.

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

2.4.1. Localización georreferenciada del sitio de investigación.

El punto de referencia de la ubicación de los recipientes de ensayo es:

Tabla 2.3. Cuadro de Coordenadas de los recipientes de ensayo.

Punto	Zona	Coordenadas UTM X	Coordenadas UTM Y	Elevación
A	17M	527671.00 m E	9893087.00 m S	20 msnm

Fuente: Google Earth.

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

2.5. Periodo de tiempo de investigación.

2.5.1. Plan de muestreo

El plan de muestreo utilizado dentro de la investigación se determinó mediante:

- La identificación del lugar
- La condición en la cual se realizaría el muestreo.
- El intervalo del muestreo.
- El tipo de muestra que se realizará.

2.5.2. Identificación del punto de muestreo

El sistema de tratamiento de aguas residuales comprende de varias lagunas para su correcto funcionamiento. Una vez realizado el respectivo reconocimiento de la zona de estudio se procede a establecer el punto de muestreo, siendo este el cárcamo de llegada de las aguas residuales que son bombeadas desde la estación de bombeo Miraflores.

Para la investigación se utilizaron dos contenedores de fibra de vidrio que simulan las lagunas de maduración de 1,00 m y 1,50 m de profundidad, con diámetros iguales de 60 cm, y con las aturas de 1,20 m y 1,70 m, considerando el borde libre de 20 cm, los mismos que se ubicaron en un lugar estable para que no tengan alteración alguna. Ver Anexo 1 – Foto 2 “**Colocación y nivelación de los recipientes de fibra de vidrio**” .

2.5.3. Frecuencia de muestreo

Las muestras de las aguas residuales se tomaron con un intervalo de tres días, iniciando el 23 de enero y culminando el 12 de febrero del 2019.

2.5.4. Condiciones de muestreo y tipo de muestra.

2.5.4.1. Condiciones de muestreo

Para la toma de la muestra en los recipientes, se utilizaron envases plásticos de medio litro de capacidad, los cuales antes de ser llenados

fueron limpiados y esterilizados, para así de esta manera no conseguir alterar en ninguna forma la muestra y posteriormente los resultados. Ver Anexo 1 – Foto 5 “**Toma de muestras para llevar al laboratorio**”

2.5.4.2. *Tipo de Muestreo*

El tipo de muestreo que se utilizó para llevar a cabo los ensayos es el de muestra selectiva simple (de profundidad conocida), ya que serán tomadas en un tiempo y lugar determinados para su posterior análisis. Esta forma de muestreo permite realizar una curva estadística en relación al tiempo, pudiendo representar el comportamiento de los parámetros medidos.

2.6. **Parámetros para evaluar en laboratorio.**

Se tomó únicamente para su análisis y evaluación de resultados los parámetros de la DBO, DQO, pH, sólidos suspendidos y Sólidos totales como componentes de las aguas residuales y la evaporación como componente ambiental, ya que el objeto del estudio está enfocado en estos parámetros.

2.7. **Diagramas de flujo de procedimientos**

En el procedimiento para la obtención de datos en los parámetros de estudio son los siguientes:

2.7.1. *Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅)*

- **Procedimiento utilizado en el laboratorio para DBO₅**

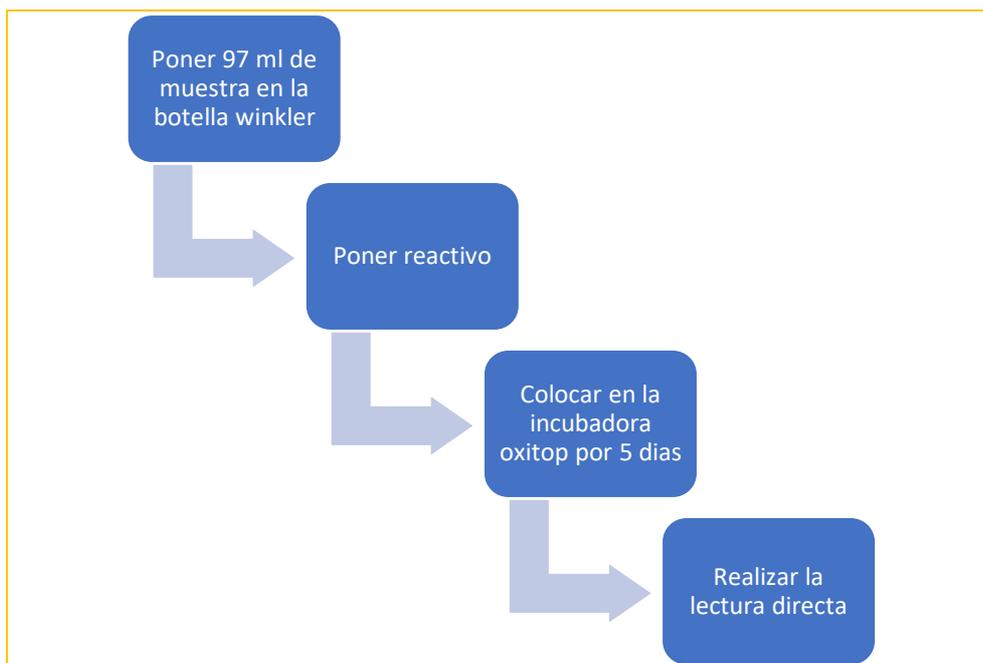


Figura 2.1. Flujo de Procedimiento (DBO₅)

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

2.7.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- **Procedimiento utilizado en el laboratorio para DQO**

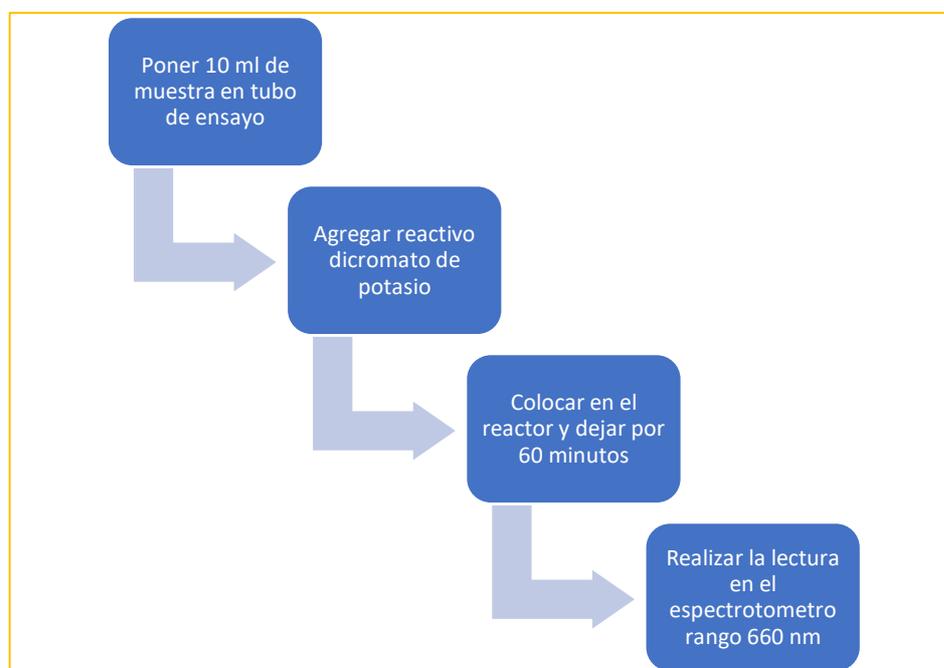


Figura 2.2. Flujo de Procedimiento (DQO)

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

2.7.3. Potencial de Hidrógeno (Ph).

- **Procedimiento utilizado en el laboratorio para el pH**

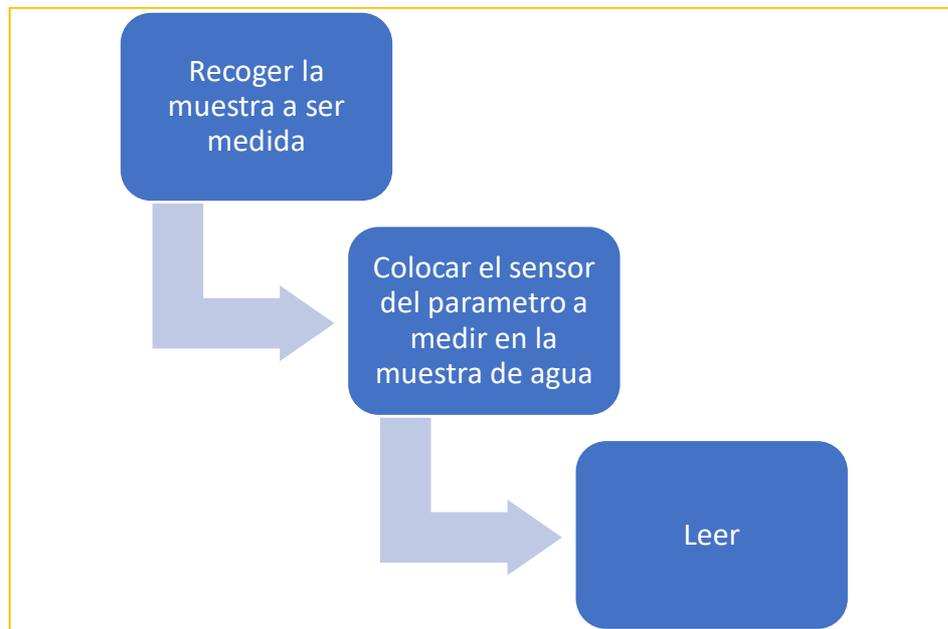


Figura 2.3. Flujo de Procedimiento (Ph)

Fuente: Laboratorio EPAM
Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

2.7.4. Sólidos Suspendidos (SS).

- **Procedimiento utilizado en el laboratorio para Sólidos Suspendidos**

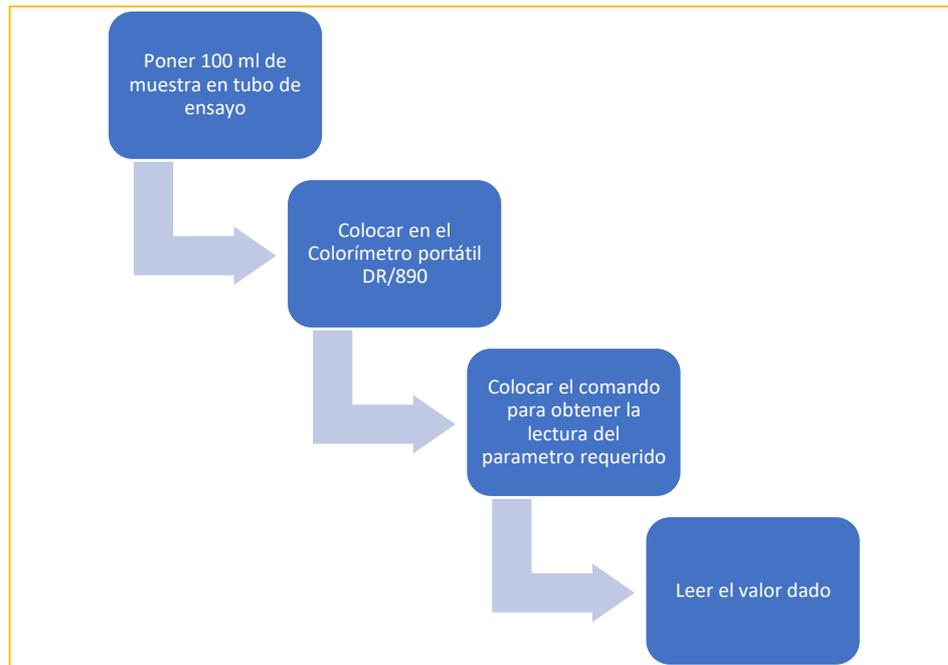


Figura 2.4. Flujo de Procedimiento (SS)

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

2.7.5. Sólidos Suspendidos Totales (SST).

- **Procedimiento utilizado en el laboratorio para Sólidos Totales**

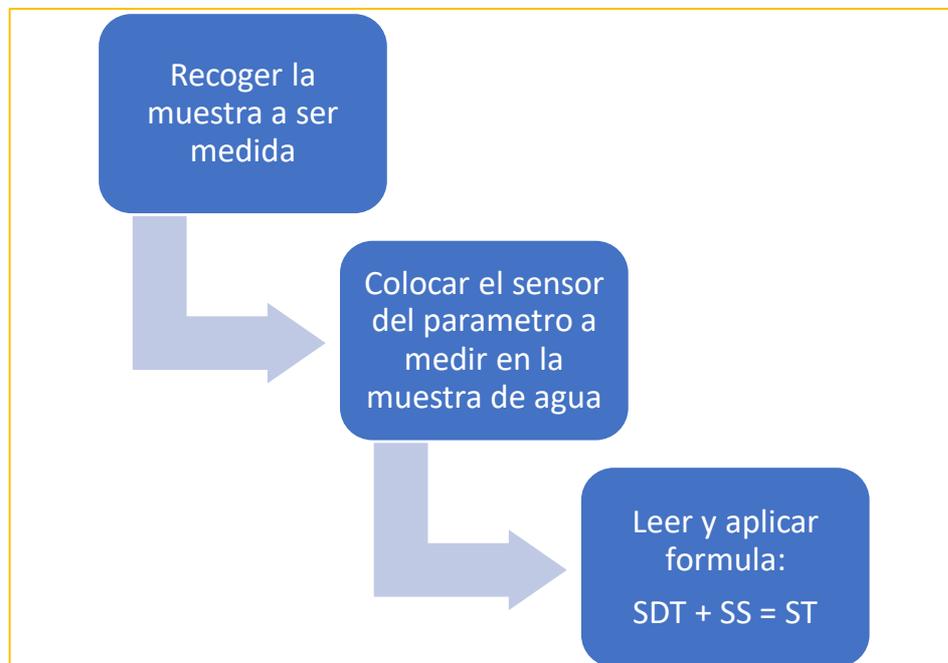


Figura 2.5. Flujo de Procedimiento (Sólidos Totales)

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

2.7.6. Evaporación

- **Procedimiento utilizado en campo para Evaporación**

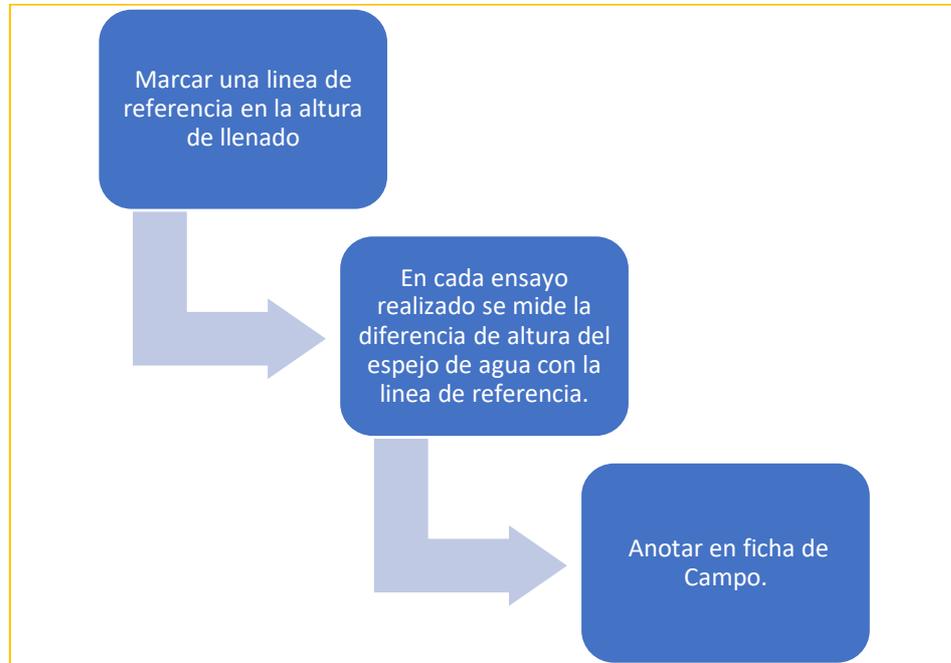


Figura 2.6. Flujo de Procedimiento (Evaporación)

Fuente: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

CAPÍTULO 3 : PROPUESTA.

3.1. Análisis e interpretación de los resultados

El análisis e interpretación de los resultados obtenidos se realizó en base a las pruebas realizadas en laboratorio, que involucran a los parámetros químicos y biológicos que se presentan en el agua residual durante el tiempo de estudio, además de tomar en cuenta la evaporación como factor climatológico

3.1.1. DBO₅

Los resultados de laboratorio correspondientes a la Demanda bioquímica de Oxígeno a 5 días (D.B.O₅) se detallan en la tabla 3.1. y tabla 3.2.:

Tabla 3.1. D.B.O₅ para descarga en agua dulce.

N° Ensayos	Días	Fechas	Recipiente 1,00 m (mg/L)	Límite permisible (100 mg/L)	Recipiente 1,50 m (mg/L)	Límite permisible (100 mg/L)
1	0	23/1/2019	473	No Cumple	449	No Cumple
2	3	26/1/2019	379	No Cumple	342	No Cumple
3	6	29/1/2019	355	No Cumple	339	No Cumple
4	9	1/2/2019	264	No Cumple	226	No Cumple
5	13	5/2/2019	225	No Cumple	180	No Cumple
6	16	8/2/2019	185	No Cumple	154	No Cumple
7	20	12/2/2019	144	No Cumple	106	No Cumple

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Tabla 3.2. D.B.O₅ para descarga en agua marina.

N° Ensayos	Días	Fechas	Recipiente 1,00 m (mg/L)	Límite permisible (200 mg/L)	Recipiente 1,50 m (mg/L)	Límite permisible (200 mg/L)
1	0	23/1/2019	473	No Cumple	449	No Cumple
2	3	26/1/2019	379	No Cumple	342	No Cumple
3	6	29/1/2019	355	No Cumple	339	No Cumple
4	9	1/2/2019	264	No Cumple	226	No Cumple
5	13	5/2/2019	225	No Cumple	180	Cumple
6	16	8/2/2019	185	Cumple	154	Cumple
7	20	12/2/2019	144	Cumple	106	Cumple

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Como se observa en la tabla 3.1. (D.B.O₅ para descarga en agua dulce.) no se pudo obtener un cumplimiento del límite permisible (100 mg/L) debido a que los valores más cercanos fueron 144 mg/L en el recipiente 1,00 m a los 20 días, y, 106 mg/L en el recipiente de 1,5 m en el mismo periodo de tiempo; los valores de los días son inversamente proporcional a los valores del DBO como se puede evidenciar en la figura 3.1., por tanto si la investigación se hubiese extendido más, se podría haber cumplido el límite de descarga a este cuerpo receptor, que no es más que la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar la materia orgánica presente.

La tabla 3.2. (D.B.O₅ para descarga en agua marina) se observa el cumplimiento de límite permisible (200 mg/L) en el recipiente de 1,00 m con un valor de 185 mg/L a los 16 días, mientras que en el recipiente de 1,5 m cumple con valor de 180 mg/L a los 13 días.

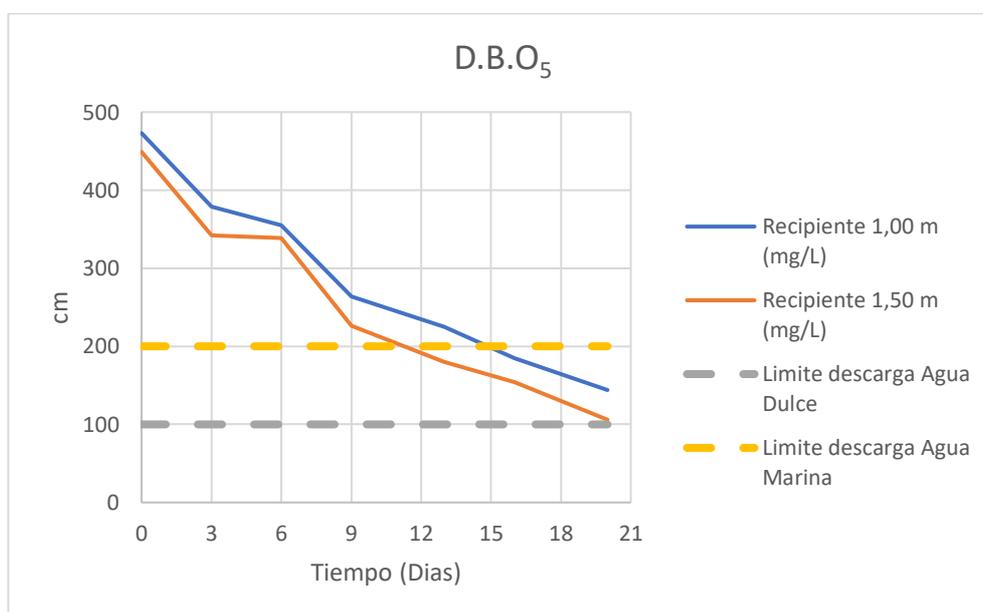


Figura 3.1. Diagrama lineal de resultados de D.B.O₅ en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.

3.1.2. DQO

Los resultados de laboratorio correspondientes a la Demanda química de Oxígeno (D.Q.O.) se detallan en la tabla 3.3. y tabla 3.4.:

Tabla 3.3. D.Q.O. para descargas en agua dulce.

N° Ensayos	Días	Fechas	Recipiente 1,00 m (mg/L)	Límite permisible (200 mg/L)	Recipiente 1,50 m (mg/L)	Límite permisible (200 mg/L)
1	0	23/1/2019	1052	No Cumple	998	No Cumple
2	3	26/1/2019	843	No Cumple	760	No Cumple
3	6	29/1/2019	788	No Cumple	754	No Cumple
4	9	1/2/2019	587	No Cumple	503	No Cumple
5	13	5/2/2019	500	No Cumple	399	No Cumple
6	16	8/2/2019	412	No Cumple	341	No Cumple
7	20	12/2/2019	320	No Cumple	236	No Cumple

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Tabla 3.4. D.Q.O. para descargas en agua marina.

N° Ensayos	Días	Fechas	Recipiente 1,00 m (mg/L)	Límite permisible (400 mg/L)	Recipiente 1,50 m (mg/L)	Límite permisible (400 mg/L)
1	0	23/1/2019	1052	No Cumple	998	No Cumple
2	3	26/1/2019	843	No Cumple	760	No Cumple
3	6	29/1/2019	788	No Cumple	754	No Cumple
4	9	1/2/2019	587	No Cumple	503	No Cumple
5	13	5/2/2019	500	No Cumple	399	Cumple
6	16	8/2/2019	412	No Cumple	341	Cumple
7	20	12/2/2019	320	Cumple	236	Cumple

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Los resultados en la tabla 3.3. (D.Q.O. para descargas en agua dulce.) muestra un incumplimiento del límite permisible (200 mg/L) en ambos recipientes sujetos a esta investigación, con valores mínimos obtenidos de 320 mg/L en recipiente de 1,00 m a los 20 días, y, 236 mg/L en el recipiente de 1,50 m al mismo periodo de duración de la investigación.

Por ser mayor el límite permisible (400 mg/L) en cuerpo receptor de agua marina se evidenció a los 20 días el cumplimiento en el recipiente de 1,00 m con valor de 320 mg/L, y, a los 13 días en el de 1,50 m con valor de 399

mg/L. Es notable la diferencia en días de una profundidad respecto a la otra.

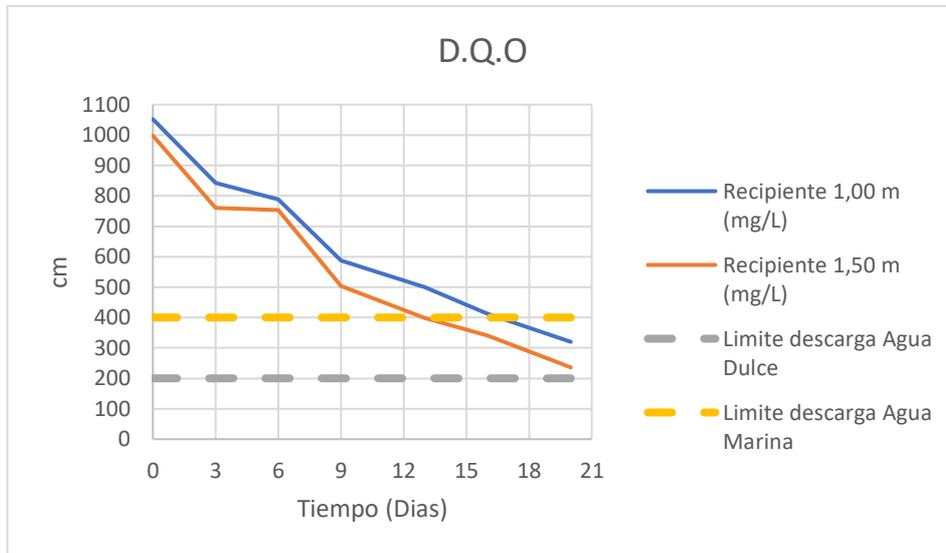


Figura 3.2. Diagrama lineal de resultados de D.Q.O. en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.

Como se puede apreciar en la figura 3.2. la línea de resultados del recipiente de 1.00 m se acerca al límite permisible para descargas en agua marina a los 16 días, valor que se tomará como periodo de retención hidráulica.

3.1.3. pH

Los resultados del potencial de hidrógeno (pH) obtenidos en el laboratorio son declarados en la tabla 3.5, donde se muestra los niveles de pH del agua residual:

Tabla 3.5. Resultados de pH en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad.

N° Ensayos	Días	Fechas	Recipiente 1,00 m	Límite permisible (6,0 - 9,0)	Recipiente 1,50 m	Límite permisible (6,0 - 9,0)
1	0	23/1/2019	7,58	Cumple	7,62	Cumple
2	3	26/1/2019	8,36	Cumple	8,56	Cumple
3	6	29/1/2019	8,34	Cumple	8,5	Cumple
4	9	1/2/2019	8,86	Cumple	8,65	Cumple
5	13	5/2/2019	8,44	Cumple	8,55	Cumple
6	16	8/2/2019	8,39	Cumple	8,51	Cumple

7	20	12/2/2019	6,09	Cumple	6,21	Cumple
---	----	-----------	------	--------	------	--------

Fuente: Laboratorio EPAM
Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Dentro de toda la investigación se mantuvieron los valores de pH dentro un rango neutro y ligeramente alcalino, a diferencia del último día de ejecución de pruebas en laboratorio que se obtuvo un valor ligeramente ácido de 6,09 en el recipiente de 1,00 m a los 20 días y 6,21 en el recipiente 1,5 en el mismo periodo de tiempo, según la escala logarítmica de pH (Ver Ilustración 1.4.). Todos los valores fluctuaron dentro de lo establecido por la norma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Ver tabla 1.3.).

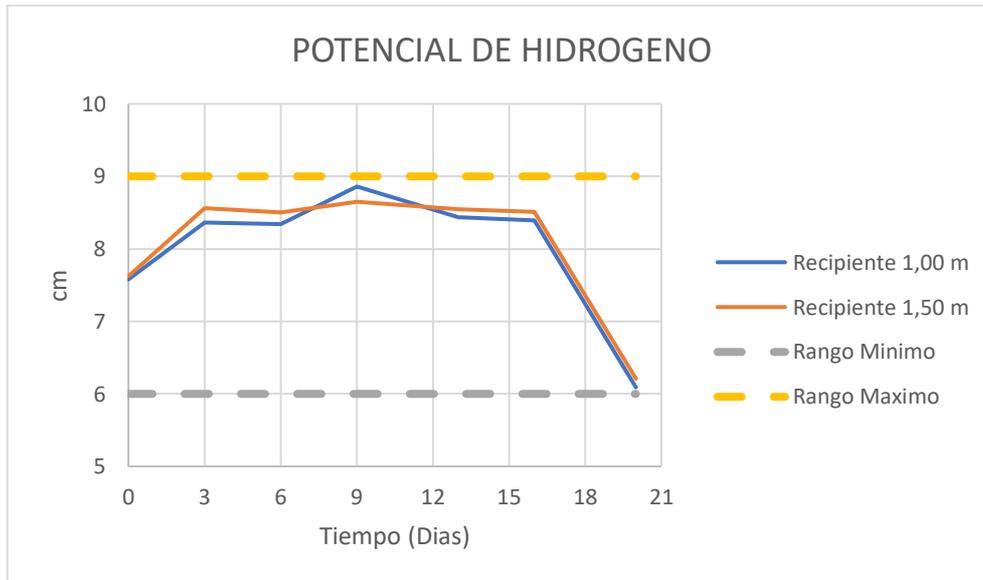


Figura 3.3. Diagrama lineal de resultados de pH en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.

3.1.4. Sólidos Suspendidos

Los resultados de laboratorio correspondientes a los sólidos suspendidos se detallan en la tabla 3.6. y tabla 3.7.:

Tabla 3.6. Resultados de Sólidos Suspendidos en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad. Para descargas en agua dulce.

N° Ensayos	Días	Fechas	Recipiente 1,00 m (mg/L)	Límite permisible (130 "mg/L")	Recipiente 1,50 m (mg/L)	Límite permisible (130 mg/L)
1	0	23/1/2019	178	No Cumple	121	Cumple
2	3	26/1/2019	167	No Cumple	208	No Cumple
3	6	29/1/2019	242	No Cumple	151	No Cumple
4	9	1/2/2019	244	No Cumple	152	No Cumple
5	13	5/2/2019	135	No Cumple	127	Cumple
6	16	8/2/2019	112	Cumple	127	Cumple
7	20	12/2/2019	138	No Cumple	136	No Cumple

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Tabla 3.7. Resultados de Sólidos Suspendidos en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad. Para descargas en agua marina.

N° Ensayos	Días	Fechas	Recipiente 1,00 m (mg/L)	Límite permisible (250 mg/L)	Recipiente 1,50 m (mg/L)	Límite permisible (250 mg/L)
1	0	23/1/2019	178	Cumple	121	Cumple
2	3	26/1/2019	167	Cumple	208	Cumple
3	6	29/1/2019	242	Cumple	151	Cumple
4	9	1/2/2019	244	Cumple	152	Cumple
5	13	5/2/2019	135	Cumple	127	Cumple
6	16	8/2/2019	112	Cumple	127	Cumple
7	20	12/2/2019	138	Cumple	136	Cumple

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Según los resultados obtenidos en la tabla 3.6., se estima que los sólidos en suspensión para la descarga de un cuerpo de agua dulce cumplen únicamente a los 16 días de ensayo en el recipiente de 1,00 metros de profundidad, ya que su valor límite permisible es de 112 mg/L, y no supera los 130 mg/L establecido en la norma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). El recipiente de 1,50 metros de profundidad sobrepasa el valor límite permisible, únicamente los días de ensayo 1, 13 y 16 no sobrepasa este límite por tanto se concluye que durante todo el periodo de ensayo este parámetro no cumple para una profundidad de 1,50 metros.

En cuanto a los valores límites de descarga para un cuerpo receptor de agua marina, se cumple en ambos recipientes a partir del primer día de ensayo, ya que sus valores no superan los 250 mg/L que establece el TULSMA.

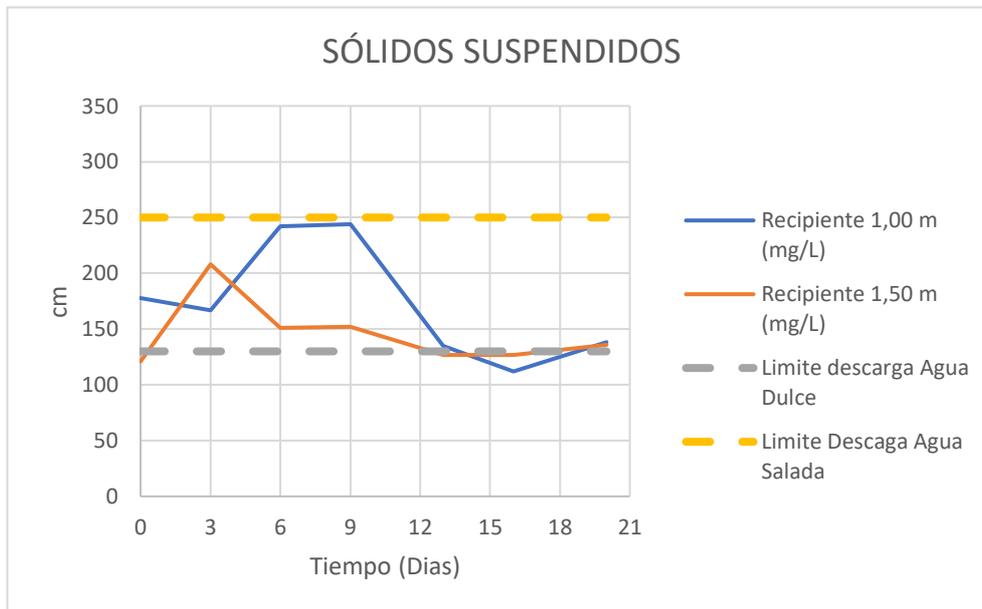


Figura 3.4. Diagrama lineal de resultados de Sólidos Suspendedos en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.

3.1.5. Sólidos Totales.

En la tabla 3.8., se detallan los resultados que se obtuvieron en el laboratorio que corresponden al parámetro de sólidos totales.

Tabla 3.8. Resultados de Sólidos Totales en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad. Para descargas en agua dulce.

N° Ensayos	Días	Fechas	Recipiente 1,00 m (mg/L)	Límite permisible (1600 mg/L)	Recipiente 1,50 m (mg/L)	Límite permisible (1600 mg/L)
1	0	23/1/2019	3028	No Cumple	3091	No Cumple
2	3	26/1/2019	2987	No Cumple	3128	No Cumple
3	6	29/1/2019	3092	No Cumple	3061	No Cumple
4	9	1/2/2019	3094	No Cumple	3062	No Cumple
5	13	5/2/2019	3065	No Cumple	3097	No Cumple
6	16	8/2/2019	3062	No Cumple	3107	No Cumple
7	20	12/2/2019	2838	No Cumple	2976	No Cumple

Fuente: Laboratorio EPAM

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Las líneas de tendencia en la figura 3.5., de ambos recipientes, dejan entrever los resultados de sólidos totales de forma variable con valores iniciales de 3028 mg/L en el recipiente de 1,00 m de profundidad y 3091 mg/L en el recipiente de 1,50 m. de profundidad. Se indica además que, al final del ensayo 7, los valores de 2838 mg/L y 2976 mg/L respectivamente no cumplen para la descarga a un cuerpo receptor de agua dulce, ya que estos valores están por encima de 1600 mg/L como lo establece la norma. En cuanto a la descarga a un cuerpo receptor marino la norma TULSMA, no considera valor cuantitativo permisible.

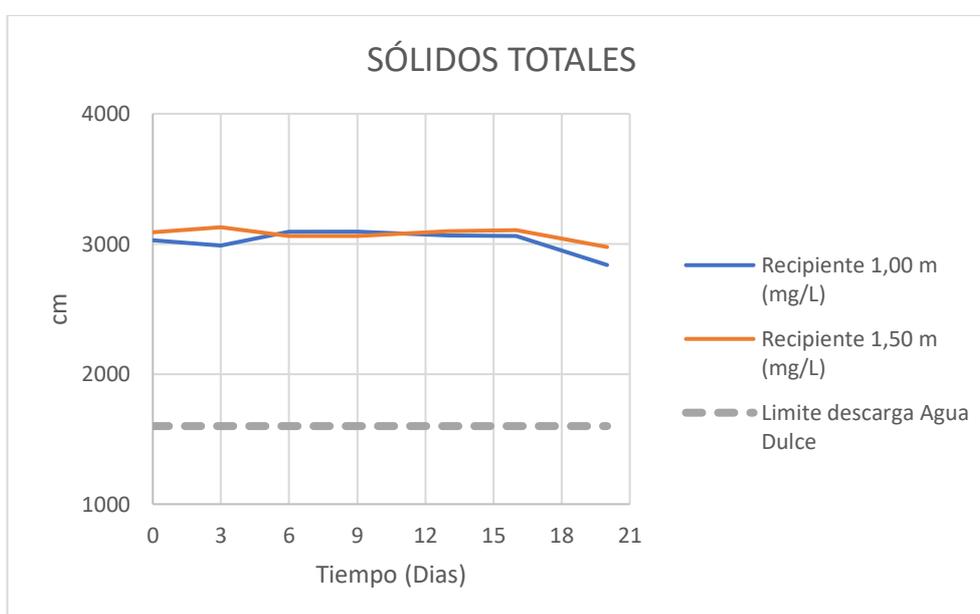


Figura 3.5. Diagrama lineal de resultados de Sólidos Totales en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.

3.2. Resultados de los niveles de Evaporación.

Los datos tomados en campo referentes a la disminución del agua residual por evaporación permiten obtener información, considerando importante el funcionamiento mismo del sistema de tratamiento residual. A continuación, se detallan los resultados de evaporación que se presentó en cada uno de los recipientes de ensayo, en función de la climatología presentada durante el transcurso del tiempo que se llevó a cabo la investigación.

Tabla 3.9. Resultados de la evaporación en recipientes de 1,00 y 1,50 m de profundidad.

Cant. Ensayos	FECHA	DIAS	Recipiente 1,00 m	Recipiente 1,50 m
1	23-ene-19	0	0 cm	0 cm
2	26-ene-19	3	5,6 cm	6 cm
3	29-ene-19	6	8,85 cm	9,45 cm
4	1-feb-19	9	11,6 cm	12,5 cm
5	5-feb-19	13	15,75 cm	16,9 cm
6	8-feb-19	16	18,5 cm	19,85 cm
7	12-feb-19	20	21,3 cm	23,5 cm

Fuente: Datos de Campo.

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Los resultados de niveles de pérdida de agua residual por evaporación tanto en el recipiente de 1,00 y de 1,50 metros de profundidad mantienen una semejanza en la evaporación, como se aprecian en la figura 3.6.

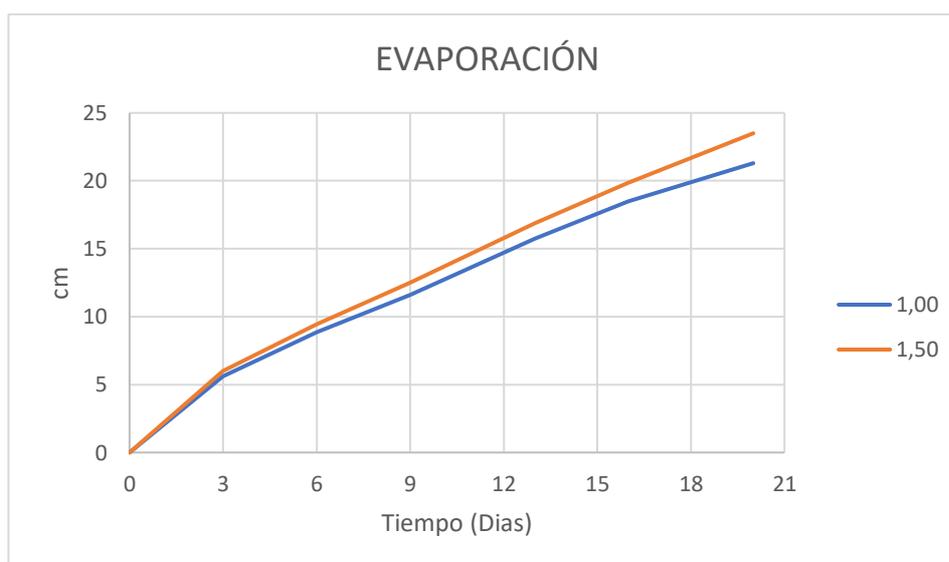


Figura 3.6. Diagrama lineal de resultados de Evaporación en recipientes de 1,00 y 1,50 metros de profundidad.

La pérdida de agua residual por evaporación es menor en el recipiente de 1,00 metros de profundidad con un valor de 21,3 cm a los 20 días de investigación, y, el recipiente con mayor profundidad (1,50 metros) tiende a presentar mayor evaporación, estimando un valor de pérdidas de 23,5 cm durante el mismo tiempo. La diferencia entre recipientes no es relativamente significativa en función de sus profundidades.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el recipiente de 1,00 m de profundidad se produce una evaporación diaria de 1,06 $\text{cm}/\text{día}$, y, en el recipiente de 1,50 m de profundidad una evaporación de 1,18 $\text{cm}/\text{día}$.

3.3. Parámetros de diseño.

3.3.1. Criterios para diseñar lagunas naturales

Tabla 3.10. Criterios para el diseño de lagunas de tratamiento de aguas residuales.

CARACTERISTICAS	LAGUNA ANAEROBICA	LAGUNA FACULTATIVA	LAGUNA AEROBICA
Uso recomendado	Vertidos de alta carga contaminante, como pretratamiento de lagunas facultativas.	Aguas urbanas e industriales, no necesitan lagunaje anaeróbico previo.	Complemento de depuración, a continuación de las facultativas.
Carga orgánica incorporada (kg. D.B.O ₅ /ha. Día)	200 -1000	56 - 200	5 – 20
Profundidad de retención (días)	10 - 50	6 - 30	4 – 12
Profundidad de las lagunas (m)	3 - 6	1 – 2,5	0,6 – 1,2
Dimensiones máximas de cada módulo (ha)	0,1 - 1	1 - 4	1 - 4

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

3.3.2. Ecuaciones para el diseño de lagunas de maduración. (Modelo de Hermann y Gloyna)

Tabla 3.11. Ecuaciones para el cálculo del diseño de lagunas de maduración.

Ecuación 3-1. Volumen de la laguna	$V = Q * Pr$
Ecuación 3-2. Área promedio de la laguna	$A_{prom} = V/h$
Ecuación 3-3. Ancho promedio de la laguna	$B_{prom} = \sqrt{A_{prom}/x}$
Ecuación 3-4. Largo promedio de la laguna	$L_{prom} = A_{prom}/B_{prom}$
Ecuación 3-5. Ancho superior de la laguna	$B_{sup} = B_{prom} + x$
Ecuación 3-6. Largo superior de la laguna	$L_{sup} = L_{prom} + x$
Ecuación 3-7. Ancho inferior de la laguna	$B_{inf} = B_{prom} - x$
Ecuación 3-8. Largo inferior de la laguna	$L_{inf} = L_{prom} - x$

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

3.4. Propuesta

Como se puede apreciar en la figura 3.2. la línea de resultados del recipiente de 1.00m se intercepta con el límite permisible para descarga en un cuerpo receptor de agua marina a los 16 días, este valor se tomará como periodo de retención hidráulica para el diseño de las lagunas de maduración.

3.4.1. Diseño de lagunas.

Se propone el diseño de un tratamiento conformado por 8 lagunas de maduración, 4 de 1,0 metro de profundidad y 4 de 1,5 m. (ver ilustración 3.1.)

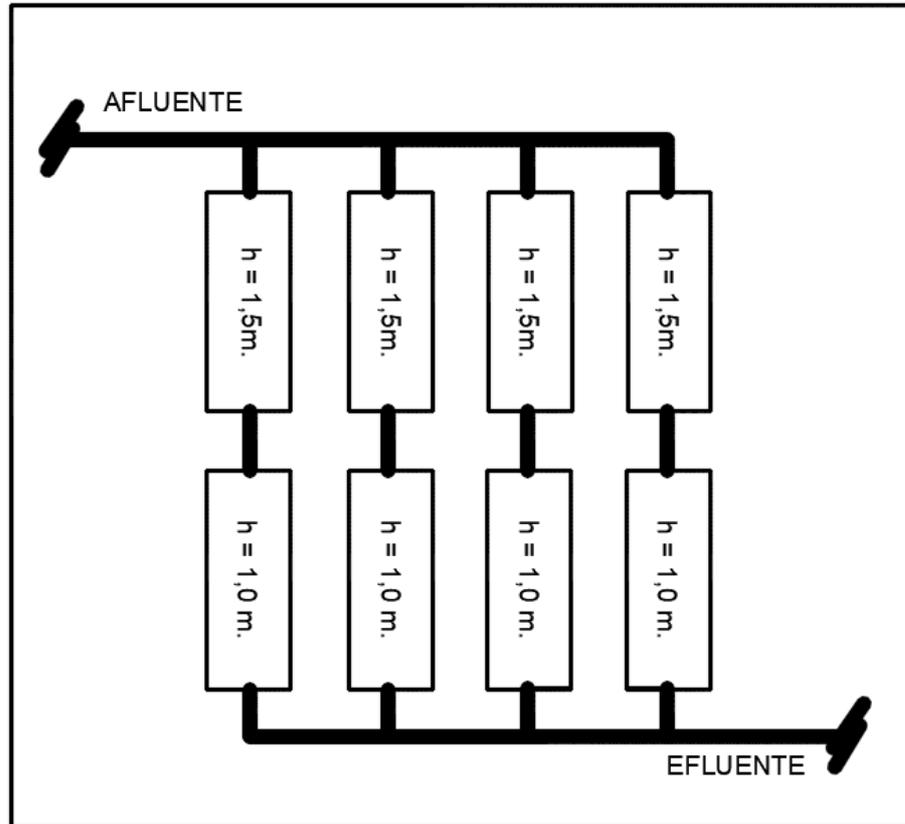


Ilustración 3.1. Esquema del diseño de lagunas.

Fuente: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

3.4.1.1. Laguna de maduración de 1,50 m de profundidad.

Caudal medio de ingreso a lagunas $Q_i = 40000 \text{ m}^3/\text{día}$

Número de lagunas = 4

Caudal medio de ingreso a cada laguna $Q_i = 10000 \text{ m}^3/\text{día}$

Altura de la laguna (h)= 1.50 m

Tiempo de retención hidráulica = 10 días

Volumen de la laguna

$$V = Q * Pr = (10000 \text{ m}^3/\text{día})(10 \text{ días}) = 100000 \text{ m}^3$$

Área promedio de la laguna

$$A_{prom} = V/h = 100000m^3/1,50m = 66666,7 m^2$$

Cálculo del ancho y largo promedio de la laguna

Relación largo ancho $x=1,5$

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_{prom}}{x}} = \sqrt{\frac{66666,7 m^2}{1,5}} = 210,80 m$$

$$L_{prom} = A_{prom}/B_{prom} = 66666,7 m^2/210,80 m = 316,25 m$$

Cálculo del ancho y largo superior de la laguna

$$\frac{1}{1,5} \quad \frac{1,5}{x} \quad x = 2,25 m$$

$$B_{sup} = B_{prom} + x = 210,80 m + 2,25 m = 213,05 m$$

$$L_{sup} = L_{prom} + x = 316,25 m + 2,25 m = 318,50 m$$

Cálculo del ancho y largo inferior de la laguna

$$\frac{1}{1,5} \quad \frac{1,5}{x} \quad x = 2,25 m$$

$$B_{inf} = B_{prom} - x = 210,80 m - 2,25 m = 208,55 m$$

$$L_{inf} = L_{prom} - x = 316,25 m - 2,25 m = 314 m$$

3.4.1.2. Laguna de maduración 1.0 m. de profundidad.

Caudal medio de ingreso a lagunas $Q_i = 40000 \text{ m}^3/\text{día}$

Número de lagunas = 4

Caudal de ingreso a cada laguna $Q_i = 10000 \text{ m}^3/\text{día}$

Altura de la laguna (h)= 1.0 m

Tiempo de retención hidráulica = 6 días

Volumen de la laguna

$$V = Q * Pr = (10000 \text{ m}^3/\text{día})(6 \text{ días}) = 60000 \text{ m}^3$$

Área promedio de la laguna

$$A_{prom} = V/h = 60000 \text{ m}^3/1.0 \text{ m} = 60000 \text{ m}^2$$

Cálculo del ancho y largo promedio de la laguna

Relación largo ancho $x=1.5$

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_{prom}}{x}} = \sqrt{\frac{60000 \text{ m}^2}{1.5}} = 200 \text{ m}$$

$$L_{prom} = A_{prom}/B_{prom} = 60000 \text{ m}^2/200 \text{ m} = 300 \text{ m}$$

Cálculo del ancho y largo superior de la laguna

$$B_{sup} = B_{prom} + x = 200 \text{ m} + 1.5 \text{ m} = 201.5 \text{ m}$$

$$L_{sup} = L_{prom} + x = 300 \text{ m} + 1.5 \text{ m} = 301.5 \text{ m}$$

Cálculo del ancho y largo inferior de la laguna

$$B_{inf} = B_{prom} - x = 200 \text{ m} - 1.5 \text{ m} = 198.5 \text{ m}$$

$$L_{inf} = L_{prom} - x = 300 \text{ m} - 1.5 \text{ m} = 298.5 \text{ m}$$

3.4.1.3. Dimensiones de las lagunas.

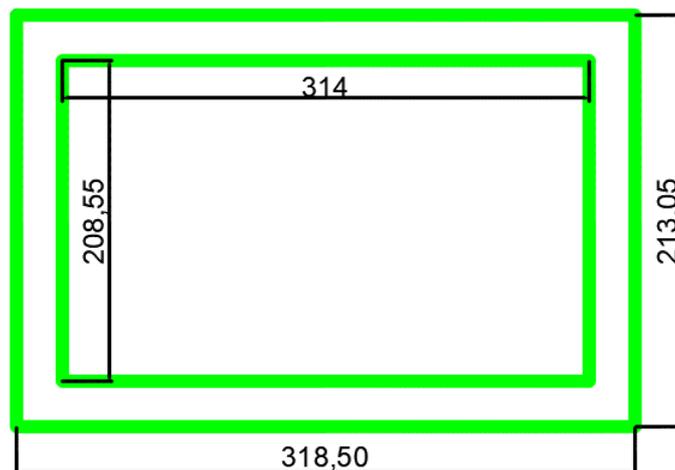


Ilustración 3.2. Vista en planta laguna de maduración de 1,50 m de profundidad.

Fuente: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019
Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

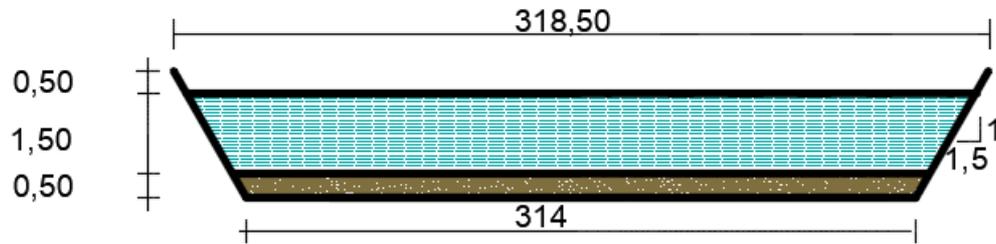


Ilustración 3.3. Vista en corte a lo largo de laguna de maduración de profundidad 1,50 m

Fuente: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019
Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

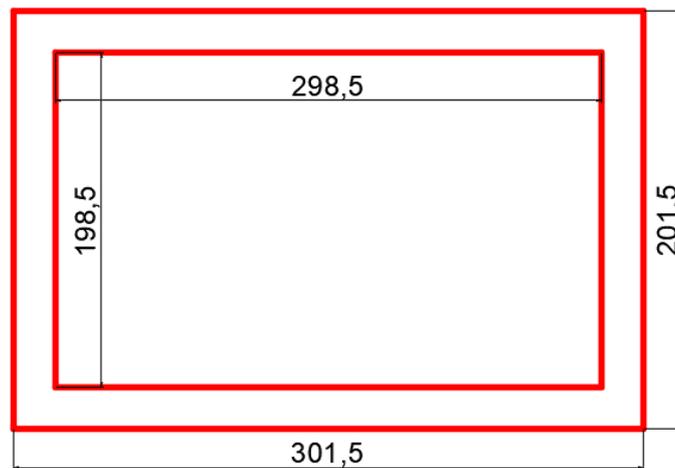


Ilustración 3.4. Vista en planta laguna de maduración de 1,00 m de profundidad.

Fuente: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019
Elaborador por: Navia Daniel y Bowen Luis. 2019

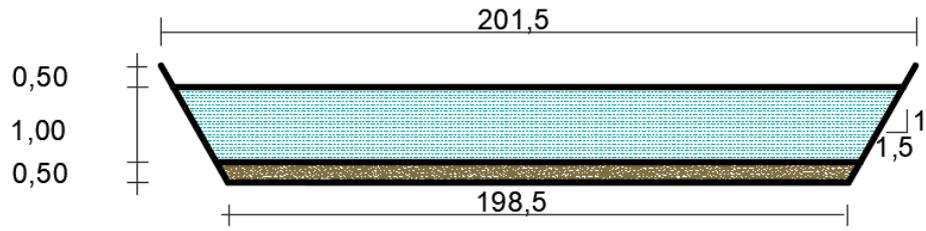


Ilustración 3.5. Vista en corte a lo ancho de laguna de maduración de profundidad 1,00 m

CONCLUSIONES.

- La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) cumple con el límite permisible (200 mg/L) en el recipiente de 1,00 m de profundidad a los 16 días con un valor de 185 mg/L, mientras que en el recipiente de 1,5 m cumple con valor de 180 mg/L a los 13 días.
- La demanda química de oxígeno (DQO) se evidenció que a los 16 días se aproxima al valor permisible por las normas Tulsma (400 mg/l).
- Los valores de pH se mantuvieron dentro un rango ligeramente alcalino, teniendo un valor promedio de 8,01 en el recipiente de 1.00 m., y 8,09 en el recipiente de 1,50 metro.
- Los Sólidos Suspendidos cumplen con los valores permisibles en ambos recipientes a partir del primer día de ensayo, ya que sus valores no superan los 250 mg/L que establece el TULSMA 2015.
- Los Sólidos Totales en cuanto a la descarga a un cuerpo receptor marino el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente no considera valor cuantitativo permisible.
- De acuerdo a los resultados obtenidos y analizados se determina que el periodo de retención hidráulica para el tratamiento sanitario mediante lagunas de maduración es de 16 días.
- Según los datos de campo, en el recipiente de 1,00 m de profundidad se produce una evaporación diaria de $1,06 \text{ cm/día}$, y, en el recipiente de 1,50 m de profundidad una evaporación de $1,18 \text{ cm/día}$.
- Se realizó el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento sanitario mediante 8 lagunas de maduración, 4 de 1,0 metros de profundidad y 4 de 1,5 metros de profundidad.

RECOMENDACIONES

- Por las altas eficiencias de remoción de patógenos y por los bajos costos (de inversión, operación y mantenimiento), en comparación con los sistemas convencionales, se recomienda tomar en cuenta a las lagunas de maduración como primera opción tecnológica en el tratamiento de aguas residuales.
- Se debe tomar en cuenta la localización geográfica de la zona en donde se quiera instalar un tratamiento sanitario mediante lagunas de estabilización, todo esto con el fin de poder cumplir con la norma ambiental en vigencia.
- A la hora de analizar pruebas de laboratorio para determinar parámetros contaminantes de las aguas residuales, se debe tener en cuenta, el almacenamiento y transporte adecuado de la muestra, con el fin de precautelar las condiciones de campo y evitar resultados erróneos que puedan perjudicar los datos finales de la investigación.
- Se recomienda a la autoridad de este y otros cantones que empleen este tipo de tratamiento de aguas residuales y realizar más estudios, para tener un mayor control y a la vez ratificar la eficiencia de las lagunas de maduración, rigiéndose en la norma vigente.
- Desarrollar programas regionales y locales de formación de recursos humanos en lagunas de estabilización que consideren los aspectos de diseño, operación, mantenimiento y evaluación.

BIBLIOGRAFÍA

- Banda, C. G. (2007). *Computational Fluid Dynamics Modelling of Baffled Waste Stabilization Ponds*. Leeds: Doctoral dissertation, University of Leeds.
- Calles, J. (2012, Abril 25). La contaminación del agua en Ecuador. Retrieved from <http://www.agua-ecuador.blogspot.com/2012/04/la-contaminacion-del-agua-en-ecuador.html>
- CONAGUA/IMTA. (2007A). *Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Manual de diseño de lagunas de estabilización*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México: Jiutepec, Morelos.
- Dinges, R. (1982). *Natural systems for water pollution control*. . New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Duarte, O., & Dias, E. (2003). *Tecnología de Tierras y Aguas I - Evaporación y Evapotranspiración* .
- EPA. (1999). *Environmental Protection Agency. Curso control de descargas a las redes de alcantarillado municipal. (Pretratamiento de aguas residuales para funcionarios mexicanos)*. USA.
- Grazia, M. (2010). *Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú*. Retrieved from [http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades Mejoras Ambientales.pdf](http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/OportunidadesMejorasAmbientales.pdf)
- Kapuscinski, R. B., & Mitchell, R. (1981). Solar Radiation Induces Sublethal Injury in *Escherichia coli* in Seawater. *Appl. and Env. Microbiology*, 41:670-674.
- Krinsky, N. I. (1977). Cellular Damage Initiated by Visible Light. The Survival of Vegetative Microbes. In *26th Symposium of Society for General Microbiology, Cambridge University Press* (pp. 209-239). Cambridge, United Kingdom: T.R.G. Gray, J. R. Postgate.
- Lantrip, B. M. (1983). *The decay of enteric bacteria in an estuary. Ph.D. dissertation*. Baltimore: The Johns Hopkins University.

- Mara, D. (1976). *Sewage Treatment in Hot Climates*. London: John Willey & Sons.
- Metcalf & Eddy. (1991). *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal Reuse*. USA: McGraw-Hill, 3a ed.
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. España: Impresos y Revistas S.A.
- Mitchell, R., & Chamberlin, C. (1978). Un modelo de descomposición para entérico bacterias en aguas naturales. In *Contaminación del agua Microbiología. Vol. 2* (pp. 325 - 348). Nueva York, EE. UU.: Ralph Mitchell. John Wiley and Sons.
- Molina Flores, L. M. (2015, Junio). *Red de Repositorios de Acceso Abierto del Ecuador*. Retrieved from Red de Repositorios de Acceso Abierto del Ecuador: http://rraae.org.ec/0037_f914ac9d3842dd06d7bf57ddb8008aca
- Oakley, S. M. (2005). *Lagunas de estabilizacion en Honduras. Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad*. USA.
- Orozco Jaramillo, Á. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales: teoría y diseño*. Bogotá Acodal: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Racault, Y. (1993). "Pond malfunction: case study of three plants in the south-west of France". In *Water Science and Technology, Vol. 28, No. 10* (pp. 183-192). Gran Bretaña.
- Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (2005). *Tecnologías en la Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales*. CYTED.
- Rodriguez Pimentel, H. (2017, 03 13). *aqualia*. Retrieved from iagua: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Rolim, M. S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilizacion. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadio. (OPS/OMS)*. Colombia: McGraw-Hill.

- Romero Rojas, J. A. (1994). Lagunas de estabilización de aguas residuales. In *Cap. 4* (p. 99). Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. México: Ed. Alfa Omega.
- Salazar, S. (2012, Junio 18). *Estado actual del tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales en el Ecuador*. Retrieved from <http://carlos.redes.org.ec/articulo%20estado%20actual%20de%20aguas%20residuales%20domesticas%20y%20municipales%20en%20el%20ecuador.ht>.
- Secretaria Nacional del Agua. (2009). *Informe de rendición de cuentas 2008-2009 (Borrador)*. Quito.
- Sieracki, M. (1980). The Effects of Short Exposures of Natural Sunlight on the Decay Rates of Enteric Bacteria and a Coliphage in a Simulated Sewage Outfall Microcosm. Kingston, Rhode Island: M. S. Thesis, University of Rhode Island.
- Smith, J. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage. Paper N° 56.
- U. S. Environmental Protection Agency. (1984). Interim Procedures for Evaluating Air Quality Models (Revised). EPA Publication No. EPA-450/4-84-023. U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 85106060).
- Van Heuvelen, W., & Svore, J. H. (1954). Sewage Lagoons in North Dakota. In *Sewage and Industrial Wastes* (p. 771). North Dakota.
- W., O. (1995). Ponds in the twenty-first century. In *Water Science and Technology Vol. 31, No. 12* (pp. 1-8). Gran Bretaña.
- W.H.O. (1987). *Wastewater Stabilization Ponds. Principles of Planning and Practice*. WHO EMRO Technical Publication no 10, World Health Organization. Alejandria: Regional Office for the Eastern Mediterranean.



ANEXOS

ANEXOS 1: FOTOGRAFÍAS



Foto 1. Equipos de laboratorio utilizados: **A.** Equipo Hach/ tipo DRB, dispositivo de procesamiento de reactivos para encontrar BQO **B.** Equipo Hach/ tipo DR-890/ fotoespectrometro para lectura de indicadores de Demanda Química de Oxígeno. **C.** Multimetro portátil HQd40 utilizado para determinación de parámetros bioquímicos. **D.** Sonda Intelical CDC401/ LDO101/PHC301 para lectura digital de parámetros pH, OD, STD, salinidad, conductividad, SS, etc.



Foto 2. Colocación y nivelación de los recipientes de Fibra de Vidrio.



Foto 3. Cárcamo Receptor de las aguas servidas de la ciudad de Manta.



Foto 4. Toma de muestra luego de unos días para su análisis en laboratorio.



Foto 5. Toma de muestras para llevar a laboratorio.



Foto 6. Toma de muestra de agua residual para análisis de laboratorio en presencia del tutor Académico.



Foto 7. Análisis de muestras en laboratorio de la EPAM, ubicado dentro de las instalaciones de la laguna de oxidación.

ANEXOS 2: PRUEBAS DE LABORATORIO

 INFORME DE ENSAYO				
CLIENTE	NAVIA MURILLO JOSÉ DANIEL, BOWEN CHAVEZ LUIS EDUARDO			
DIRECCION	MANABI, MANTA, VIA SAN JUAN			
MUESTREO REALIZADO POR	LABORATORIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO EPAM		LUGAR DE MUESTREO	MANTA
FECHA DE MUESTREO	23/01/2019	HORA DE MUESTREO	16:00	REPORTE FINAL 23/01/2019
FECHA DE RECEPCION	23/01/2019	FECHA DE ANALISIS	23/01/2019	
TIPO DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL			

Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras recibidas en el laboratorio, la identificación de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación escrita de este laboratorio.

DATOS DE LA MUESTRA					
TIPO	AGUA RESIDUAL	CANTIDAD	2	EMBASE	CERRADO, LLENO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	M1.- AGUAS SERVIDAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION				
PARAMETROS	METODOS	UNIDAD	LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVAS		
			1,00 MT	1,50 MT	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	SONDA INTELICAL CDC401	μ/cm	5400	5620	
TEMPERATURA	SONDA INTELICAL CDC401	°C	31,8	32,3	
SALINIDAD	SONDA INTELICAL CDC401	‰	2,91	3,03	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SONDA INTELICAL CDC401	mg/lt	2850	2970	
OXIGENO DISUELTO	SONDA INTELICAL LDO101	%	0,11%	0,00%	
POTENCIAL DE HIDROGENO	SONDA INTELICAL PHC301	pH	7,58	7,62	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	178	121	
SOLIDOS TOTALES	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	3028	3091	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block, DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	1052	998	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block, DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	473	449	



Lic. Paul Macias Lopez



EPAM
ESTACION DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DPTO. MEDIO AMBIENTE
JEFE AMBIENTAL

Jefatura Ambiental de la planta de tratamiento Aguas Residuales EPAM.



INFORME DE ENSAYO

CLIENTE	NAVIA MURILLO JOSÉ DANIEL, BOWEN CHAVEZ LUIS EDUARDO			
DIRECCION	MANABI, MANTA, VIA SAN JUAN			
MUESTREO REALIZADO POR	LABORATORIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO EPAM		LUGAR DE MUESTREO	MANTA
FECHA DE MUESTREO	26/01/2019	HORA DE MUESTREO	14:30	REPORTE FINAL 26/01/2019
FECHA DE RECEPCION	26/01/2019	FECHA DE ANALISIS	26/01/2019	
TIPO DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL			

Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras recibidas en el laboratorio, la identificación de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación escrita de este laboratorio.

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO	AGUA RESIDUAL	CANTIDAD	2	EMBASE	CERRADO, LLENO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	M1.- AGUAS SERVIDAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION				
PARAMETROS	METODOS	UNIDAD	LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVAS		
			1,00 MT	1,50 MT	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	SONDA INTELICAL CDC401	μ/cm	5360	5530	
TEMPERATURA	SONDA INTELICAL CDC401	°C	32	32,8	
SALINIDAD	SONDA INTELICAL CDC401	‰	2,88	2,99	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SONDA INTELICAL CDC401	mg/lt	2820	2920	
OXIGENO DISUELTO	SONDA INTELICAL LDO101	%	0,00%	0,00%	
POTENCIAL DE HIDROGENO	SONDA INTELICAL PHC301	pH	8,36	8,56	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	167	208	
SOLIDOS TOTALES	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	2987	3128	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block, DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	843	760	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block, DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	379	342	

Lic. Paul Macias Lopez

Jefatura Ambiental de la planta de tratamiento Aguas Residuales EPAM.



JEFE AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO

CLIENTE	NAVIA MURILLO JOSÉ DANIEL, BOWEN CHAVEZ LUIS EDUARDO			
DIRECCION	MANABI, MANTA, VIA SAN JUAN			
MUESTREO REALIZADO POR	LABORATORIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO EPAM		LUGAR DE MUESTREO	MANTA
FECHA DE MUESTREO	29/01/2019	HORA DE MUESTREO	14:30	REPORTE FINAL 29/01/2019
FECHA DE RECEPCION	29/01/2019	FECHA DE ANALISIS	29/01/2019	
TIPO DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL			

Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras recibidas en el laboratorio, la identificación de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación escrita de este laboratorio.

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO	AGUA RESIDUAL	CANTIDAD	2	EMBASE	CERRADO, LLENO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	M1.- AGUAS SERVIDAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION				
PARAMETROS	METODOS	UNIDAD	LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVAS		
			1,00 MT	1,50 MT	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	SONDA INTELICAL CDC401	μ/cm	5410	5520	
TEMPERATURA	SONDA INTELICAL CDC401	°C	32,6	32,6	
SALINIDAD	SONDA INTELICAL CDC401	‰	2,93	2,97	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SONDA INTELICAL CDC401	mg/lit	2850	2910	
OXIGENO DISUELTO	SONDA INTELICAL LDO101	%	0,00%	4,37%	
POTENCIAL DE HIDROGENO	SONDA INTELICAL PHC301	pH	8,34	8,5	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	242	151	
SOLIDOS TOTALES	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	3092	3061	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block,DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	788	754	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block,DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	355	339	

Lic. Paul Macias Lopez

Jefatura Ambiental de la planta de tratamiento Aguas Residuales EPAM.

EPAM
EMPRESA PÚBLICA AGUAS DE QUITO
DPTO. MEDIO AMBIENTE

.....
JEFE AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO

CLIENTE	NAVIA MURILLO JOSÉ DANIEL, BOWEN CHAVEZ LUIS EDUARDO			
DIRECCION	MANABI, MANTA, VIA SAN JUAN			
MUESTREO REALIZADO POR	LABORATORIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO EPAM		LUGAR DE MUESTREO	MANTA
FECHA DE MUESTREO	01/02/2019	HORA DE MUESTREO	10:30	REPORTE FINAL 01/02/2019
FECHA DE RECEPCION	01/02/2019	FECHA DE ANALISIS	01/02/2019	
TIPO DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL			

Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras recibidas en el laboratorio, la identificación de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación escrita de este laboratorio.

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO	AGUA RESIDUAL	CANTIDAD	2	EMBASE	CERRADO, LLENO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	M1.- AGUAS SERVIDAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION				
PARAMETROS	METODOS	UNIDAD	LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVAS		
			1,00 MT	1,50 MT	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	SONDA INTELICAL CDC401	μ/cm	5400	5530	
TEMPERATURA	SONDA INTELICAL CDC401	°C	27,7	27,9	
SALINIDAD	SONDA INTELICAL CDC401	‰	2,91	2,99	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SONDA INTELICAL CDC401	mg/lt	2850	2910	
OXIGENO DISUELTO	SONDA INTELICAL LDO101	%	1,13%	5,75%	
POTENCIAL DE HIDROGENO	SONDA INTELICAL PHC301	pH	8,86	8,65	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	244	152	
SOLIDOS TOTALES	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	3094	3062	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block, DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	587	503	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block, DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lt	264	226	

Lic. Paul Macias Lopez

Jefatura Ambiental de la planta de tratamiento Aguas Residuales EPAM.

EPAM
EMPRESA PÚBLICA LOCAL DE MANTA
DPTO. MEDIO AMBIENTE

JEFE AMBIENTAL



INFORME DE ENSAYO

CLIENTE	NAVIA MURILLO JOSÉ DANIEL, BOWEN CHAVEZ LUIS EDUARDO				
DIRECCION	MANABI, MANTA, VIA SAN JUAN				
MUESTREO REALIZADO POR	LABORATORIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO EPAM			LUGAR DE MUESTREO	MANTA
FECHA DE MUESTREO	04/02/2019	HORA DE MUESTREO	15:10	REPORTE FINAL	04/02/2019
FECHA DE RECEPCION	04/02/2019	FECHA DE ANALISIS	04/02/2019		
TIPO DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL				

Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras recibidas en el laboratorio, la identificación de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación escrita de este laboratorio.

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO	AGUA RESIDUAL	CANTIDAD	2	EMBASE	CERRADO, LLENO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	M1.- AGUAS SERVIDAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION				
PARAMETROS	METODOS	UNIDAD	LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVAS		
			1,00 MT	1,50 MT	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	SONDA INTELICAL CDC401	μ/cm	5560	5630	
TEMPERATURA	SONDA INTELICAL CDC401	°C	31,9	31,5	
SALINIDAD	SONDA INTELICAL CDC401	‰	3	3,04	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SONDA INTELICAL CDC401	mg/lit	2930	2970	
OXIGENO DISUELTO	SONDA INTELICAL LDO101	%	4,16%	7,30%	
POTENCIAL DE HIDROGENO	SONDA INTELICAL PHC301	pH	8,44	8,55	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	135	127	
SOLIDOS TOTALES	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	3065	3097	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block,DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	500	399	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block,DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	225	180	

DPTO. MEDIO AMBIENTE

JEFE AMBIENTAL

Lic. Paul Macias Lopez

Jefatura Ambiental de la planta de tratamiento Aguas Residuales EPAM.



INFORME DE ENSAYO

CLIENTE	NAVIA MURILLO JOSÉ DANIEL, BOWEN CHAVEZ LUIS EDUARDO			
DIRECCION	MANABI, MANTA, VIA SAN JUAN			
MUESTREO REALIZADO POR	LABORATORIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO EPAM		LUGAR DE MUESTREO	MANTA
FECHA DE MUESTREO	08/02/2019	HORA DE MUESTREO	10:15	REPORTE FINAL 08/02/2019
FECHA DE RECEPCION	08/02/2019	FECHA DE ANALISIS	08/02/2019	
TIPO DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL			

Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras recibidas en el laboratorio, la identificación de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación escrita de este laboratorio.

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO	AGUA RESIDUAL	CANTIDAD	2	EMBASE	CERRADO, LLENO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	M1.- AGUAS SERVIDAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION				
PARAMETROS	METODOS	UNIDAD	LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVAS		
			1,00 MT	1,50 MT	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	SONDA INTELICAL CDC401	μ/cm	5590	5630	
TEMPERATURA	SONDA INTELICAL CDC401	°C	28,9	28,8	
SALINIDAD	SONDA INTELICAL CDC401	‰	3,02	3,04	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SONDA INTELICAL CDC401	mg/lit	2950	2980	
OXIGENO DISUELTO	SONDA INTELICAL LDO101	%	0,58%	2,13%	
POTENCIAL DE HIDROGENO	SONDA INTELICAL PHC301	pH	8,39	8,51	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	112	127	
SOLIDOS TOTALES	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	3062	3107	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block,DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	412	341	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block,DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	185	154	

Lic. Paul Macias Lopez

Jefatura Ambiental de la planta de tratamiento Aguas Residuales EPAM.

DPTO. MEDIO AMBIENTE

JEFE AMBIENTAL



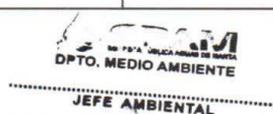
INFORME DE ENSAYO

CLIENTE	NAVIA MURILLO JOSÉ DANIEL, BOWEN CHAVEZ LUIS EDUARDO			
DIRECCION	MANABI, MANTA, VIA SAN JUAN			
MUESTREO REALIZADO POR	LABORATORIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO EPAM		LUGAR DE MUESTREO	MANTA
FECHA DE MUESTREO	12/02/2019	HORA DE MUESTREO	11:15	REPORTE FINAL 12/02/2019
FECHA DE RECEPCION	12/02/2019	FECHA DE ANALISIS	12/02/2019	
TIPO DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL			

Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras recibidas en el laboratorio, la identificación de las muestras es la responsabilidad del cliente. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación escrita de este laboratorio.

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO	AGUA RESIDUAL	CANTIDAD	2	EMBASE	CERRADO, LLENO
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	M1.- AGUAS SERVIDAS DE LA LAGUNA DE ESTABILIZACION				
PARAMETROS	METODOS	UNIDAD	LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVAS		
			1,00 MT	1,50 MT	
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	SONDA INTELICAL CDC401	μ/cm	5150	5390	
TEMPERATURA	SONDA INTELICAL CDC401	°C	28,1	28,2	
SALINIDAD	SONDA INTELICAL CDC401	‰	2,76	2,9	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	SONDA INTELICAL CDC401	mg/lit	2700	2840	
OXIGENO DISUELTO	SONDA INTELICAL LDO101	%	5,20%	5,40%	
POTENCIAL DE HIDROGENO	SONDA INTELICAL PHC301	pH	6,09	6,21	
SOLIDOS SUSPENDIDOS	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	138	136	
SOLIDOS TOTALES	DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	2838	2976	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block, DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	320	236	
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	DRB200/ digital reactor block, DR/890 PORTABLE SPECTROPHOTOMETER	mg/lit	144	106	



Lic. Paul Macias Lopez

Jefatura Ambiental de la planta de tratamiento Aguas Residuales EPAM.