



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos (ERIS).

**ANÁLISIS CICLO DE VIDA, LÍNEA LODOS ACTIVADOS, CASO RÍO AZUL,
MIXCO GUATEMALA**

Ing. Celia María Grajeda Figueroa

Asesorado por el Msc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

Guatemala, junio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS CICLO DE VIDA, LÍNEA LODOS ACTIVADOS, CASO RÍO AZUL,
MIXCO GUATEMALA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

ING. CELIA MARÍA GRAJEDA FIGUEROA

ASESORADO POR EL MSC. ING. ADÁN ERNESTO POCASANGRE COLLAZOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
**MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAЕ) EN CIENCIAS
DE INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, JUNIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gomez Donis
SECRETARIO	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS

M. Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	Dr. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS CICLO DE VIDA, LÍNEA LODOS ACTIVADOS, CASO RÍO AZUL, MIXCO GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 19 de septiembre de 2016.

Ing. Celia María Grajeda Figueroa
Correo electrónico: celia_grajeda@yahoo.com
Carné No 100011488

ACTO QUE DEDICO A:

Dios, por su amor y la bendición de la vida, la salud, la familia, por permitirme cumplir mis metas y porque todo se lo debo a él.

Mis padres, por ser un ejemplo de vida, trabajo y lucha, por su amor y esfuerzos para darme educación y formación.

Mi esposo, por su apoyo y comprensión, compañía y solidaridad.

Mis hijas, por iluminar mis días, por inspirarme a ser mejor cada día.

Mis hermanos, por ser mis compañeros de vida y por su apoyo.

Mi suegra, por su apoyo y oraciones.

AGRADECIMIENTOS A:

USAC, por abrir las puertas para la formación profesional.

ERIS, por brindarme los conocimientos para desarrollarme en la especialidad de ingeniería sanitaria y contribuir a la sociedad.

MI ASESOR, Msc. Ing. Adán Pocasangre, por su tiempo y guía para elaboración de la investigación.

MIS COMPAÑEROS, especialmente a Ing. Guillermo Garcia e Ing. Saturnino Ordoñez, por el trabajo en equipo y el ánimo.

LABORATORIO DE QUÍMICA Y MICROBIOLOGÍA “DRA. ALBA TABARINI DE ABREU”, especialmente al Msc. Ing. Zenón Much y al Señor Adolfo Dubón, por la valiosa colaboración durante la realización de los análisis de laboratorio.

EMPRESA RÍO AZUL, por permitirme hacer el estudio en sus instalaciones y brindarme la información necesaria en la investigación.



Guatemala, 11 de junio de 2018

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS):

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de asesor y coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el informe final del Estudio Especial titulado:

**ANÁLISIS CICLO DE VIDA, LÍNEA LODOS ACTIVADOS, CASO RÍO AZUL,
MIXCO GUATEMALA**

Presentado por la estudiante:

Ing. Celia María Grajeda Figueroa

Les manifiesto que la estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio. Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

Msc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría Ingeniería Sanitaria
ERIS / USAC

USAC
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos
-ERIS-

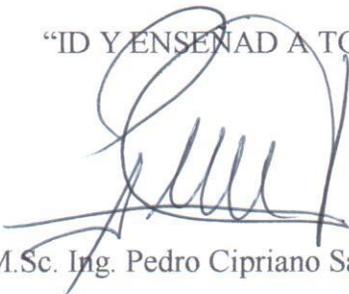


Guatemala, 12 de junio de 2018

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos - ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, M.Sc. Ing. Zenón Much Santos y, Dr. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; M.Sc Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Ruth Nohemí Cardona Mazariegos, Colegiada No.12498, al trabajo de la estudiante Ing. Celia María Grajeda Figueroa titulado: **ANÁLISIS CICLO DE VIDA, LÍNEA LODOS ACTIVADOS, CASO RÍO AZUL, MIXCO GUATEMALA.** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala al doceavo día del mes de junio de 2018.

Imprímase

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
JUSTIFICACIÓN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
HIPÓTESIS.....	XXIII
ANTECEDENTES.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Aguas residuales.....	1
1.2. Tratamiento de aguas residuales.....	2
1.3. Impactos ambientales y sociales generados por el tratamiento de agua residual.....	3
1.4. Características de algunos de los principales compuestos del agua residual.....	5
1.4.1. Sólidos suspendidos.....	5
1.4.2. Materia orgánica biodegradable.....	5
1.4.3. Bacterias.....	5
1.4.4. Nutrientes.....	6
1.5. Proceso de lodos activados.....	6
1.5.1. Descripción del proceso.....	6

1.5.2.	Operación del proceso.....	8
1.6.	Análisis de ciclo de vida	9
2.	UNIVERSO DEL TRABAJO.....	13
2.1.	Descripción del proceso	13
2.1.1.	Fase 1: tratamiento primario.....	14
2.1.2.	Fase 1: tratamiento biológico.....	14
2.1.3.	Fase 3: desinfección.....	15
2.1.4.	Fase 4: estabilización de lodos.....	15
2.1.5.	Fase 5: deshidratación de lodos.....	15
3.	METODOLOGÍA.....	17
3.1.	ACV ambiental.....	17
3.1.1.	Definición de objetivos y alcances.....	17
3.1.1.1.	Unidad funcional	18
3.1.1.2.	Límites del sistema	18
3.1.2.	Análisis de inventario.....	20
3.1.3.	Evaluación de impactos.....	20
3.1.3.1.	Categorización	21
3.1.3.2.	Clasificación.....	22
3.1.3.3.	Caracterización	22
3.1.3.4.	Normalización	23
3.1.4.	Interpretación	24
3.2.	Determinación del ICC.....	24
3.2.1	Curvas de función.....	25
3.2.2	Formulaciones e Índice NSF	25
3.3.	Metodología ACV social	27
3.3.1.	Objetivo y alcance	28
3.3.2.	Alcance.....	28

3.3.3.	Desarrollo de criterios de evaluación.....	28
3.3.4.	Recopilación de datos	30
3.3.5.	Criterios de ponderación de indicadores	31
3.3.6.	Interpretación de resultados	32
3.3.7.	Ponderación de Datos	33
3.3.8.	Ponderación de indicadores	33
3.3.9.	Ponderación de grupos de interés y categorías	34
3.3.10.	Ponderación de ACVS.....	34
3.4.	Evaluación económica.....	34
3.4.1.	Objetivo	35
3.4.2.	Alcance	36
3.4.3.	Unidad funcional	36
3.4.4.	Costos de inversión	36
3.4.5.	Costos de energía eléctrica	38
3.4.6.	Costos de repuestos y mantenimiento	38
3.4.7.	Costos de disposición de lodos	38
3.4.8.	Análisis de resultados	39
3.5.	Evaluación técnica de PTAR en fase operativa.....	39
3.5.1.	Operación y mantenimiento de una PTAR	39
3.5.2.	Manual de operación y mantenimiento	40
4.	RESULTADOS.....	43
4.1.	Resultados de evaluación ambiental.....	43
4.1.2.	Análisis de inventario.....	43
4.1.2.1.	Puntos de muestreo.....	43
4.1.2.1.	Tamaño de la muestra.....	43
4.1.3.	Frecuencia de muestreo y análisis	44
4.1.4.	Datos de inventario	45
4.1.4.1.	Afluente.....	45

4.1.4.2.	Efluente.....	45
4.1.5.	Evaluación de impactos.....	46
4.1.5.1.	Agotamiento de recursos abióticos.....	46
4.1.5.2	Energía	46
4.1.5.3.	Agotamiento recurso abiótico	47
4.1.5.4.	Cambio climático	47
4.1.5.5.	Potencial de calentamiento global	47
4.1.5.6.	Metano.....	48
4.1.5.7.	Determinación de emisión de CO ₂	49
4.1.5.8.	Eutrofización	50
4.1.5.9.	Potencial de eutrofización de afluente	50
4.1.5.10.	Potencial de eutrofización de efluente	51
4.1.5.11.	Determinación de carga contaminante	51
4.1.5.12.	Resumen de categorización	52
4.1.5.13.	Normalización	52
4.2.	Resultados ACV social	54
4.2.1.	Ponderación categoría de trabajadores.....	54
4.2.2.	Ponderación categoría de usuarios	54
4.2.3.	Ponderación categoría de proveedores.....	55
4.2.4.	Ponderación categoría de consumidores	55
4.3.	Resultados de evaluación técnica	56
4.3.1.	Eficiencia de planta de tratamiento evaluada	57
4.3.1.1.	Determinación de caudal	57
4.3.1.2.	Caracterización de entrada.....	58
4.3.1.3.	Caracterización de salida.....	59
4.3.2.	Eficiencia	60
4.3.3.	Evaluación de tecnología de PTAR lodos activados	52
4.4.	Resultados análisis económico planta en estudio	60

5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	63
5.1.	Resultados ACV ambiental.....	63
5.2.	Resultados ACV social	67
5.3.	Resultados ACV técnica.....	70
5.4.	Resultados análisis económico	72
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	77
	ANEXOS	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

I.	Diagrama de procesos de lodos activados.....	7
II.	Vista general PTAR.....	13
III.	Vista aérea ubicación PTAR	19
IV.	Diagrama de etapas de desarrollo de ACV	27
V.	Esquema de cuestionario y ponderación de datos.....	33
VI.	Monitoreo de calidad y temperatura	57
VII.	Matriz energética.....	64
VIII.	Valores de ACV ambiental generado en parque eólico.....	66
IX.	Gráfica de resultado por grupo de interés ACV social.....	69
X.	Clasificación de agua residual, según concentración.....	70
XI.	Eficiencia promedio por parámetro	71

TABLAS

I.	Sistemas de tratamiento de agua residual	3
II.	Categoría de impacto y clasificación ICV	22
III.	Categoría de impacto, clasificación y factor de caracterización	23
IV.	Variables y pesos del ICC	25
V.	Escala de clasificación propuesta para metodología de ICC.....	26
VI.	Descripción y tipo de fuente para recolección de información.....	30
VII.	Categorías e indicadores de interés	31

VIII.	Criterios de ponderación.....	32
IX.	Escala de valores y ponderación.....	32
X.	Ponderación de indicadores	34
XI.	Clasificación de costos	37
XII.	Métodos utilizados y parámetros analizados	44
XIII.	Resultados de inventario de afluente	45
XIV.	Resultados de inventario de efluente	45
XV.	Valores guía recomendados por el IPCC.....	48
XVI.	Calculo de índice de carga contaminante	51
XVII.	Caracterización de efluente.....	52
XVIII.	Normalización de efluente.....	53
XIX.	Ponderación categoría trabajadores	54
XX.	Ponderación categoría usuarios.....	54
XXI.	Ponderación categoría proveedores	55
XXII.	Ponderación categoría consumidores.....	55
XXIII.	Datos de entrada.....	58
XXIV.	Datos de salida.....	59
XXV.	Costos de inversión	60
XXVI.	Costo operativo.....	61
XXVII.	Emisiones y absorciones de GEIs de Guatemala.....	65
XXVIII.	Ponderación ICC	67
XXIX.	Comparación de resultados Norma Guatemalteca-PTAR Río Azul.....	67
XXX.	Resumen de resultados por grupo de interés	69
XXXI.	Escala de categoría.....	71

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ADFi	Factor de agotamiento abiótico
AR	Indicador de agotamiento de recurso abiótico
CH ₄	Tetrahidruro de carbono, metano
CO ₂	Dióxido de carbono
E _{fj}	Factor de emisión
F _i	Factor de caracterización de recurso
GEI	Gas de efecto invernadero
Gg	Gigagramo
HP	Caballos de fuerza
Kg/m ³	Kilogramo por metro cubico
kWh	Kilovatio por hora
MJ	Megajulio
MCF _j	Factor corrector para metano
NMP	Número más probable
NO ⁻³	Nitrato
OD	Oxígeno disuelto
PCG	Potencial de calentamiento global
pH	Potencial de Hidrógeno
PE	Potencial de eutrofización
PO ₄ ⁻³	Fosfato
Sb	Antimonio

SST	Sólidos suspendidos totales
TOW	Total Organic Waste (en inglés)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
XLSTAT	Software estadístico para Excel

GLOSARIO

ACV	<p>El análisis que estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad.</p> <p>Considera toda la "historia" del producto, desde su origen como materia prima hasta su final como residuo.</p>
Autótrofa	<p>Se refiere a los seres vivos que se alimentan por sí mismos y que producen en su interior su propio alimento, lo cual quiere decir que no necesitan buscarlo en el exterior. Sólo las plantas pueden, de este modo, considerarse seres autótrofos.</p>
Bioacumulación	<p>Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en su medio o en los alimentos. En función de cada sustancia, esta acumulación puede producirse, a partir de fuentes abióticas (suelo, aire, agua), o bióticas (otros organismos vivos).</p>
Biogénico	<p>Elemento químico que forma parte de los organismos vivos y que es necesario e indispensable para su desarrollo.</p>

CML	Es una metodología ambiental, elaborada por el Instituto de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden en los países bajos.
DBO	La demanda biológica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.
DQO	La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O ₂ /l).
Heterótrofa	<p>Son los seres vivos que requieren de otros para alimentarse, es decir, que no son capaces de producir su alimento dentro de su organismo si no que deben consumir elementos de la naturaleza ya constituidos como alimentos, ya sintetizados por otros organismos.</p> <p>El término heterótrofo proviene del griego, idioma en el cual el prefijo hetero significa diferente y trofos significa alimentación.</p>

Flóculo	Conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico, físico o biológico.
ICC	Indicador de carga contaminante, que corresponde a la relación entre el nivel de producción y la carga contaminante, que se genera en cierta actividad. El índice fija una cantidad de sustancia determinada que es generada en la actividad productiva en un tiempo considerado.
INSF	Son las siglas del índice de calidad de agua desarrollado por la NSF (Fundación Nacional de Saneamiento), fue diseñado en 1970 y puede ser utilizado para medir cambios en la calidad del agua de determinada fuente y compararla con calidades de agua conocidas.
IPCC	Es el panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, creado en 1988 para facilitar evaluaciones del estado de conocimiento científico, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático, sus causas posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

ISO	La palabra ISO deriva de la palabra griega “ <i>isos</i> ”, que significa “igual”. La definición larga es que las siglas hacen referencia a “Organización Internacional de Normalización” (International Organization for Standardization ”, en inglés). La organización ISO desarrolla Normas Internacionales en materia de productos, servicios, procesos, materiales y sistemas, tanto para la evaluación como la gestión y puesta en práctica de procedimientos.
NSF	La Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), conocida mundialmente como NSF Internacional, es un proveedor líder mundial de soluciones de gestión de riesgos, basadas en la salud pública y la seguridad que sirven los intereses del público, las comunidades empresariales y las agencias gubernamentales. La NSF desarrolla estándares nacionales sistemáticos y consensuados que reúnen a los reguladores, la industria, los consumidores y los expertos en salud pública en el proceso.
Recurso abiótico	Son los distintos componentes que determinan el espacio físico en el cual habitan los seres vivos, son factores inertes que no forman parte o no son producto de los seres vivos, tales como: clima, geología o geografía, etc. presentes en el medio ambiente y cuyo desequilibrio afecta a los ecosistemas.

RESUMEN

El estudio consiste en la evaluación ambiental, social, técnica y económica de una Planta de Tratamiento de agua residual doméstica, a través de la metodología el análisis del ciclo de vida (ACV).

El objetivo de este trabajo fue aplicar el análisis de ciclo de vida (ACV) en un sistema de lodos activados, tanto al afluente como al efluente, de la planta de tratamiento que se encuentra operando en forma regular, y que descarga a una quebrada natural.

Para determinar el impacto se realizaron varias determinaciones, a través de datos teóricos de distintos estudios y datos prácticos recolectados. El estudio brinda datos acerca de los impactos ambientales, producto de la operación del sistema de lodos activados para tratamiento de agua residual doméstica, para su elaboración se realizó una serie de muestreos y determinación de caudal, datos que sirvieron de base para el análisis de eficiencia del sistema y análisis del ciclo de vida ambiental.

Respecto al análisis ambiental, se presentan valores obtenidos para PCG (potencial de calentamiento global), potencial de eutrofización, ICC (índice de carga contaminante), agotamiento de recurso abiótico. Para su determinación, se utilizó como guía las recomendaciones del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) y los cálculos se realizaron con los datos obtenidos con la serie de muestreos realizados para caracterización de entrada y salida.

Los resultados de calidad, muestran una eficiencia promedio de 82.66 % en remoción de parámetros contaminantes, en el aspecto técnico se obtuvo una calificación de 78.5, lo cual según la escala mostrada en la interpretación de resultados, se interpreta como un valor excelente. En el aspecto social, la valoración general de todos los grupos de interés fue de 80.25, calificación catalogada como excelente. En cuanto al análisis económico, se obtuvo un

valor índice de inversión de Q 4,004.56 por vivienda servida y un costo operativo de Q 2.05 por metro cúbico. Se generó valores de caracterización ambiental, por lo que en conjunto se cuenta con datos base para la comparación con otras alternativas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, existen normativas de cumplimiento para las descargas de aguas residuales, las cuales se han reformado cada cierto tiempo, a manera de dar plazos de cumplimiento exigiendo para cada uno de los plazos, mayor calidad en las descargas. Sin embargo, si se compara la normativa nacional con normas internacionales se encuentra que la primera cuenta con límites admisibles, muy por arriba de lo que incluso recomienda OPS para la disposición final de aguas tratadas.

Por lo anterior, considerando que a futuro las normativas pueden sufrir cambios a manera que las exigencias de ley dicten mejor calidad de agua, es necesario contemplar y proyectar los sistemas de tratamiento de manera que se asegure no solo el cumplimiento a leyes actuales, sino su adaptación en el tiempo a posibles reformas y mejoras de calidad que se dicten por ley para protección al ambiente. En este sentido, para selección acertada de alternativa de tratamiento, que sea eficiente en resultados, aceptada socialmente, sostenible técnica y operativamente es necesario realizar un análisis de ciclo de vida, que contemple la interrelación de los distintos aspectos mencionados.

Aunado a lo anterior, se debe analizar los impactos ambientales generados por el desarrollo de determinada alternativa, para contar con información de utilidad para toma de decisiones, es importante para el caso de estudio cuestionar lo siguiente: Es la tecnología de lodos activados conveniente tomando en cuenta los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales?

JUSTIFICACIÓN

La tecnología e información, debe estar al alcance de todos los interesados, por lo que es necesario compartir con base a datos reales y casos en funcionamiento, la estimación general y proyección de implicaciones al optar por uno u otro sistema de tratamiento, considerando la interrelación de la ciencia social (sociología, económica y geografía), con las ciencias naturales (biología, física, química, etc.), así como la gestión y administración.

Al realizar el análisis de ciclo de vida de un caso de tratamiento de lodos activados, como herramienta de gestión ambiental, permitirá diagnosticar y pronosticar impactos al ecosistema, consecuencias en los recursos y salud. Se pretende en la aplicación llevar a cabo las cuatro etapas definidas para un ACV, en el cual se definirán los alcances y objetivos, mediante un inventario de ciclo de vida, evaluación de impactos e interpretación, datos necesarios para servir de base para comparación con otros sistemas de depuración de aguas residuales domésticas.

OBJETIVOS

General

Determinar y evaluar impactos ambientales de la fase operativa de una planta de tratamiento de tecnología lodos activados, para contribuir a la comparación de distintas alternativas de tratamiento de agua residual.

Específicos

- 1 Ponderar el impacto social, aplicando la metodología de análisis de ciclo de vida.
- 2 Estimar el impacto ambiental, utilizando la metodología ACV.
- 3 Realizar análisis económico de la tecnología en estudio, como complemento del ACV.
- 4 Realizar análisis técnico de la PTAR en estudio, para evaluación de eficiencia de funcionamiento.

HIPÓTESIS

El análisis de ciclo de vida del sistema de lodos activados, es una herramienta con la que se logrará evaluar impactos ambientales globales, y aspectos socio-económicos y técnicos asociados, que permitirán determinar si la alternativa de tratamiento estudiada es una buena selección con base a los aspectos evaluados.

ANTECEDENTES

El análisis de ciclo de vida permite tomar decisiones estratégicas, partiendo del estudio de sostenibilidad que contempla tres componentes: medioambiente, economía y aspectos sociales. El ACV es una herramienta que ayuda a determinar beneficios y desventajas del proyecto en análisis.

El ACV está normalizado en la norma ISO 14040:2006, y existen varias metodologías para su aplicación, el presente estudio está basado en la guía de la norma en mención, con modificaciones para simplificar el estudio y adaptarlo a la evaluación del proceso que se desea evaluar. Generalmente se selecciona alternativas de tratamiento basados principalmente en la eficiencia requerida de acuerdo a la caracterización del afluente a tratar, así como los costos operativos y de inversión; sin embargo, se deja de lado los impactos sociales y los ambientales asociados, se considera el tratamiento por sí mismo una solución a un posible impacto negativo generado de aguas sin tratar, se debe tener en cuenta para un análisis más profundo en la selección de sistema, a los aspectos relacionados al cambio climático y eutrofización a manera de contar con valores potenciales de contaminación ambiental,

Dentro de los estudios e investigaciones realizadas en el campo de los ACV, se puede mencionar en el área de tratamiento de agua residual, la tesis del ingeniero Alejandro Rojas, realizada en julio de 2017 titulada: "Análisis de Ciclo de Vida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual de la Universidad de San Carlos", estudio de investigación de tipo puerta a puerta, es decir, el límite fue la fase operativa del sistema, excluyendo la fase constructiva, en dicha investigación, se utilizó una metodología simplificada para la parte ambiental, misma que fue guía para el presente estudio. En referencia a los ACV aplicados a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, existe también una investigación realizada por Flor Hernandez Padilla, de UNAM, quien en enero de 2016, publicó el estudio titulado: "Análisis de Ciclo de Vida como

herramienta de decisión para Tratamiento de Agua Residual en América Latina y el Caribe”, dicha investigación contribuyó generando un inventario de ciclo de vida en América Latina y Caribe en materia de tratamiento de aguas residuales.

INTRODUCCIÓN

El análisis de ciclo de vida ACV es una metodología para evaluar impactos ambientales, de determinado proceso, ya sea involucrando todos los procesos que intervienen en el producto final, desde materias primas hasta residuos o reúsos, lo cual se denomina de la cuna a la tumba, o bien analizando únicamente una fase determinada, lo cual se designa como puerta a puerta.

El ACV, como metodología permite identificar emisiones ambientales del proceso, e impactos sociales, técnicos y económicos que permiten la comparación entre sistemas, permitiendo o facilitando la selección de alternativas.

En el presente estudio se presentan los pasos metodológicos para realizar el ACV de la planta de tratamiento de aguas residuales, línea lodos activados y su aplicación a un caso real, por lo que se lograra determinar los impactos al ambiente del proceso, lo cual será valorado, así mismo se identifican aspectos que puedan afectar o beneficiar a grupos sociales, y como complemento a las conclusiones sobre la sostenibilidad del sistema, se evalúa aspectos económicos y técnicos inherentes al proceso en referencia, para en la última etapa del estudio, concluir con recomendaciones y mejoras que se identifiquen al finalizar el mismo.

Para la investigación, se tuvo acceso a una planta de tratamiento de lodos activados en operación, de la cual se obtuvo una serie de datos de caracterización, tanto de entrada como de salida, mismos que se utilizaron tanto para la parte de evaluación de eficiencia como determinaciones ambientales, de igual manera se tuvo acceso a datos de inversión e insumos utilizados en el proceso, lo cual permitió elaborar el análisis económico, existió información al respecto de proveedores, usuarios, colaboradores, así como datos de operación diaria, mensual y anual, que permitieron realizar los análisis sociales y técnicos.

En el anexo del estudio, se incluyen los cálculos y determinaciones que llevaron a obtener valores y conclusiones de la investigación, generando así una base de datos de ACV para el sistema lodos activados.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Aguas residuales

A las aguas residuales también se les denomina aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, puesto que habiendo sido ya utilizada el agua, se convierten en un residuo, que sin depuración no es utilizable para ningún usuario; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín *cloaca*, alcantarilla), que es el nombre que se le da al colector.

Las aguas residuales pueden tener un origen doméstico o ser una mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, en ocasiones ciertos porcentajes las aguas de lluvia por infiltraciones en los colectores.

Las aguas residuales son una amenaza para el medio ambiente y para la salud de los seres vivos, por lo cual se necesitan sistemas de tratamiento para depurarlas de sustancias contaminantes.

Previo a proceder a su tratamiento, se debe conocer con certeza, su composición lo cual se define como caracterización del agua. De este modo, se conoce los elementos biológicos y químicos presentes, y con esta información se procede a diseñar una planta de tratamiento que funcione adecuadamente.

1.2. Tratamiento de agua residual

La depuración del agua residual, que tiene como objetivo eliminar la contaminación presente en el agua, la cual puede estar suspendida o disuelta, y de esta manera, poder disponerla o reutilizarla, sin generar impactos negativos. Lo anterior, debido a que en su composición hay sólidos suspendidos y disueltos, que a su vez contienen materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, grasas y aceites, sustancias tóxicas, así como virus, bacterias y protozoos.

Para lograr la depuración, es necesario llevar a cabo, varias operaciones unitarias, para lo cual previamente es necesario realizar estudios de diseño, y aplicar metodologías, que identifiquen el tratamiento ideal, según las características del agua residual y según los valores a los cuales se necesite cumplimiento.

En los procesos de tratamiento, la materia presente, sufre una serie de transformaciones físicas, que naturalmente puede dar resultado a subproductos y/o emisiones, según la tecnología aplicada.

Para la determinación del sistema más apropiado, se recomienda:

- Caracterizar las aguas residuales
- Definir el objetivo del tratamiento
- Determinar carga contaminante
- Evaluar requerimientos e insumos de la alternativa (costos)
- Evaluar la operación y mantenimiento

Los sistemas disponibles para la depuración, resaltan dos grandes grupos: tratamientos biológicos y los fisicoquímicos, dentro de los grupos mencionados, existen varias opciones, que se mencionan a continuación:

Tabla I. Sistemas de tratamiento de agua residual

FISICOQUIMICOS	BIOLOGICOS	
Filtracion	Aerobios	Lodos Activados
Tamizado		Filtro Percolador
Sedimentacion		Discos biologicos rotatorios
Flotacion		Filtro sumergido
Adsorcion	Anaerobios	Fosa Septica
Absorcion		Tanque Imhoff
Oxidacion Quimica		Filtro Anaerobio
Filtracion con membranas		Reactor de flujo ascendente
Coagulacion-Floculacion-Sedimentacion		Reactor de lecho expandido
Precipitacion		Lagunas
Intercambio Ionico		

Fuente: Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, UNAM 2013.

1.3. Impactos ambientales y sociales generados por el tratamiento de agua residual

Aún y cuando los sistemas de depuración de agua residual, tiene como objetivo mitigar la contaminación ambiental, pueden debido al proceso, y a los insumos que se requieran para el tratamiento o bien si las aguas no son tratadas adecuadamente, previo a su disposición final, generar impactos negativos o peligros ambientales tales como:

1. Contaminación de manto freático, por deficiente remoción de materia orgánica, inorgánica, nutrientes, bacterias, entre otros.
2. Peligros para la vida acuática, en caso exista alta presencia de sólidos, ya que se disminuye la cantidad de oxígeno, de igual manera hay peligro en

caso de presencia de sustancias tóxicas, ya que pueden provocar bioacumulación de tóxicos en la cadena alimenticia.

3. Malos olores, por operación o mantenimiento deficiente o inadecuado, así como por mal diseño.
4. Un alto contenido de nutrientes puede generar eutrofización, si la descarga llega a una fuente de agua.
5. Los desechos sólidos, que puedan estar presentes en los lodos primarios o secundarios, pueden contaminar el suelo si no se manejan adecuadamente.
6. Molestias y peligros para la salud pública.

Siendo las plantas de tratamiento, una medida de mitigación para la contaminación ambiental, ante la generación de desechos, con una adecuada gestión, produce grandes beneficios y efectos positivos, dentro de los cuales se tiene:

- Si su operación y resultados son adecuados, disminuye las molestias y peligros en la salud de la población del área servida.
- Mejora de la calidad de las aguas receptoras, por lo cual se incrementa el potencial de uso de dichas aguas.
- Conservación de espacios ecológicos, manteniendo el equilibrio del ecosistema.
- Evitan los efectos de los contaminantes en el entorno ambiental.

1.4. Características de algunos de los principales compuestos del agua residual

1.4.1. Sólidos suspendidos

Generan depósitos de lodo, que provocan condiciones anaeróbicas en caso el agua sin tratar se descargue en alguna fuente de agua.

1.4.2. Materia orgánica biodegradable

Medida en término de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y demanda química de oxígeno (DQO), lo originan las proteínas, carbohidratos y grasas. Cuando la materia orgánica está presente en un ambiente acuático, se da naturalmente una estabilización biológica, mediante consumo de oxígeno natural, provocando entonces su presencia, el desarrollo de condiciones sépticas.

1.4.3. Bacterias

Las bacterias son microorganismos unicelulares. Según su fuente de alimentación, las bacterias pueden ser autótrofas (crecen en medios inorgánicos) o heterótrofas (dependen de compuestos orgánicos para alimentarse). En el agua residual las bacterias más importantes son heterótrofas.

Otra importante distinción entre bacterias viene dada por su necesidad de oxígeno disuelto. Se llaman bacterias anaerobias aquellas que no pueden vivir en presencia de oxígeno, y bacterias aerobias a las que no pueden vivir en ausencia de oxígeno. Por último, las bacterias facultativas son las que se adaptan a la presencia o ausencia del oxígeno, y viven tanto en medio aerobio como anaerobio.

Entre las bacterias presentes en el agua residual urbana, a las que hay que prestar mayor atención son las bacterias patógenas o causantes de enfermedades.

Puesto que el tiempo y recursos necesarios para identificar cada una de las bacterias presentes en el agua residual son muy elevados, generalmente se determinan otras especies no patógenas, fáciles de identificar, y que dan una idea de la importancia de la contaminación fecal del agua residual. Las bacterias que suelen utilizarse con este fin son los coliformes totales y fecales.

1.4.4. Nutrientes

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento, si estos llegan a un ambiente acuático, producen un crecimiento excesivo de algas en el cuerpo receptor, conocido como “eutrofización”.

1.5. Proceso de lodos activados

El proceso de lodos activados, se desarrolló en Inglaterra, y su nombre se debe a la producción de masa activada de microorganismos, que tienen la capacidad de estabilizar residuos por vía aerobia.

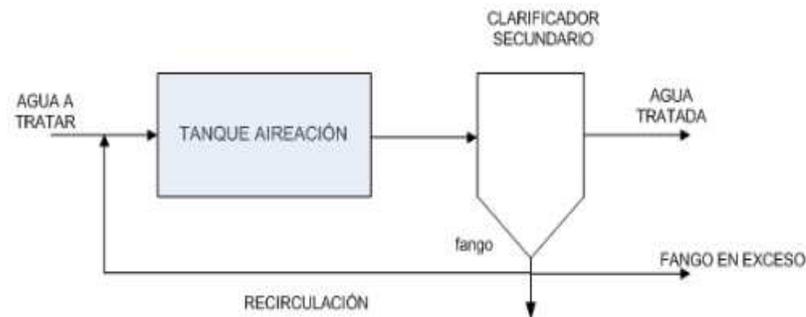
El diseño de las plantas de este tipo, inició de forma empírica, naciendo de la observación que si el agua residual, era sometida por un período de aireación, el contenido de materia orgánica, se reducía y formaba un lodo flocculento.

De acuerdo a los exámenes microscópicos del lodo activado, este está conformado por población de microorganismos, que sufren cambios continuos, de acuerdo a la composición del agua residual y a condiciones de ambiente.

1.5.1. Descripción del proceso

El proceso convencional de lodos activados, funciona de acuerdo al siguiente diagrama:

Figura 1. Diagrama proceso lodos activados



Fuente: elaboración propia.

Los lodos activados están formados por flóculos principalmente de materia orgánica, procedente de las aguas residuales, los lodos activados con sus organismos vivos absorben la materia orgánica coloidal y disuelta, reduciéndose de esta manera la cantidad de sólidos suspendidos.

La generación de lodos activados, es un proceso lento, para lograr un tratamiento adecuado de las aguas, es necesario recolectar los lodos producidos y usarlos nuevamente, es decir recircularlos. Esto es un proceso acumulativo por el cual, se va produciendo mayor cantidad de lodos activados, para evitar una acumulación excesiva, se retira una parte continuamente del proceso, y esta parte de lodo, se acondiciona para su disposición final.

Los lodos activados deben permanecer en suspensión durante el período de contacto con las aguas a tratar, se logra mediante agitación.

Las etapas del proceso son las siguientes:

- Mezclado de lodos activados con aguas residuales a tratar.
- Aireación y agitación del licor de mezcla, durante el tiempo que sea necesario.
- Separación de lodos activados del licor de mezcla
- Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados, para mezclarse con aguas residuales frescas.
- Disposición del lodo activado en exceso.

1.5.2. Operación del proceso

Los detalles operativos, varían en cada planta, según factores como temperatura, caracterización, requerimientos de descarga, entre otros. Por lo que las generalidades que deben tenerse en cuenta para la operación de un sistema de lodos activados, es lo siguiente:

Es necesaria una aireación suficiente, para mantener un contenido de oxígeno disuelto de al menos 2 mg/litro en todo tiempo a través del volumen total de los tanques de aireación.

Es necesario que haya oxígeno disuelto durante todo tiempo en las aguas en tratamiento.

Los lodos activados deben recircular continuamente, del sedimentador al tanque de aireación.

El contenido de sólidos suspendidos, en los tanques de aireación, puede ser controlado por la cantidad de lodos que se recirculen. Es recomendable eliminar el exceso continuamente en pequeñas porciones, o a intervalos frecuentes, en vez de hacerlo en grandes cantidades de una sola vez. Los lodos que se mantengan demasiado tiempo en el tanque de sedimentación final, se pueden volver sépticos por agotamiento de oxígeno disuelto.

1.6. Análisis de ciclo de vida

El análisis de ciclo de vida, es una herramienta de estrategia de sostenibilidad o de gestión ambiental , utilizada para medir el impacto de determinado proyecto, a diferencia de un estudio de impacto ambiental, el cual contempla los tres componentes de sostenibilidad (medioambiente, economía y sociedad), el ACV contempla principalmente el factor medioambiental y en menor escala aspectos socio-económicos y técnicos.

El ACV puede ser aplicado para pronóstico y diagnóstico de proyectos, evaluando daños al ecosistema, consecuencias en los recursos y en la salud. Este análisis evalúa impactos globales tal como el efecto invernadero, agotamiento de recursos, acidificación, contaminación del ecosistema, y aspectos sociales y económicos, mas no de forma directa.

El desarrollo de la metodología ACV, inició en Estados Unidos en la década de los setenta, actualmente la EPA (Agencia de Protección Ambiental), promueven acuerdos generales sobre su estructura, por lo que han desarrollado talleres para que exista información estándar de los resultados de análisis de inventario y de evaluación de impacto de ciclo de vida. Al igual que la entidad mencionada, la Organización de Normas Internacional ISO, han realizado esfuerzos para estructurar el ACV, logrando un acuerdo general para el planteamiento de la estructura global y una metodología definida.

De acuerdo a la norma ISO:14040 la herramienta, cuenta con cuatro etapas:

- Definición de objetivos y alcance
- Inventario de ciclo de vida
- Evaluación de impactos de ciclo de vida
- Interpretación

La etapa de definición de objetivos y alcances del estudio, es en donde se definen los límites y propósito de la evaluación del sistema, y se detallan que es lo que quedara fuera del alcance es decir, será excluido.

Para realizar comparaciones de servicio de los productos con un ACV, es necesario contar con una unidad funcional, debido a la naturaleza global del ACV se debe establecer límites para determinar que procesos se incluirán dentro del análisis a manera que no resulte de una extensión demasiado grande.

Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y las limitaciones económicas y el destinatario previsto.

En el análisis de inventario del ciclo de vida, se definen las entradas y salidas de recursos así como de emisiones relacionadas a la unidad funcional, el inventario equivale a enlistar las cantidades de contaminantes que se liberan al ambiente y los materiales e insumos consumidos en el ciclo de vida del proyecto o producto. El análisis de inventario del ciclo de vida (ICV), comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema del producto, tomando como referencia la unidad funcional.

La etapa de evaluación de impactos, es donde se cuantifica la magnitud de impactos potenciales sobre el ambiente, generados en el sistema en estudio, utilizando los resultados del análisis de inventario. De acuerdo a la norma ISO 14:040, la evaluación de los impactos se realiza mediante la clasificación y caracterización que son elementos obligatorios, para obtener el perfil de evaluación de impactos. Mientras que la normalización y la ponderación son optativas debido a cierta subjetividad en cuanto a las diferencias de percepción de impactos, según la región en que se realice la evaluación, el nivel de detalle,

la elección de impactos que serán evaluados dependerá del objetivo y alcance definido.

La clasificación, corresponde a los datos de inventario de las distintas categorías de impacto; calentamiento global, eutrofización, índice de carga contaminante, entre otros.

La caracterización son los cálculos del indicador del impacto en correspondencia a cada categoría de impacto seleccionada, para lo cual se usan factores de caracterización.

La normalización, es la determinación de la magnitud del indicador de impacto, para lo cual se utiliza información de referencia, previamente caracterizada.

Por último, está la etapa de interpretación de resultados de evaluación de acuerdo a los objetivos establecidos.

El análisis de ciclo de vida que toma en cuenta todas las entradas y salidas, de todo el proceso a lo largo de toda su vida, se denomina “de la cuna a la tumba”, al ACV que únicamente contempla la parte operativa del proceso, es denominada “de puerta a puerta”, puesto que al ser una herramienta compleja, necesita mucho tiempo para ser ejecutada, sin embargo, existe una metodología más reducida que se conoce como ACV simplificado.

2. UNIVERSO DEL TRABAJO

La planta del análisis de ciclo de vida, del presente estudio, corresponde a una planta que opera bajo el sistema de lodos activados, y da servicio a descarga residual doméstica, proveniente de un sector residencial de Condado Naranjo, zona 4 de Mixco, Guatemala, la cual es operada por la empresa Río Azul, y la misma se identifica como planta de tratamiento de aguas residuales del sector norte de Condado Naranjo. Actualmente presta servicio a un aproximado de 700 familias. Dicha planta cuenta con capacidad para tratar 750 metros cúbicos al día, y actualmente según medición de caudal realizada, trata un caudal promedio de 531.27 metros cúbicos al día. Considerando una dotación de agua potable de 200 litros por persona por día, y un factor de retorno del 75 %, se estima que está diseñada para una población de 5000 personas. La planta se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas: 14°39'54"N, 90°32'19.14"O, y altitud 1492 metros.

Figura 2. **Vista general PTAR**



Fuente: Empresa Operadora Río Azul, Condado Naranjo.

2.1. Descripción del proceso

Las etapas o fases de tratamiento que se llevan a cabo en dicha planta, son las siguientes:

2.1.1. Fase 1: tratamiento primario

Canal de Rejas: Consiste en una unidad con rejillas gruesas, formadas por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, cuya función es retener sólidos gruesos en suspensión y cuerpos flotantes tales como plásticos, trozos de madera, trapos y otros.

Trampa de grasa: En esta unidad, se separan por densidad, las grasas y aceites bajo el efecto de la gravedad.

2.1.2. Fase 2: tratamiento biológico para la remoción de la contaminación orgánica disuelta y de partículas muy finas

Tratamiento Biológico (lodos activados): Una vez que el agua ha pasado la fase 1, es conducida hasta el tanque de aireación, donde es insuflado el aire por medio de un soplador y difusores de burbuja fina, para la dispersión del aire, en todo el volumen de agua en tratamiento.

Sedimentador: Posterior a la etapa de aireación, la mezcla de lodo y agua ya tratada, es conducida al tanque de sedimentación o clarificación. Este tanque tiene la finalidad de separar el agua tratada de los “lodos activados”, los cuales por gravedad, se depositan o sedimentan en el fondo del tanque.

Para mantener un balance adecuado de lodos en el sistema, una parte de estos se recirculan al tanque de aireación. El exceso de lodos que no reingresa al sistema, es retirado periódicamente para evitar una acumulación excesiva de

los mismos. Este lodo en exceso es conducido a un tanque especial de digestión de lodos, donde se continúa con su estabilización para reducir su volumen y facilitar el manejo posterior del mismo.

2.1.3. Fase 3: desinfección

Cloración: El agua tratada y clarificada proveniente del sedimentador es conducida a un tanque de desinfección, donde las bacterias patógenas son destruidas con la finalidad de obtener una calidad de agua que cumpla con los parámetros de descarga establecidos en la legislación vigente.

2.1.4. Fase 4: tratamiento biológico para estabilización y manejo adecuado de lodo

Digestión de lodos: En el tanque de almacenamiento de lodos se reciben los lodos en exceso provenientes del tanque de aireación, a estos lodos se les insufla aire por medio de difusores con lo cual el lodo se va espesando y se continua degradando, cada cierto tiempo el lodo estabilizado, es retirado del tanque de lodos hacia el sistema de deshidratación.

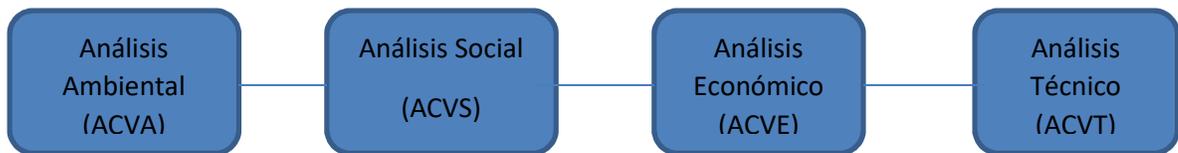
2.1.5. Fase 5: deshidratación del lodo

Filtro prensa: Esta última fase tiene la finalidad de deshidratar el lodo y reducir considerablemente su volumen de tal manera que permita un fácil manejo una vez que este sea retirado del sistema de tratamiento. Esta operación, se realizará por medio de un filtro prensa. Estos lodos son estabilizados y no emanan malos olores.

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describen los procedimientos utilizados para los distintos aspectos evaluados, con base en el método ACV modificado, en el que se incluyen análisis social, técnico y económico, obteniendo valores para cada uno de los análisis, mismos que servirán para la comparación de alternativas.

El esquema utilizado es el siguiente:



3.1. ACV Ambiental

El análisis de ciclo de vida, es el uso de varias técnicas que tienen la finalidad de evaluar el impacto ambiental y la relación con otras disciplinas, como la economía, sociología, etc.

Fase I

3.1.1. Definición de objetivos y alcances

Objetivos

Cuantificar el impacto ambiental del proceso de tratamiento de agua residual operada bajo el sistema de lodos activados.

Identificar los impactos ambientales, sociales y los aspectos técnicos y económicos asociados.

3.1.1.1. Unidad funcional

Considerando que el objetivo del estudio es cuantificar impactos, y los alcances se limitan a los resultados del proceso de tratamiento de agua residual. Se requiere una cuantificación o medición de las funciones del proceso, para tener datos base de este estudio que funcionen, para comparación con otros sistemas de depuración, es necesario definir o estandarizar un indicador, para este caso, la unidad funcional será el metro cúbico.

3.1.1.2. Límites del sistema

Para la determinación de impactos, se tomará en cuenta únicamente el proceso de depuración, desde su entrada hasta la salida, evaluando la eficiencia del proceso, así como los impactos ambientales, sociales y aspectos socio-económicos, únicamente del proceso de operación del sistema.

El estudio se limita a la fase de operación, excluyendo la etapa de recolección, conducción y disposición final, considerando que serán muy particulares y tomando como referencia que, según Bizkai-Lab (2012), en su estudio “Metodología para el análisis de ciclo de vida, para una depuradora de aguas residuales”, numerosos autores afirman que la fase de construcción de alcantarillado y la planta en sí, contribuyen en menos del 0.5% de la carga ambiental total, por lo cual el impacto ambiental mayor, se da en la fase operativa.

Consideraciones:

El sistema evaluado comienza con la entrada del afluente a la planta de tratamiento, éste termina con la salida en la unidad de desinfección, para el desecho líquido.

Debido a la configuración física y secuencia de procesos, en los que no es factible tomar muestra por etapa del proceso, ya que existen vasos comunicantes entre cada unidad, únicamente se analiza entrada y salida.

Límite geográfico

La planta evaluada se encuentra en el sector noreste dentro del desarrollo Condado Naranjo, en zona 4 de Mixco, Guatemala.

Figura 3. **Vista aérea ubicación de PTAR**



Fuente: Google Earth.

FASE II

3.1.2. Análisis de Inventario

Este se obtiene mediante la recopilación de información (memorias de cálculo, planos, análisis de laboratorio de referencia), así como los cálculos y

procedimientos que permiten identificar y cuantificar los efectos asociados a la unidad funcional (metro cúbico)

Parámetros tecnológicos y de evaluación: el inventario contempla las entradas y las salidas del proceso. Los datos con los que se cuenta para el presente estudio son: caracterización del agua de entrada y salida, caudal tratado, dato de campo del consumo de energía eléctrica consumida, fuente de energía eléctrica y volumen de lodos generados.

Para la caracterización, los parámetros fisicoquímicos determinados en campo fueron: pH, temperatura, oxígeno disuelto y en laboratorio, se determinó la demanda química de oxígeno DQO, demanda bioquímica de oxígeno DBO5, sólidos suspendidos totales, coliformes totales, nitratos y fosfatos.

FASE III

3.1.3. Evaluación de impactos

De acuerdo a la descripción de la Norma ISO 14044, la tercera fase de un ACV, es la evaluación de impactos, en esta etapa se valoran los impactos potenciales al ambiente y a la salud. Para ello, se partirá del inventario de la fase II, y se obtendrá datos base, que permitirán comparar alternativas de tratamiento de agua residual.

Para la realización de la evaluación de los impactos de ciclo de vida de la planta de tratamiento de aguas residuales, modalidad lodos activados, se utilizó la metodología “CML 2001” elaborada por el Instituto de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden en los países bajos, la cual para efectos del presente estudio, será simplificada y modificada.

3.1.3.1. Categorización

La metodología consiste, como primera etapa de la evaluación de impactos, en categorizar las cargas “ambientales” de cada uno de los parámetros mencionados en el análisis de inventario, para lo cual previamente se debe seleccionar las categorías de impacto, relacionadas al proceso de depuración del estudio, las categorías seleccionadas son las siguientes:

Agotamiento de recursos abióticos – Consumo de recursos energéticos

Cambio Climático- Metano

Eutrofización- Nitratos y fosfatos

Índice de carga contaminante-Demanda Bioquímica de Oxígeno, sólidos suspendidos totales, temperatura, potencial de hidrogeno, oxígeno disuelto, coliformes fecales.

3.1.3.2 Clasificación

Luego del paso anterior, se procede a asignar los resultados del inventario de ciclo de vida asociados al impacto.

Tabla II. **Categoría de impacto y clasificación ICV**

Categoría de impacto	Clasificación
Agotamiento de recursos abióticos	Energía (kwh)
Cambio climático	CH ₄ , CO ₂
Eutrofización	PO ₄ ⁻ , NO ₃ ⁻
Carga contaminante	DBO5
	SST
	Coliformes Fecales
	OD
	Temperatura
	pH

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.3. Caracterización

En esta etapa, se calculan los resultados de los indicadores de categoría, que corresponde al perfil de la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida. Los factores de caracterización de cada parámetro, representan la contribución de un parámetro a una determinada categoría de impacto en relación al parámetro de referencia en dicha categoría, luego cada parámetro es multiplicado por su correspondiente factor de caracterización, así se logra obtener valores con unidades equivalentes, los cuales pueden ser sumados para medir la contribución de las sustancias a esa categoría de impacto.

Tabla III. **Categorías de impacto, clasificación y factor de caracterización**

Categoría de impacto	Clasificación	Factor de caracterización
Agotamiento de recursos abióticos	Energía (kwh)	Cantidad consumida
Cambio climático	CH ₄ y CO ₂	Potencial de calentamiento global (PCG)
Eutrofización	PO ₄ ⁻ , NO ₃ ⁻	Potencial de eutrofización
Carga contaminante	DBO ₅	ICC
	SST	
	Coliformes Fecales	
	OD	
	Temperatura	
	pH	

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.4. Normalización

La normalización consiste en la evaluación de la significación del perfil ambiental generado en los pasos anteriores, mediante el establecimiento del peso de cada categoría. Esta etapa permite la adimensionalización de las categorías y la comparación entre las mismas.

Simplificando, es el cálculo de la magnitud del indicador de impacto, usando de referencia las emisiones de un área determinada, previamente caracterizadas. Los factores resultantes, representan el grado de contribución de cada categoría de impacto sobre el problema medioambiental local.

FASE IV

3.1.4. Interpretación

La interpretación en un ACV, es la fase en la que se identifican, cuantifican, se evalúa y verifica los resultados del inventario del ciclo de vida y la evaluación del impacto.

De la interpretación de los resultados, se obtendrá, conclusiones y recomendaciones para posibles mejoras.

3.2. Determinación de ICC

Para determinar el índice de carga contaminante – ICC en las aguas residuales, con el objetivo de identificar un valor que considere varios parámetros dentro de la evaluación de los impactos de ciclo de vida de la planta de tratamiento de aguas residuales, que opera bajo la modalidad de lodos activados, en Condado Naranja. Se aplica las siguientes dos metodologías:

- 1) el índice de calidad de agua desarrollado en 1970, por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, la cual utilizó la técnica de investigación Delphi de la “Rand Corporation’s”.
- 2) el índice de calidad de agua para el Río Des Moines, que se dio a partir del índice NSF, en consideración a su amplia aplicación.

En estas metodologías se utiliza comúnmente los paneles de expertos. El índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF), tiene la característica de ser un índice multiparámetros, y se basó en tres estudios para definir concretamente la metodología y las “relaciones funcionales” o “curvas de función”. Los niveles de calidad de agua tienen una rango de 0 a 100 localizadas en las ordenadas y los diferentes niveles de las variables en las abscisas.

3.2.1. Curvas de función

Para las curvas de función, los investigadores promediaron todas las curvas para producir, de la misma manera, una curva promedio para cada contaminante. Luego las curvas fueron graficadas a través del uso de la media aritmética con un límite de confianza del 80 % sobre este valor medio.

Las curvas de clasificación o curvas de funciones (gráficas) determinan el subíndice para cada parámetro y posteriormente éste es multiplicado por el factor de ponderación que indica la importancia que las variables tienen para la calidad de agua. Por definición, la suma de los factores debe ser 1.

Las gráficas correspondientes por parámetros, se incluyen en el anexo.

3.2.2. Formulaciones y cálculo del índice NSF

Para la estimación del peso de los índices, se calculó con los promedios aritméticos de las valoraciones de todas las variables, teniendo en cuenta las valoraciones dadas por los expertos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, USAC (2017); los pesos finales de cada parámetro, están determinados dividiendo el peso temporal dividido individualmente entre la suma de los pesos temporales, produciendo los siguientes índices:

Tabla IV. **Variables y pesos del ICC**

Variables y pesos del ICC	
Oxígeno disuelto	0.19
Coliformes fecales	0.17
pH	0.13
Variación de Temperatura	0.12
Solidos suspendidos	0.16
DBO5	0.23

1

Fuente: elaboración propia, con base a información de panel de expertos, ERIS-USAC 2017.

Para calcular el índice de carga contaminante, se usó una suma lineal ponderada de subíndices. El resultado de su aplicación, debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua fuertemente contaminada y 100 representa la calidad de agua aceptable. Se debe recordar que una vez obtenido el valor Q de la curva, se multiplicó por su factor de ponderación para obtener el subtotal, puntaje parcial.

En caso no se tenga el dato de alguna de las variables, el valor total del índice se puede calcular por la distribución de su peso entre las demás variables y su posterior recálculo.

Posteriormente, el resultado final es interpretado de acuerdo con la siguiente escala de clasificación, propuesta por en la metodología ICC, bajo el concepto que la descarga es agua tratada, que debe cumplir con los valores permisibles por las leyes nacionales e internacionales, que para el caso del presente estudio, descarga a una quebrada natural, por lo que se debe tener en cuenta el potencial de aprovechamiento del efluente para distintos usos:

Tabla V. **Escala de clasificación propuesta para metodología ICC**

ICC	
Descripción	Rango
Fuertemente contaminada	0-25
Contaminada	26-50
Aceptable	51-75
Excelente	76-100

Fuente: elaboración propia.

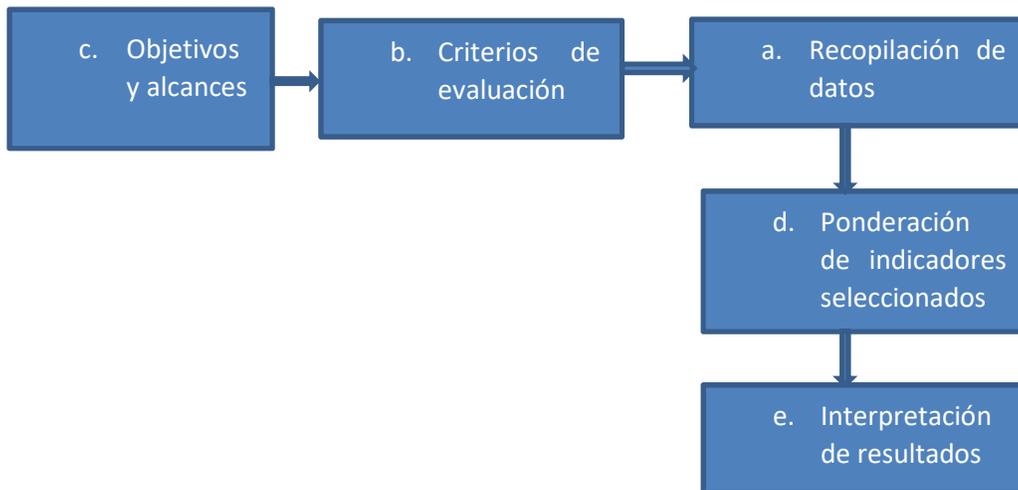
3.3. Metodología ACV social

Con la finalidad que el ACV, sea un estudio integral, se incorporará al estudio el ACVS, para el cual se utilizará una metodología que tiene su origen en las “Líneas Directrices para un Análisis de Ciclo de Vida Social” del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, UNEP(2009).

Estas líneas directrices fueron adoptadas por la tesis doctoral: “Metodología para evaluar el desempeño de la infraestructura en el contexto de la sustentabilidad urbana” de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM (2015).

Con esta metodología se pretende evaluar los impactos sociales, que genera una planta de tratamiento de aguas residuales. El ACVS se desarrolla por medio de las siguientes etapas:

Figura 4. Diagrama de etapas de desarrollo de ACV



Fuente: elaboración propia, con base a propuesta de UNEP 2009.

3.3.1. Objetivo

Evaluar los impactos sociales e identificar amenazas al bienestar social que la operación y funcionamiento de la planta de tratamiento en estudio, pudieran generar a los usuarios finales, y a los empleados, así como algunos proveedores involucrados en el proceso.

3.3.2 Alcance

El estudio social se centrará en la actividad directa que se lleva a cabo en el perímetro de la planta, y se describirá el proceso en cada unidad en las que interviene el personal. Se hará una descripción del entorno social y urbano, con la finalidad de identificar características del usuario final y los impactos por los cuales pudieran verse afectados.

La aplicación y análisis se limita a la fase operativa de la planta de tratamiento y al potencial de reúso del agua ya tratada.

3.3.3 Desarrollo de criterios de evaluación

Para esta etapa, es necesario realizar una clasificación en categorías de impacto, que en este caso sería el funcionamiento y operación identificar grupos y clasificar los grupos, según impactos comunes.

Los grupos pueden estar conformados por personas que tengan intereses comunes o que se vean afectados de alguna de la planta de tratamiento, línea lodos activados.

Como parte de la metodología propuesta, se utilizará un indicador de desempeño, el cual tendrá como función, medir variables, para verificar el cumplimiento de los objetivos.

Para determinar, tanto los grupos como los indicadores de desempeño, relacionados a la gestión de la planta de tratamiento, se tomó como referencias las directrices de la UNEP (2009), de los cuales se obtuvieron 3 grupos de interés y 18 indicadores de desempeño, siendo los siguientes:

Trabajadores: Contempla a los operadores de la planta de tratamiento, los cuales son los encargados de la limpieza diaria de la planta, quienes tienen la atribución exclusiva de operar la planta y realizar mantenimientos de rutina y limpieza.

Asimismo contempla al supervisor, quien tiene como función principal, monitorear y apoyar a los operadores, monitorear el proceso de la planta de tratamiento, programar los mantenimientos de equipos, coordinar las tomas de muestras y análisis de laboratorio, extracción de basura y servicios externos que se requieran.

Usuarios: Son los residentes en el área, a los cuales se les presta el servicio de suministro de agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Consumidores: Se refiere a las personas o empresas que pudieran hacer uso de algún subproducto o producto final del proceso (agua tratada o lodo), sin embargo no existe reúso de agua, ni aprovechamiento de lodos de manera comercial, por lo cual para el presente estudio, únicamente se realizó la ponderación con base al potencial de reúso, que tienen los subproductos finales por sus características.

Proveedores: Se considera a las empresas que brindan el soporte técnico para la parte eléctrica y mecánica, de los equipos con los que cuenta la planta, así como los laboratorios que prestan servicio de análisis de agua, y aquellos que suministran implementos (herramienta, equipo de seguridad, repuestos, etc.)

3.3.4. Recopilación de datos

Es la etapa de recabar información, e interpretarla de manera, que sea información útil.

El procedimiento para la obtención de datos, será mediante entrevistas y cuestionarios en los que se solicitará apoyo a los operadores, supervisores, usuarios, personas de contacto de proveedor de servicios (equipo y laboratorio).

Para validar la veracidad de la información recabada, se hará cruce de información de los distintos grupos identificados.

La redacción de las preguntas, tanto para entrevista como cuestionarios, deber ser la más clara posible y directa, de esta forma se interpretará la información objetivamente.

En este caso la información proviene de:

Tabla VI. **Descripción y tipo de fuente para recolección de información**

No.	Descripción	Fuente
1	Observación directa	Visitas de campo a la PTAR
2	Entrevistas	Trabajadores, Jefe, Responsable de la PTAR
3	Cuestionarios	Personas seleccionados al azar de la población total

Fuente: elaboración propia.

Para obtener la información necesaria, se deben considerar los grupos de interés y sus indicadores. Como se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Tabla VII. **Categorías e indicadores de interés**

No.	Categorías de interés	No.	Indicadores
1	Trabajadores	1.1	Horas de trabajo
		1.2	Salud y seguridad
		1.3	Libertad de asociación colectiva y beneficios sociales
		1.4	Salario justo
		1.5	Disponibilidad de documentación de la PTAR
		1.6	Capacitación
		1.7	Programa de monitoreo
		1.8	Materiales y equipo
2	Usuarios	2.1	Seguridad y condiciones de vida saludable
		2.2	Compromiso de la comunidad
		2.3	Aceptación social
		2.4	Participación pública
		2.5	Empleo local
		2.6	Contribución al desarrollo económico
		2.7	Compromiso público con temas de sustentabilidad
3	Consumidores	3.1	Satisfacción del consumidor
		3.2	Mecanismo de retroalimentación
		3.3	Calidad del efluente
4	Proveedores	4.1	Competencia justa
		4.2	Relaciones con los proveedores
		4.3	Promoción de la responsabilidad social

Fuente: elaboración propia, con base a propuesta de UNEP 2009.

3.3.5. Criterios de ponderación de los indicadores seleccionados

Con el propósito de medir objetivamente los indicadores, se asignará un valor numérico. Los criterios de ponderación provienen de los documentos que se mencionaron al principio de la metodología. Se consideran 5 niveles de acuerdo a las condiciones en las que se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales, como se puede apreciar a continuación:

Tabla VIII. **Criterios de ponderación**

Criterios de ponderación	
Nivel	Descripción
0	Se asigna cuando no existen datos reportados.
1	Rendimiento muy pobre, la organización opera en un contexto desfavorable (bajo riesgos físico – psicológico o de seguridad o violación a los derechos humanos).
2	Rendimiento bajo, la organización no cumple con normativas, reglamentos o leyes vigentes.
3	Actitud aceptable, rendimiento medio.
4	Excelente rendimiento, se le asigna a una organización que tiene un comportamiento proactivo respecto a las normativas, reglamentos o leyes vigentes. El rendimiento va más allá de los estándares mínimos.

Fuente: elaboración propia, con base a propuesta de UNEP 2009.

3.3.6. Interpretación de resultados

Luego de recopilar la información, se debe agrupar y ponderar para llevar a cabo la interpretación de resultados.

Las etapas para la interpretación de resultados, son las siguientes:

- Ponderación de datos.
- Ponderación de indicadores.
- Ponderación de grupos de interés o categorías.
- Ponderación del análisis de ciclo de vida social

Tabla IX. **Escala de valoración y ponderación**

Escala de Valoración	Rango Ponderación
Muy pobre	0-25
Bajo	26-50
Aceptable	51-75
Excelente	76-100

Fuente: elaboración propia.

3.3.7. Ponderación de datos

Se asigna una valoración numérica, a cada interrogante del cuestionario de recopilación de dato. Para ello es necesario que el investigador cuente con los conocimientos y la experiencia adecuada en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Adicional a lo anterior, se debe basar en los criterios de ponderación establecidos en el método.

Figura 5. **Esquema de cuestionario y ponderación de datos**

		0	1	2	3	4
		No hay datos	Muy pobre	Bajo	Aceptable	Excelente
1	Trabajadores					
1.1 Horas de trabajo						
1	¿Cuál es su horario de trabajo?					
2	¿La planta funciona las 24 horas o se desvía el caudal en algún momento (noche)?					
3	¿Trabajan horas extras? ¿Por qué motivo se harían las horas extras?					
4	¿En emergencias por el clima o algún otro motivo, trabajan horas extras, fines de semana, vacaciones?					
5	¿Existe personal que puede cubrir enfermedades, emergencias, vacaciones, etc.?					
6	¿Existe personal para trabajos de mantenimiento?					

Fuente: elaboración propia, con base a propuesta de UNEP 2009.

3.3.8. Ponderación de indicadores

Posterior a la asignación de ponderación a cada dato, se determina la ponderación por cada indicador de acuerdo a la frecuencia de la ponderación de datos.

Para ellos, se asigna un rango de porcentaje a los niveles de los criterios de ponderación, para así determinar en qué nivel se encuentra el indicador, los rangos se establecen en la siguiente tabla:

Tabla X. **Ponderación de indicadores**

Niveles	0	1	2	3	4
Porcentaje		0-25	26-50	51-75	76-100
Descripción	No hay datos	muy pobre	bajo	aceptable	excelente

Fuente: elaboración propia, con base a propuesta de UNEP 2009.

3.3.9. Ponderación de grupos de interés o categorías

Posterior a haber ponderado cada indicador, se procede a ponderar cada categoría, utilizando el mismo procedimiento que en los indicadores.

Es decir, se suma los máximos niveles de cada indicador del grupo de interés para establecer el 100 %. Luego se suman los niveles de cada indicador, y se estima el porcentaje y se evaluó respecto a la tabla indicada en la ponderación de indicadores.

3.3.10. Ponderación del análisis de ciclo de vida social

Para determinar la ponderación del análisis de ciclo de vida social de la planta de tratamiento de aguas residuales, se realiza el mismo procedimiento

que se efectuó para la determinación de los indicadores y de los grupos de interés o categorías.

3.4. Evaluación económica

Como una dimensión básica de la sostenibilidad, paralelamente a la evaluación de los aspectos ambientales, es necesario para completar el enfoque de ciclo de vida, la evaluación de aspectos económicos, dirigidos a la gestión y la optimización de costos.

Asimismo con la finalidad de mejorar los procesos de toma de decisiones, y realizar un análisis comparativo de costes e inversiones, en algún estudio posterior al presente, se plantea una evaluación de los costos del ciclo operativo y como referencia, costes de inversión del proceso constructivo.

Este análisis se basa en los conceptos generales de costos de sistemas de tratamiento de agua residual, clasificando dos categorías: costos de inversión y costos de operación.

Para la determinación del costo de inversión, se recopiló información del proyecto ejecutivo, por lo que corresponden a datos reales, mismos que se presentan en función de montos globales por unidad de proceso. Al respecto de la mano de obra, se estimó por medio de la información recabada, y corresponde a datos no teóricos sino prácticos.

3.4.1. Objetivo

Identificar desde la perspectiva económica, la viabilidad de la alternativa seleccionada para tratamiento de agua residual, en función de la determinación de costos de inversión y operación por metro cúbico tratado.

Determinar el costo de inversión y de operación, de las distintas alternativas de tratamiento de agua residual, en función de un valor unitario de monto por metro cúbico tratado.

3.4.2. Alcance

Definición de recursos convencionales (uso de energía eléctrica, servicios de mantenimiento preventivo y correctivo para equipos, reemplazo de equipos si los hubiera, operadores, supervisores, productos químicos, análisis de laboratorio).

3.4.3. Unidad funcional

Se utilizará como unidad de medición, el monto en quetzales por metro cúbico tratado.

Pasos necesarios para realizar el análisis económico:

- Determinación de costos iniciales (directos e indirectos).
- Determinación de costos operativos mensuales (insumos, reemplazo de equipos, mantenimiento, operador, etc.).
- Análisis de resultados.

3.4.4. Costos de inversión

El costo de inversión total está integrado por la suma del capital fijo, el cual es el costo requerido para la construcción de la planta de tratamiento, que incluye costos directos más indirectos. Dentro de los costos directos, están: costos de materiales, equipo y mano de obra. Los costos indirectos contemplan la ingeniería y supervisión, y todos aquellos gastos que apoyen la construcción como ejemplo: casetas y servicios provisionales para el personal, etc.

En el ejercicio de costeo, no se incluirá valor de la tierra, pues se considera que es un dato muy específico, según la zona en la que se ubique la planta.

Tabla XI. **Clasificación de costos**

Capital Fijo	Costos directos	Costos de materiales y mano de obra
		Equipo
	Costos indirectos	Ingeniería
		Supervisión

Fuente: elaboración propia.

Costos de operación y mantenimiento

Los costos operativos son todos los costos en que se incurre para mantener y operar las plantas de tratamiento de aguas residuales, y contempla los siguientes elementos:

- Personal (operador y supervisor)
- Productos químicos (cloro, enzimas)
- Energía eléctrica
- Servicio de agua
- Laboratorios
- Licencias ambientales
- Costos de disposición de lodos
- Mantenimiento de equipos

3.4.5 Costo de energía eléctrica

Para la valoración del costo de la energía, es importante determinar el consumo de kw por metro cúbico tratado en un período que se estimará de 31 días, para una integración de costos mensuales. Para la determinación de este costo, se debe conocer el costo del kwh, así como la potencia total instalada en la planta, requerida para la operación.

3.4.6. Costos de repuestos y mantenimiento

Los procesos que requieren equipos electromecánicos en operación y con alto grado de instrumentación generarán una mayor necesidad de mantenimiento del sistema, por lo tanto, serán los más costosos en este aspecto.

3.4.7. Costos de disposición de lodos

Para su cálculo, se debe tener en cuenta los requisitos legales para la eliminación de lodos. Si los lodos se disponen en patio de secado, únicamente se debe considerar en la integración de costo, la mano de obra y el tiempo que se utiliza para el retiro del lodo deshidratado de los patios, y contemplar la forma en que se disponen (encostalados, enterrados, servicio de extracción de terceros que implican costos de transporte), para uno de los casos anteriores, se debe costear los insumos utilizados y la periodicidad con la que se realizan, con la finalidad de obtener un cargo mensual, para la integración general de costos operativos.

3.4.8. Análisis de resultados

Los costos del sistema de tratamiento de aguas residuales deberán relacionarse con el caudal mensual tratado en la planta, para determinar el costo de inversión por metro cúbico a tratar (Q/m^3). Del mismo modo, se determinará el costo operativo por metro cúbico tratado.

Estos resultados se correlacionarán con los otros componentes de la evaluación de la sostenibilidad (social, ambiental).

3.5. Evaluación técnica de PTAR en fase operativa

La elaboración del análisis técnico es una herramienta mediante la cual se evalúa la parte técnica operativa y funcionamiento de la planta de tratamiento, ejercicio que a su vez permite detectar deficiencias, realizar ajustes y proponer mejoras y eficiencias en la parte técnica.

En la evaluación se realiza levantamiento de equipos eléctricos, mecánicos, instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias, e infraestructura. Es necesario el apoyo a través de boletas de diagnóstico, que permite analizar aspectos generales y características del proyecto.

3.5.1. Operación y mantenimiento de una PTAR

Luego de la selección de alternativa y diseño adecuado, el éxito del buen funcionamiento de una planta, depende de la operación y mantenimiento, tanto en tema de calidad y eficiencia, como en términos de costos de mantenimiento. Por lo anterior debe ponerse especial atención a los registros y bitácoras de operación, así como controles de mantenimientos del sistema.

Específicamente en materia de mantenimientos, se debe considerar correctivo y preventivo:

Preventivo: corresponde a las actividades programadas, con la periodicidad que recomienden los proveedores de equipos, con la finalidad de prever fallas, mantener el funcionamiento adecuado, y alargar la vida útil de los equipos.

Correctivo: Este mantenimiento se da debido a situaciones de fallo parcial o total de algún equipo, y consiste en restablecer el estado operativo óptimo.

En el caso de las plantas de tratamiento, es muy importante contar con un operador que efectúe limpieza general, y que lleve registros de novedades e imprevistos y procesos realizados, así como un encargado de los costos mensuales, programación de muestreos, programación de mantenimientos, etc.

3.5.2. Manual de operación y mantenimiento

La función de contar con los manuales, es servir de guía para ejecutar los procesos de limpieza de forma adecuada, así como en el caso de los equipos, conocer la función de cada uno de ellos y cómo utilizarlos. Estos manuales también deben proveer información acerca de cómo resolver problemas habituales en las plantas o bien la forma de prevenir los inconvenientes. Debe ser una herramienta para el operador, a manera de instructivo que a su vez, sirve para capacitar al personal, en caso de rotación de trabajadores.

Operador

Persona responsable de realizar actividades diarias en la planta de tratamiento a su cargo, debe recibir capacitación acerca de las funciones que realiza, y estar familiarizado con el proceso. Conocer la función de cada unidad, tener conocimiento del objetivo del proceso de tratamiento, comprender la importancia social y ambiental de la existencia y operación del sistema, leer y escribir.

Responsabilidades

Llevar registros con fecha y acontecimiento o actividad realizada. Solicitar a su superior el equipo necesario para llevar a cabo sus funciones, mantener en buen estado las herramientas para elaborar correctamente sus labores, tomar medidas higiénicas que le sean recomendadas y que son necesarias para su salubridad.

Registros operacionales y reportes periódicos

Deben llevarse bitácoras periódicamente, para un adecuado registro. La guía de estos registros debe estar contenida en el manual de operación y mantenimiento, así mismo los registros deben ser analizados y revisados en caso exista una acción o actividad de seguimiento, derivada del levantamiento de información operativa.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de evaluación ambiental

Como se indica en la metodología para evaluación ambiental, las categorías de impacto e indicadores para dimensionamiento de impactos ambientales, son los siguientes:

- Agotamiento de recursos abióticos (energía)
- Cambio climático (metano)
- Eutrofización (nitratos, fosfatos y demanda química de oxígeno)
- Contaminación de cargas contaminantes (demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, temperatura, potencial de hidrogeno, oxígeno disuelto, coliformes fecales)

4.1.2. Análisis de inventario

4.1.2.1. Puntos de muestreo

Se tomó muestra en dos puntos: entrada al tratamiento primario y salida del tanque de desinfección. (ver esquema en anexo 2.1)

4.1.2.2. Tamaño de la muestra

La aplicación de la fórmula y determinación de distribución de la muestra, se profundizan en el anexo 2.1.2.

$$n = \frac{1.96^2 * 6.081^2}{(0.95 * 4.3)^2} = 8.516$$

Por lo tanto, el tamaño de la muestra se aproxima a **9**.

4.1.3. Frecuencia del muestreo y análisis de laboratorio

El muestreo se realizó de forma semanal, durante los meses de octubre y noviembre de 2016, y febrero y marzo de 2017, en el mismo día de toma de muestras se dio ingreso de las mismas, al laboratorio, para el correspondiente análisis físico-químico y microbiológico.

Los métodos utilizados en laboratorio, para determinación de valores de los distintos parámetros, fueron los siguientes:

Tabla XII. **Métodos utilizados y parámetros analizados**

Parámetro	Método
DQO	Método estándar 5220 D
DBO 5	Método estándar 5210 B
SST	Método estándar 2540 D
NO ₃ ⁻	Método estándar 4500 E
PO ₄ ⁻	Método estándar 4500-P-E
Temperatura	Método estándar 2550-B
pH	Método estándar 4500-H B
Coliformes Fecales	Método estándar 9223 B
Oxígeno Disuelto	Método estándar 4500-O-B

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Datos de inventario

4.1.4.1. Afluente

Tabla XIII. Resultados de inventario afluente

Parámetro	Dimensional	Resultado
DQO	kg/m ³	0.751
DBO 5	kg/m ³	0.423
SST	kg/m ³	0.417
NO ₃ ⁻	kg/m ³	0.063
PO ₄ ⁻	kg/m ³	0.110
Temperatura	°C	23.34
pH	unidad pH	6.761
Coliformes Fecales	NMP/100ml	8.25X10 ⁶
Oxígeno Disuelto	kg/m ³	0.001

Fuente: elaboración propia.

4.1.4.2. Efluente:

Tabla XIV. Resultados de inventario efluente

Parámetro	Dimensional	Resultado
DQO	kg/m ³	0.051
DBO 5	kg/m ³	0.013
SST	kg/m ³	0.014
NO ₃ ⁻	kg/m ³	0.045
PO ₄ ⁻	kg/m ³	0.022
Temperatura	°C	22.69
pH	unidad pH	7.140
Coliformes Fecales	NMP/100ml	3.72x10 ⁴
Oxígeno Disuelto	kg/m ³	0.006

Fuente: elaboración propia.

4.1.5. Evaluación de impactos

La evaluación de impactos al ciclo de vida de la planta de tratamiento lodos activados Río Azul, se realizó mediante la metodología “CML 2001”, elaborada por Instituto de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden en los países bajos, además se utilizó el índice de carga contaminante (ICC), desarrollado por panel de expertos por la ERIS (Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, USAC), basados en indicadores de calidad de (ICA) de la NSF (Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos).

4.1.5.1. Agotamiento de recursos abióticos

El agotamiento de recursos abióticos, es la disminución de disponibilidad de recursos naturales, es esta categoría se incluye la energía.

4.1.5.2. Energía

La energía consumida en el proceso, en dado caso procediera de una fuente no renovable, implicaría un impacto en el agotamiento de recursos abióticos, por ello se realiza una estimación del consumo de energía eléctrica en el proceso, para lo cual se hizo un levantamiento de los equipos instalados y las potencias de los mismos, se consideró que la planta opera en una dinámica de 45 minutos de operación por 15 de descanso, en un ciclo de 24 horas, dicho dato se comparó a su vez, con facturas de energía eléctrica mensuales, obteniendo el resultado siguiente:

$$\text{Kwh} = 18,127.8 \text{ kw/mes} = 604.26 \text{ Kw/día} = 1.137 \text{ Kw/m}^3$$

(El cálculo detallado se incluye en el anexo 2.2.2)

4.1.5.3. Determinación de agotamiento de recurso abiótico

Para la caracterización de este parámetro, CML, propone la siguiente fórmula:

$$AR = \sum_i ADF_i \times m_i$$

$$m_i = \frac{18127.80 \text{ kWh/mes}}{531.27 \text{ m}^3 \times 30 \text{ mes}} = 1.137 \text{ kW/m}^3 = 3.46 \text{ MJ/m}^3$$

Para determinar F_i , se recurrió a las tablas de caracterización que se incluyen en el anexo 2.2.3.

Obteniendo entonces:

$$AR = (1 \text{ kg Sb eq} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 3.46 \text{ MJ/m}^3 = \mathbf{3.46 \text{ MJ Sb eq/m}^3}$$

4.1.5.4. Cambio climático

Bajo el concepto de variación del clima del planeta Tierra, por efectos de las acciones humanas, en el caso relacionado al proceso de tratamiento de aguas residuales en la modalidad lodos activados, se determinara el metano como factor asociado a los gases de efecto invernadero.

4.1.5.5. Potencial de calentamiento global

El PCG, se utiliza para medir la capacidad que tienen los distintos gases de efecto invernadero, para retener el calor en la atmosfera, la base para los cálculos es el CO_2 , lo cual se detalla en el anexo 2.2.5.

Tabla XV. Valores guía recomendados por el IPCC

GAS DE EFECTO INVERNADERO - GEI		POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (para obtener CO ₂ e multiplicar por)		
		IPCC 1995	IPCC 2007	IPCC 2013
Dióxido de Carbono	CO ₂	1	1	1
Metano	CH ₄	21	25	28
Óxidos Nitroso	N ₂ O	310	298	265
Hexafluoruro de Azufre	SF ₆	23.900	22.800	23.500
Hidrofluorocarbonados	HFC's	140 - 11.700	124 - 14.800	< 13.900
Perfluorocarbonados	PFC's	6.500 - 9.200	7.390 - 12.200	< 12.400
Trifluoruro de Nitrógeno	NF ₃	---	---	17.200

Fuente: Taller sobre Huella de Carbono Corporativa, Corporación Ambiental Empresarial.

4.1.5.6 Metano

Las directrices de IPCC proponen para la estimación de CH₄, ecuaciones para su determinación, que utiliza factores, según el área de generación de las aguas (rural o urbana), nivel de ingreso económico (alto o bajo), para lo cual proporciona tablas guía. Las tablas mencionadas y los cálculos se incluyen en anexo 2.2.6.

Las ecuaciones utilizadas para la estimación de emisiones, fueron las siguientes:

EMISIONES TOTALES DE CH₄ PROCEDENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j) \right] (TOW - S) - R$$

FACTOR DE EMISIÓN DE CH₄ PARA CADA VÍA O SISTEMA DE TRATAMIENTO Y/O ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$EF_j = B_o \cdot MCF_j$$

TOTAL DE MATERIA ORGÁNICA DEGRADABLE EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$TOW = P \cdot BOD \cdot 0.001 \cdot I \cdot 365$$

De la aplicación de las fórmulas anteriores, cuyo procedimiento se incluye en el anexo, se obtuvo el siguiente valor en términos de unidad funcional:

Emisión de CH₄ = 0.000805 kg/m³.

4.1.5.7. Determinación de emisión de CO₂

Este gas de efecto invernadero se encuentra en concentraciones relativamente bajas en la atmósfera, aproximadamente un 0,03 %. A pesar de sus bajos niveles, se trata del mayor impulsor del calentamiento global.

Las emisiones que se originan el proceso biológico, no se toman en cuenta en el impacto por provenir de la oxidación de la materia orgánica, pues es de origen biogénico, esto según las directrices del IPCC. Únicamente se considera la cantidad de CO₂, emitido a la atmosfera, el generado por consumo de energía eléctrica en el proceso de tratamiento.

Para su determinación se utilizó una calculadora en línea, la cual utiliza de base el IPCC y cuyo procedimiento se describe en el anexo 2.2.7.

El valor obtenido es de 11783.07 kg CO₂ por mes, y la cantidad de Kg de CO₂, por m³ y por kwh, son los siguientes:

$$\frac{\text{Kg CO}_2}{\text{m}^3} = \frac{11783.07}{531.27 \times 30} = 0.74 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$$

Luego de obtenerse previamente los valores de CO₂ y CH₄, se puede estimar el CO₂ equivalente:

$$\text{Emisión de CO}_2/\text{m}^3 = 0.74 \text{ kg /m}^3 \text{ CO}_2 \text{ eq}$$

Emisión de Metano CH₄/m³ = 0.000805 kg /m³ CH₄

Para estimar el CCI (Indicador de Cambio Climático), usaremos la siguiente fórmula:

$$CCI = \sum_i GWP_i \times m_i$$

PCG= 0.74+(28*0.000805)= 0.76254 kg /m³ CO₂ eq

4.1.5.8. Eutrofización

Esta puede definirse como el enriquecimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el ambiente acuático. Este fenómeno produce incremento de la producción de biomasa, desoxigenación del agua, y por lo tanto, mortandad de peces, entre otros. La eutrofización se amplía en anexo 2.2.8, esta se indica en kg equivalentes de PO₄³⁻, y se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$eutrofización = \sum_i EP_i \times m_i$$

4.1.5.9. Potencial de eutrofización de afluente:

Su determinación se amplía en anexo 2.2.9, basado en la aplicación de la fórmula del inciso anterior.

NO₃⁻ = 0.00598 kg eq PO₄³⁻

PO₄⁻³ = 0.336 kg eq PO₄³⁻

Por sumatoria:

EP= 0.00598 +0.336 = 0.34258 kg eq PO₄^{- 3}

4.1.5.10. Potencial de eutrofización del efluente:

$$\text{NO}_3^- = 0.00427 \text{ kg eq PO}_4^{3-} / \text{m}^3$$

$$\text{PO}_4^{3-} = 0.067 \text{ kg eq PO}_4^{3-} / \text{m}^3$$

Por sumatoria:

$$\text{EP} = 0.00427 + 0.067 = 0.07159 \text{ kg eq PO}_4^{3-}$$

4.1.5.11. Determinación de carga contaminante

Para la determinación de la puntuación del ICC, se siguieron los pasos explicados en el capítulo de metodología, para ello se empleó los valores promedio obtenidos del efluente, para cada uno de los parámetros considerados, el cual se buscó en las curvas de referencia, para obtener el valor Q. Las tablas mencionadas, se incluyen en el anexo 2.3.

Tabla XVI. Cálculo de índice de carga contaminante

DATOS ICC					
Parámetro	Dimensional	Resultado PTAR	Factor Ponderación	Subíndice Q	Sub PTAR
SST	mg/l	13.69	0.16	93	14.88
DBO 5	mg/l	13.35	0.23	25	5.75
pH	unidad pH	7.14	0.13	90.5	11.765
Oxígeno Disuelto	% Saturación	0.65	0.19	65	12.35
Temperatura	°C	0.66	0.12	91	10.92
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3.72×10^4	0.17	7	1.19
PUNTUACIÓN Y CÓDIGO DE COLOR					56.86

Fuente: elaboración propia.

4.1.5.12. Resumen Categorización

Tabla XVII. Caracterización de efluente

Caracterización por m³ de efluente de descarga			
Inventario Ciclo de Vida ICV	Agotamiento de Recursos Abióticos (MJ Sb eq/m³)	Cambio Climático (Kg eq CO₂)	Eutrofización (Kg eq PO₄³⁻)
3.46 MJ Sb eq/m ³	x 1= 3.46	-	-
0.000805 kg CH ₄ /m ³	-	x 28 = 0.02254	-
0.74 kg CO ₂ eq/m ³	-	x 1=0.74	-
0.045 kg eq NO ₃ /m ³	-	-	x 0.095=0.00427
0.022 kg eq PO ₄ ³⁻ /m ³	-	-	x 3.06=0.06732
Caracterización CML 2001	3.46	0.76254	0.07159

Fuente: elaboración propia.

4.1.5.13. Normalización

Consiste en evaluar el significado del perfil ambiental, dando peso a cada categoría, es adimensional y permite comparar categorías. Para lo anterior, se divide cada valor dentro de un factor de normalización, que representa el grado de contribución de cada impacto sobre el problema medioambiental, las tablas de referencia se incluyen en el anexo.

Tabla XVIII. Normalización de efluente

Normalización por m ³ de efluente de descarga			
Inventario Ciclo de Vida ICV	Agotamiento de Recursos Abióticos (MJ Sb eq/m ³)	Cambio Climático (Kg eq CO ₂)	Eutrofización (Kg eq PO ₄ ³⁻)
3.46 MJ Sb eq/m ³	x 1= 3.46	-	-
0.000805 kg CH ₄ /m ³	-	x 28 = 0.02254	-
0.74 kg CO ₂ eq/m ³	-	x 1=0.74	-
0.045 kg eq NO ₃ /m ³	-	-	x 0.095=0.00427
0.022 kg eq PO ₄ ³⁻ /m ³	-	-	x 3.06=0.06732
Caracterización CML 2001	3.46	0.76254	0.07159
Factor de normalización	x 6.32E-12	x 2.27E-14	x 7.53E-12
Normalización CML 2001	2.187E-13	1.730E-14	5.39E-11

Fuente: elaboración propia.

4.2. Resultados de ACV social

4.2.1. Ponderación categoría trabajadores

Tabla XIX. Ponderación Categoría Trabajadores

PONDERACION		0	1	2	3	4	TOTAL
TRABAJADORES		No hay datos	Muy pobre	Bajo	Aceptable	Excelente	
a	Horas de Trabajo					x	4
b	Salud y Seguridad				x		3
c	Libertad de asociacion colectiva y beneficios sociales					x	4
d	Salario Justo					x	4
e	Disponibilidad de Documentacion de la PTAR					x	4
f	Capacitacion					x	4
g	Programa de monitoreo					x	4
h	Materiales y equipo					x	4
		0	0	0	3	28	31

Fuente: elaboración propia.

En la ponderación de la categoría “trabajadores”, se ve que existen 8 aspectos evaluados, siendo la máxima ponderación igual a 4, la suma de las ponderaciones de la categoría da un valor de 31 sobre el valor máximo de 32, lo cual equivale a 97 % categorizándose como “excelente”. La boleta se incluye en anexo 3.1.

4.2.2. Ponderación categoría usuarios

Tabla XX. Ponderación categoría usuarios

PONDERACION		0	1	2	3	4	TOTAL
USUARIOS		No hay datos	Muy pobre	Bajo	Aceptable	Excelente	
a	Seguridad y condiciones de vida saludable				x		3
b	Compromiso de la comunidad		x				1
c	Aceptación social					x	4
d	Participación pública		x				1
e	Empleo local					x	4
			2		3	8	13

Fuente: elaboración propia.

En esta categoría se obtuvo una calificación de 13 sobre 20 puntos, lo cual equivale a 65 %, que de acuerdo a la escala de valoración, es “aceptable”. La boleta de esta categoría se incluye en anexo 3.2.

4.2.3. Ponderación categoría proveedores

Tabla XXI. Ponderación categoría proveedores

PONDERACION		0	1	2	3	4	TOTAL
PROVEEDORES		No hay datos	Muy pobre	Bajo	Aceptable	Excelente	
a	Competencia Justa					x	4
b	Relacion con los proveedores					x	4
c	Promocion de la responsabilidad social				x		3
		0	0	0	3	8	11

Fuente: elaboración propia.

La calificación de la categoría, es de 11 sobre 12, equivalente a 92 %, que en la escala de valoración, corresponde a “excelente”. Boleta incluida en anexo 3.3.

4.2.4 Ponderación categoría consumidores

Tabla XXII. Ponderación categoría consumidores

PONDERACION		0	1	2	3	4	TOTAL
CONSUMIDORES		No hay datos	Muy pobre	Bajo	Aceptable	Excelente	
a	Satisfaccion del consumidor					x	4
b	Mecanismo de retroalimentacion		x				1
c	Calidad del efluente				x		3
			1		3	4	8

Fuente: elaboración propia.

La calificación de esta categoría, es 8 sobre un total de 12, que significa en porcentaje, un valor de 67, que es escala de valoración es “aceptable”. Se incluye boleta en anexo 3.4.

4.3. Resultados de evaluación técnica

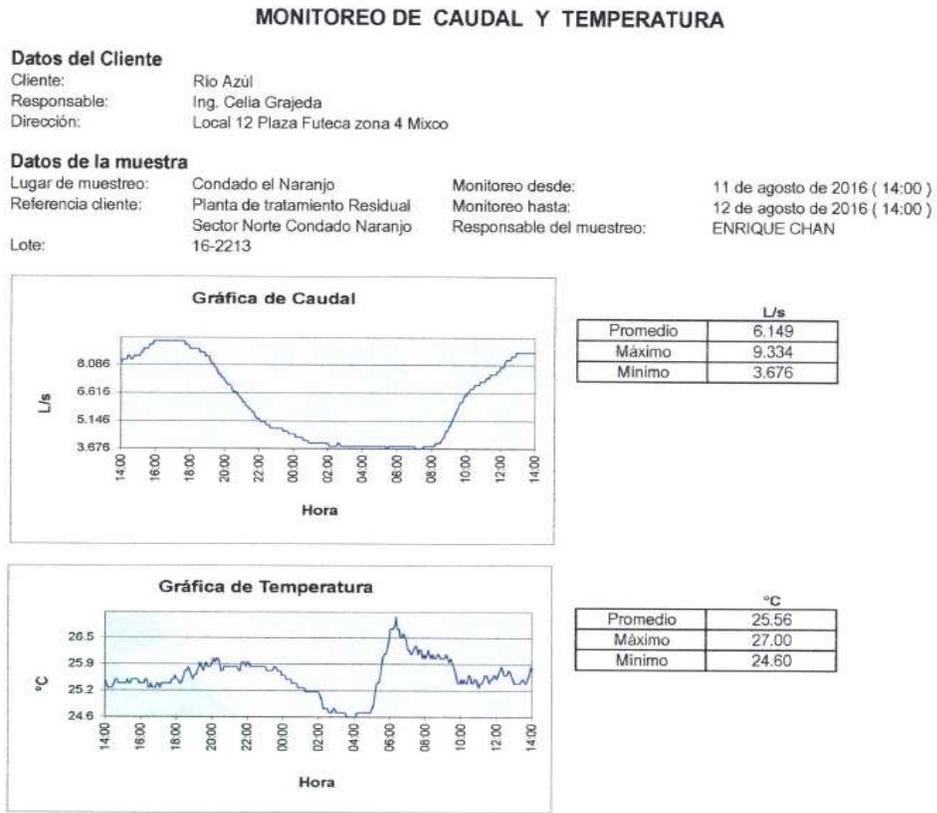
Con la finalidad de evaluar el desempeño y funcionamiento de la planta de tratamiento en operación, y de esta manera identificar el cumplimiento con normativas, mejoras o eficiencias operativas, que a su vez redunden en costos de inversión y operación eficientes, es necesario monitorear y registrar datos básicos de las instalaciones y de comportamiento tales como: caudal, caracterización de agua de entrada, eficiencia de remoción, equipos electromecánicos, etc.

Asimismo, los registros y datos servirán de base y guía para la coordinación de programas de mantenimiento correctivo y preventivo. El detalle de esta evaluación se presenta en el anexo 4 y 4.1.

4.3.1. Eficiencia de la planta de tratamiento evaluada

4.3.1.1. Determinación de caudal

Figura 6. Monitoreo de caudal y temperatura



Fuente: Operadora Río Azul.

De acuerdo al monitoreo de caudal de 24 horas, ingresan a la planta, un promedio de 531.27 metros cúbicos al día, o el equivalente de 15,938.10 m³/mes.

4.3.1.2. Caracterización de entrada

Tabla XXIII. Datos de entrada

ENTRADA

DATOS	pH	Tem.	Oxígeno Disuelto	DBO	DQO	Solidos Susp.	Nitratos	Fosfatos	Coliformes
19/09/2016	8	27.1		369	827		242	500	7.70x10 ⁵
5/10/2016	8.63	27	3.11	297	819	292	19.6	31	5.17x10 ⁵
12/10/2016	8.47	28.3	0.74	471	624	564	25.7	1.28	>2.42x10 ⁶
19/10/2016	8	23.3	0.2	621	675	281.08	13.6	0.7	>2.42x10 ⁶
9/11/2016	10.05	21.3	1.27	351.6	845	835	7.5	34.1	1.53x10 ⁶
5/01/2017				422	758	639	210	23.4	1.53x10 ⁶
22/02/2017	4.52	22.3	1.16	475	845	248.57	25.7	25.5	2.42x10 ⁶
8/03/2017	6.59	19	1.5	393	635	275	10	350	2.42x10 ⁶
15/03/2017	6.1	17	2.12	325	732	243.24	8.5	20	2.42x10 ⁶
3/04/2017	7.08	24.8		507	750	376			1.6x10 ⁷
MAX	10.0	28.3	3.11	621	845	835	242	500	1.6x10⁷
MINIMO	4.52	17	0.2	297	624	243.24	7.5	0.7	5.17x10⁵
PROMEDIO	7.28	23.34	1.44	423.16	751.00	417.10	62.51	109.55	8.25x10⁶
DESV. STAN.	2.26	4.62	1.19	133.35	90.56	248.34	100.13	214.37	6.32x10⁶

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.3. Caracterización de salida

Tabla XXIV. Datos de salida

SALIDA

DATOS	pH	Tem.	Oxígeno			Solidos			Coliformes
			Disuelto	DBO	DQO	Susp.	Nitratos	Fosfatos	
19/09/2016	7	24.7		37	67		220	28	2.42x10 ⁵
5/10/2016	7.48	27	5.94	28.4	97	19.8	11.9	12	7.7x10 ⁴
12/10/2016	7.44	27.8	5.16	19.4	32	22.5	16.1	0.41	4.61x10 ⁴
19/10/2016	7.4	23	5.8	1.08	34	12.73	7.7	0.22	1.46x10 ⁴
9/11/2016	9.56	20.7	5.81	21.47	59	12.96	5.4	0.5	1.14x10 ⁵
5/01/2017	6.4	22.5		10	35	28	126	12.5	< 1.8
22/02/2017	5.93	22.5	5.61	0.95	59	5.38	7.5	4	97.1
8/03/2017	6.81	19	5	0.95	20	3.54	2.1	136	146.3
15/03/2017	6.24	17	5.48	0.9	12	4.59	4.5	7.5	146.3
MAX	9.56	27.8	5.94	37	97	28	220	136	242000
MINIMO	5.93	17	5	0.9	12	3.54	2.1	0.22	< 1.8
PROMEDIO	7.14	22.69	5.54	13.35	46.11	13.69	44.58	22.35	4.72X10⁴
DESV. STAND.	1.51	4.41	0.39	14.97	34.93	10.03	94.31	59.48	9.87X10⁴

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Eficiencia

De los resultados de entrada y salida, se determina que en la planta se produce una reducción media del 96 % de DBO₅, así como una reducción media de 94 % de DQO , 97 % de reducción de sólidos suspendidos, 44 % de eficiencia en la remoción de nitratos y 72% en reducción de fosfatos y 93 % de reducción de coliformes.

4.3.3. Evaluación de tecnología de planta de tratamiento de lodos activados

Para concluir la evaluación técnica y clasificar o categorizar el sistema en estudio, así como para brindar una herramienta que permita comparar distintas alternativas de tratamiento de agua residual de una manera sencilla y puntual, se realizó una matriz de evaluación, en la cual cada rubro tiene una ponderación de acuerdo a la importancia, la misma se incluye en el anexo 4.2, y la puntuación obtenida fue de 78.5.

4.4. Resultado análisis económico de la planta en estudio

Los respaldos de este análisis se incluyen en anexo 4.3.

Tabla XXV. **Costos de inversión**

INVERSIÓN	
Costos Directos	Q 63,000.00
Costos Indirectos	Q 3,939,000.11
Total Q	Q 4,002,000.11
Total \$	\$ 529,365.09

* Referencia tasa de cambio \$ 1.00/Q 7.40

Tabla XXVI. **Costo operativo**

COSTO MENSUAL POR M³ TRATADO

Metros cúbicos tratados mensuales	16469.48
Coso unitario = Costo Total de Operación mes/m³ tratados	Q 2.05

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para cada uno de los aspectos evaluados, se explicó la metodología aplicada, con base a la cual se obtuvieron resultados, que a su vez en su mayoría se interpretan de acuerdo a escala de valoración para dar un calificativo a la planta, según el rendimiento y la operación. El análisis global de todos los aspectos evaluados, brinda un concepto general de la tecnología de todos activados e información sobre puntos a mejorar u optimizar.

5.1. Resultados ACV ambiental

a) Se estimó el agotamiento de recurso abiótico, producto de la utilización de energía eléctrica, como insumo del proceso de depuración, pues a pesar de ser la medida de tratamiento de agua, una solución para prevención o mitigación de daños ambientales, existen consecuencias por su funcionamiento, dicho parámetro, según la metodología ACV, se mide en función del agotamiento de antimonio, como reserva de recurso.

El dato obtenido es de un $AR = 3.46 \text{ MJ/m}^3$, es decir, que en un año de operación, por consumo de energía se tendría un agotamiento de 666,750 MJ/año. El antimonio es un elemento no abundante en la naturaleza, y es útil para ciertos procesos industriales, mayor consumo de energía supone menor disponibilidad de recursos, y en el caso del ACV, se hace referencia al antimonio Sb.

El cálculo de consumo de energía y agotamiento de recurso abiótico, realizado en la aplicación de la metodología, fue bajo la suposición que la fuente de energía utilizada provenía a fuente no renovable, para tener exactitud del impacto, es importante conocer con certeza el origen de la energía.

Como referencia del tipo de fuentes de producción de energía en Guatemala, se incluye la matriz energética, en la cual un 71.50 % de la energía producida, proviene de fuentes limpias, que no tendrían alto impacto o significancia en el agotamiento abiótico, no obstante para calcular la relevancia real, hace falta datos de inventario previo de la existencia de recursos en el planeta, mismo con el que no se cuenta.

A continuación información de la matriz energética, según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala:

Figura 7. **Matriz energética**



Fuente: <http://www.cnee.gob.gt/wp/>

b) Continuando con los resultados ambientales, se determinó también el PCG o potencial de calentamiento global, que se obtiene mediante dióxido de carbono y metano, este último es un gas que aumenta el calentamiento global, sin embargo, en los sistemas aeróbicos, se produce poco o nada de este gas.

Las emisiones dependen de la calidad de desechos orgánicos generados y de un factor de emisión que caracteriza la proporción en la que los desechos generan metano. El principal factor para la determinación de CH₄ generado, en las aguas residuales, es la cantidad de materia orgánica degradable presente en el agua residual, y este se mide a través de la DBO₅. Del cálculo, se

obtuvo: 0.76254 kg /m³ CO₂ eq, para tener mayor claridad del significado de este valor, a continuación un cuadro de emisiones y absorciones de GEIs, según el Informe Final, de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Guatemala, emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en noviembre de 2015.

Tabla XXVII. Emisiones y absorciones de GEIs de Guatemala

Año	CO ₂ (en Gg)		CH ₄ (en Gg)	N ₂ O (en Gg)	NO _x (en Gg)	CO (en Gg)	NMVOC (en Gg)	SO ₂ (en Gg)
	emisiones	absorciones						
1990	7,489.619	-42,903.726	199.556	20.709	43.792	961.655	105.949	74.497
1994	18,474.938	-39,583.645	192.745	11.720	48.446	958.066	235.257	74.607
2000	22,911.204	-37,456.815	211.255	16.902	75.945	1,211.924	176.926	98.458
2005	20,817.879	-24,492.061	259.397	16.712	95.434	1,433.583	414.576	90.488

Fuente: Proyecto 2da Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, MARN 2015.

Se tomó como referencia el valor del 2005, en el que se registra una emisión anual de 20,817.879 Gg de CO₂ equivalente y comparándolo con los 0.15 Gg de CO₂ equivalente, obtenidos de proyectar los metros cúbicos tratados en un año en la planta, se determina que la operación de la planta contribuye al 0.00072 % por lo cual se considera despreciable su contribución negativa en el aspecto de cambio climático.

c) Al respecto del resultado, obtenido en el potencial de eutrofización, el cual según la metodología planteada, está dado en función de kilogramos equivalentes de fosfato, y el resultado obtenido de la sumatoria de nitratos y fosfatos del efluente, fue de: 0.07159 kg eq PO₄³⁻, mientras que el potencial de eutrofización del agua cruda, fue de: 0.34258 kg eq PO₄³⁻, observando una reducción de 80 % de PE gracias al proceso de tratamiento, lo cual evidentemente significa un beneficio ambiental. Como una comparación de referencia, se cita el dato del PE, producido por la generación de 1 kwh de electricidad, el cual es de: 0.00000513 kg PO₄³⁻ equivalente, con ello se nota

que el impacto de eutrofización, es mayor en las aguas residuales, que en la energía misma que se utiliza para tratamiento del proceso.

Figura 8. Valores de ACV ambiental generados en Parque Eólico

CATEGORIA DE IMPACTO	Unidad	TOTAL CICLO DE VIDA (1kWh)
ABIOTIC DEPLETION	(kg Sb eq)	6,24E-05
ACIDIFICATION	(kg SO ₂ eq)	3,58E-05
EUTROPHICATION	(kg PO ₄ ³⁻ eq)	5,13E-06
GLOBAL WARMING 100a	(kg CO ₂ eq)	8,03E-03

Fuente: "Análisis de ciclo de vida de 1kWh generado por un parque eólico on shore GAMESA".

En resumen tras la caracterización, se puede decir que el sistema de lodos activados Río Azul, emite 3.46MJ de Sb eq por metro cúbico, 0.76254 kg de CO₂ equivalente y 0.07159 kg de PO₄³⁻, en cuanto a los valores de normalización, los valores obtenidos serán la base, para un estudio comparativo de alternativas, ya que representan el grado de contribución de cada categoría de impacto.

d) En el análisis ambiental, se realizó la determinación de índice de carga contaminante, para lo cual como se explica en la metodología se tuvo el apoyo de expertos, para asignar un peso a los distintos parámetros medidos, de manera que la suma del porcentaje dado a cada parámetro, totalizara 1. El resultado que se obtuvo fue de 51.75, lo cual según la escala propuesta, es una calidad aceptable de efluente:

Tabla XXVIII. **Ponderación ICC**

ICC	
Descripción	Rango
Fuertemente contaminada	0-25
Contaminada	26-50
Aceptable	51-75
Excelente	76-100

Fuente: elaboración propia, basada en panel de expertos ERIS-USAC.

Para realizar una validación del resultado “aceptable”, se realiza una comparación con la norma nacional de descargas “Acuerdo Gubernativo 236-2006”, utilizando como base los Artículos 22 y 24, que aplican según el punto de descarga, y según los análisis realizados para el presente estudio. A continuación tabla comparativa:

Tabla XXIX. **Comparación de resultados norma Guatemalteca- Río Azul**

PARAMETROS	DIMENSIONALES	LIMITES MAX. PERMISIBLES	RESULTADO
Solidos Suspendidos	mg/l	100	13.69
pH	u	6 a 9	7.14
Coliformes fecales	NMP/100ml	1×10^4	3.72×10^4
DBO ₅	mg/l	100	13.35

Fuente: elaboración propia.

Como se puede identificar, los resultados obtenidos del efluente de la planta de tratamiento de lodos activados Río Azul, son superiores en calidad a los admitidos por la norma, a excepción de las coliformes, confirmando la valoración asignada según la escala de ICC, al respecto que la descarga es aceptable.

5.2. Resultados ACV social

a) En la categoría TRABAJADORES, se obtuvo la puntuación de 97, que equivale según la valoración a “excelente”.

Los trabajadores manifestaron conformidad, al respecto de su horario laboral, cuentan con afiliación al Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, salario justo de acuerdo a la actividad que desarrollan y a la escolaridad.

Reciben capacitación en los aspectos relacionados a seguridad industrial y operación de la planta, así mismo cuentan con el equipo necesario para el desarrollo de las actividades relacionadas a la operación y mantenimiento de la planta, manifestaron también que están informados y al pendiente de los monitoreos de calidad, que se realizan con frecuencia mínima de dos veces al año.

b) Otra de las categorías evaluadas “USUARIOS”, obtuvo una puntuación de 65, que se califica como aceptable, esto según la investigación se debe a que la existencia de la planta de tratamiento, es asociada con salubridad, en el sentido que se depuran las aguas contaminadas, sin embargo, al ser el caso de estudio, un sistema privado, existe poco interés del usuario en involucrarse en el monitoreo o participación pública. A los usuarios se les comentó que los operadores, son personas que viven en sectores cercanos al proyecto, lo cual desde el punto de vista generación de empleos fue aceptado.

c) También fue evaluada la categoría “PROVEEDORES”, en la cual la calificación obtenida fue de 92 puntos, es decir excelente. Los proveedores para cada servicio, relacionado a la planta, son específicos: área mecánica, eléctrica, físico-química, herramientas, manejo de lodos, por lo que cada uno de ellos se involucra en el área de su competencia, lo cual genera un ambiente y relación comercial adecuada.

d) Por último, en la categoría “CONSUMIDORES”, la calificación es de 67, que en escala de valoración es “aceptable”. Actualmente no existe reúso de las

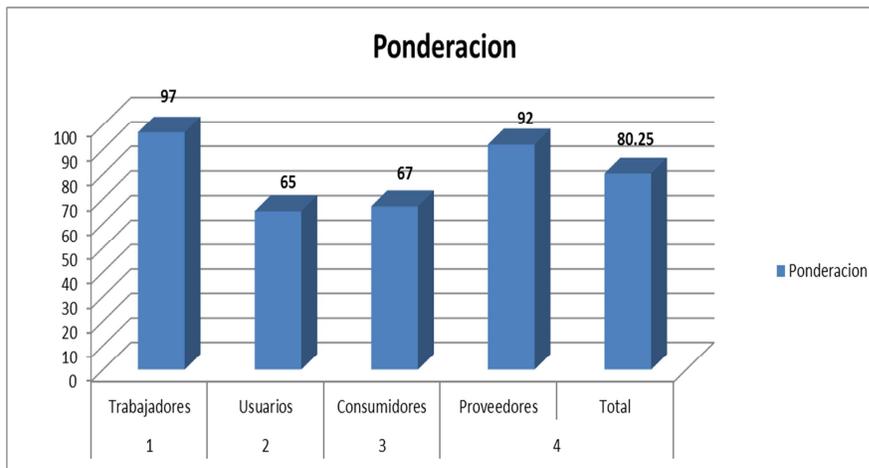
aguas residuales a pesar de su potencial, sin embargo, existe un proyecto local de reúso de cierto porcentaje de los lodos, como abono para reproducción de plantas, por lo cual esta categoría se evaluó con base al potencial proyectado, pues por la calidad de los subproductos hay factibilidad de dar el paso.

Tabla XXX. **Resumen de resultados por grupo de interés**

No.	Grupos de Interés	Ponderación
1	Trabajadores	97
2	Usuarios	65
3	Consumidores	67
4	Proveedores	92
	Total	80.25

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Gráfica de resultados por grupo de interés ACV social**



Fuente: elaboración propia.

De los datos anteriores, se puede determinar que la planta de tratamiento es en términos social general, es “ excelente “, pues se obtuvo, una calificación global de 80.25, siendo la categoría de mayor ponderación, la de trabajadores,

seguida de la categoría proveedores y usuarios, quedando por último con una ponderación aceptable, la categoría consumidores.

5.3. Resultados ACV técnico

En el aspecto técnico, se evaluó la eficiencia de la planta, para lo cual se muestreó y analizó el afluente y el efluente, caracterizando el afluente como composición doméstica, según los valores obtenidos para DBO₅, DQO, y sólidos suspendidos, utilizando la clasificación de Metcalf y Edy (ver figura XIX), se tiene un afluente de concentración fuerte, únicamente el valor de coliformes es indicador de agua diluida.

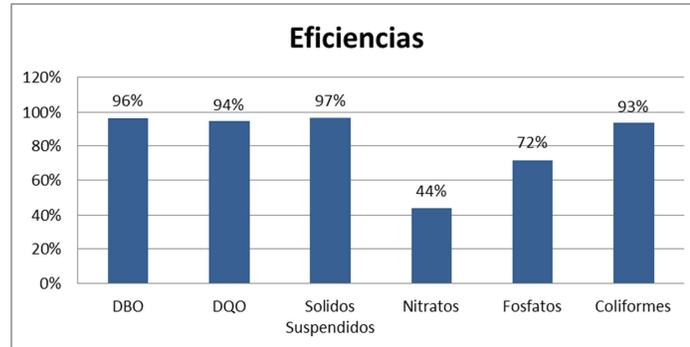
Figura 10. **Clasificación de agua residual, según la concentración**

Componente	Unidad	Concentración		
		Fuerte	Media	Diluida
Sólidos totales	mg/l	1.200	720	350
Sólidos disueltos totales	mg/l	850	500	250
Sólidos disueltos fijos	mg/l	525	300	145
Sólidos disueltos volátiles	mg/l	325	200	105
Sólidos suspendidos	mg/l	350	220	100
Sólidos suspendidos fijos	mg/l	75	55	20
Sólidos suspendidos volátiles	mg/l	275	165	80
Sólidos sedimentables	mg/l	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	mg/l	400	220	110
Carbono orgánico total, COT	mg/l	290	160	80
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/l	1000	500	250
Nitrógeno total	mg/l	85	40	20
Nitrógeno orgánico	mg/l	35	15	8
Nitrógeno amoniacal	mg/l	50	25	12
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo total	mg/l	15	8	4
Fósforo orgánico	mg/l	5	3	1
Fósforo inorgánico	mg/l	10	5	3
Cloruros*	mg/l	100	50	30
Sulfatos*	mg/l	50	30	20
Alcalinidad en CaCO ₃	mg/l	200	100	50
Aceites y grasas	mg/l	150	100	50
Coliformes totales	NMP/100ml	10 ⁷ a 10 ⁹	10 ⁷ a 10 ⁸	10 ⁶ a 10 ⁷
Compuestos orgánicos volátiles	µ/l	>400	100 a 400	<100

Fuente: Metcalf y Eddy 1991.

A pesar de la alta concentración de los distintos parámetros contaminantes, se presenta resultados aceptables en el efluente, a continuación el detalle de porcentaje de eficiencias obtenidas por parámetro:

Figura 11. Eficiencias promedio por parámetro



Fuente: elaboración propia.

Para la interpretación del análisis técnico realizado, en la que se evaluó la aplicabilidad del proceso, la generación de residuos, aceptación por parte de la comunidad, generación de subproductos, vida útil, costos, diseño, operación y entorno, se propuso la siguiente escala:

Tabla XXXI. Escala de categoría

0-25	Deficiente D
26-50	Regular R
51-75	Aceptable A
76-100	Excelente E

Fuente: elaboración propia.

Según el valor obtenido de **78.5**, la evaluación técnica de la planta, se clasifica como excelente. A lo anterior se puede agregar que en la planta no se percibe malos olores, y la calidad de agua obtenida a la descarga es muy buena, por lo que existe compensación en cuanto a las implicaciones técnicas y costos que conlleva el proceso, pues se evidencia beneficio a la comunidad, así mismo se destaca que la ubicación de la planta es colindante a un proyecto residencial, no siendo esto último un inconveniente puesto que con una correcta

operación, la planta de tratamiento no ha significado una desventaja para los usuarios vecinos, y facilita la aceptación del proyecto.

5.4. Resultado análisis económico

Se obtuvo del análisis de costo de inversión, un valor de **\$ 529,365.09**, para una población equivalente de 5000 personas, por lo tanto se obtiene un índice de inversión de **\$ 105.87 USD/habitante**.

El dato anterior si se compara con un valor guía de un estudio del BID (Banco Interamericano de Desarrollo), titulado “Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales”, del año 2010, en el cual citan un valor de inversión inicial para la construcción de plantas de tratamiento con sistema de lodos activados, en un rango de 40-120 USD/habitante, se observa que el costo de inversión es consistente con la tecnología aplicada, así como el esperado en este tipo de proyectos.

Asimismo, se obtuvo un costo operativo por metro cúbico de **\$ 0.28**, el cual no incluye depreciación de equipo electro-mecánico, ni costos de licencias ambientales, para la sostenibilidad del proyecto, el costo de \$ 0.28/m³, debiese ser la tarifa por tratamiento de agua residual.

CONCLUSIONES

1. La ponderación en el aspecto social del análisis de ciclo de vida, para el sistema en estudio fue de 80.25%, según la metodología y la escala de valoración planteada en el estudio, se considera excelente, siendo un impacto positivo para los usuarios, trabajadores, proveedores y con alto potencial para posibles consumidores.
2. El resultado de agotamiento de recurso abiótico, producto de la utilización de energía eléctrica, fue de $AR= 3.46 \text{ MJ/m}^3$; sin embargo, para analizar dicho valor se requieren datos de referencia de otras líneas de investigación, para interpretar este impacto y que dicho resultado pueda ser tomado en consideración, en el momento de selección o comparación de alternativas, si lo que se busca es el mejor escenario ambiental.
3. Dentro del análisis ambiental, se obtuvo un dato de PCG o potencial de calentamiento global, dando como resultado que la planta contribuye en menos del 0.01 %, por lo cual se considera despreciable su impacto negativo en el aspecto de cambio climático.
4. La reducción de potencial de eutrofización, gracias a la remoción de nutrientes, es del 21%, por lo que se considera que el impacto al ambiente, en este aspecto es positivo. El índice de carga contaminante resultante, fue de 56.86, según la escala propuesta, es una calidad aceptable de efluente.
5. En la evaluación técnica, se obtuvo una calificación de 78.5, según se explica en el desarrollo de la metodología se clasifica como excelente.

Se observó una eficiencia promedio de 82.66 % en remoción de parámetros indicadores de contaminación (DBO, DQO, Sólidos Suspendidos, Nitratos, Fosfatos y Coliformes).

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere optimizar el consumo de energía eléctrica, a través de la implementación de medidores de oxígeno disuelto, con la finalidad de reducir el costo operativo.
2. No existe tarifa por el servicio de tratamiento de agua residual, según la estimación realizada, para la sostenibilidad operativa, esta debe estar en USD \$ **0.28**, correspondiendo el 25 % del costo mensual al servicio de energía eléctrica, por lo que en caso se busque eficiencia en el costo, se deben tomar medidas para reducción de consumo de energía.
3. Debido a la excelente calidad del agua tratada, es recomendable buscar alternativas para el reúso del agua, para fines de riego o algún otro uso, pues de esta manera se aprovecha el recurso.
4. Se aconseja promover el estudio de distintos sistemas de tratamiento, utilizando la metodología ACV para generar base de datos que permita la comparación y selección de alternativas, de esta manera se podrá dar interpretación a los valores obtenidos por la normalización aplicada en la metodología ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANTÓN VALLEJO M. Capítulo 3, *Metodología del Análisis de Ciclo de Vida-UP Commons*, 2004.
2. BISKAILAB. *Metodología para el análisis de ciclo de vida de depuradoras de aguas residuales*, 2012.
3. DOORN, Michiel R.J., et al. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 5, Países Bajos, 2006. Cap. 5 y 6.
4. ERIS-USAC, *Determinación de ICC*, panel de expertos, 2017.
5. GARCÍA J.S, Herrera I. et al. *Análisis de Ciclo de Vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. Caso: PTARM de Yautepec (Morelos, México). Informes Técnicos CIEMAT, 2011.
6. GONZÁLES BENÍTEZ, Margarita, Guardino Ferre Ramón, et al. *El análisis de ciclo de vida como herramienta de sostenibilidad en los proyectos de tratamiento de aguas*. Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña. Grupo de Investigación de Ingeniería de Proyectos de la UPC, 2013.

7. FERNANDEZ, Nelson, Ramos Gabriel *et al.* *Índices de Calidad y Contaminación del Agua*. Universidad de Pamplona, 2005.
8. MERLI, Gustavo Fernando. *Propuesta de Reutilización de las aguas residuales vertidas al estuario de Bahía Blanca*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina), 2014.
9. MORGAN SAGASTUME Juan Manuel. *Metodología para evaluar el desempeño de la infraestructura hídrica en el contexto de la sustentabilidad urbana*. Maestría y Doctorado en Urbanismo. Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.
10. NOLASCO Daniel. *Desarrollos de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Banco Interamericano de Desarrollo, 2010.
11. NOYOLA ADALBERTO, Sagastume Morgan. *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. UNAM, 2013
12. PADILLA RIVERA, Alejandro de Jesus. *Metodología para evaluar el desempeño de la Infraestructura Hídrica en el Contexto de la Sustentabilidad Urbana*. UNAM, 2015.
13. RINCÓN MARTINEZ, Jose María, Silva Lora Eduardo. *Bioenergía: Fuentes, conversión y sostenibilidad*. Red Iberoamericana de

Aprovechamiento de Residuos Orgánicos en Producción de Energía (Bogotá, Colombia), 2014.

14. RIVELA CARBALLA Beatriz. *Propuesta Metodológica de aplicación Sectorial de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la evaluación ambiental de la edificación en España*. Tesis Doctoral, 2012.
15. ROJAS RODRIGUEZ Alejandro. *Análisis de Ciclo de Vida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
16. SALAS QUINTERO Diana, Zapata Alberto Mario. *Modelo de Costos para el Tratamiento de las Aguas Residuales en la Región*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.
17. ZAMBRANO D, Villareal C. *Análisis de Ciclo de Vida en Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Conferencia Latinoamericana de Saneamiento, Cali, Colombia, 2007.

ANEXOS

Anexo 1. Parámetros de diseño

1. Número de habitantes: 5,000.00
2. Dotación de agua potable: 200 litros/hab/día
3. Factor de Retorno: 75%
4. DBO: 350 PPM

CAUDAL MEDIO DE AGUAS RESIDUALES

5000 habitantes X 200l/hab/d X 0.75= 750,000 l/d

CÁLCULO DE CARGA HIDRÁULICA

750 m³/d = 8.68 l/s = 198,150.60 galones/d

CÁLCULO CARGA ORGÁNICA

350 gr/m³ X 750.0 m³ = 262,500 gr/d X 1 kg/ 1000 grms X 1 libra/454 grms = 578.20 lbs de DBO/d

DIMENSIONES DE LAS UNIDADES DE LAS PLANTAS

- Desarenador
- Trampa de grasa
- Tanque de aireación
- Clarificador y sedimentador
- Tanque de desinfección

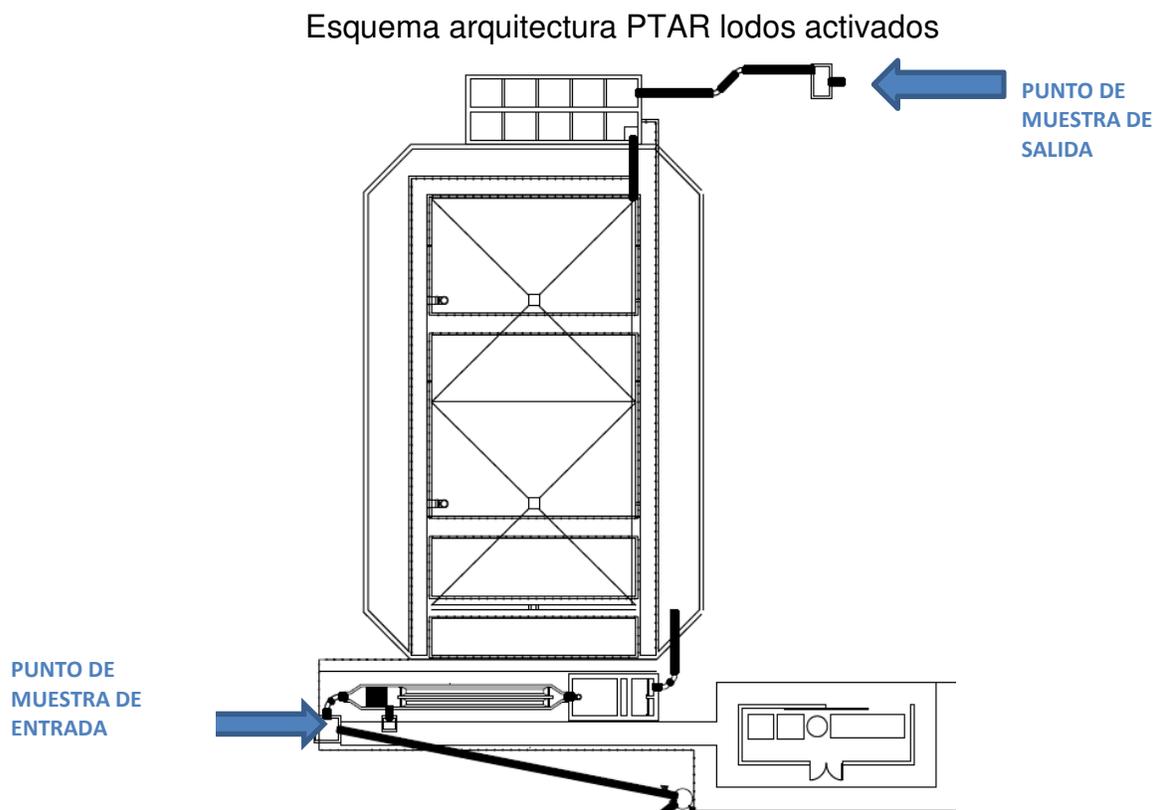
EQUIPAMIENTO

1. Motor (blower) de 40 HP
2. Barras difusores de burbuja fina
3. Filtro prensa
4. Compresor 5 HP

Anexo 2. APLICACIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2.1. Análisis de inventario

2.1.2. Puntos de muestreo



Fuente: Operadora Río Azul.

Se tomó muestra en dos puntos: entrada al tratamiento primario y salida del tanque de desinfección.

2.1.2. Tamaño de la muestra

Un tamaño de muestra demasiado grande representa un desperdicio de recursos, tanto humanos como materiales, mientras que un tamaño demasiado pequeño es un desperdicio de esfuerzo, pues no podrá detectar un efecto significativo.

Para determinar el número de muestras, se asumió una distribución normal, y se utilizó el método propuesto por Badii, M.H., J. Castillo & A. Guillén, en el artículo "Tamaño óptimo de la muestra".

$$n = (z^2 \sigma^2) / d^2$$

Donde:

n = tamaño de muestra

z = valor obtenido de test z

σ = desviación estándar

d= (coeficiente de confiabilidad)*(error estándar)

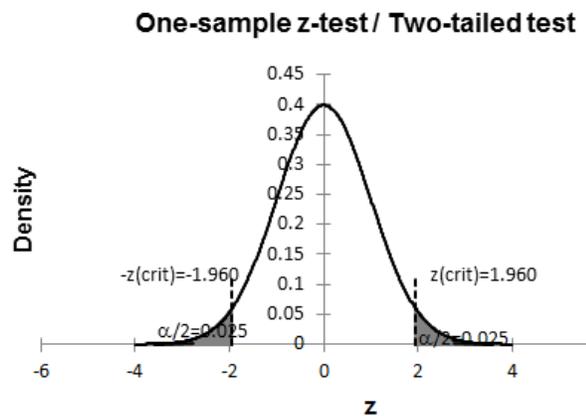
Siendo el Error estándar= σ / \sqrt{N}

N= cantidad de muestras

Se proyectó con los resultados de los primeros dos muestreos, el número ideal de muestras, los datos obtenidos con ayuda del programa XLSTAT con 2 muestras fue:

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Mean	Std. deviation
dbo					
salida	2	28.400	37.000	32.700	6.081

Curva de test z de las primeras muestras



Fuente: elaboración propia, con ayuda de XLSTAT.

One-sample z-test / Two-tailed test:

95 % confidence interval on the difference between the means:

] 24.272; 41.128 [

Difference	31.700
z (Critical value)	1.960
p-value (Two-tailed)	< 0.0001
alpha	0.05

Teniendo entonces que:

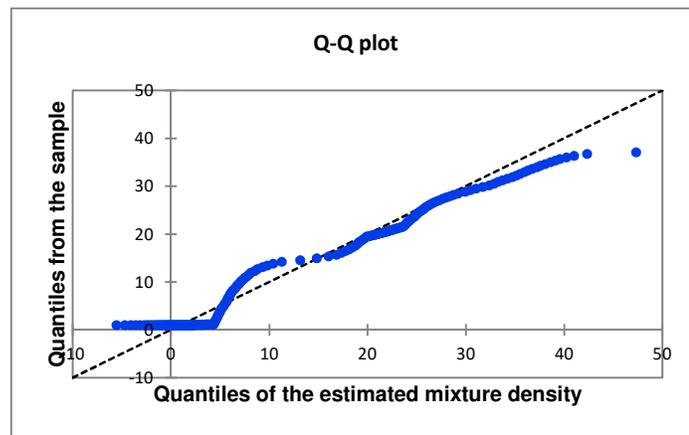
$$\text{Error estándar} = 6.081 / \sqrt{2} = 4.3$$

$$n = \frac{1.96^2 * 6.081^2}{(0.95 * 4.3)^2} = 8.516$$

Por lo tanto, el tamaño de la muestra se aproxima a **9**.

Como inicialmente, se asumió una distribución normal, para poder aplicar la fórmula de determinación de tamaño de muestra, al tener el total de 9 datos, se realizó con ayuda del programa XLSTAT, una comprobación, para validar que los criterios iniciales fueran correctos, continuando con la referencia de los datos de DBO de salida.

Análisis de distribución normal mediante Shapiro Wilks con corrección Lilliefors



Fuente: elaboración propia, con ayuda de XLSTAT.

Interpretación de la prueba:

H0: la variable de la que se extrajo la muestra sigue una distribución Normal.

Ha: la variable de la que se extrajo la muestra no sigue una distribución Normal.

Como el valor de p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha = 0.05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0.

Se realizó la verificación de distribución T student, para analizar si podía usarse el método propuesto por Standard Methods 1060B, generalmente utilizado para determinación de número de muestras de agua y agua residual, obteniendo los siguientes resultados:

Estadísticas estimadas en los datos ingresados y calculados usando los parámetros estimados de la distribución T student, con ayuda de XLSTAT, con referencia a la DBO:

Statistic	Data	Parameters
Mean	13.350	0.000
Variance	189.082	
Skewness		
(Pearson)	0.417	0.000
Kurtosis		
(Pearson)	-1.558	

Kolmogorov-Smirnov test:

D	0.673
p-value (Two-tailed)	0.000
alpha	0.05

Interpretación de la prueba:

H0: la muestra sigue una distribución T Student

Ha: la muestra no sigue la distribución de T Student

Como el valor de p calculado es menor que el nivel de significación $\alpha = 0.05$, uno debería rechazar la hipótesis nula H0 y aceptar la hipótesis alternativa Ha. Es decir la muestra no sigue distribución T student.

2.2. Evaluación de impactos

2.2.1. Agotamiento de recursos abióticos

El agotamiento de recursos abióticos es la disminución de disponibilidad de recursos naturales, es esta categoría se incluye la energía.

2.2.2. Energía

La energía consumida en el proceso, en dado caso procediera de una fuente no renovable, implicaría un impacto en el agotamiento de recursos abióticos, por ello se realiza una estimación del consumo de energía eléctrica en el proceso, para lo cual se hizo un levantamiento de los equipos instalados y

las potencias de los mismos, se consideró que la planta opera en una dinámica de 45 minutos de operación por 15 de descanso, en un ciclo de 24 horas, dicho dato se comparó a su vez, con facturas de energía eléctrica mensuales, obteniendo el resultado siguiente:

Los equipos instalados suman una potencia instalada de 45 HP, por lo tanto:

Kwh= Potencia instalada en hp * 0.746* horas de trabajo al mes

$$\text{Kwh} = 45 * 0.746 * 18 * 30 = 18127.80$$

Trasladando el dato anterior, a nuestra unidad funcional (m³), tenemos:

$$\text{Kwh} = 18, 127.8 \text{ kw/mes} = 604.26 \text{ Kw/día} = 1.137 \text{ Kw/m}^3$$

2.2.3. Determinación de agotamiento de recurso abiótico

Para la caracterización de este parámetro, CML, propone la siguiente fórmula:

$$AR = \sum_i ADF_i \times m_i$$

De donde:

AR= indicador de agotamiento de recursos abióticos, m_i , es la cantidad de recurso utilizado en kg por m³ o MJ y F_i , es el factor de caracterización de este recurso, y ADF (kg eq. Sb kg⁻¹), ya que en esta fórmula, según (Guinee y col., 1995) se tiene en cuenta el ratio de disminución o reducción del recurso, siendo entonces la expresión de AR, en kg equivalentes de antimonio.

Calculando tenemos:

$$mi = \frac{18127.80 \text{ kWh/mes}}{531.27 \text{ m}^3 \times 30 \text{ mes}} = 1.137 \text{ kW/m}^3 = 3.46 \text{ MJ/m}^3$$

$$531.27 \text{ m}^3 \times 30 \text{ mes}$$

Para determinar F_i , recurrimos a las tablas de caracterización

Factor de caracterización del agotamiento de recurso abiótico

Substancia	F $\text{kg}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$	ADF $\text{kg Sb eq} \cdot \text{kg}^{-1}$
Antimonio	13.671,9	1
Azufre (S, in ground)	4,408	0,000358
Bauxita (Al_2O_3 , ore)	0,108	-
Calcio	-	7,08E-10
Carbón (in ground)	0,0005037	0,00363
Cloro	-	4,86E-08
Cloruro potásico (KCl, as K_2O , in ground)	0,086	-
Cobre (Cu, ore)	28,16	0,00194
Cromo (Cr, ore)	0,319	-
Fosfatos (in ground)	0,115	-
Fósforo	-	0,0000844
Gas Natural (in ground)	0,117	0,32
Hierro (Fe, ore)	0,04	8,43E-08
Lignito (in ground)	0,0005037	-
Magnesio	-	3,73E-09
Manganeso (Mn, ore)	0,296	0,0000138
Niquel (Ni, ore)	59,7	-
Perlita (SiO_2)	0,468	-
Petróleo (in ground)	0,0557	0,436
Plata (Ag, ore)	92837	1,84
Plomo (Pb, ore)	157	0,0135
Potasio (K, as K_2O , in ground)	0,086	3,13E-08
Sodio	-	8,24E-11
Sulfato de Bario (BaSO_4 , in ground)	26,91	-
Uranio (U, ore)	181	-
Zinc (Zn, ore)	40,29	-

Fuente: TEAM 1999.

Entonces:

$$AR = (1 \text{ kg Sb eq} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot 3.46 \text{ MJ/m}^3 = \mathbf{3.46 \text{ MJ Sb eq/m}^3}$$

2.2.4. Cambio climático

Bajo el concepto de variación del clima del planeta Tierra, por efectos de las acciones humanas, en el caso relacionado al proceso de tratamiento de aguas residuales en la modalidad lodos activados, se determinara el metano como factor asociado a los gases de efecto invernadero.

2.2.5. Potencial de calentamiento global

El PCG, se utiliza para medir la capacidad que tienen los distintos gases de efecto invernadero, para retener el calor en la atmosfera, la base para los cálculos es el CO₂.

Valores guía recomendados por el IPCC

GAS DE EFECTO INVERNADERO - GEI		POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (para obtener CO ₂ e multiplicar por)		
		IPCC 1995	IPCC 2007	IPCC 2013
Dióxido de Carbono	CO ₂	1	1	1
Metano	CH ₄	21	25	28
Óxidos Nitroso	N ₂ O	310	298	265
Hexafluoruro de Azufre	SF ₆	23.900	22.800	23.500
Hidrofluorocarbonados	HFC's	140 - 11.700	124 - 14.800	< 13.900
Perfluorocarbonados	PFC's	6.500 - 9.200	7.390 - 12.200	< 12.400
Trifluoruro de Nitrógeno	NF ₃	---	---	17.200

Fuente: Taller sobre Huella de Carbono Corporativa, Corporación Ambiental Empresarial

2.2.6. Metano

Las directrices de IPCC, proponen para la estimación de CH₄, ecuaciones para su determinación, que utiliza factores, según el área de generación de las aguas (rural o urbana), nivel de ingreso económico (alto o bajo), para lo cual proporciona tablas guía.

La ecuación general de estimación de emisiones, es la siguiente:

EMISIONES TOTALES DE CH₄ PROCEDENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j) \right] (TOW - S) - R$$

Donde:

Emisiones CH₄= emisiones de metano durante el año del inventario, en kg de CH₄/año

TOW= total de materia orgánica en aguas residuales en año de inventario, kg DBO/año

S= componente orgánico separado como lodo durante el año de inventario, kg DBO/año

U_i= fracción de la población del grupo de ingresos *i* en año de inventario, ver cuadro en anexo 2

T_{i,j}= grado de utilización de sistema de tratamiento o eliminación *j*, para cada fracción de grupo de ingresos *i* en año de inventario, ver cuadro en anexo 2

i= grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos

j= cada vía o sistema de tratamiento / eliminación

EF_j= factor de emisión, kg de CH₄/kg de DBO₅

R= cantidad recuperada de metano

Para el factor de corrección de metano (MCF), según directrices del IPCC, se tiene:

VALORES DE MCF POR DEFECTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS			
Tipo de vía o sistema de tratamiento y eliminación	Comentarios	MCF ¹	Intervalo
Sistema sin tratamiento			
Eliminación en río, lago y mar	Los ríos con alto contenido de sustancias orgánicas pueden volverse anaeróbicos.	0,1	0 – 0,2
Cloaca estancada	Abierta y caliente.	0,5	0,4 – 0,8
Cloaca en movimiento (abierta o cerrada).	Correntosa, limpia. (cantidades insignificantes de CH ₄ desde las estaciones de bombeo, etc.)	0	0
Sistema tratado			
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Debe ser bien operada. Puede emitir algo de CH ₄ desde las cuencas de decantación y otros tanques.	0	0 – 0,1
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Mal operada. Sobrecargada.	0,3	0,2 – 0,4
Digestor anaeróbico para lodos	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Reactor anaeróbico	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Laguna anaeróbica poco profunda	Profundidad de menos de 2 metros: recurrir al dictamen de expertos.	0,2	0 – 0,3
Laguna anaeróbica profunda	Profundidad de más de 2 metros.	0,8	0,8 – 1,0
Sistema séptico	La mitad del BOD se decanta en tanques anaeróbicos.	0,5	0,5
Letrina	Clima seco, capa freática más baja que la letrina, familia reducida (3-5 personas)	0,1	0,05 – 0,15
Letrina	Clima seco, capa freática más baja que la letrina, uso comunitario (muchos usuarios)	0,5	0,4 – 0,6
Letrina	Clima húmedo/descarga por agua, capa freática más alta que la letrina	0,7	0,7 – 1,0
Letrina	Extracción frecuente de sedimentos para abono	0,1	0,1

El factor de emisión EF_j, es función del potencial máximo de producción (B₀) de CH₄ y del factor de corrección para metano (MCF), para el sistema de tratamiento y eliminación de aguas residuales.

**FACTOR DE EMISIÓN DE CH₄ PARA CADA VÍA O SISTEMA DE TRATAMIENTO
Y/O ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

$$EF_j = B_o \bullet MCF_j$$

Donde:

EF_j= factor de emisión, kg de CH₄/kg de DBO

j= cada vía o sistema de eliminación

Bo= capacidad máxima de producción de CH₄, kg de CH₄/kg de COD

MCF_j= factor corrector para metano

En caso no se cuente con datos específicos del país para Bo, se puede usar según las directrices de IPCC, un valor por defecto de 0.6 kg de CH₄/kg de DBO

Tal como se indica en la ecuación general de determinación de emisiones, se requiere el dato del TOW (en inglés Total Organic Waste), en referencia a la cantidad total de materia orgánica degradable en las aguas servidas. Dicho parámetro, está en función de la población humana y el índice de generación de DBO por persona, expresado en términos de DBO₅/año.

La ecuación para su determinación es:

TOTAL DE MATERIA ORGÁNICA DEGRADABLE EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$TOW = P \cdot BOD \cdot 0.001 \cdot I \cdot 365$$

Donde:

TOW= materia orgánica total en aguas residuales del año de inventario, kg DBO/año

P= población del país en año del inventario (personas)

DBO= DBO per cápita, específico del país en año del inventario en g/persona/día

0.001= conversión de gramos de DBO a kilogramos de DBO

I = factor de corrección para DBO industrial, si no se recolecta agua industrial, el valor por efecto es 1

Aplicando las ecuaciones, para la determinación de emisión, se tiene:

$$\text{DBO por persona/día} = \left(\frac{\frac{531,270 \text{ lts}}{\text{día}}}{2800 \text{ personas}} \right) = \frac{189.7 \frac{\text{lts}}{\text{per}}}{\text{día}} = \frac{80,273.45}{1000} = 80.27 \text{ g DBO per/día}$$

$$\text{TOW} = 2800 \text{ per} * 80.27 \text{ g DBO} \frac{\text{per}}{\text{día}} * 0.001 * 1 * 365 = 82,035.94 \text{ kg DBO/año}$$

$$\text{EF}_j = 0.6 \text{ kg CH}_4/\text{kg DBO} * (0.1)$$

$$\text{EF}_j = 0.06 \text{ kg CH}_4/\text{kg DBO}$$

Estimación de S = carga orgánica separada como lodo en kg DBO/año

$$S = (\text{DBO entrada} - \text{DBO salida}) * \text{litros/año}$$

$$S = \frac{(423.16 - 13.35) \text{ mg}}{\text{l}} * 531,270 * 365 \frac{\text{lts}}{\text{año}} = 79,467.71 \text{ kg DBO/año}$$

De lo anterior, aplicando la siguiente ecuación se obtiene:

EMISIONES TOTALES DE CH₄ PROCEDENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot \text{EF}_j) \right] (\text{TOW} - S) - R$$

Las consideraciones para U_i y $T_{i,j}$, fueron que el 100% de la población servida, corresponde a área urbana de ingresos altos, y para T , el 100% de la población está conectada al sistema de tratamiento aeróbico, valores que fueron consignados en el software.

Para el caso en estudio se conoce con certeza el tipo de urbanización, el ingreso medio de la población, y las conexiones del alcantarillado de cada condominio, están a cargo del mismo operador de la planta de tratamiento.

Las directrices sugieren valores para U_i y para T_{ij} , según las siguientes tablas:

País		VALORES SUGERIDOS PARA LA URBANIZACIÓN (U) Y EL GRADO DE UTILIZACIÓN DE LA VÍA DEL TRATAMIENTO O ELIMINACIÓN O DEL MÉTODO POR GRUPO DE INGRESOS (T_{ij}) PARA LOS PAÍSES SELECCIONADOS																	
		Urbanización (U) ¹		Grado de utilización de la vía del tratamiento o eliminación o del método por cada grupo de ingresos (T_{ij}) ²															
		Fración de la población urbana-alta ²	Fración de la población urbana-baja ²	U=rural				U=urbana de ingresos altos				U=urbana de ingresos bajos							
Rural	urbana-alta ²	urbana-baja ²	Pozo séptico	Letrina	Otro	Cloaca ⁴	Ninguno	Pozo séptico	Letrina	Otro	Cloaca ⁴	Ninguno	Pozo séptico	Letrina	Otro	Cloaca ⁴	Ninguno		
África																			
Nigeria		0,56	0,32	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,32	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17
Egipto		0,56	0,15	0,05	0,10	0,70	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,15	0,05	0,10	0,70	0,00	0,17
Kenia		0,56	0,32	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,32	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17
Sudáfrica		0,48	0,15	0,15	0,00	0,70	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,48	0,15	0,15	0,00	0,70	0,00	0,17
Asia																			
China		0,3	0,18	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14	0,10	0,03	0,68	0,05	0,3	0,18	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14
India		0,33	0,18	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,33	0,18	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14
Indonesia		0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14
Paquistán		0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14
Bangla Desh		0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14
Japón		0,00	0,00	0,00	0,10	0,90	0,00	0,10	0	0	0,90	0	0,00	0,00	0,00	0,10	0,90	0,00	0,10
Europa																			
Rusia		0,00	0,10	0,00	0,00	0,90	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,10	0,00	0,00	0,90	0,00	ND
Alemania ⁵		0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND
Reino Unido		0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND
Francia		0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND
Italia		0,00	0,04	0,00	0,00	0,96	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,04	0,00	0,00	0,96	0,00	ND
América del Norte																			
Estados Unidos		0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND
Canadá		0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND
América Latina y el Caribe																			
Brasil		0,45	0,00	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40	0,20	0,45	0,00	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00
México		0,45	0,00	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40	0,20	0,45	0,00	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00
Oceania																			
Australia y Nueva Zelanda		0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS VALORES POR DEFECTO
 POR GRADOS DE UTILIZACIÓN DEL TRATAMIENTO (T) POR GRUPOS DE INGRESOS

Vía o sistema de tratamiento y/o eliminación	T (%)	Notas	
Urbanos de altos ingresos	Al mar	10	Ningún CH ₄
	Hacia planta aeróbica	20	Añadir componente industrial
	Hacia sistemas sépticos	10	No recolectadas
Urbanos de bajos ingresos	Al mar	10	Recolectadas
	Hacia letrinas de hoyo	15	No recolectadas
Rural	A ríos, lagos, mar	15	No recolectadas
	Hacia letrinas de hoyo	15	
	Hacia pozos sépticos	5	
Total	100%	Debe sumar 100 %	

Referencia: Doorn y Liles (1999).

$$\text{Emisión de CH}_4 = (1 * 1 * 0.06) * (82,035.94 - 79467.71) - 0$$

$$\text{Emisión de CH}_4 = 154.09 \text{ kg CH}_4 / \text{año}$$

En términos de la unidad funcional (m³):

$$\text{Emisión de CH}_4 = (154.09 \text{ kg/año}) \div (531.27 \text{ m}^3 / \text{d} \times 30 \text{ d} \times 12 \text{ meses})$$

$$\text{Emisión de CH}_4 = 0.000805 \text{ kg/m}^3$$

2.2.7 Determinación de emisión de CO₂

Para su determinación se utilizó una calculadora en línea, la cual utiliza de base el IPCC, para lo cual es necesario únicamente ingresar el dato de consumo eléctrico en Kwh, obteniendo el siguiente dato de emisión de CO₂:

Calculadora para determinación de CO₂

	Tipo	Cantidad	Medida	Emisiones de CO ₂	Fuente	
CALCULADORA DE CO ₂	Consumo eléctrico	18127.80	KWh	11783.07	Kg CO ₂ CE	
	Transporte					
	Coche gasolina	0	Km	0	Kg CO ₂ CE	
	Coche diesel	0	Km	0	Kg CO ₂ CE	
	Furgoneta	0	Km	0	Kg CO ₂ EERE	
	Trailer	0	Km	0	Kg CO ₂ EERE	
	Avión*	0	Km	0	Kg CO ₂ ICAO, IPCC	
	Tren AV*	0	Km	0	Kg CO ₂ UIC, EEA	
	Regional*	0	Km	0	Kg CO ₂ UIC, EEA	
	Cercanías/Metro*	0	Km	0	Kg CO ₂ UIC, EEA	
	Total emisiones CO₂				11783.07	Kg CO ₂
	<small>Las cifras emitidas por esta calculadora vienen expresada en notación inglesa, siendo el punto (.) el separador de decimales.</small>					
	<small>*Datos por pasajero</small>					

CALCULADORA DE CO₂

reinciar calcular

Fuente: <http://arboliza.es/compensar-co2/calculo-co2.html>

El valor obtenido es de 11783.07 kg CO₂ por mes, y la cantidad de Kg de CO₂, por m³ y por kwh, son los siguientes:

$$\frac{\text{Kg CO}_2}{\text{m}^3} = \frac{11783.07}{531.27 \times 30} = 0.74 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$$

$$\frac{\text{Kg CO}_2}{\text{kwh}} = \frac{11783.07}{18127.80} = 0.65 \text{ kg CO}_2/\text{kwh}$$

$$\frac{\text{Kg CO}_2}{\text{año}} = (0.74 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3) \times (531.27 \times 30 \times 12 \text{ m}^3/\text{año}) = 141,530.33 \text{ kg/año}$$

Habiendo obtenido previamente los valores de CO₂ y CH₄, se puede estimar el CO₂ equivalente:

$$\text{Emisión de CO}_2/\text{m}^3 = 0.74 \text{ kg /m}^3 \text{ CO}_2 \text{ eq}$$

$$\text{Emisión de Metano CH}_4/\text{m}^3 = 0.000805 \text{ kg /m}^3 \text{ CH}_4$$

Para estimar el CCI (indicador de cambio climático), usaremos la siguiente fórmula:

$$CCI = \sum_i GWP_i \times m_i$$

$$PCG = 0.74 + (28 \times 0.000805) = 0.76254 \text{ kg /m}^3 \text{ CO}_2 \text{ eq}$$

2.2.8 Eutrofización

La eutrofización, se indica en kg equivalentes de PO₄, y se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$eutrofización = \sum_i EP_i \times m_i$$

Donde:

EP_i = potencial de eutrofización de la sustancia i (expresado en kg equivalentes de PO₄⁻³) y m es la masa en kilogramos de la sustancia i emitida al aire, agua o suelo.

Factores de equivalente EP en gramos equivalentes de PO₄⁻³ utilizados en la categoría de eutrofización

Substancia	EP
Amoniaco (NH ₃)	0,35
Amonio (NH ₄ ⁺)	0,42
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	0,13
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	0,022
Fosfatos (PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ , as P)	3,06
Fósforo (P)	3,06
Nitratos (NO ₃ ⁻)	0,095
Nitritos (NO ₂ ⁻)	0,13
Nitrógeno (N ₂)	0,42
Óxido Nitroso (N ₂ O)	0,27
Pentóxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	1,336

Fuente: TEAM, 1999.

2.2.9. Potencial de eutrofización de afluente:

Datos de inventario de afluente, y tabla de factores de equivalencia EP:

$$\text{NO}^{-3} = 0.063 \text{ kg/m}^3 = 63 * 0.095 = 5.985 \text{ g eq. PO}_4^{-3}, \text{ o } 0.00598 \text{ kg eq PO}_4^{-3}$$

$$\text{PO}_4^{-3} = 0.110 \text{ kg/m}^3 = 110 * 3.06 = 336.6 \text{ g eq. PO}_4^{-3}, \text{ o } 0.336 \text{ kg eq PO}_4^{-3}$$

Por sumatoria:

$$\text{EP} = 0.00598 + 0.336 = 0.34258 \text{ kg eq PO}_4^{-3}$$

2.2.10. Potencial de eutrofización del efluente:

Datos de inventario de efluente, en la sección 8.4.2, y tabla de factores de equivalencia EP:

$$\text{NO}^{-3} = 0.045 \text{ kg/m}^3 = 45 \text{ g/m}^3 = 45 * 0.095 = 4.275 \text{ g eq. PO}_4^{-3}, \text{ o } 0.00427 \text{ kg eq PO}_4^{-3}/\text{m}^3$$

$$\text{PO}_4^{-3} = 0.022 \text{ kg/m}^3 = 22 \text{ g/m}^3 = 22 * 3.06 = 67.32 \text{ g eq. PO}_4^{-3}, \text{ o } 0.067 \text{ kg eq PO}_4^{-3}/\text{m}^3$$

Por sumatoria:

$$\text{EP} = 0.00427 + 0.067 = 0.07159 \text{ kg eq PO}_4^{-3}$$

Tabla de referencia valores normalización por categoría de impacto

Categoría de Impacto	Normalización World (1990 and 1995)
Agotamiento de los recursos abióticos	6.32E-12
Acidificación	3.09E-12
Eutrofización	7.53E-12
Calentamiento Global (GWP100)	2.27E-14
Disminución de la capa de ozono (ODP)	8.76E-10
Toxicidad humana	1.67E-14

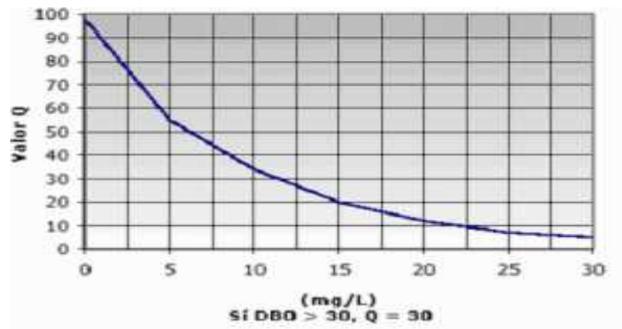
Fuente: Tesis Lic. Gustavo Merli, 2014.

2.3. Determinación de carga contaminante

Para la determinación de la puntuación del ICC, se siguieron los pasos explicados en el capítulo de metodología, para lo cual se empleó los valores promedio obtenidos del efluente, para cada uno de los parámetros considerados, el cual se buscó en las curvas de referencia, para obtener el valor Q. Las tablas utilizadas fueron las siguientes:

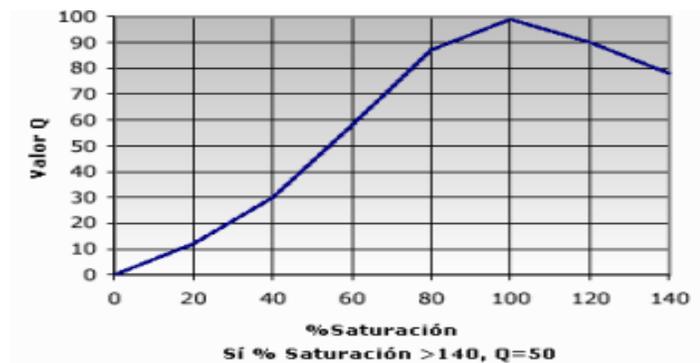
Gráficas por variable metodología ICC

Demanda Bioquímica de Oxígeno



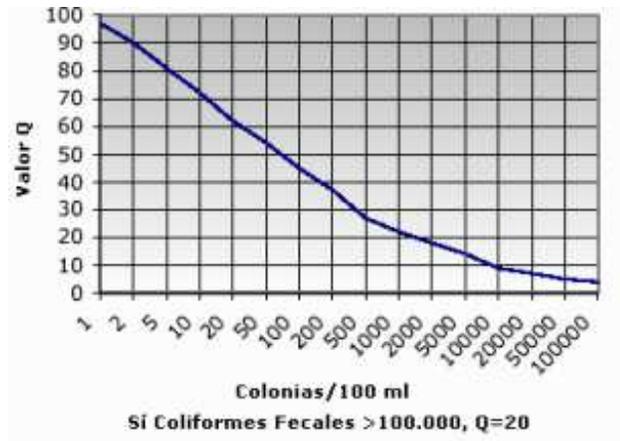
Fuente: Capítulo 3, Índices de calidad y contaminación del agua, Nelson Fernandez, 2005.

% Saturación de Oxígeno



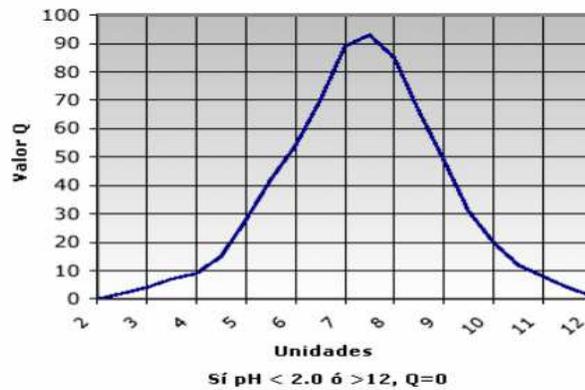
Fuente: Capítulo 3, Índices de calidad y contaminación del agua, Nelson Fernandez, 2005

Coliformes fecales



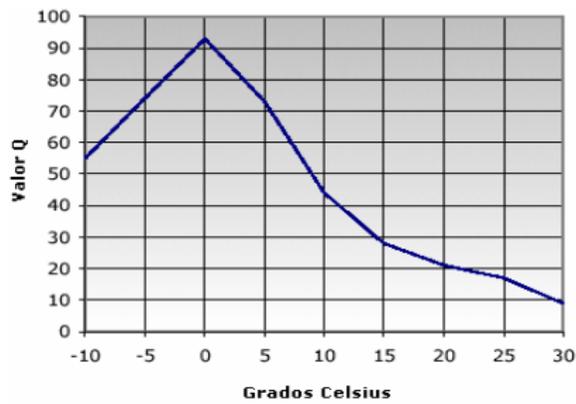
Fuente: Capítulo 3, Índices de calidad y contaminación del agua, Nelson Fernandez, 2005.

Potencial de Hidrógeno



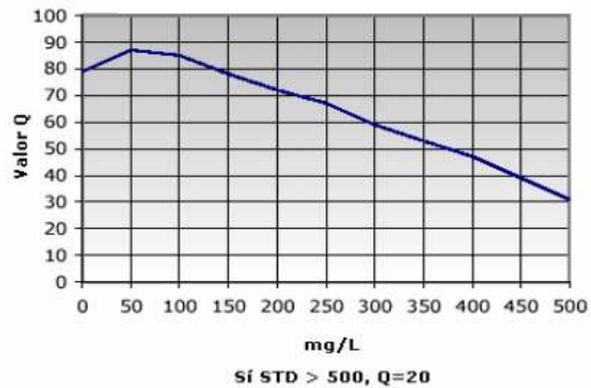
Fuente: Capítulo 3, Índices de calidad y contaminación del agua, Nelson Fernandez, 2005.

Temperatura °C



Fuente: Capítulo 3, Índices de calidad y contaminación del agua, Nelson Fernandez, 2005.

Sólidos disueltos



Fuente: Capítulo 3, Índices de calidad y contaminación del agua, Nelson Fernandez, 2005.

3. Resultados de ACV social

Para obtener información y evaluar cada categoría, se utilizó una boleta de ACV Social, obteniendo indicadores de desempeño, según las valoraciones asignadas a las preguntas y respuestas.

Boletas por categoría

No.	Grupos de Interes	Indicador de desempeño
1	Trabajadores	4
2	Usuarios	3
3	Consumidores	1
4	Proveedores	2
	Total	10

Fuente: elaboración propia.

Criterios de ponderación de los indicadores seleccionados

Niveles y criterios de ponderación

CRITERIOS DE PONDERACIÓN	
NIVEL	DESCRIPCIÓN
0	Se asigna cuando no existen datos reportados
1	Rendimiento muy pobre , la organización opera bajo un contexto desfavorable (bajo riesgos físico-psicológico o de seguridad o violación a los derechos humanos).
2	Rendimiento bajo , la organización no cumple con normativas, reglamentos o leyes vigentes.
3	Actitud aceptable , rendimiento medio.
4	Excelente rendimiento , se le asigna a una organización que tienen un comportamiento proactivo respecto a las normativas, reglamentos o leyes vigentes. El rendimiento va más allá de los estándares mínimos.

Fuente: Entrevista Ing. Guillermo Garcia.

3.1. Boleta y resultados de categoría trabajadores

TRABAJADORES																				
HORAS DE TRABAJO																				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
a) Cual es su horario de trabajo?				X					x						x					x
b) La planta funciona las 24 horas o se desia el caudal en algun momento (noche)?				X					X						X					X
c) Trabajan horas extras?				X					X						X					X
d) En emergencias por clima u otro motivo, trabajan horas extras, fines semana, vacaciones?				X					X						X					X
e) Existe personal que puede cubrir enfermedades, emergencias, vacaciones, etc?				X					X						X					X
f) existe personal para trabajos de mantenimiento?				X					x						x					x

SALUD Y SEGURIDAD																				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
a) Ha sufrido algun accidente en la planta?				x						x	x									x
b) Considera que se ha enfermado por trabajar en la planta?				x	x									x						x
c) Mencione algunos riesgos de trabajar en la planta?			x						x					x					x	
d) Cuenta con acceso a servicio medico?		x							x					x						x
e) Cuentan con botiquin en la PTAR?		x							x						x					x
f) Cuentan con radio, telefono, por alguna emergencia?		x							x						x					x

LIBERTAD DE ASOCIACION COLECTIVA Y BENEFICIOS SOCIALES																				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
a) Cuando hacen horas extras, se les paga o se les repone con tiempo?				x					x						x			x		
b) Les pagan de mejor forma los días de feriado?				x					x						x			x		
c) Cuentan con algun tipo de seguro?				x					x						x					x
d) Se tiene algun beneficio medico y dental?		x						x					x							x
e) Cuentan con seguro social (IGSS)?				x					x						x					x
f) Tienen libertad de asociacion colectiva (sindicato, cooperativa, etc)?		x					x					x					x			

SALARIO JUSTO																				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
a) El salario que recibe es adecuado respecto a su nivel educativo?				x					x						x					x
b) El nivel de mecanizacion de la PTAR esta relacionado con la preparacion educativa?		x								x					x					x
c) Que nivel educativo es el minimo requerido?			x						x					x						x

DISPONIBILIDAD DE DOCUMENTACION DE LA PTAR																				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
a) Existen planos en la PTAR?				X						X					X					X
b) Existen estudios tecnicos en la PTAR?				X						X					X					X
c) Existe la memoria tecnica, de calculo de la PTAR?				X						X					X					X
d) Existen manuales de operacion y mantenimiento?			x						x						X					X
e) Existen planes de emergencia?			x						x											X
f) Existen planes de formacion para el personal?				X					x						X					X
g) Existen documentos sobre la calidad y cantidad del agua de la PTAR?				X					x						X					X

CAPACITACION		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
a	Cuantas veces se han capacitado?		x					x													
b	Existe un plan de capacitacion?				x						x					x				x	
c	Quien los capacita?					x					x					x					x
d	Como es la capacitacion?					x					x					x					x
e	En donde los capacitan?					x					x					x					x
f	Tienen un programa de estudio?					x					x					x					x
g	Cuanto tiempo dura la capacitacion?					x					x					x					x

PROGRAMA DE MONITOREO		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
a	Existe un control de la calidad del agua en la planta?					x					x					x					x
b	En caso de existir, como es el programa de monitoreo?				x						x					x					x
c	Llega el Ministerio del Ambiente y Ministerio de Salud a verificar la calidad del agua de la planta?					x					x					x					x
d	Cada cuanto llegan estas instituciones responsables?				x	x					x					x					x
e	Existe un presupuesto adecuado para la administracion, operaci3n y mantenimiento de la PTAR?			x							x					x					x

MATERIALES Y EQUIPO		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
a	Cuentan con equipo de seguridad para trabajar?					x					x					x					x
b	Cuentan con herramienta adecuada para trabajar en una PTAR?					x					x					x					x
c	Tienen materiales de construccion para hacer alguna reparacion?			x							x			x							x
d	Tienen equipo para medir caudales?					x	x									x					x
e	Cuentan con equipo para determinar la calidad del agua?					x	x									x					x

3.2. Boleta y resultados de categoría usuarios

USUARIOS																															
SEGURIDAD Y CONDICIONES DE VIDA SALUDABLE											0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4						
a	¿Usted sabe qué pasa con el agua después de usarla en la casa?															x	x												x		
b	¿Sabe que existe una planta de tratamiento para tratar esas aguas?													x				x									x				
c	¿Conoce dónde queda la PTAR?										x					x													x		
d	¿Sabe como sale el agua de esa planta de tratamiento?													x					x									x			
e	¿Ha tenido quejas por la planta de tratamiento?														x						x					x					
f	¿Qué problemas se han presentado en la planta de tratamiento?													x						x								x			
COMPROMISO DE LA COMUNIDAD											0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4						
a	¿En su comunidad cuál es el mayor problema actualmente?										x					x							x								
b	¿En el futuro cuál cree usted que será uno de los mayores problemas si no se hace nada para detenerlo?											x						x								x					
c	¿Conoce la problemática de no tratar las aguas residuales?														x						x							x			
d	Considera que hay un compromiso de la comunidad para tratar las aguas residuales												x													x					
ACEPTACION SOCIAL											0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4						
a	¿Está consciente que al usar el agua la estamos contaminando?														x							x								x	
b	¿Y qué debemos de pagar, para quitarle esa contaminación?												x								x								x		
PARTICIPACION PUBLICA											0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4						
a	¿Le gustaría participar en un grupo que este vigilando y monitoreando la PTAR?											x																x			
b	¿Qué obstáculos tendría para participar en este grupo?											x															x				
c	¿Considera una pérdida de tiempo el participar en este grupo?											x														x					
EMPLEO LOCAL											0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4						
a	¿Los trabajadores de la PTAR viven en la comunidad o en un sector cercano?														x																x
b	¿Dónde viven los trabajadores de la PTAR?													x																x	

3.3. Boleta y resultados de categoría proveedores

PROVEEDORES																
COMPETENCIA JUSTA						0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
a	¿Cómo se elije a los proveedores?									X						X
b	¿Existe algún concurso de acuerdo a la ley vigente?					X					X					
c	¿Se le da prioridad a las empresas nacionales?									X						X
d	¿Existen proveedores para la instalación informática, laboratorio, electromecánica, herramientas, etc.?									X						X
RELACIONES CON LOS PROVEEDORES						0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
a	¿Cómo es su relación con la empresa?									X						X
b	¿Le pagan en el tiempo estipulado?									X						X
c	¿Le piden dinero por hacer un negocio o que se pueda realizar sus pagos?					X										X
d	¿Las reglas son claras y no cambian drásticamente con el tiempo?									X						X
PROMOCION DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL						0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	
a	¿Cuentan con programas de responsabilidad social en su empresa?								X					X		
b	¿Cómo son esos programas de responsabilidad social?								X					X		
c	¿Han tenido éxito estos programas de responsabilidad social?								X					X		

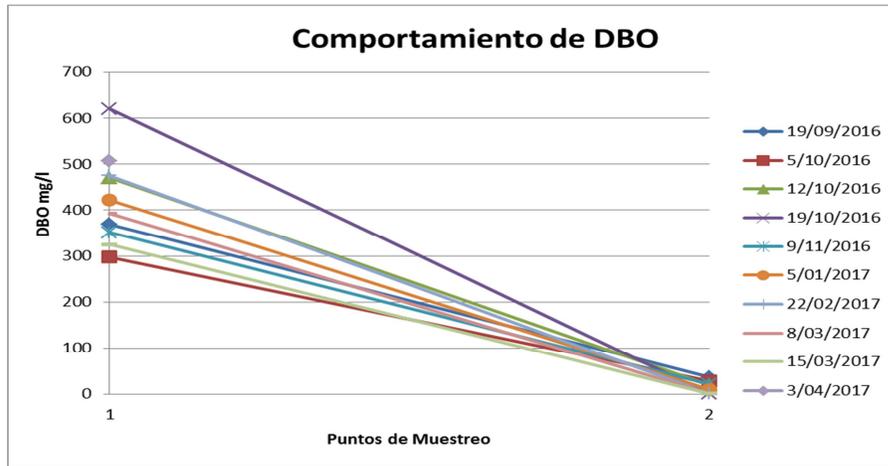
3.4. Boleta y resultados de categoría consumidores

CONSUMIDORES										
SATISFACCION DEL CONSUMIDOR					0	1	2	3	4	
a	¿Existieron quejas respecto a la planta de tratamiento?						x			
b	¿Fueron atendidas sus quejas o dudas respecto al sistema de tratamiento existente?									x
c	¿Recibió un buen trato y se le atendió adecuadamente?									x
MECANISMO DE RETROALIMENTACION					0	1	2	3	4	
a	¿Existe alguna organización de la comunidad que se preocupe por la PTAR.?						x			
b	¿Ha solicitado información sobre la administración, operación y mantenimiento de la PTAR?						x			
c	¿El Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Salud, llegan frecuentemente a tomar muestras a la PTAR?							x		
CALIDAD DEL EFLUENTE					0	1	2	3	4	
a	¿Se cumple con las normativas y reglamentos vigentes respecto a la calidad del efluente de la PTAR?									x
b	¿Se reutiliza el agua tratada?						x			
c	¿Se manejan los lodos?									x
d	¿Se lleva un control de la reutilización del agua residual, para evitar la contaminación?					x				

4. Anexos de evaluación técnica

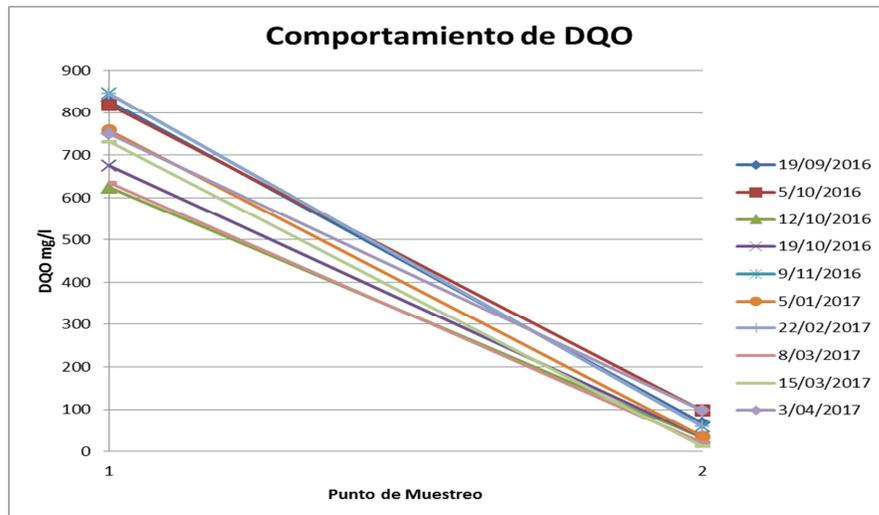
A continuación las gráficas de comportamiento por parámetro:

Gráfica comportamiento de DBO entrada y salida (mg/l)



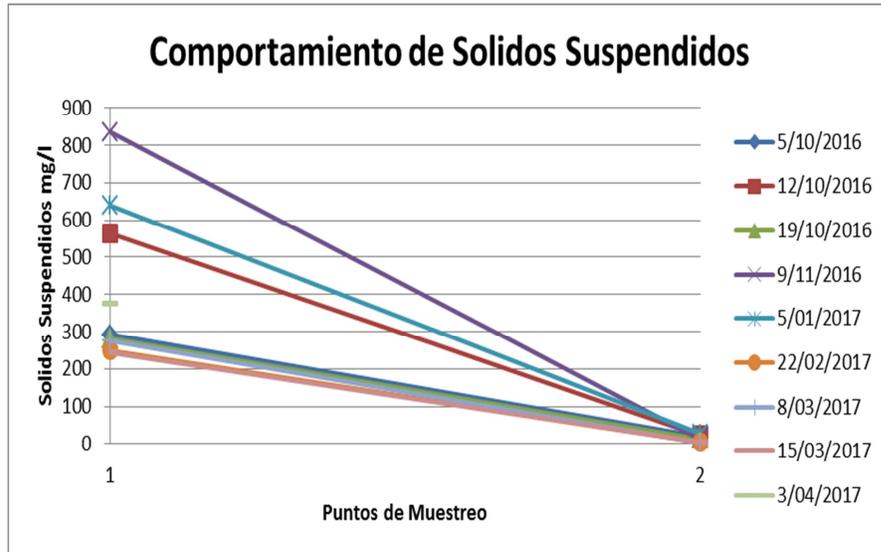
Fuente: elaboración propia.

Gráfica comportamiento de DQO entrada y salida (mg/l)



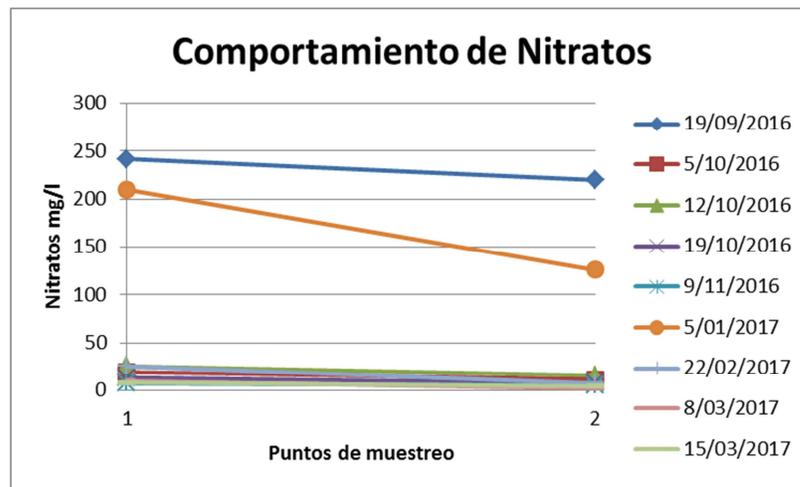
Fuente: elaboración propia.

Gráfica comportamiento de Sólidos suspendidos entrada y salida mg /l



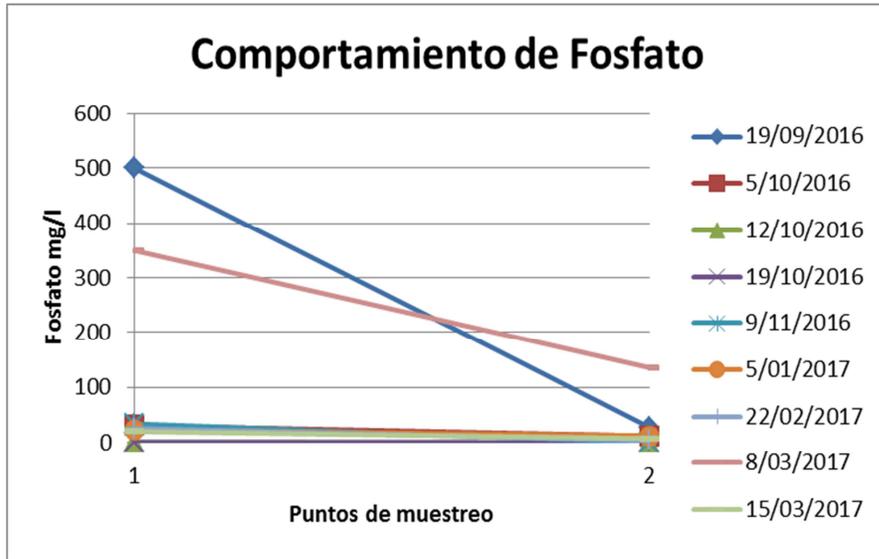
Fuente: elaboración propia

Gráfica comportamiento de Nitratos entrada y salida mg /l



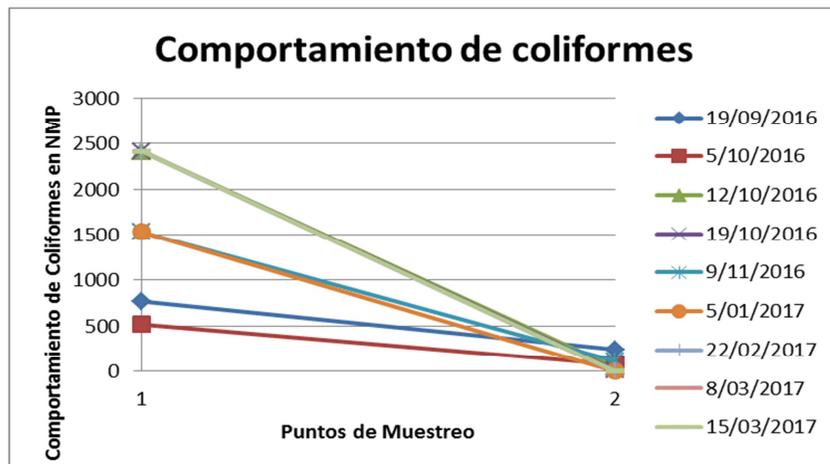
Fuente: elaboración propia.

Gráfica comportamiento de Fosfatos entrada y salida mg /l



Fuente: elaboración propia.

Gráfica comportamiento de coliformes fecales en miles, entrada y salida en NMP/100 ml



Fuente: elaboración propia.

Email: _____
4 Dirección del proyecto: _____ 8va calle 9-26 Condado Naranjo, zona 4 de Mixco _____
5 Dirección para recibir notificaciones: _____ 8va calle 9-26 Condado Naranjo, zona 4 de Mixco
INFORMACIÓN GENERAL
6. Breve descripción del Proyecto: La planta está diseñada y opera bajo la modalidad de lodos activados, cuenta con capacidad de tratamiento de 750 metros cúbicos al día, dicha planta recibe la descarga sanitaria de características domésticas, del sector norte de Condado Naranjo. Opera desde noviembre de 2014.
7. Flujoograma de los procesos de tratamiento <pre> graph LR A[Agua cruda] --> B[Tratamiento Primario] B --> C[Tanque de aireación] C --> D[Clarificador-Sedimentador] D --> E[Desinfección] D --> F[Digestor de lodos] E --> G[Efluente] F --> H[Filtro Prensa] </pre>
8. Describir las unidades o procesos principales de la PTAR

El sistema de lodos activados consta de las siguientes unidades:

1. Caja de ingreso con *by pass*
2. Canal de rejas
3. Desarenador
4. Trampa de grasa
5. Tanque de aireación extendida
6. Sedimentador y clarificador
7. Bidodigestor de lodos
8. Tanque de desinfección
9. Caseta de equipos (blowers y filtro prensa)

9. Área total del terreno en m², incluir un plano o mapa de localización

PTAR ocupa un área de 804.42 m². El plano se incluir en el anexo

10. Características topográficas del terreno: plano, inclinado, etc.

El terreno fue modificado con plataformas, por lo que se cuenta con 3 plataformas, planas cada una de ellas. Las diferencias de nivel entre las plataformas, permiten el funcionamiento hidráulico, ya que una de ellas es donde se ubica el tratamiento primario, el cual tiene una diferencia de piso de 6 metros contra la plataforma mayor, que es donde está desplantado el tanque principal, el clarificador, digestor y tanque de desinfección. Los 6 metros no son evidentes, puesto que esa es la altura del tanque. La tercera plataforma, es donde se ubica la caseta de equipos. En la parte final del proceso, hacia la descarga el terreno tiene un porcentaje de inclinación estimado del 60%, dando paso a una cuenca natural.

11. Actividades colindantes a la PTAR:

NORTE: Quebrada Natural SUR: Condominio Santa Helena

ESTE: Terreno privado sin uso específico OESTE: Terreno privado sin uso específico

12. Está en funcionamiento la PTAR SI NO

_____ PARCIAL _____

13. Identificación y características del cuerpo receptor:

El agua residual tratada, es conducida y descargada hacia zanjón o quebrada natural, que se ubica en la coordenada 14°39'56.5", 90°32'16.9" E

15. Riesgos potenciales en el área:

a) Inundación b) Incendio c) Deslizamientos

d) Derrame de combustible e) Otros

Especifique:

No se han identificado riesgos externos asociados de manera significativa, ya que corresponde a una zona consolidada desde tiempo atrás, de uso habitacional, no hay historial de eventualidades en el sector.

II CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO:

2.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO: (Ej. Servicio municipal de agua, construcción de pozo mecánico o artesanal, río, nacimiento de agua, etc.)

La planta cuenta con servicio de agua potable, el cual provee la misma empresa operadora de la planta (Rio Azul)

2.2 Estimación del caudal de aguas (aforo) por m³/día o l/día: _indique método y cantidad:

Método: Sistema dopler, muestra compuesta 12 muestras por hora

Cantidad: _promedio de 511.48 m³/d_____

a) Estimar cantidad de población (dotación asumida 150 l/día y factor de retorno 0.80)

3000 personas por día

2.3 Generación de aguas residuales (aguas negras) (según origen)		
a) domesticas	<input checked="" type="checkbox"/>	b) industrial <input type="checkbox"/>
c) otros, especificar		
2.4 Sistema de tratamiento de aguas residuales (ej. Pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario terciario) (especificar adjuntando planos o esquemas, mediciones, etc.)		
Se describe en la pregunta 8 en la sección de información general, de la presente boleta. Los esquemas y planos se adjuntaran en el anexo.		
2.5 Descarga final de aguas residuales (efluente) a cuerpo receptor (ej. Pozo de absorción, drenaje municipal, río, mar, etc.)		
El agua ya tratada se conduce por un pozo final que desfoga en una quebrada natural, dicha quebrada a lo largo de su recorrido se une al río Molino.		
2.6 Disposición de lodos provenientes del sistema de tratamiento.		
Los lodos luego de ser digeridos y espesados en la unidad de biodigestión, se bombean a un filtro prensa, en el cual se mezclan con polímero para mayor espesamiento y deshidratación mecánica, el lixiviado se reingresa al proceso de lodo activado, y el lodo seco se encostala, para su posterior transporte mediante una empresa que se dedica a la elaboración de fertilizantes.		
2.7 Aguas de lluvia (captación y disposición de las mismas)		
El sistema de alcantarillado es separativo, por lo que a la planta llega exclusivamente aguas residuales. En el caso del pluvial, es un colector con pozos de visita, del cual luego del último pozo, se cuenta con un dissipador de energía, que empieza al inicio de la quebrada, y termina al fondo de la misma quebrada natural.		

2.8 Personas beneficiarias y/o afectadas (si no se cuenta con censo realizar una estimación)

La planta da servicio a un estimado de 3000 personas, que se ven beneficiadas por contar con un servicio de depuración de aguas servidas, lo que les brinda un entorno limpio.

2.9 Con respecto a la Operación y Mantenimiento:

Cuenta con Operadores _____ sí _____ No. de operadores _____ 1 _____

Están Capacitados _____ sí _____ Tipo de capacitación _____ técnica _____

Cuentan con el Manual de O y M _____ si _____

Tienen tarifa establecida se incluye en la tarifa del servicio de agua Costo de tarifa: 20% sobre el valor de consumo de agua.

3. Efectos sobre la salud humana

3.1 Efectos en la salud humana:

- a) La actividad no representa riesgo a la salud de pobladores cercanos al sitio del proyecto no
- b) La actividad provoca un grado leve de molestia y riesgo a la salud de pobladores no
- c) La actividad provoca grandes molestias y gran riesgo a la salud de pobladores no
- d) Efectos sobre los trabajadores. no

3.2 ¿Qué medidas propone para evitar las molestias o daños a la salud de la población?

1. La planta cuenta con operador para la limpieza diaria y monitoreo de funcionamiento de equipo.
2. Se cuenta con convenios de mantenimiento de equipos mecánicos y eléctricos.
3. La planta funciona las 24 horas, durante los 365 días del año.
4. La planta cuenta con equipo de *backup*, en caso de fallo, para seguir operando.

4.2. Evaluación de tecnología de planta de tratamiento de lodos activados, Río Azul

Matriz de evaluación

No.	A	B	C	D	E
No.	%	Proceso Evaluado: PTAR Lodos Activados, Río Azul	CLASIFICACIÓN 0= no aplica 1= deficiente 3=adecuado 5=muy bueno	C/5 (excepto en renglones 7.3, 8.5, 9.6 y 10.7)	D*A
1	5%	APLICABILIDAD DEL PROCESO	5	1	5
2	10%	GENERACIÓN DE RESIDUOS	5	1	10
3	5%	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LA COMUNIDAD	3	0.6	3
4	5%	GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS CON VALOR ECONOMICO DE REUSO	3	0.6	3
5	15%	VIDA ÚTIL	3	0.6	9
6	5%	REQUERIMIENTO DE ÁREA	3	0.6	3
7	20%	COSTO			
7.1	-	Inversión	3		
7.2	-	Operación y Mantenimiento	5		
7.3	-	Sumar las casillas 7.1 y 7.2 y dividir el total entre 10. El resultado anotarlo en la casilla 7.3 D	-	0.8	16
8	10%	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN			
8.1	-	Criterios de diseño	5		
8.2	-	Experiencia del contratista	5		
8.3	-	Tecnología ampliamente probada	5		
8.4	-	Complejidad en la construcción y equipamiento	5		
8.5	-	Sumar las casillas 8.1C, 8.2C, 8.3C y 8.4C dividir el total entre 20. El resultado anotarlo en la casilla 8.5D		1	10
9	20%	OPERACIÓN			
9.1	-	Flexibilidad de operación	3		
9.2	-	Confabilidad del proceso	5		
9.3	-	Complejidad de operación del proceso	3		
9.4	-	Requerimiento de personal	3		
9.5	-	Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5		
9.6	-	Sumar las casillas 9.1C, 9.2C, 9.3C, 9.4C y 9.5C y dividir el total entre 25. El resultado anotarlo en la casilla 9.6 D		0.76	15.2
10	5%	ENTORNO			
10.1	-	Influencia de la temperatura	3		
10.2	-	Producción de ruido	3		
10.3	-	Contaminacion visual	5		
10.4	-	Producción de malos olores	5		
10.5	-	Generación de gases efecto invernadero (huella de carbono)	5		
10.6	-	Condiciones para la reproducción de animales dañinos	5		
10.7	-	Sumar las casillas 10.1C, y 10.2C, 10.3C, 10.4C y 10.5C y 10.6 y dividir el total entre 30. El resultado anotarlo en la casilla 10.7D		0.87	4.3
11	100%	SUMAR LOS VALORES DE LA COLUMNA E Y ANOTAR EL RESULTADO EN LA CASILLA 11E			78.5

4.3. Resultado análisis económico de la planta en estudio

Determinación de costos de inversión de implementación de planta

Integración de costos

COSTOS DIRECTOS					
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN					
Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	Trabajos preliminares				Q11,636.80
1.01	Topografía	días	2	Q980.00	Q1,960.00
1.02	Nivelación trazo y limpieza	global	1	Q9,676.80	Q9,676.80
2	Construcción civil de PTAR				Q1,988,340.49
2.01	Tanque de aireación, digestor y clarificador	global	1	Q1,988,340.49	Q1,988,340.49
3	Elementos complementarios				Q207,686.71
3.01	Clorador	unidad	1	Q110,318.75	Q110,318.75
3.02	Cuarto de máquinas	unidad	1	Q43,573.02	Q43,573.02
3.03	Desarenador	unidad	1	Q23,313.02	Q23,313.02
3.04	Trampa de grasa y distribuidora de caudales	unidad	1	Q30,481.92	Q30,481.92
4	Impermeabilización				Q105,920.40
4.01	Colocación de waterstop	ml	439.2	Q109.93	Q48,281.26
4.02	Impermeabilización de muros internos	m3	252.46	Q228.31	Q57,639.14
5	Formaleta				Q67,200.00
5.01	Anadamios, formaleta y puntales	global	1	Q67,200.00	Q67,200.00
TOTAL					Q2,380,784.40

COSTOS DE EQUIPAMIENTO					
Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	Equipamiento básico				Q1,560,175.17
1.01	Blowers	Unidad	2	Q364,542.00	Q729,084.00
1.02	Preparador de polímeros, medidor de O.D.	global	1	Q414,091.17	Q414,091.17
1.03	Filtro prensa	Unidad	1	Q417,000.00	Q417,000.00
TOTAL					Q1,560,175.17

COSTOS INDIRECTOS					
COSTOS DE INGENIERÍA					
Rubro	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	Estudios de Ingeniería				Q31,100.00
1.01	Estudio ambiental	unidad	1	Q7,500.00	Q7,500.00
1.02	Estudio de suelos	unidad	1	Q5,600.00	Q5,600.00
1.03	Diseño estructural	unidad	1	Q18,000.00	Q18,000.00
2	Supervisión y servicios provisionales				Q32,500.00
2.01	Administración de la construcción	global	1	Q25,000.00	Q25,000.00
2.02	Agua y electricidad para la obra	global	1	Q7,500.00	Q7,500.00
TOTAL					Q63,600.00

Determinación de costos operativos de implementación de planta

Integración de costos operativos directos

PLANTA DE TRATAMIENTO LODOS ACTIVADOS OPERADA POR RÍO AZUL, EN CONDADO NARANJO		
PROMEDIO COSTOS OPERATIVOS DIRECTOS MENSUALES		
No.	ITEM	COSTOS MENSUALES PROMEDIO
1.00	Operador técnico de PTAR	Q 2,700.00
1.01	Supervisión mensual de ingeniero encargado	Q 1,500.00
1.02	Cloro	Q 500.00
1.03	Enzimas para grasa	Q 400.00
1.04	Energía eléctrica	Q 24,536.43
1.05	Servicio de agua potable	Q 200.20
1.06	Muestreo de entrada y salida de efluente	Q 963.64
1.07	Muestreo anual de caudal	Q 130.00
1.08	Muestreo anual de lodos	Q 200.00
1.10	Manejo de lodos (sacos y extracción)	Q 200.00
1.11	Mantenimiento rutinario de compresores	Q 600.00
1.12	Mantenimiento a filtro prensa	Q 450.00
1.13	Mantenimiento instalaciones eléctricas	Q 283.33
TOTAL PROMEDIO MANTENIMIENTO MENSUAL		Q 32,663.60

Integración de depreciaciones

INVERSION CADA 5 AÑOS

Mantenimiento mayor compresor	Q	12,750.00
Mantenimiento compresor de filtro prensa	Q	2,320.00
Cambio de barra de difusores burbuja fina	Q	50,000.00
Cambio de valvulería instalación de aire	Q	4,784.00
Mantenimiento partes eléctricas	Q	2,650.00
TOTAL REINVERSIÓN	Q	72,504.00

MENSUALIDAD EQUIVALENTE= TOTAL INV./5 AÑOS/12 MESES Q **1,208.40**

COSTO TOTAL DE OPERACIÓN MENSUAL

Costo mensual promedio	Q	32,583.30
Costo por reinversiones	Q	1,208.40
DIRECTOS MENSUALES + REINVERSIONES	Q	33,791.70

COSTO MENSUAL POR M3 TRATADO

Metros cubicos tratados mensuales		16469.48
Coso unitario = Costo Total de Operación mes/m3 tratados	Q	2.05

* Referencia tasa de cambio \$ 1.00/Q 7.40