



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO
DE RIESGOS NATURALES**

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA
EMPRESA EPACEM**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

MICHAEL JONATHAN ZAMBRANO MUÑOZ

DIRECTOR: ING. LUIS ERNESTO REINA JIMENEZ, MSc

Santo Domingo, enero, 2019

© Universidad UTE. 2018

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

TRABAJO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1309939716
APELLIDO Y NOMBRES:	Zambrano Muñoz Michael Jonathan
DIRECCIÓN:	Asistencia Municipal 2
EMAIL:	zmmichaeljonathan@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	023708898
TELÉFONO MOVIL:	0996523725

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas industriales para la empresa EPACEM
AUTOR O AUTORES:	Michael Jonathan Zambrano Muñoz
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	8 de Enero 2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Luis Ernesto Reina Jiménez
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales para la empresa EPACEM, dedicada al cultivo, extracción y comercialización de aceite de palma africana, la misma que en la actualidad no trata eficientemente el agua residual, generada en los procesos de producción, es por ello, que surge la

necesidad de rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales con el fin de mejorar su eficiencia de operación y así, disminuir los niveles de la carga contaminante hasta a los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA y de esta forma regresar al medio ambiente el agua utilizada en mejores condiciones; la metodología que se llevó a cabo en el desarrollo de la investigación consistió en primer lugar la realización de un diagnóstico de las condiciones actuales de funcionamiento del sistema de tratamiento, seguido de la caracterización físico-química y biológica del agua residual para determinar la eficiencia actual de funcionamiento de las lagunas de oxidación, seguido de esto, se estableció el rediseño teórico del sistema de tratamiento y por último se calculó la eficiencia del rediseño a escala de laboratorio; la caracterización de estos parámetros permitió determinar su eficiencia actual, de 25,1% de efectividad para la remoción de Sólidos Totales, 19,4% para Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y 20,1% para Demanda Química de Oxígeno (DQO); las eficiencias obtenidas del

	rediseño del sistema de tratamiento a escala de laboratorio mejoran hasta valores de 81,4% de efectividad para la remoción de Sólidos Totales, 82,1% para la remoción de la DBO y un 84,3 % para la DQO.
PALABRAS CLAVES:	Rediseño, tratamiento de aguas, EPACEM, aguas residuales, tratamientos físicos-químicos y biológicos

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

MICHAEL JONATHAN ZAMBRANO MUÑOZ

C.I. 1309939716

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ZAMBRANO MUÑOZ MICHAEL JONATHAN**, C.I. 1309939716 autor del trabajo de titulación: **Mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas industriales para la empresa EPACEM** previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación de grado para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de titulación de grado con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo 9 de enero 2019



f: _____
MICHAEL JONATHAN ZAMBRANO MUÑOZ
C.I. 1309939716

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación que lleva por título **Mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas industriales para la empresa EPACEM** para aspirar al título de **GRADO ACADÉMICO COMO APARECE EN EL CERTIFICADO DE APROBACIÓN ACADÉMICA** fue desarrollado por **ZAMBRANO MUÑOZ MICHAEL JONATHAN**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a las evaluaciones respectivas de acuerdo a la normativa interna de la Universidad UTE.



LUIS ERNESTO REINA JIMÉNEZ, *MSc*

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1714598966

08 de febrero de 2018

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **VÍCTOR HUGO TAPIA CHAVARRÍA** con cédula de identidad N.-171230300-5 en calidad Gerente de Planta de Extractora y Procesadora de Aceites EPACEM S.A., autorizo a **MICHAEL JONATHAN ZAMBRANO MUÑOZ**, realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación "*Mejoramiento en la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Extractora y Procesadora de Aceites EPACEM S.A.*", basada en la información proporcionada por la compañía.


f: _____
VÍCTOR HUGO TAPIA CHAVARRÍA
C.I. 171230300-5

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 PROCESOS DE PRODUCCIÓN EPACEM.....	4
1.2 LOCALIZACIÓN	5
2. METODOLOGIA	7
2.1 DESCRIPCION CUALITATIVA DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDISTRIALES	7
2.1.1 VISITA DE RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	7
2.1.2 ESTABLECIMIENTO DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	8
2.2 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICO-QUIMICOS Y BIOLOGICOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA EPACEM Y CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA.....	9
2.2.1 TOMA DE MUESTRAS	9
2.2.2 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO.....	10
2.3 REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE LAGUNAS	11
2.3.1 DIMENSIONES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	11
2.3.1.1 Parámetros de partida.....	11
2.3.1.1.1 Caudal	11
2.3.1.1.2 Tasa de evaporación anual.....	11
2.3.1.1.3 Relación largo: ancho	12
2.3.1.1.4 Temperatura	12
2.3.1.1.5 Altura	12
2.3.1.1.6 Demanda Biológica de oxígeno (DBO ₅).....	12
2.3.1.2 Cálculos para el diseño de la laguna anaerobia.....	13
2.3.1.2.1 Carga volumétrica.....	13
2.3.1.2.2 Carga orgánica	13
2.3.1.2.3 Volumen.....	14

2.3.1.2.4 Área	14
2.3.1.2.5 Área total	14
2.3.1.2.6 Ancho.....	15
2.3.1.2.7 Largo.....	15
2.3.1.2.8 Tiempo de retención hidráulica	15
2.3.1.2.9 Carga superficial	16
2.3.1.2.10 Carga superficial removida	16
2.3.1.2.11 Porcentaje de remoción	16
2.3.1.2.12 Concentración de DBO ₅ removida	16
2.3.1.2.13 Concentración de DBO ₅ final	17
2.3.1.3 Cálculos para el diseño de la laguna facultativa	17
2.3.1.3.1 Corrección de la carga superficial removida laguna facultativa.....	17
2.3.1.3.2 Área laguna facultativa	17
2.3.1.3.3 Volumen laguna facultativa	18
2.3.1.3.4 Ancho laguna facultativa	18
2.3.1.3.5 Largo laguna facultativa	18
2.3.1.3.6 Confirmación de la concentración de DBO ₅ al ingreso de la laguna facultativa	19
2.3.1.3.7 Porcentaje de remoción laguna facultativa	19
2.3.1.3.8 Concentración de DBO ₅ removida laguna facultativa	19
2.3.1.3.9 Concentración de DBO ₅ final laguna facultativa	20
2.3.1.4 Cálculos para el diseño de la laguna de maduración	20
2.3.1.4.1 Área de la laguna de maduración	20
2.3.1.4.2 Ancho laguna de maduración	21
2.3.1.4.3 Largo laguna de maduración	21
2.3.1.4.4 Carga superficial laguna de maduración.....	21
2.3.1.4.5 Corrección de la carga superficial removida en la laguna de maduración	22
2.3.1.4.6 Porcentaje de remoción laguna de maduración.....	22
2.3.1.4.7 Concentración de DBO ₅ removida laguna de maduración.....	22
2.3.1.4.8 Concentración de DBO ₅ final laguna de maduración.....	22
2.4 COMPROBAR LA EFICIENCIA DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO.....	23

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1 DESCRICION CUALITATIVA DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	24
3.1.1 DISEÑO ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	24
3.2 CARACTERIZACION DE LOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS Y BIOLOGICOS Y EFICIENCIA.....	26
3.3 EFICIENCIA ACTUAL DEL SISTEMA.....	26
3.4 REDISEÑO TEORICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAGUNAS	28
3.4.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REDISEÑO TEÓRICO	30
3.5 EFICIENCIA DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO.....	32
3.5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARAMETROS FÍSICO-QUIMICOS Y BIOLÓGICOS A PARTIR DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO	32
3.5.2 COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS ANTES Y DESPUES DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO	32
3.5.2.1 Potencial de hidrógeno (pH).....	32
3.5.2.2 Temperatura.....	33
3.5.2.3 Turbidez	34
3.5.2.4 Sólidos totales.....	35
3.5.2.5 Sólidos suspendidos	36
3.5.2.6 Sólidos sedimentables	37
3.5.2.7 Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	38
3.5.2.8 Demanda química de oxígeno (DQO)	39
3.5.2.9 Aceites y grasas.....	40
3.5.2.10 Coliformes fecales.....	41
3.5.3 EFICIENCIA DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO ..	43
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
4.1 CONCLUSIONES	44
4.2 RECOMENDACIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Coordenadas de localización empresa EPACEM.....	6
Tabla 2. Ubicación de los puntos de muestreos en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa EPACEM	8
Tabla 3. Técnicas generales para la conservación de muestras de análisis físico-químicos y biológico	9
Tabla 4. Métodos para realizar análisis físicos, químicos y biológicos del agua residual en el laboratorio.....	10
Tabla 5. Parámetros de partida	12
Tabla 6. Carga volumétrica	13
Tabla 7. Resultados de la caracterización físico-química y biológica obtenidas en los puntos de muestro.....	26
Tabla 8. Resumen del cálculo de la eficiencia.....	27
Tabla 9. Comparación de los parámetros físico-químico y biológico con la normativa actual vigente del agua tratada del sistema de tratamiento de aguas residuales actual.....	27
Tabla 10. Resumen de los cálculos obtenidos para el diseño de la laguna anaerobia.....	28
Tabla 11. Resumen de los cálculos obtenidos para el diseño de la laguna facultativa.....	29
Tabla 12. Resumen de los cálculos obtenidos para el diseño de la laguna de maduración	30
Tabla 13. Resultados de la caracterización físico-química y biológica obtenidas en los puntos de muestro	32
Tabla 14. Comparación de los parámetros físico-químicos y biológicos con la normativa actual vigente del agua tratada del sistema de tratamiento a escala de laboratorio.....	43
Tabla 15. Resumen del cálculo de la eficiencia.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Diagrama de proceso de la extracción de aceite de palma. EPACEM.	5
Figura 2. Imagen Google maps con polígono de EPACEM	6
Figura 3. Esquema del procedimiento de descripción cualitativa.....	7
Figura 4. Ubicación espacial de los puntos de muestreo.	8
Figura 5. Diseño actual del sistema de tratamiento de aguas residuales ...	25
Figura 6. Diseño teórico el sistema de tratamiento de aguas residuales	31
Figura 7. Variación del pH antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales	33
Figura 8. Variación de la temperatura antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales	34
Figura 9. Variación de la Turbidez antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales	35
Figura 10. Variación de Sólidos Totales antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales	36
Figura 11. Variación de Sólidos suspendidos antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	37
Figura 12. Variación de Sólidos sedimentables antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	38
Figura 13. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅ antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	39
Figura 14. Variación de la Demanda Química de Oxígeno antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales	40
Figura 15. Variación de la concentración de aceites y grasas antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales	41
Figura 16. Variación de la concentración de coliformes fecales antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	42

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. FOTOGRAFÍAS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARAMETROS EN EL LABORATORIO DE LA UTE	46
ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS DEL REDISEÑO DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO.....	46
ANEXO 3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A ESCALA DE LABORATORIO	46

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales para la empresa EPACEM, dedicada a la extracción y comercialización de aceite de palma africana, la misma que actualmente no trata sus aguas residuales eficientemente, generadas como resultado de todos los procesos de producción, es por ello, que surge la necesidad de rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales con el fin de mejorar su eficiencia de operación y así, disminuir los niveles de la carga contaminante hasta valores en consonancia a los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA y de esta forma regresar al medio ambiente el agua utilizada en mejores condiciones; la metodología que se llevó a cabo en el desarrollo de la investigación consistió en primer lugar realizar un diagnóstico de las condiciones actuales de funcionamiento del sistema de tratamiento, seguido de la caracterización físico-química y biológica del agua residual para determinar la eficiencia actual de funcionamiento de las lagunas de oxidación, seguido de esto, se estableció el rediseño teórico del sistema de tratamiento y por último se calculó la eficiencia del rediseño a escala de laboratorio; la caracterización de estos parámetros permitió determinar su eficiencia actual, de 25,1% de efectividad para la remoción de Sólidos Totales, 19,4% para Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y 20,1% para Demanda Química de Oxígeno (DQO); las eficiencias obtenidas del rediseño del sistema de tratamiento a escala de laboratorio mejoran hasta valores de 81,4% de efectividad para la remoción de Sólidos Totales, 82,1% para la remoción de la DBO y un 84,3 % para la DQO.

Palabras Clave: rediseño, tratamiento de aguas, EPACEM, aguas residuales, tratamientos físicos-químicos y biológicos

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El agua, uno de los recursos naturales no renovables considerada como indispensable para la vida, forma un pilar fundamental para la salud, dicha característica la hace considerar como un derecho para el hombre la cual es imprescindible para el desarrollo económico en cualquier sociedad (Echarri, 2007).

El 97,5% del agua en la tierra se encuentra en los océanos y mares de agua salada, únicamente el restante 2,5% es agua dulce; del total de agua dulce en el mundo el 69% se encuentra en los polos y en las cumbres de las montañas más altas, en estado sólido y únicamente el 30% del agua dulce se encuentra en la humedad del suelo y en los acuíferos profundos (Jumapam, 2017).

Se determina que la contaminación a los cuerpos de agua dulce genera una de las problemáticas con mayor incidencia a la contaminación ambiental, el cual dos de sus causas mayores son la sobrepoblación y la cantidad de desperdicios orgánicos que terminan en los desagües así como los materiales químicos contaminantes provenientes de las industrias, los cuales ocasionan que los cuerpos de agua dulce pierdan sus condiciones naturales, llegando a perjudicar a la población en general (Echarri, 2007).

EPACEM S.A., es una empresa que se dedica al cultivo de palma aceitera, extracción, refinamiento y comercialización de oleaginosas; utilizando como materia prima la fruta de palma africana y el agua; su proceso productivo en planta inicia desde la recepción de la fruta, clasificación, extracción, refinación, fraccionamiento, y termina en el envasado y almacenado de productos oleaginosos, para su despacho final.

La problemática nace debido a que EPACEM utiliza en gran porcentaje el agua como materia prima para sus procesos industriales y posterior a ello, sus aguas residuales no son tratadas eficientemente debido a que cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con infraestructura inadecuada y tecnología deficiente, es por ello que se plantea el rediseño del sistema de tratamiento a escala de laboratorio que permita mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de sus aguas industriales, para que el agua de sus procesos pueda cumplir con los estándares que se establecen en el Texto Unificado de Legislación Secundario del Medio Ambiente (TULSMA) y de esta manera pueda ser descargada hacia alguna fuente hídrica (Vera, 2016).

Con el problema dado se plantea la interrogante: ¿Con una propuesta en el rediseño a escala de laboratorio para el mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas industriales para la empresa EPACEM, el efluente cumple con los parámetros de descarga establecidos en la normativa ambiental vigente TULSMA?

En la actualidad, la empresa EPACEM no posee un adecuado tratamiento de sus aguas residuales, superando así los límites máximos permisibles de descargas líquidas industriales establecido en la tabla 12 del TULSMA (Rojas, 2018).

Los parámetros más representativos e importantes en la caracterización inicial de aguas residuales de la planta de EPACEM, son: Demanda Química de Oxígeno (375 veces mayor), Demanda Bioquímica de Oxígeno (187 veces mayor) al límite máximo permisible de descarga a cuerpo de agua dulce, aceites y grasas, sólidos suspendidos, sólidos Total, sólidos disueltos, turbidez y parámetros biológico como: coliformes fecales incumplen normativa ambiental ecuatoriana (EPACEM, 2017)

La presente propuesta tecnológica es de importancia para la empresa EPACEM, que tiene por prioridad el compromiso de protección y cuidado al medio ambiente, salud de ciudadanos y cumplimiento de las leyes ambientales vigentes. La ejecución de este proyecto representa beneficio para la empresa EPACEM, así como a los pobladores aledaños a la empresa, ya que a través de la metodología propuesta se ayudará a reducir el problema de contaminación ambiental hacia los ríos y quebradas y posterior a la salud de los habitantes que hacen uso de estas aguas para su beneficio.

Para la empresa EPACEM la actual propuesta no es vista como un gasto, si no como una inversión que se recuperara a largo plazo y posterior a ello dejará beneficios económicos para la empresa.

La reciente investigación estará enfocada en mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas industriales para la empresa EPACEM. Según (Posada & Camacho, 2015) gran parte de las empresas del sector industrial no cuentan con un sistema apropiado de tratamiento de aguas industriales de sus procesos, por lo que proponen que las empresas adopten medidas para la prevención de la contaminación del agua a través de la implementación de alternativas tecnológicas.

La caracterización de los parámetros físicos-químicos y biológicos de las lagunas de oxidación de la empresa EPACEM contribuirá a determinar aquellos parámetros que se encuentren por encima de los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA, así mismo los resultados obtenidos en dicha caracterización nos permitirá realizar el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de mejorar la eficiencia del mismo para que el agua de sus procesos industriales sea tratada correctamente y pueda cumplir con los parámetros de descargas prescritos en la normativa vigente y de ésta manera contribuir al cuidado y protección de los cuerpos de agua dulce, mejorando a su vez la calidad de vida de la población.

Existe un campo de investigación muy amplio en cuanto a los parámetros de caracterización de aguas residuales previo a la descarga a cuerpos de agua dulce, estos pueden estar determinados por la categorización y visualización de todos aquellos impactos que puedan ser identificados, será a partir de aquí que se determinen todos aquellos parámetros a realizarse.

La caracterización de los principales parámetros dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales, permite abrir paso a una línea de base sobre la situación actual y condiciones actuales de funcionamiento que presenta el sistema de tratamiento de aguas residuales y de esta manera identificar las problemática o causas que no permiten tratar adecuadamente el agua de los procesos industriales de EPACEM y así dar marcha a una propuesta tecnológica que podrá ser aplicada por la empresa, con la finalidad de que el sistema de tratamiento de aguas residuales funcione eficientemente y así contribuir al cuidado y protección del recurso agua.

1.1 PROCESOS DE PRODUCCIÓN EPACEM

Para que la planta extractora de aceite pueda arrancar su funcionamiento tiene que realizar un calentamiento previo de la caldera para que pueda generar el vapor de agua necesario para todo el proceso de extracción. El tiempo de calentamiento es de 30 minutos, al cabo de este tiempo la extractora se encuentra preparada para empezar su total funcionamiento.

Este proceso se inicia en el área denominada “balanza”, donde los camiones luego de haber recogido los racimos de fruta fresca (RFF), llegan a la extractora y se detienen en la balanza son pesados para registrar las toneladas de RFF que ingresan al día en la planta extractora y después depositan los RFF en tolvas de almacenamiento.

El operador de las tolvas de almacenamiento se encarga de abrir las compuertas de manera sincronizada para que los RFF se deslicen mediante un Sistema Redler¹ hacia un fracturador y posterior esterilizado (el fruto es sometido a vapor de agua por presión a una temperatura de 140°C durante 78 minutos), al cabo de este tiempo el fruto estará listo para recorrer las demás áreas del proceso de extracción del aceite.

El sistema de elevadores transporta el fruto de palma cocido o esterilizado hacia la zona del desfrutador, siendo separada la fruta del escobajo mediante un proceso de rotación constante para continuar hacia lo zona del digestor. El escobajo es llevado hacia un sistema de fajas a una zona de acopio para su posterior distribución a las parcelas como abono orgánico, mientras tanto ya solo el fruto ingresa a la zona del digestor donde son macerados bajo condiciones de vapor. En esta fase se rompen las células en las cuales está contenido el aceite de palma mediante un proceso giratorio, toda esa mezcla

¹ Se utiliza para el transporte de todo tipo de materiales

pasa por una zona de prensado para convertirse en una torta, extrayéndose todo el líquido que contenga.

Este líquido va a dirigirse hacia un tamiz vibratorio para ser limpiado, después de esta primera limpieza se dirige al táctil pre-clarificador donde será almacenado para continuar con el proceso de clarificación. Una vez almacenado el líquido en el tanque pre-clarificador el lodo es separado del aceite mediante un sistema de decantación y es dirigido por electrobombas a un tanque clarificador de lodos, por otro lado, el aceite separado del lodo es destinado a un tanque clarificador de aceite para ser dirigidos mediante electrobombas al tanque pulmón de sistema de vacío, el cual va a disminuir la humedad que aun contenga, de esta forma, el aceite queda listo para ser almacenado en el tanque de stop del aceite de palma (ver figura.1)

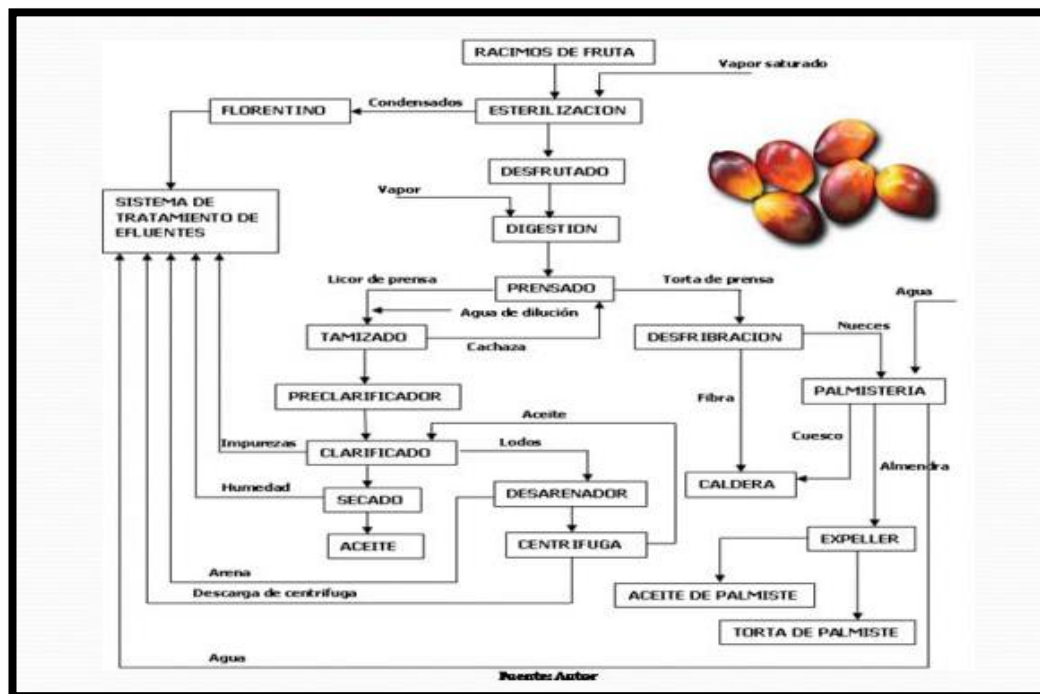


Figura 1. Diagrama de proceso de la extracción de aceite de palma. EPACEM.

El agua utilizada en cada una de las diferentes etapas de extracción del aceite de palma es dirigida por medio de canales y tuberías hacia el sistema de tratamientos de aguas residuales. Durante todo el proceso de extracción del aceite de palma no se utiliza ningún tipo de solvente químico es decir solo intervienen procesos físicos.

1.2 LOCALIZACIÓN

La presente propuesta tecnológica se realizará en la empresa EPACEM ubicada en la ciudad de Santo Domingo, en el kilómetro 7 ½ vía Quinindé. El cantón está situado en los flancos externos de la cordillera occidental de los Andes, la provincia tiene de superficie 3.857 km² a una altitud de 625 msnm, se encuentra a 120 km, de distancia del mar. Limita al norte y al este con

Pichincha, al noroeste con Esmeraldas, al oeste con Manabí, al sur con Los Ríos y al sureste con Cotopaxi “Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Santo Domingo de los Tsáchilas” (GADPSDT, 2018).



Figura 2. Imagen Google maps con polígono de EPACEM

Tabla 1. Coordenadas de localización empresa EPACEM

Puntos	Coordenadas	
	X	Y
1	701549.00	9978066.00
2	701240.00	9977868.00
3	701409.00	9977674.00
4	701640.00	9977818.00

El objetivo general del trabajo de investigación fue mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas industriales para la empresa EPACEM. Para que este objetivo pueda ser alcanzado en su totalidad se ha considerado: Describir cualitativamente las condiciones actuales de funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de la planta EPACEM. Evaluar las concentraciones de los parámetros físico-químicos y biológicos del sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta EPACEM y calcular la eficiencia del sistema. A partir de la información obtenida se plantea realizar el rediseño del sistema de tratamiento de lagunas y comprobar la eficiencia del rediseño a escala de laboratorio.

METODOLOGIA

2. METODOLOGIA

Para el desarrollo de la investigación se aplicaron los métodos analítico y cualitativo. Según (Ruiz, 2014) el método analítico es aquel que consiste en la separación de un todo, separándolo en sus partes o componentes, es decir, llevándolo de lo general a lo más particular con la finalidad de conocer más del objeto del estudio.

(Blanco & Perez, 2011) indican que el método cualitativo es aquel que investiga el objeto de estudio en su contexto natural u original y como sucede, extrayendo e interpretando la realidad de acuerdo con el objeto de estudio implicado, obteniendo así datos descriptivos.

2.1 DESCRIPCION CUALITATIVA DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Para obtener resultados de los parámetros a estudiar provenientes de la caracterización del sistema de tratamiento de aguas residuales se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos sistema lagunar de la empresa EPACEM. Para ello se procedió a:

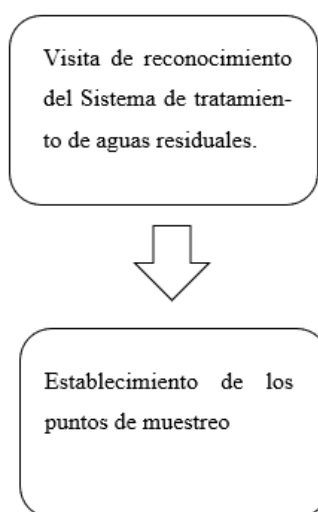


Figura 3. Esquema del procedimiento de descripción cualitativa

2.1.1 VISITA DE RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Reconocimiento del área donde se va a realizar el trabajo de investigación (lagunas de oxidación). Por medio de una observación inicial se lograron identificar las condiciones físicas-técnicas y arquitectónicas que presenta el sistema de tratamiento de aguas residuales y componentes que la conforman,

además, también se identificaron las áreas o puntos para la toma de muestras (ver figura 4).

2.1.2 ESTABLECIMIENTO DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

La influencia de los resultados tiene mucho que ver con el lugar donde se establezcan los puntos a tomar las muestras, ya que los resultados podrían variar e inclusive indicar que la PTAR no funciona correctamente, es por ello que para evitar este tipo de error se consideró dos aspectos básicos como son: elegir un lugar donde el agua este completamente mezclada y; asegurarse que sea un lugar donde no se toquen las paredes o el fondo con el muestreador (Senasba, 2016). La figura 4 muestra la ubicación de los puntos de muestreo.

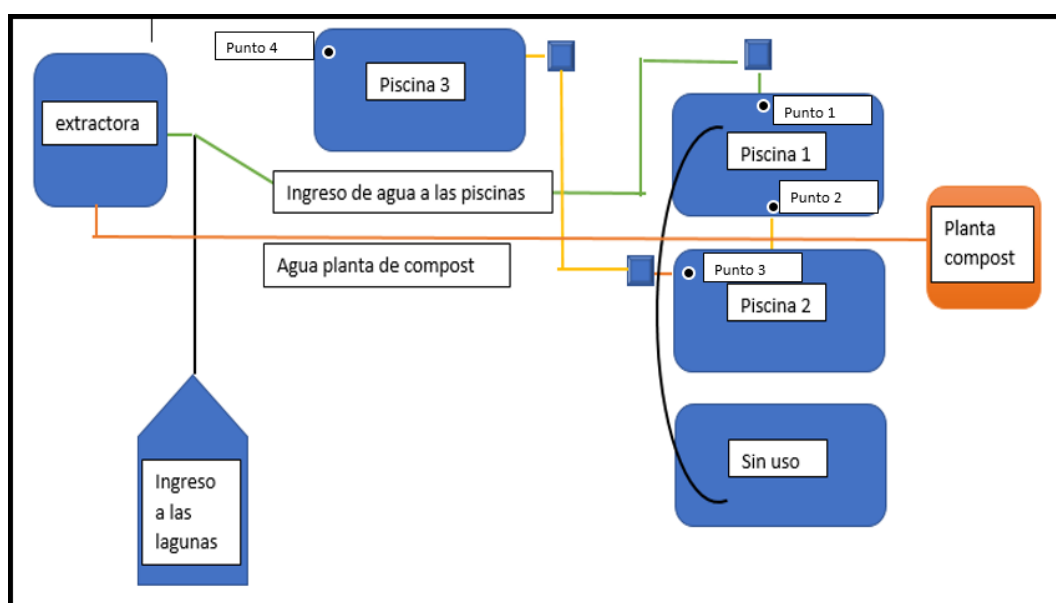


Figura 4. Ubicación espacial de los puntos de muestreo.

Tabla 2. Ubicación de los puntos de muestreos en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa EPACEM

Puntos de muestreo	Ubicación	Numero de laguna
1	Ingreso a la laguna	1
2	salida de la laguna	1
3	salida de la laguna	2
4	salida de la laguna	3

2.2 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA EPACEM Y CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA

2.2.1 TOMA DE MUESTRAS

Se fundamenta en la NTE 2176² establecido por el instituto nacional ecuatoriano de normalización (INEN) y NTE 2169³ la cual se detallan y presentan en la tabla 3, estas normas enfatizan los factores más importantes de las técnicas de muestreo y del manejo y conservación de muestras.

Tabla 3. Técnicas generales para la conservación de muestras de análisis físico-químicos y biológicos

Parámetros	Tipo de recipiente	Técnicas de conservación	Tiempo máximo de conservación
pH	P o V	Se enfría entre 1°C y 5°C	6 horas
temperatura	----	-----	-----
Turbidez	P o V	Se enfría entre 1°C y 5°C	24 horas
Sólidos totales	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	24 horas
Sólidos Suspendidos	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	24 horas
Sólidos Sedimentables	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	24 horas
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)	P o V	Acidificar a pH < 2 Con H ₂ SO ₄ , refrigerar entre 2 y 5°C	5 días
Coliformes fecales	P o V	0 a 5°C en mini nevera	-----
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	P o V	refrigerar entre 2°C y 5°C y guardar en la oscuridad	24 horas
Aceites y grasas	P o V	-----	-----
Oxígeno Disuelto	Vidrio	Fijar oxígeno y guardar en la oscuridad	4 días a lo mucho

(INEN, 2015)

² Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo

³ Calidad del agua. Muestreo. Conservación de las muestras

2.2.2 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO

Los métodos y normas utilizados para la determinación de todos los parámetros físicos, químicos y biológicos se detallan a continuación:

Tabla 4. Métodos para realizar análisis físicos, químicos y biológicos del agua residual en el laboratorio

Parámetros	Unidades	Método	Normas
Potencial de hidrogeno (pH)	-----	Potenciométrico	NMX-AA-008-SCFI-2016
temperatura	°C	Termómetro	NMX-AA-008-SCFI-2016
Turbidez	NTU	Turbidímetro	NMX-AA-038-SFCI-2001
Sólidos totales	mgL ⁻¹	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos Suspendidos	mgL ⁻¹	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos Sedimentables	mgL ⁻¹	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)	mgL ⁻¹	Winkler	NMX-AA-012-SCFL-2001
Coliformes fecales	NMP/100ml	NMP	NMX-AA-102-SCFI-2006
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mgL ⁻¹	Reflujo cerrado	NMX-AA-030/2-SCFL-2011
Aceites y grasas	mgL ⁻¹		NMX-AA-005-SCFI-2000
Oxígeno Disuelto	mgL ⁻¹	Winkler	NMX-AA-012-SCFL-2001

Para el cálculo de la eficiencia de remoción de la carga contaminante de cada una de las lagunas de oxidación se utilizó la siguiente ecuación:

$$Eficiencia = \frac{co - cf}{co} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

co= concentración inicial

cf= concentración final

Esta ecuación fue utilizada para cada uno de los parámetros anteriormente mencionados en la tabla 4.

2.3 REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE LAGUNAS

Los importantes avances tecnológicos permiten al hombre crear planes y estrategias que buscan el saneamiento ambiental de un área contaminada o a su vez diseñar alternativas tecnológicas como sistemas de tratamiento de aguas residuales los cuales se enfocan la reducción de la carga contaminante proveniente del agua residual de sus procesos para devolverla en un estado que no altere ni contaminen los ecosistemas (Buenaño, 2015)

Existen muy numerosas técnicas utilizadas en la recuperación de aguas contaminadas por diversos factores, sean estos de forma natural o provocados directamente por el hombre, a pesar de esto una de las técnicas más desarrolladas y utilizadas en el sector industrial es el uso de las famosas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), dando excelentes resultados para la reducción contaminantes presentes en el agua residual.

De acuerdo con (Alvaro, 2015) las plantas de tratamiento de aguas residuales es un tipo de tecnología totalmente amigable con el ambiente, utilizada ampliamente en el sector industrial, donde su fácil manejo la hace una de las mejores tecnologías disponibles al momento de la reducción de la contaminación en aguas residuales.

2.3.1 DIMENSIONES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para el cálculo de las dimensiones del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales se utilizó la metodología de la CONAGUA, siguiendo una serie de procesos que se muestran a continuación:

2.3.1.1 Parámetros de partida

2.3.1.1.1 Caudal

De acuerdo con (Tecsop, 2015) el caudal es aquel que pasa por un río o alguna sección de tubería provocando así un pozo de agua, o a su vez la que entra o sale de una planta de tratamiento.

2.3.1.1.2 Tasa de evaporación anual

Esta variable se puede definir como la cantidad de agua líquida que se llega a evaporar de una superficie en un determinado tiempo según (Manzur, 2015)

2.3.1.1.3 Relación largo: ancho

Se lo puede expresar como el número de veces que el largo va a ser mayor que el ancho en algún tipo de dimensión.

2.3.1.1.4 Temperatura

La temperatura se la puede describir como una magnitud física, que llega a medir el grado o nivel de calor que un cuerpo u objeto posee según (Inakal, 2014).

2.3.1.1.5 Altura

Esta variable se la puede definir también como la trayectoria que puede recorrerse entre un cuerpo u objeto y el suelo o alguna otra superficie que se tenga como referente según (Gardey, 2012)

2.3.1.1.6 Demanda Biológica de oxígeno (DBO₅)

También conocida como la cantidad de oxígeno que necesita ciertos grupos de microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable que existe en un agua residual transcurrido 5 días según (Romero, 2016)

A continuación, se muestra en la tabla 4 los valores asignados a las variables de los parámetros de partida antes mencionados, es importante mencionar que los datos de caudal y demanda biológica de oxígeno DBO₅ se los obtuvo de la información que suministro la empresa EPACEM y los otros datos de los parámetros de partida se los obtuvo en la metodología de la CONAGUA

Tabla 5. Parámetros de partida

variables	Datos	Unidades
Caudal (Q)	100	m ³ /d
Tasa de evaporación anual	4,09	mm
Relación largo/ancho	3	m
Temperatura del agua en el mes más frío	45	°C
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	21580	g/l
Altura	4	m
Altura considerando lodos sedimentados	0,78	m
Altura total	4,78	m
Altura laguna facultativa	2	m
Relación largo/ancho laguna facultativa	2,5	m

2.3.1.2 Cálculos para el diseño de la laguna anaerobia

2.3.1.2.1 Carga volumétrica

(CONAGUA, 2016) lo define como la masa de sustrato que se encuentra presente en la laguna por unidad de volumen y tiempo, expresada como $\text{kgDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ o $\text{gDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ y se calcula mediante la fórmula empleada por la Conagua como se indica en la tabla 5

Tabla 6. Carga volumétrica

Temperatura	Carga volumétrica ($\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)
>20	$20T^4 - 100$

$$Cv = 20T - 100 \quad [2]$$

Donde:

Cv= carga volumétrica

T= temperatura del agua en el mes más frío

2.3.1.2.2 Carga orgánica

Es la materia orgánica medida como DBO_5 que se aplica diariamente en la laguna y se estabiliza en el tratamiento biológico y su valor generalmente se lo expresa en kg de DBO_5 por unidad de tiempo según lo indica (CONAGUA, 2016). La carga orgánica se la obtiene de la siguiente ecuación:

$$Co = Si \cdot Q \quad [3]$$

Donde:

Co= Carga orgánica

Q= caudal

Si= concentración de DBO_5

⁴ Temperatura del agua en el mes más frío

2.3.1.2.3 Volumen

Esta variable también es más conocida como el espacio que ocupa un cuerpo, la misma que posee tres dimensiones, las cuales son: Alto, largo y ancho. Para el cálculo del volumen en el diseño de la laguna anaerobia es utilizada la siguiente ecuación.

$$V = \frac{Si \cdot Q}{Cv} \quad [4]$$

Donde:

V= volumen

Si= concentración de DBO_5

Q= caudal

Cv= carga volumétrica

2.3.1.2.4 Área

El área también conocida en física como unidad de superficie permite asignar una medida a la extensión de superficie. Para la determinación del área de la laguna anaerobia se aplicó la siguiente ecuación.

$$A = \frac{V}{h} \quad [5]$$

Donde:

A= Área

V= Volumen

h= Altura

2.3.1.2.5 Área total

Para la determinación del área total se utilizó la siguiente ecuación.

$$A = \frac{V}{ht} \quad [6]$$

Donde:

A= Área

V= Volumen

ht= Altura total

2.3.1.2.6 Ancho

Para el cálculo de esta variable de utilización se empleó la siguiente ecuación establecida en la Conagua.

$$W = \frac{\sqrt{AT}}{X} \quad [7]$$

Donde:

W= Ancho

AT= Área total

X= Relación largo/ancho

2.3.1.2.7 Largo

Para la determinación de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$L = W \cdot X \quad [8]$$

Donde:

L= Largo

W= Ancho

X= Relación largo/ancho

2.3.1.2.8 Tiempo de retención hidráulica

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación establecida en la Conagua.

$$TRH = \frac{2(A \cdot h)}{2(Q) - 0,001(A \cdot e)} \quad [9]$$

Donde:

TRH= Tiempo de retención hidráulica

A= Área

h= Altura

Q= Caudal

e= Tasa de evaporación

2.3.1.2.9 Carga superficial

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$C_s = 250(1,085)^{T-20} \quad [10]$$

Donde:

C_s= Carga orgánica superficial

T= Temperatura

2.3.1.2.10 Carga superficial removida

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$c_{sr} = 0,756(C_s) + 0,8 \quad [11]$$

Donde:

C_{sr}= Carga superficial removida

C_s= Carga superficial

2.3.1.2.11 Porcentaje de remoción

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ removido} = \frac{C_{sr}(100)}{C_s} \quad [12]$$

Donde:

%= Porcentaje de remoción

C_{sr}= Carga superficial removido

C_s= Carga superficial

2.3.1.2.12 Concentración de *DBO*₅ removida

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$S_{ir} = S_{io}(\% \text{removido}) \quad [13]$$

Donde:

S_{ir}= Concentración de *DBO*₅ removida

S_{io}= Concentración de *DBO*₅ inicial

2.3.1.2.13 Concentración de DBO_5 final

$$S_{if} = S_{io} - S_{ir} \quad [14]$$

Donde:

S_{if} = Concentración de DBO_5 final

S_{ir} = Concentración de DBO_5 removida

S_{io} = Concentración de DBO_5 inicial

2.3.1.3 Cálculos para el diseño de la laguna facultativa

2.3.1.3.1 Corrección de la carga superficial removida laguna facultativa

Para la corrección de la carga superficial removida se aplicó las correlaciones para lagunas facultativas mencionadas en la metodología de Conagua por medio de la siguiente ecuación

$$CSR_c = 0,863(C_s) + 7,67 \quad [15]$$

Donde:

CSR_c = Carga superficial removida corregida

C_s = Carga superficial

2.3.1.3.2 Área laguna facultativa

El área también conocida en física como unidad de superficie permite asignar una medida a la extensión de superficie. Para la determinación del área de la laguna facultativa se aplicó la siguiente ecuación

$$A = \frac{S_{if(anaerobia)} \cdot Q}{C_{sr}} \quad [16]$$

Donde:

A = Área

S_{if} = Concentración de DBO_5 final laguna anaerobia

C_{sr} = Carga superficial removida

2.3.1.3.3 Volumen laguna facultativa

Esta variable también es más conocida como el espacio que ocupa un cuerpo, la misma que posee tres dimensiones, las cuales son: Alto, largo y ancho. Para el cálculo del volumen en el diseño de la facultativa es utilizada la siguiente ecuación.

$$V = A \cdot h \quad [17]$$

Donde:

V= Volumen

A= Área

h= Altura

2.3.1.3.4 Ancho laguna facultativa

Para el cálculo de esta variable de utilizo la siguiente ecuación establecida en la Conagua.

$$W = \frac{\sqrt{AT}}{X} \quad [18]$$

Donde:

W= Ancho

AT= Área total

X= Relación largo/ancho

2.3.1.3.5 Largo laguna facultativa

Para la determinación de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$L = W \cdot X \quad [19]$$

Donde:

L= Largo

W= Ancho

X= Relación largo/ancho

2.3.1.3.6 Confirmación de la concentración de DBO_5 al ingreso de la laguna facultativa

Esta variable es la comprobación de la concentración de DBO_5 que ingresa a la laguna facultativa, para su cálculo se utilizó la siguiente ecuación.

$$S_{es} = \frac{C_{sr} \cdot A}{Q} \quad [20]$$

Donde:

S_{es} = Confirmación de la concentración de DBO_5

C_{sr} = Carga superficial removida

Q = Caudal

2.3.1.3.7 Porcentaje de remoción laguna facultativa

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ removido} = \frac{C_{SRc}(100)}{C_s} \quad [21]$$

Donde:

$\%$ = Porcentaje de remoción

C_{SRc} = Carga superficial removido

C_s = Carga superficial

2.3.1.3.8 Concentración de DBO_5 removida laguna facultativa

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$S_{ir} = S_{io}(\% \text{removido}) \quad [22]$$

Donde:

S_{ir} = Concentración de DBO_5 removida

S_{io} = Concentración de DBO_5 inicial

$\%$ = Porcentaje de remoción laguna facultativa

2.3.1.3.9 Concentración de DBO_5 final laguna facultativa

Para la obtención de esta variable se tomó en cuenta la siguiente ecuación

$$S_{if} = S_{io} - S_{ir} \quad [23]$$

Donde:

S_{if} = Concentración de DBO_5 final

S_{ir} = Concentración de DBO_5 removida

S_{io} = Concentración de DBO_5 inicial

2.3.1.4 Cálculos para el diseño de la laguna de maduración

Para el cálculo de la laguna de maduración se tomó en cuenta los siguientes parámetros de acuerdo a lo que se establece en la metodología de la CONAGUA

$h = 1.5$

$Q = 100$

$X = 2$

$TRH = 9.5$

Donde:

h =Altura

Q = Caudal

X =Relación largo/ancho

2.3.1.4.1 Área de la laguna de maduración

El área también conocida en física como unidad de superficie permite asignar una medida a la extensión de superficie. Para la determinación del área de la laguna maduración se aplicó la siguiente ecuación

$$A = \frac{Q \cdot T}{h} \quad [24]$$

Donde:

A = Área

Q = Caudal

h= Altura

T= Tiempo de retención hidráulica

2.3.1.4.2 Ancho laguna de maduración

Para el cálculo de esta variable de utilizo la siguiente ecuación establecida en la Conagua.

$$W = \frac{\sqrt{AT}}{X} \quad [25]$$

Donde:

W= Ancho

AT= Área total

X= Relación largo/ancho

2.3.1.4.3 Largo laguna de maduración

Para la determinación de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$L = W.X \quad [26]$$

Donde:

L= Largo

W= Ancho

X= Relación largo/ancho

2.3.1.4.4 Carga superficial laguna de maduración

Para el cálculo de esta variable de utilizo la siguiente ecuación establecida en la Conagua.

$$Cs = \frac{Si.Q}{A} \quad [27]$$

Cs= Carga superficial

Si= Concentración de DBO_5 que ingresa a la laguna de maduración

Q= Caudal

A= Área

2.3.1.4.5 Corrección de la carga superficial removida en la laguna de maduración

Para la corrección de la carga superficial removida se aplicó la siguiente correlación mencionada en la metodología de Conagua

$$CSR_c = 0,863(C_s) + 7,67 \quad [28]$$

Donde:

CSR_c= Carga superficial removida corregida

C_s= Carga superficial

2.3.1.4.6 Porcentaje de remoción laguna de maduración

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ removido} = \frac{CSR_c(100)}{C_s} \quad [29]$$

Donde:

%= Porcentaje de remoción

CSR_c= Carga superficial removido

C_s= Carga superficial

2.3.1.4.7 Concentración de DBO_5 removida laguna de maduración

Para el cálculo de esta variable se empleó la siguiente ecuación.

$$S_{ir} = S_{io}(\% \text{removido}) \quad [30]$$

Donde:

S_{ir}= Concentración de DBO_5 removida

S_{io}= Concentración de DBO_5 inicial

%= Porcentaje de remoción laguna de maduración

2.3.1.4.8 Concentración de DBO_5 final laguna de maduración

Para la obtención de esta variable se tomó en cuenta la siguiente ecuación

$$S_{if} = S_{io} - S_{ir} \quad [31]$$

Donde:

S_{if}= Concentración de DBO_5 final

S_r = Concentración de DBO_5 removida

S_{i0} = Concentración de DBO_5 inicial

2.4 COMPROBAR LA EFICIENCIA DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO

Para comprobar la eficiencia del trabajo experimental se realizó el rediseño de las lagunas de oxidación a una escala de laboratorio 1:60 en las instalaciones de la empresa EPACEM. Una vez que se construyeron las lagunas de oxidación se pusieron en operación con el objetivo de tratar el agua residual y de esta manera calcular la eficiencia a partir de la caracterización del agua residual que atraviesa por el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio, es importante mencionar que esta caracterización se la realizó acorde a las normativas antes mencionadas en la tabla 4, con la única diferencia que las muestras fueron tomadas del trabajo a escala de laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DESCRICION CUALITATIVA DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La descripción cualitativa permitió obtener una línea base de datos sobre las condiciones de funcionamiento que posee actualmente el sistema de tratamiento de aguas residuales. Actualmente, este sistema de tratamiento de aguas residuales está conformado por tres lagunas de oxidación interconectadas entre sí por medio de tuberías tipo PVC, que fueron construidas en un tipo de suelo arcilloso. El agua residual que llega hacia el sistema de lagunas de oxidación proviene desde el área de producción y refinería por medio de un sistema de canales, el cual está construido con material hormigón, que conectan en un punto en común hasta llegar al sistema de lagunas de oxidación. Es importante mencionar que todas las lagunas presentan altos niveles de lodos sedimentados en el fondo, además de carecer de geomembrana, material sumamente importante que impide la infiltración del agua residual hacia el subsuelo.

3.1.1 DISEÑO ACTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las condiciones actuales de funcionamiento que posee la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa EPACEM, carecen de ciertas características físicas necesarias, como: geomembrana que impide la infiltración del agua residual al suelo y el mal diseño del dimensionamiento de las lagunas de oxidación que impiden que las lagunas operen eficientemente. El dimensionamiento correcto para el diseño de lagunas de oxidación es la base fundamental para que el sistema de tratamiento pueda operar a su máxima eficiencia. A continuación, se indica en la figura 5 el diseño actual que presenta la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa EPACEM, indicando las dimensiones que presentan cada una de las lagunas de oxidación

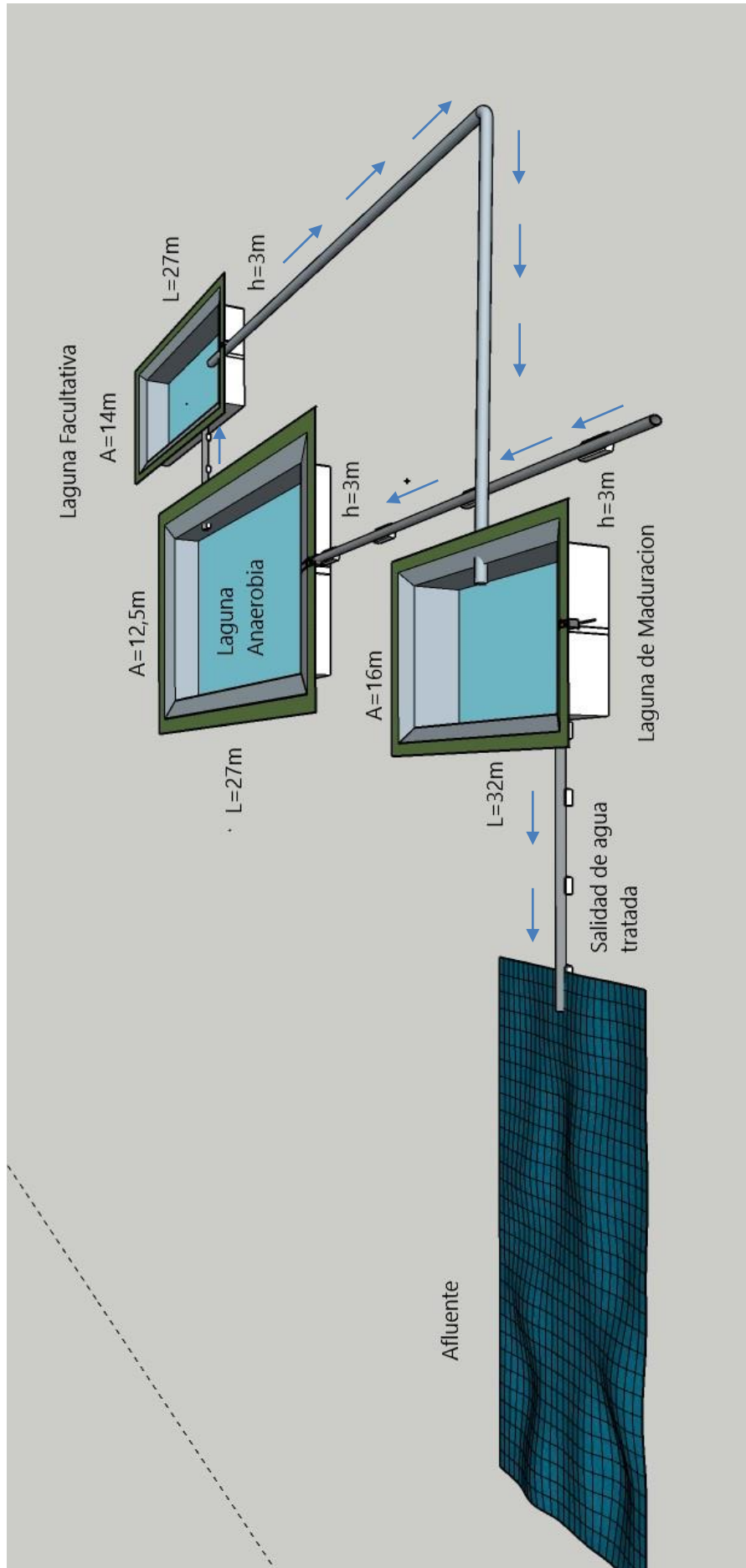


Figura 5. Diseño actual del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.2 CARACTERIZACION DE LOS PARAMETROS FISICO-QUIMICOS Y BIOLOGICOS Y EFICIENCIA

A continuación, se presenta en la tabla 7, los resultados obtenidos de la caracterización de los parámetros físico-químico y biológico del agua residual de las lagunas de oxidación donde se observa bajos niveles de remoción de la carga contaminante.

Tabla 7. Resultados de la caracterización físico-química y biológica obtenidas en los puntos de muestro

Parámetros	Unidades	Muestras			
		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Potencial de hidrogeno (pH)	-----	6,8	6,7	6,5	7,3
temperatura	°C	45	26	24	22,5
Turbidez	NTU	598	486	103,5	98,9
Sólidos totales	mgL ⁻¹	>40000	>31728,2	22741,28	16784,7
Sólidos Suspendidos	mgL ⁻¹	>1000	817	647,12	487,9
Sólidos Sedimentables	mgL ⁻¹	>60	41,36	33,84	29,21
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)	mgL ⁻¹	21580	19451	14718,54	11180,33
Coliformes fecales	NMP/100ML	320000	287405	198307	167425
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mgL ⁻¹	75000	67320	49492,43	37854,64
Aceites y grasas	mgL ⁻¹	14,1	12,47	9,84	6,45

3.3 EFICIENCIA ACTUAL DEL SISTEMA

A continuación, se presenta en la tabla 8, el resumen de los valores obtenidos de la eficiencia de remoción de carga contaminante con la que opera cada una de las lagunas de oxidación, donde la caracterización de los parámetros físico-químicos y biológicos indicaron que el grado de eficiencia de remoción con la que operan las lagunas de oxidación esta considerablemente bajo, debiéndose principalmente al mal diseño que poseen las lagunas de oxidación y al inadecuado plan de mantenimiento que se les brinda a las mismas.

Tabla 8. Resumen del cálculo de la eficiencia

Parámetros	Eficiencia (%)			Eficiencia Total
	Laguna Anaerobia	Laguna Aerobia	Laguna de Maduración	
Sólidos totales	20,7	28,3	26,2	25,1
Sólidos Suspendidos	18,3	20,8	24,6	21,2
Sólidos Sedimentables	31,1	18,2	13,7	21,0
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)	9,9	24,3	24,0	19,4
Coliformes fecales	10,2	31,0	15,6	18,9
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	10,2	26,5	23,5	20,1
Aceites y grasas	11,6	21,1	34,5	22,4

La comparación de la caracterización de los parámetros físico-químicos y biológicos del agua tratada del sistema de tratamiento actual con la normativa actual vigente se presenta en la siguiente tabla, donde se observa que la caracterización de los parámetros físico-químico y biológicos a la salida del sistema de tratamiento de aguas residuales, indicaron que en la mayoría de sus parámetros no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA debido a la baja eficiencia que presenta el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 9. Comparación de los parámetros físico-químico y biológico con la normativa actual vigente del agua tratada del sistema de tratamiento de aguas residuales actual

Parámetros	Unidades	concentración a la salida del sistema	TULSMA	Cumplimiento
Potencial de hidrogeno (pH)	-----	7,3	5,0-9	Si cumple
temperatura	°C	22,5	<35	Si cumple
Turbidez	NTU	98,9	No aplica	No aplica
Sólidos totales	mg/l	16784,7	1600	No cumple
Sólidos Suspendidos	mg/l	487,9	100	No cumple
Sólidos Sedimentables	mg/l	29,21	1	No cumple
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)	mg/l	11180,33	100	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100ml	167425	remoción > al 99%	No cumple
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mg/l	37854,64	250	No cumple
Aceites y grasas	mg/l	6,45	0,3	No cumple

3.4 REDISEÑO TEORICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAGUNAS

A continuación, se presenta en la tabla 10, 11 y 12 el resumen de los cálculos obtenidos para dimensionamiento para las diferentes lagunas de oxidación a través de la metodología de CONAGUA.

Tabla 10. Resumen de los cálculos obtenidos para el diseño de la laguna anaerobia

Laguna anaerobia			
variables	Ecuación	Unidades	Resultado
Carga volumétrica	$CV = 20T - 100$	gDBO ₅ /m ³ .d	800,0
Carga orgánica	$co = Si \cdot Q$	KgDBO ₅ /m ³ .d	2158,0
Volumen	$v = \frac{Si \cdot Q}{Cv}$	m ³	2697,5
Área	$A = \frac{V}{ht}$	m ²	674,4
Área total	$A = \frac{V}{ht}$	m ²	564,3
Ancho	$W = \frac{\sqrt{AT}}{X}$	m	13,7
Largo	$l = w \cdot x$	m	41,1
Tiempo de retención hidráulica	$TRH = \frac{2(A \cdot h)}{2(Q) - 0,001(A \cdot e)}$	d	22,8
Carga superficial	$Cs = 250(1,085)^{T-20}$	KgDBO ₅ /H.d	1921,7
Carga superficial removida	$csr = 0,756(Cs) + 0,8$	KgDBO ₅ /H.d	1469,3
Porcentaje de remoción	$\% \text{ removido} = \frac{Csr(100)}{Cs}$	%	76,5
Concentración de DBO ₅ removida	$Sir = Sio(\% \text{ removido})$	KgDBO ₅ /m ³	16,5
Concentración de DBO ₅ final	$Sif = Sio - Sir$	KgDBO ₅ /m ³	5,1

Tabla 11. Resumen de los cálculos obtenidos para el diseño de la laguna facultativa

Laguna facultativa			
variables	Ecuación	Unidades	Resultado
Corrección de la carga superficial removida	$CSRc = 0,863(Cs) + 7,67$	KgDBO/ha.d	1666,1
Área	$A = \frac{Sif(anaerobia)}{Csr}$	m ²	3049,2
Volumen	$V = A \cdot h$	m ³	6098,4
Ancho	$W = \frac{\sqrt{AT}}{X}$	m ²	34,9
Largo	$l = w \cdot x$	m ²	87,3
Confirmación de la concentración de DBO_5	$Ses = \frac{Csr \cdot A}{Q}$	KgDBO/m ³	5,1
Porcentaje de remoción	$\% \text{ removido} = \frac{CSRc(100)}{Cs}$	%	86,6
Concentración de DBO_5 removida	$Sir = Sio(\% \text{ removido})$	KgDBO/m ³	4,4
Concentración de DBO_5 final	$Sif = Sio - Sir$	Kgdbo5/m ³	0,6

Tabla 12. Resumen de los cálculos obtenidos para el diseño de la laguna de maduración

Laguna de maduración			
Variabes	Ecuación	Unidades	Resultado
Área	$A = \frac{Q \cdot T}{h}$	m ²	633
Ancho	$W = \frac{\sqrt{AT}}{X}$	m	17.7
Largo	$l = w \cdot x$	m	35.5
Carga superficial	$C_s = \frac{S_i \cdot Q}{A}$	KgDBO/ha-d	1074.2
Corrección de la carga superficial removida	$CSRc = 0,863(C_s) + 7,67$	KgDBO/ha-d	934.7
Porcentaje de remoción	$\% \text{ removido} = \frac{CSRc(100)}{C_s}$	%	87
Concentración de DBO ₅ removida	$S_{ir} = S_{io}(\% \text{removido})$	KgDBO ₅ /m ³	0.6
Concentración de DBO ₅ final	$S_{if} = S_{io} - S_{ir}$	mgDBO ₅ /L	88.4

3.4.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REDISEÑO TEÓRICO

A continuación, se presenta en la figura 6 el rediseño teórico del sistema de tratamiento de aguas residuales a partir de los cálculos obtenidos anteriormente.

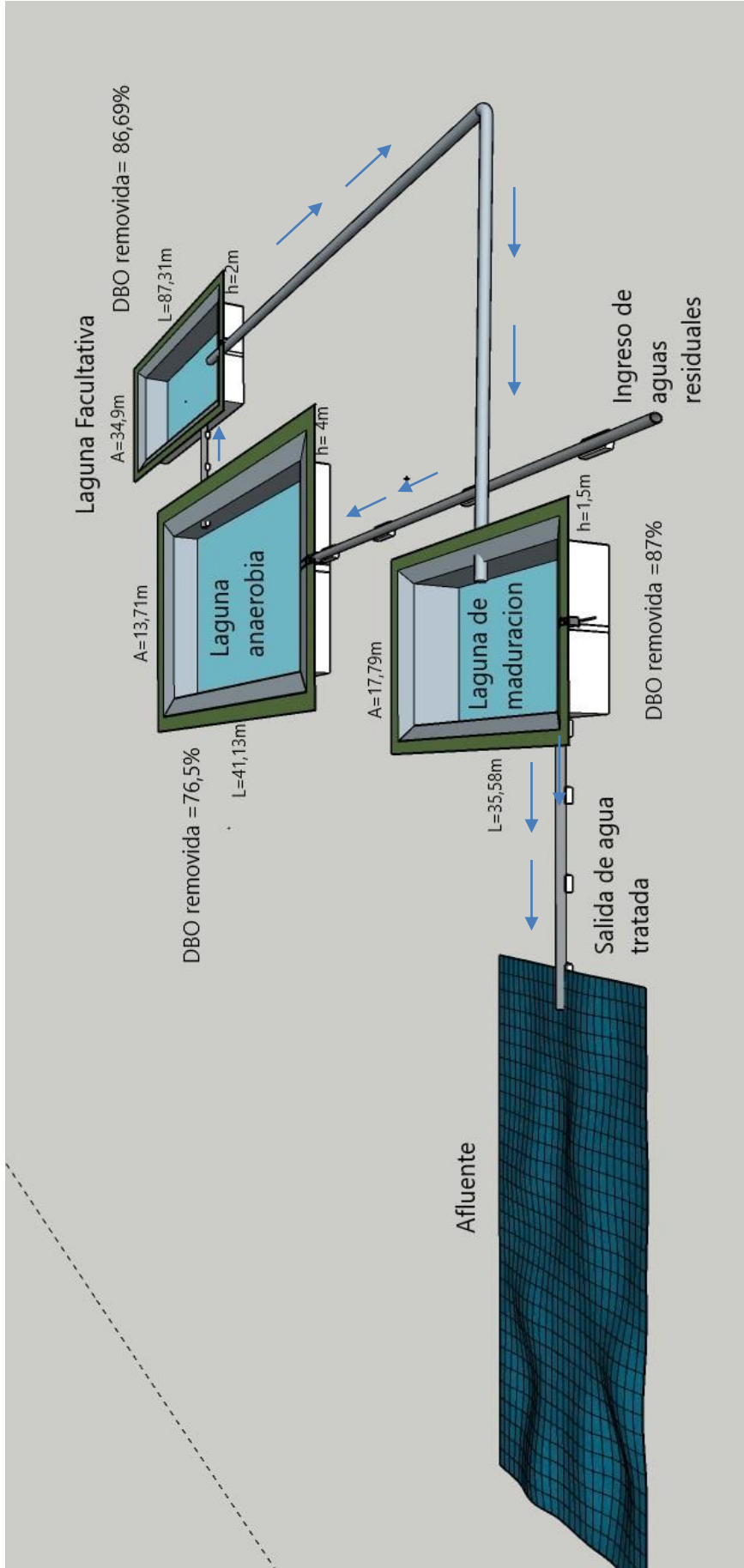


Figura 6. Diseño teórico el sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5 EFICIENCIA DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO

3.5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS A PARTIR DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO

A continuación, se muestra en la tabla 13 el resumen de la caracterización de los parámetros físico-químicos y biológicos obtenidos en los puntos de muestreo a partir del rediseño a escala de laboratorio, donde se evidencia que las concentraciones de la carga contaminante reducen positivamente en cada punto de las muestras tomados de las lagunas de oxidación.

Tabla 13. Resultados de la caracterización físico-química y biológica obtenidas en los puntos de muestro

Parámetros	Unidades	Muestras			
		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Potencial de hidrógeno (pH)	-----	6,8	6,7	6,4	6,8
temperatura	°C	45	25	24	24
Turbidez	NTU	598	358	67,84	32,5
Sólidos totales	mgL ⁻¹	>40000	10360,3	1560,56	230,87
Sólidos Suspendidos	mgL ⁻¹	>1000	257,26	40,58	6,21
Sólidos Sedimentables	mgL ⁻¹	>60	15,5	3,22	1,12
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)	mgL ⁻¹	21580	5280,2	834,1	112,74
Coliformes fecales	NMP/100ML	320000	80580,2	12520,3	1840,5
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mgL ⁻¹	75000	18756,3	2980,8	180,9
Aceites y grasas	mgL ⁻¹	14,1	3,6	1,21	0,39

3.5.2 COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS ANTES Y DESPUES DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO

3.5.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

La lectura del pH antes del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales en los puntos (1, 2, 3 y 4) se encontraron en un rango de 6,8-7,3

unidades de pH, tal como se lo observa en la figura 7, de la misma manera el valor del pH registrado después del rediseño del sistema en los puntos (1, 2, 3 y 4) estuvo entre los 6,4-7,0 unidades de pH respectivamente, estas variaciones mínimas de pH vienen determinadas por dos aspectos, que son la poca actividad fotosintética y la degradación de la materia orgánica generada por las bacterias, (Fibras, 2016) indica que cuando se produce la fotosíntesis se consume anhídrido carbónico, esto desplaza el equilibrio de los carbonatos y la lugar a la variación del pH. (TULSMA, 2015) que las variaciones de pH que no sean menores a 6,5 ni mayores a 9,0 no demuestran ningún tipo de daño o riesgo para la protección y preservación de la flora y fauna en aguas dulces.

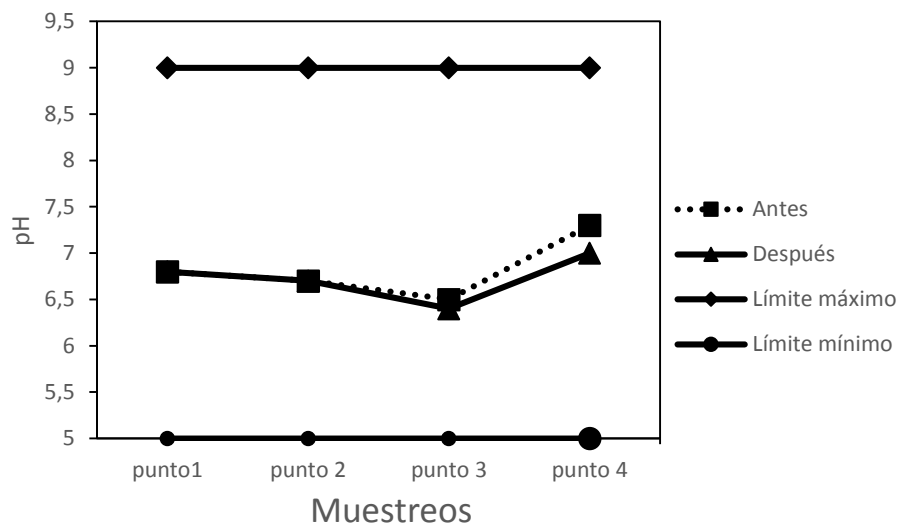


Figura 7. Variación del pH antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.2 Temperatura

Los valores obtenidos de la temperatura en los puntos (1, 2, 3 y 4) de muestreos antes de la realización del rediseño del sistema revelaron cantidades entre los 22,5 hasta los 45°C, dando lugar a este último para el punto 1, debiéndose esto, a que el punto 1 fue tomado en la primera laguna del sistema de tratamiento, lugar donde se receipta el agua residual proveniente de la caldera. En los puntos (2, 3 y 4) la temperatura disminuye considerablemente debido a las condiciones climáticas de la zona tal como se indica en la figura 8. (Ayala & Carrillo , 2014) indican que el comportamiento en la temperatura del agua está relacionado con los factores climáticos de la región con tendencia al aumento que va relacionado a la época de sequía.

Según (TULSMA, 2015) la temperatura máxima permisible para la descarga a cuerpo de agua dulce es de 35°C, lo cual indica que este parámetro se encuentra dentro de la norma.

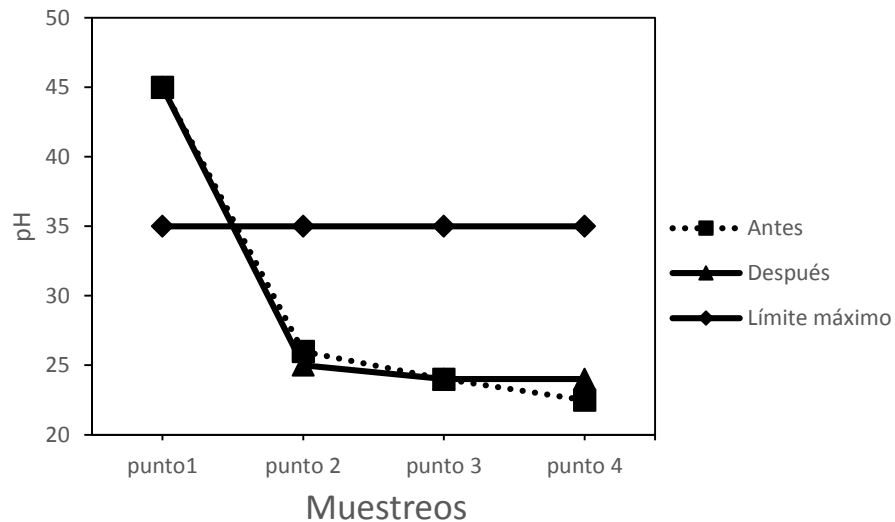


Figura 8. Variación de la temperatura antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.3 Turbidez

La medición de la turbidez mostro valores que varían entre 598 y 98,9 NTU de los puntos (1, 2, 3 y 4) antes del rediseño, siendo el valor más alto para el punto uno, esto se debe por la elevada concentración de sólidos en suspensión en el agua que impide el paso de la luz. (Simionato, 2013) menciona que la turbidez del agua está relacionada con los Sólidos Suspendidos y partículas coloidales. El ultimo valor para el punto cuatro, siendo este valor considerablemente menor por la sedimentación de los sólidos, la cual permite el ingreso de la luz, para los puntos (1, 2, 3 y 4) después del rediseño se registran valores que varían entre 598 y 32,5 NTU como se observa en la figura 9.

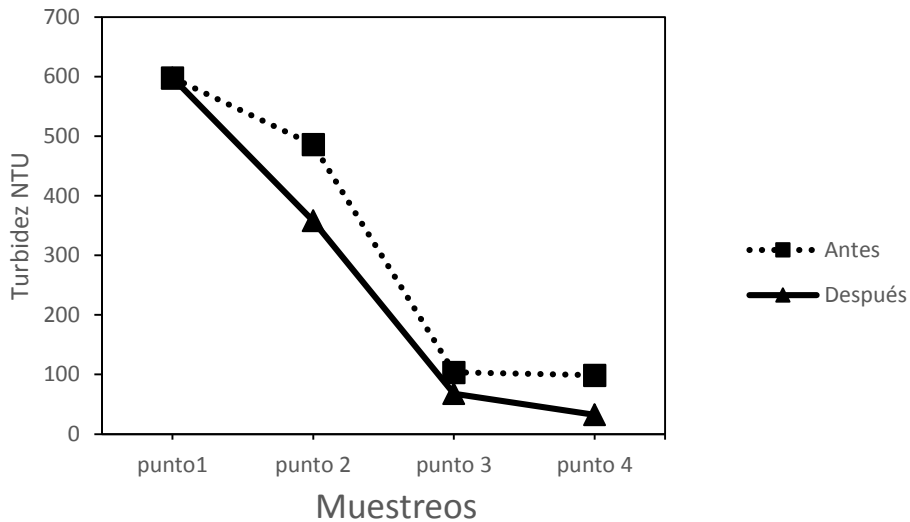


Figura 9. Variación de la Turbidez antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.4 Sólidos totales

Los valores registrados de Sólidos Totales en los puntos (1, 2, 3 y 4) de muestreos antes de la realización del rediseño del sistema revelaron cantidades entre los 40.000 mgL^{-1} hasta los $16.784,7 \text{ mgL}^{-1}$, dando lugar al valor más alto para el punto 4, espacio donde se registra la mayor cantidad de sólidos totales, en los puntos (2, 3 y 4) los valores disminuyen gradualmente debido a los procesos biológicos que realizan en el sistema de tratamiento, es decir, las bacterias aerobias y anaerobias degradan la materia orgánica presente en el agua residual, que da paso a que la concentración de sólidos totales disminuya dependiendo de la actividad biológica que presenten cada una de las etapas del tratamiento (Arbeli, 2008), menciona que los compuestos orgánicos son degradados por microorganismos de régimen aerobio como anaerobio. En los cuatro puntos después del rediseño del sistema se muestran variaciones entre los 40.000 mgL^{-1} y $230,87 \text{ mgL}^{-1}$ siendo este último para el punto 4 como se lo observa en la figura 10, también siendo este punto el valor menor por los procesos biológicos que se realizan en el sistema. Según (TULSMA, 2015) el valor máximo permisible de los sólidos totales para la descarga a cuerpo de agua dulce es de 1600 mgL^{-1} , lo cual indica que este parámetro se encuentra dentro de la norma.

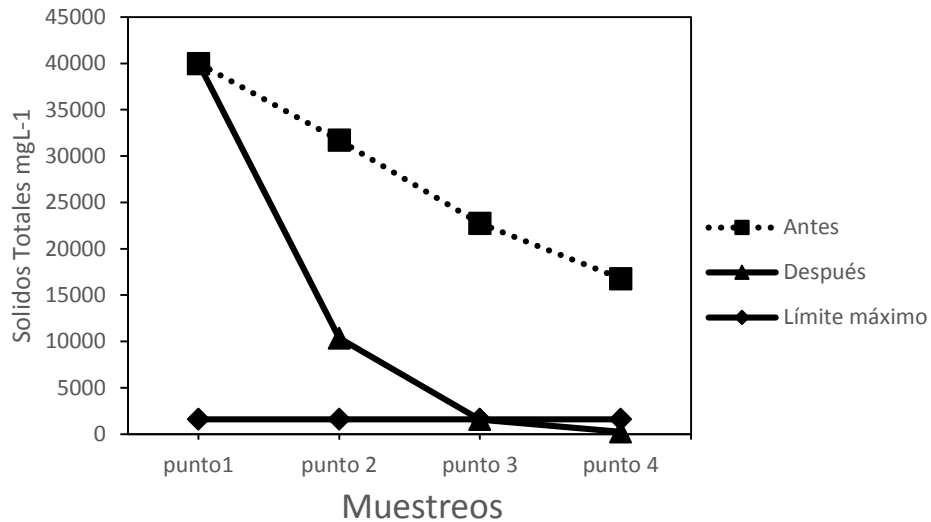


Figura 10. Variación de Sólidos Totales antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.5 Sólidos suspendidos

La medición de los Sólidos Suspendidos mostro valores que varían entre 1.000 mgL^{-1} y $487,9 \text{ mgL}^{-1}$, de los puntos (1, 2, 3 y 4) antes del rediseño, siendo el valor más alto para el punto uno, esto se debe porque en este punto se empieza el tratamiento de las aguas residuales y además por la poca actividad biológica debido a temperatura elevada que presenta esta laguna , y el valor más bajo para el punto cuatro, siendo este valor considerablemente menor por la degradación de la metería orgánica debido a la actividad microbiana presente en esta etapa final del tratamiento, para los puntos (1, 2, 3 y 4) después del rediseño se registran valores que varían entre 1.000 mgL^{-1} y $6,21 \text{ mgL}^{-1}$, como se observa en la figura 11, siendo este último para el punto cuatro donde se finaliza el tratamiento, el punto 1 es el que registra el valor más alto, siendo este de 1.000 mgL^{-1} , esto se debe a que en este punto se inicia el tratamiento de las aguas residuales.

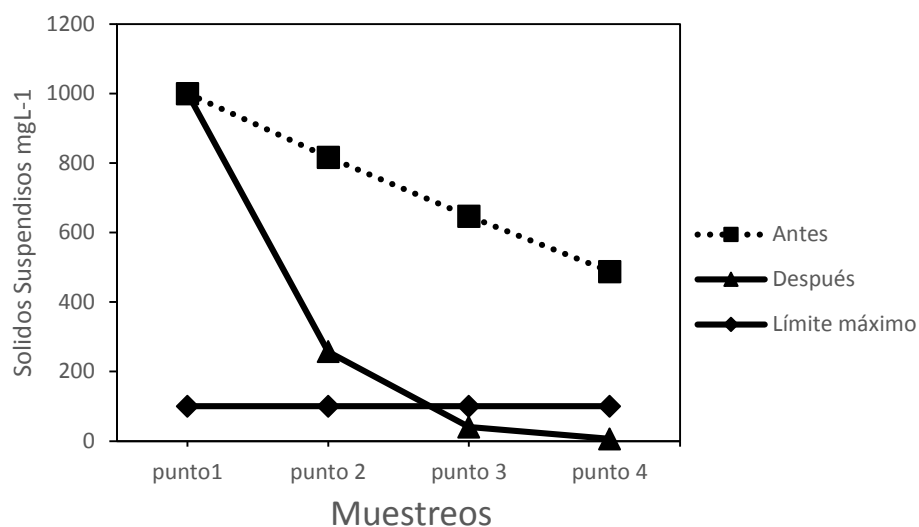


Figura 11. Variación de Sólidos suspendidos antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.6 Sólidos sedimentables

Los valores registrados de Sólidos Sedimentables en los puntos (1, 2, 3 y 4) de muestreos antes de la realización del rediseño del sistema revelaron cantidades entre los 60 mgL^{-1} y $29,21 \text{ mgL}^{-1}$, dando lugar al valor más alto para el punto 1, lugar donde se registra la mayor cantidad de Sólidos Sedimentables, en los puntos (2, 3 y 4) los valores disminuyen gradualmente debido a las procesos biológicos que realizan en el sistema de tratamiento; para los cuatro puntos después del rediseño del sistema se muestran variaciones entre los 60 mgL^{-1} y 1.12 mgL^{-1} siendo este último para el punto 4 como se lo observa en la figura 12, también siendo este punto el valor de menor concentración por los procesos biológicos que se realizan en el sistema. Según (TULSMA, 2015) el valor máximo permisible de los sólidos sedimentables para la descarga a cuerpo de agua dulce es de 1.0 mgL^{-1} , lo cual indica que este parámetro se encuentra fuera de la norma.

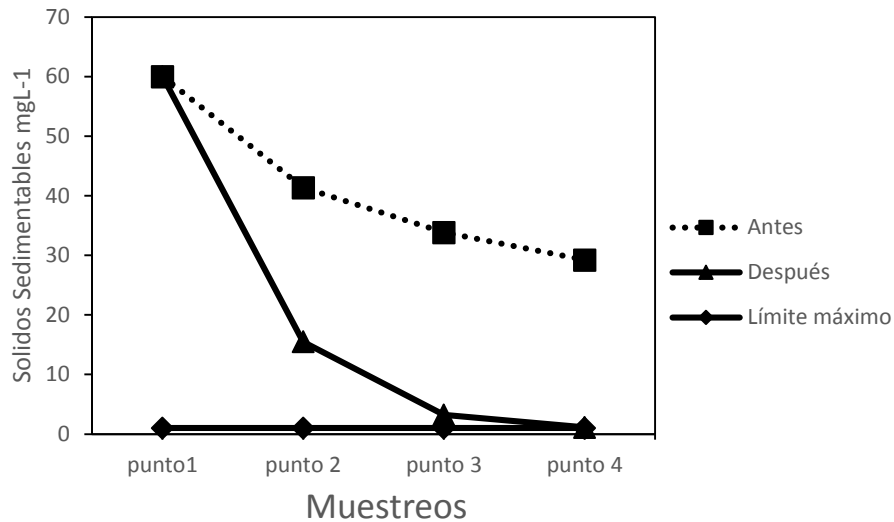


Figura 12. Variación de Sólidos sedimentables antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.7 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

De acuerdo con la figura 13, la concentración de la DBO_5 en los puntos (1, 2, 3 y 4) tanto antes como después del rediseño presentan diferentes valores respectivamente, se obtuvieron valores antes del rediseño para los puntos (1, 2, 3 y 4) que varían entre 21.580 mgL^{-1} y $11.180,33 \text{ mgL}^{-1}$, los cuales presentan valores muy diferentes, debido a que cada punto de muestra tomado se lo realizó en etapas diferentes de sistema de tratamiento de aguas residuales, siendo el valor más alto para el punto 1 y valor de menor concentración para el punto 4, punto donde finaliza el sistema de tratamiento de aguas residuales, así mismo para los puntos (1, 2, 3 y 4) después del rediseño se encontraron variaciones entre 21.580 mgL^{-1} y $112,74 \text{ mgL}^{-1}$ correspondientes a los puntos 1 y 4. Esta demanda biológica de oxígeno disminuye gradualmente porque la mayor parte de la materia orgánica presente en el agua residual fue consumida por la actividad bacteriana de régimen aerobio y anaerobio, razón por la cual, la demanda de oxígeno que necesitan los organismos para descomponer la materia orgánica se reduce. (Jimenez & Velez, 2006) indican que a mayor concentración de materia orgánica los microorganismos necesitan mayor cantidad de oxígeno para descomponerlos. Según (TULSMA, 2015) el valor máximo permisible de la DBO_5 para la descarga a cuerpos de agua dulce debe de ser menor a 100 mgL^{-1} por lo que este parámetro se encuentra fuera de la norma.

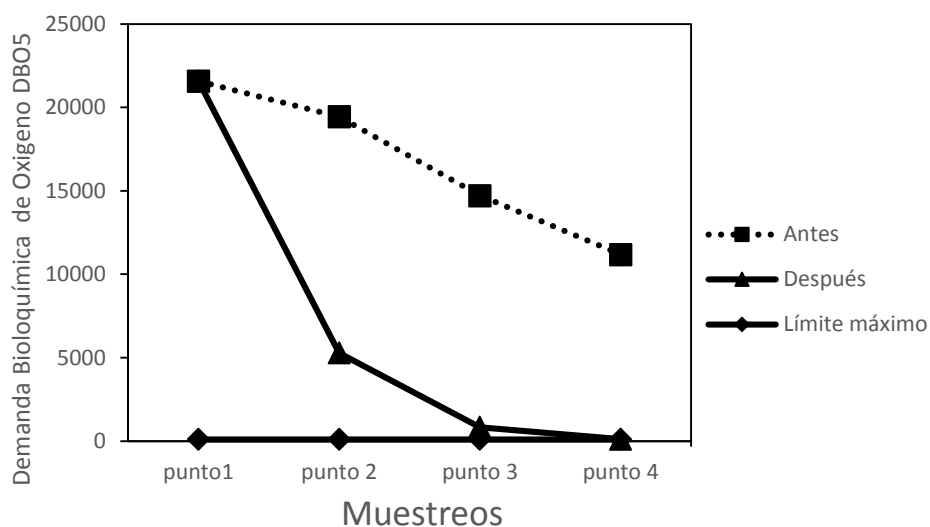


Figura 13. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.8 Demanda química de oxígeno (DQO)

Como se puede Observar en la figura 14, la concentración de la DQO en los puntos (1, 2, 3 y 4) antes y después del rediseño presentan diferentes valores respectivamente, esto se debe a que todos los puntos de muestras fueron tomadas de cada etapa del sistema de tratamiento antes y después del rediseño, se obtuvieron valores antes del rediseño para los puntos (1, 2, 3 y 4) que varían entre 75.000 mgL^{-1} y $37.854,64 \text{ mgL}^{-1}$, así mismo para los puntos (1, 2, 3 y 4) después del rediseño se encontraron variaciones entre 75.000 mgL^{-1} y $180,9 \text{ mgL}^{-1}$ correspondientes a los puntos 1 y 4, cuyas concentraciones disminuyen gradualmente, esto se debe, a que la cantidad de sólidos o materia orgánica presente en el agua residual ha sido removida en gran porcentaje razón por la cual la DQO disminuye significativamente. Según (TULSMA, 2015) el valor máximo permisible de la DQO para la descarga a cuerpos de agua dulce debe de ser menor a 250 mgL^{-1} por lo que este parámetro se encuentra fuera de la norma.

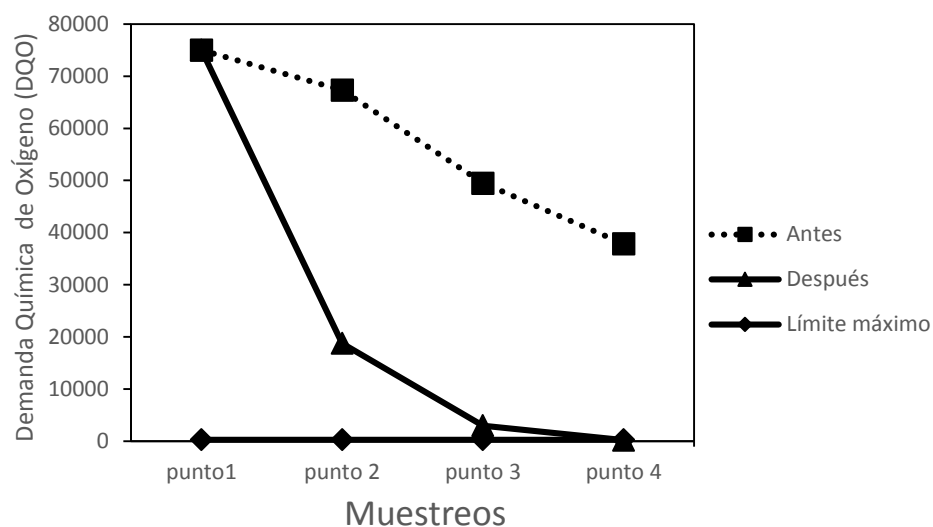


Figura 14. Variación de la Demanda Química de Oxígeno antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.9 Aceites y grasas

Los valores registrados de Aceites y Grasas en los puntos (1, 2, 3 y 4) de muestreos antes de la realización del rediseño del sistema revelaron cantidades entre los 14.1 mgL^{-1} y 6.45 mgL^{-1} , dando lugar al valor más alto para el punto 1, lugar donde se registra la mayor concentración de Aceites y Grasas, debido que es en este punto donde se receipta el agua residual, este parámetro se lo encuentra presentes en las muestras tomadas por motivos a que la industria de la empresa EPACEM se dedica a la extracción de aceite de palma Africana; en los puntos (2, 3 y 4) los valores disminuyen gradualmente debido a las procesos biológicos que realizan en el sistema de tratamiento; para los cuatro puntos después del rediseño del sistema se muestran variaciones entre los 14.1 mgL^{-1} y 0.39 mgL^{-1} siendo este último para el punto 4 como se lo observa en la figura 15, también siendo este punto el valor de menor concentración por los procesos biológicos que se realizan en el sistema, a pesar del rediseño realizado en el sistema de tratamiento y los procesos biológicos que se dan, no se pudo extraer por completo el aceite y grasa presente en el agua residual. Según (TULSMA, 2015) el valor máximo permisible de Aceites y grasas para la descarga a cuerpo de agua dulce es de 0.3 mgL^{-1} , lo cual indica que este parámetro se encuentra fuera de la norma.

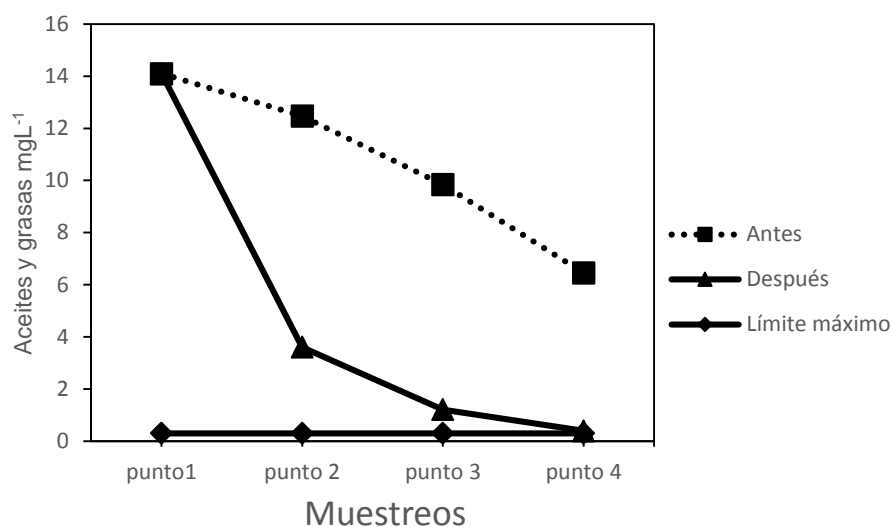


Figura 15. Variación de la concentración de aceites y grasas antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

3.5.2.10 Coliformes fecales

De acuerdo a lo que se indica en la figura 16 se observa cantidades elevadas de coliformes fecales que se pudo obtener a través del NMP, el cual dio el valor más alto de 320000 NMP/100 ml para la muestra tomada en el punto 1 y un valor de 167425 NMP/100ml para la muestra tomada en el punto 4, siendo esta la de menor concentración, teniendo en cuenta que ambas muestras fueron tomadas antes del rediseño del sistema, para las muestras tomadas después del rediseño del sistema se obtuvieron valores de 320000 NMP/100 ml siendo este valor el mayor para la muestra tomada en el punto 1 y un valor de 1840.5 NMP/100 ml siendo este el valor de menor concentración para la muestra del punto 4, cabe mencionar que las concentraciones de coliformes fecales van disminuyendo conforme pasan cada una de las etapas del sistema de tratamiento, esta variación se debe a que el agua que llega al sistema de tratamiento contiene pequeñas concentraciones de agentes químicos utilizados en el proceso como la sosa cáustica y otros productos, lo que ocasiona la muerte de los coliformes fecales. (Naydu & Salcedo, 2010) mencionan que los coliformes son sensibles a los agentes químicos, y que su aplicación puede inactivarlos o removerlos completamente. (TULSMA, 2015) menciona que se debe hacer una remoción o eliminación completa de los coliformes fecales para poder realizar descargas a cuerpos de agua dulce, motivo por el cual este parámetro se encuentra fuera de la norma.

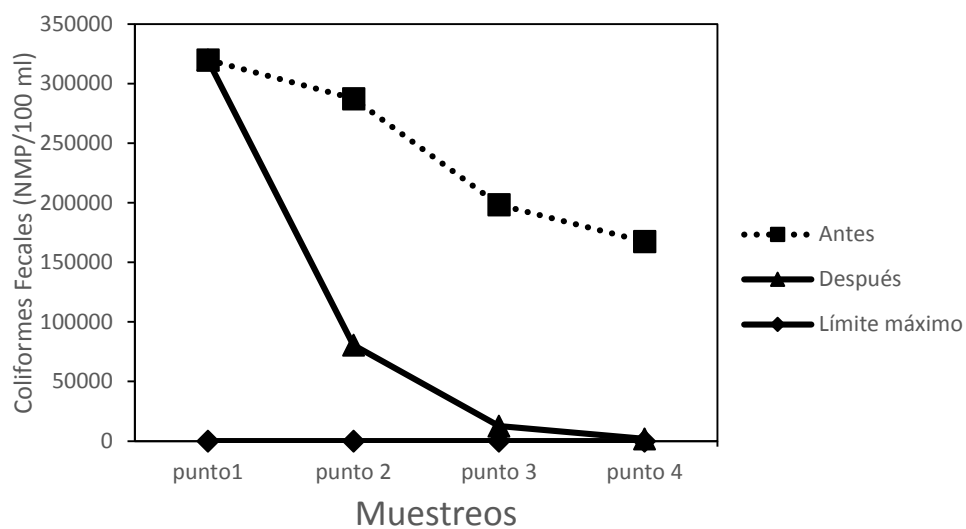


Figura 16. Variación de la concentración de coliformes fecales antes y después del rediseño en los cuatro puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales

A continuación, se presenta en la tabla 14 la comparación de la caracterización de los parámetros físico-químicos y biológicos del agua tratada del sistema de tratamiento a escala de laboratorio con la normativa actual vigente, en la cual se logra evidenciar que la mayor parte de los parámetros evaluados cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA.

Tabla 14. Comparación de los parámetros físico-químicos y biológicos con la normativa actual vigente del agua tratada del sistema de tratamiento a escala de laboratorio.

Parámetros	Unidades	concentración a la salida del sistema	TULSMA	Cumplimiento
Potencial de hidrógeno (pH)	-----	6,8	5,0-9	Si cumple
temperatura	°C	24	<35	Si cumple
Turbidez	NTU	32,5	No aplica	No aplica
Sólidos totales	mg/l	230,87	1600	Si cumple
Sólidos Suspendidos	mg/l	6,21	100	Si cumple
Sólidos Sedimentables	mg/l	1,12	1	No cumple
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)	mg/l	112,74	100	No cumple
Coliformes fecales	NMP/100ml	1840,5	remoción > al 99%	No cumple
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	mg/l	180,9	250	Si cumple
Aceites y grasas	mg/l	0,39	0,3	No cumple

3.5.3 EFICIENCIA DEL REDISEÑO A ESCALA DE LABORATORIO

A continuación, se presenta en la tabla 15 el resumen de los valores obtenidos de la eficiencia con la que operan las lagunas de oxidación a escala de laboratorio, en la cual se observa como la eficiencia aumenta considerablemente para cada laguna de oxidación, debido al correcto diseño realizado del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 15. Resumen del cálculo de la eficiencia

Parámetros	Eficiencia (%)			Eficiencia Total
	Laguna Anaerobia	Laguna Aerobia	Laguna de Maduración	
Sólidos totales	74,1	84,9	85,2	81,4
Sólidos Suspendidos	74,3	84,2	84,7	81,1
Sólidos Sedimentables	74,2	79,2	65,2	72,9
DBO ₅ (Demanda Biológica de Oxígeno)	75,5	84,2	86,5	82,1
Coliformes fecales	74,8	84,5	85,3	81,5
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	75,0	84,1	93,9	84,3
Aceites y grasas	74,5	66,4	67,8	69,5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La descripción cualitativa de la PTAR permitió obtener una línea base sobre las condiciones actuales de funcionamiento, la cual, el diseño arquitectónico y las características físicas y técnicas con las que operan las lagunas de oxidación de la PTAR de la empresa EPACEM, estas no presentan las condiciones correctas debido a que todas las lagunas operan bajo la ausencia de geomembranas, material necesario que impide la infiltración del agua residual industrial contenidas en las lagunas hacia el suelo. La presencia de elevadas cantidades de lodo sedimentados se debe a que la empresa no ejecuta un adecuado plan de mantenimiento

Otro aspecto fundamental por la cual la planta de tratamiento de aguas residuales no opera correctamente es el dimensionamiento realizado para la construcción de las lagunas, ya que las magnitudes que poseen las lagunas de la PTAR son inferiores a las que deberían tener en base a la cantidad de carga contaminante a tratar.

La evaluación realizada de la calidad del agua a través de parámetros físico-químicos y microbiológicos actuales de las lagunas de oxidación permitieron establecer el bajo grado de eficiencia de remoción de la carga contaminante, alcanza el 25,1% sólidos totales y un valor de 19,4% promedio para la remoción de la DBO₅.

El trabajo del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio permitió determinar que los valores de la eficiencia en la remoción de la carga contaminante ascienden considerablemente hasta alcanzar un valor de 81,4% en la remoción de sólidos totales y un valor de 82,1% en la remoción de la DBO₅.

4.2 RECOMENDACIONES

Debido a la constatación de que el sistema de tratamiento de aguas residuales actual presenta muy malas condiciones y que la mayor parte de los parámetros evaluados no cumplen con la normativa ambiental vigente para la descarga a cuerpos de agua dulce se recomienda que la empresa EPACEM adopte esta propuesta tecnológica para que la PTAR pueda operar eficientemente, y así, remover la mayor cantidad de carga contaminante.

Debido a la posible infiltración del agua residual en el subsuelo, se recomienda impermeabilizar con geomembranas la superficie donde se desea construir el rediseño propuesto en el presente trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

- Alvaro, G. (2015). *Universidad San Luis de Potosí*. Obtenido de Modelado y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a5n2/5-2-6.pdf>
- Arbeli, S. (2008). *Biodegradacion de compuestos organicos*. Obtenido de Degradacion de compuestos organicos por medio de bacteria: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v14n1/v14n1a04.pdf>
- Ayala, D., & Carrillo, G. (2014). *Ingenieria, investigacion y tecnologia*. Obtenido de Comportamiento termico del agua : <http://www.elsevier.es/index.php?p=revista&pRevista=pdf-simple&pii=S1405774315000426&r=104>
- Blanco, A. R., & Perez, J. A. (2011). *Campo de la investigacion*. Obtenido de Investigacion cualitativa: http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/enfoque_cualitativo.html
- Buenaño, G. (2015). *Alternativas de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Propuesta tecnologica de un sistema de tratamiento de aguas residuales: Propuesta tecnologica de un sistema de tratamiento de aguas residuales
- CONAGUA. (2016). *Calculos para el diseño de lagunas de estabilizacion*. Obtenido de Carga volumetrica: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>
- Echarri, L. (2007). *Ecologia y Ambiente*. Obtenido de biblioteca.iplacex.cl/RCA/Contaminación%20del%20agua.pdf
- EPACEM. (2017). *Caracterizacion de aguas residuales*. Santo Domingo: Direccion de gestion ambiental.
- Fibras, H. (2016). *Normas de Colombia*. Obtenido de Aspectos que afectan a la variacion de pH: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/lagunas-de-oxidacion-y-los-factores-que-las-afectan/>
- GADPSDT. (2018). *Gobierno Auntonomo Descentralizado Provincial De Santo Domingo*. Obtenido de <http://www.gptsachila.gob.ec/index.php/la-provincia/datos-generales>
- Gardey, A. (2012). *Cinematica y caida libre*. Obtenido de Parametro de altura: http://aplicaciones2.colombiaaprende.edu.co/red_privada/sites/default/files/MOVIMIENTO_DE_CAIDA_LIBRE_0.pdf
- IMNC. (2000). *Instituto Mexicano de Normalizacion y Certificacion*. Obtenido de Aceites y grasas: <http://inesa.com.mx/NORMAS/NORMAS%20AGUA/NMX-AA-005-SCFI-2000.pdf>

- IMNC. (2001). *Instituto Mexicano de Normalizacion y Certificacion*. Obtenido de Oxigeno Disuelto: <http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/nmx-aa-quimicosgpo1.pdf>
- IMNC. (2001). *Instituto Mexicano de Normalizacion y Certificacion*. Obtenido de Determinacion de la turbidez: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa038-01.pdf>
- IMNC. (2006). *Instituto Mexicano de Normalizacion y Certificacion*. Obtenido de Determinacion de Coliformes Fecales: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166804/NMX-AA-102-SCFI-2006.pdf>
- IMNC. (2011). *Instituto Mexicano de Normalizacion y Certificacion*. Obtenido de Demanda Quimica de Oxigeno: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166775/NMX-AA-030-2-SCFI-2011.pdf>
- IMNC. (2015). *Instituto Mexicano de Normalizacion y Certificacion*. Obtenido de Determinacion de Solidos Totales: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>
- Inakal. (2014). *Fisica Avanzada*. Obtenido de Unidad de temperatura: <https://www.inacal.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/5/jer/boletinmetrologia/files/Nueva%20Definicion%20de%20la%20Unidad%20SI%20de%20Temperatura%20el%20kelvin.pdf>
- INEN. (2015). *Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalizacion*. Obtenido de INEN 2169: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89822/D-70117.pdf>
- INMC. (2016). *Instituto Mexicano de Normalizacion y Certificacion*. Obtenido de Determinacion de la temperatura: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>
- Jimenez, A., & Velez, M. (2006). *Avances de recursos hidraulico*. Obtenido de Analisis comparativo de indicadores de la calidad del agua: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v14n1/v14n1a04.pdf>
- Jumapam. (2017). *Junta Municipal Del Agua Potable*. Obtenido de <http://jumapam.gob.mx/cultura-del-agua/distribucion-de-agua-en-el-planeta/>
- Manzur, J. (2015). *Revista cielo*. Obtenido de Tasa anual de evaporacion : <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v61n1/v61n1a7.pdf>
- Naydu, R., & Salcedo, C. (2010). *Revista de articulos cientificos Scielo*. Obtenido de Metodos de inactivación de coliformes fecales : <http://www.scielo.org.co/pdf/unsc/v15n2/v15n2a05.pdf>

- Posada, A., & Camacho, J. (2015). *Pasion por Santa Martha*. Obtenido de Sistema de tratamiento de aguas residuales ineficientes: <https://pasionporsantamarta.com/noticias/las-empresas-no-cumplen-las-normas-ambientales-que-exige-la-ley/>
- Romero, J. (2016). *Quimica ambiental*. Obtenido de Demanda Bioquimica de Oxigeno: <https://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012/05/demanda-bioquimica-de-oxigeno.pdf>
- Ruiz, R. (2014). *Campo de la investigacion*. Obtenido de Metodo de investigacion analitico: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2007a/257/7.1.htm>
- Senasba. (2016). *Toma de muestras*. Obtenido de Guia para el establecimiento de los puntos de muestreos: https://periagua.webmo.info/img_auth.php/7/7f/Guia_para_la_toma_de_muestra_de_agua_residual.pdf
- Simionato, C. (2013). *Investigadores en formacion de recursos hidricos*. Obtenido de Relacion de la turbidez con los Solidos Suspendidos: https://www.ina.gob.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_50.pdf
- Tecsup. (2015). *Conceptos basicos de hidraulica* . Obtenido de Caudal: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/041225/041225-04.pdf>
- TULSMA. (2015). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Norma de la calidad ambiental y descargas a efluentes: <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/Reforma%20Anexo%2028%20feb%202014%20FINAL.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1.
FOTOGRAFIAS DE LA CARACTERIZACION
DE LOS PARAMETROS EN EL
LABORATORIO DE LA UTE



ANEXO 2.
FOTOGRAFÍAS DEL REDISEÑO DE LAGUNAS DE OXIDACION A ESCALA DE LABORATORIO



ANEXO 3.
**FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A
ESCALA DE LABORATORIO**

