

Artículo científico

Determinación de impactos ambientales en planta de tratamiento de aguas residuales mediante análisis de ciclo de vida ambiental-ACV

Celia María Grajeda Figueroa

Msc. Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: celia_grajeda@yahoo.com

Adán Pocasangre Collazos

Coordinador y Catedrático de la Maestría en Ingeniería Sanitaria ERIS-USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: adan.pocasangre@crs.org

Recibido 24.08.18 Aceptado 04.10.2018

Resumen

Este artículo trata sobre la determinación de impactos ambientales, producto de la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el sistema lodos activados, la cual trata específicamente descargas provenientes de un sector residencial, mediante la metodología ACV (análisis de ciclo de vida) ambiental, con la finalidad de valorar los impactos potenciales al ambiente y la salud; contribuyendo los valores obtenidos, a la generación de base de datos para comparar alternativas de tratamiento. Las categorías de impacto abarcadas en la investigación son: agotamiento de recursos abióticos, cambio climático, eutrofización e índice de carga contaminante. Se obtuvo los siguientes resultados: índice de cambio climático (CCI) de **0.76 kg/m³** de CO₂ equivalente, potencial de eutrofización (PE) del afluente de **0.34 kg** de PO₄⁻³ equivalente, (PE) de efluente de **0.072 kg** de PO₄⁻³ equivalente, agotamiento de recursos abióticos (AR) de **3.46 MJ Sb** equivalente por m³, e índice de carga contaminante (ICC) de **55.10**, para la categoría de contaminación hacia el cuerpo receptor.

Palabras Clave: agotamiento de recursos abióticos, potencial de calentamiento global, potencial de eutrofización, índice de carga contaminante.

Abstract

This article deals with the determination of environmental impacts, product of the operation of a wastewater treatment plant through the activated sludge system, which specifically deals with discharges from the residential sector, using the environmental LCA life cycle analysis methodology, in order to assess the potential impacts to the environment and health; contributing the obtained values, to the generation of data base to compare treatment alternatives. The categories of impact covered in the research are: abiotic depletion potential, climate change, eutrophication and pollution load index. Obtaining the following results: PCG of **0.76 kg/m³** of CO₂ equivalent, affluent EP of **0.34 kg** of PO₄⁻³ equivalent, effluent EP of **0.072 kg** of PO₄⁻³ equivalent, ADP of **3.46 MJ Sb** equivalent for m³, and a PLI of **55.10**, for the category of pollution towards receiving body.

Key words: Depletion of abiotic resources, global warming potential, eutrophication potential, pollutant load index.

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.

La metodología consiste en “categorizar” cargas ambientales, “clasificar” resultados y asignarlos a una categoría, y por último “caracterizar” formando un perfil de evaluación de impacto ambiental, y la etapa de “normalización” es opcional.

Para determinar los impactos ambientales de la operación de la planta de tratamiento sistema lodos activados, ubicada en un sector de Mixco, Guatemala, se realizó una serie de muestreos en los cuales se analizaron los parámetros que sirven de base para estimar el índice de cambio climático (CCI) mediante el potencial de calentamiento global (PCG) como contribuyente al cambio climático, con los datos obtenidos además se estimó el índice de carga contaminante (ICC), el potencial de eutrofización (PE) y agotamiento de recursos abióticos (AR), producto de la descarga de agua residual tratada.

En el desarrollo de este artículo se incluye los cálculos, los resultados y el análisis de las determinaciones obtenidas.

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. Para esta investigación se utilizó la guía de la norma en mención, con modificaciones para simplificar el estudio y adaptarlo a la evaluación del proceso evaluado. 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, 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.

Ubicación del proyecto

La planta de tratamiento -PTAR- evaluada, se encuentra ubicada en la zona 4 de Mixco, Guatemala y es operada por una empresa privada, brindando servicio a un estimado de 750 unidades habitacionales. Las coordenadas geográficas de la planta son: 14°39’54.25”, 90°32’13.13”, y la descarga es un zanjón natural.

Figura 1. Vista aérea ubicación de PTAR



Fuente: Google maps

Metodología

Para la determinación de impactos del ciclo de vida, de una planta de tratamiento de lodos activados, se utiliza la metodología “CML 2001”, elaborada por el Instituto de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden en los Países Bajos, para la determinación del índice de carga contaminante (ICC), se usó el desarrollado por panel de expertos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC, basados en indicadores de calidad de (ICA) de la NSF (Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos).

La primera etapa consiste en categorizar; siendo las categorías de impacto relacionadas al proceso de depuración de aguas residuales, las siguientes:

- a) Agotamiento de recursos abióticos
- b) Cambio climático
- c) Potencial de eutrofización
- d) Carga contaminante

La segunda etapa consiste en clasificar las categorías de impacto, ver tabla 1:

Tabla 1. Impactos y su clasificación

Categoría de impacto	Clasificación
Agotamiento de recursos abióticos	Energía (kwh)
Cambio climático	CH4, CO2
Eutrofización	PO4 ⁻ , NO3 ⁻
Carga contaminante	DBO5
	SST
	Coliformes Fecales
	OD
	Temperatura
	pH

a) Agotamiento de Recursos abióticos

El agotamiento de recursos abióticos, es la disminución de disponibilidad de recursos naturales; en esta categoría se incluye la energía, por ser el recurso utilizado en el proceso de tratamiento.

a.1) 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 en el estudio se realiza una estimación del consumo de energía eléctrica.

a.2) Determinación de agotamiento de recurso abiótico

Para la caracterización de este parámetro, CML, propone la

ecuación 1.1:

$$AR = \sum i * ADFi * mi \quad (1.1)$$

De donde:

AR= indicador de agotamiento de recursos abióticos,
 mi = es la cantidad de recurso utilizado en kg, m³ o MJ.
 Fi= es el factor de caracterización de este recurso
 ADF= kg eq. Sb kg⁻¹, ya que en esta fórmula, según (Guineé y col., 1995) se tiene en cuenta la relación cuantitativa entre la disminución o reducción del recurso.

b) 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

determinó el CCI (Indicador de cambio climático), mediante la determinación previa del PCG (potencial de calentamiento global) a través del metano y el dióxido de carbono, ya que estos gases al acumularse contribuyen al cambio climático.

El PCG, se utiliza para medir la capacidad que tienen los distintos gases de efecto invernadero, para retener el calor en la atmósfera, la base para los cálculos es el CO₂ equivalente. El panel intergubernamental de cambio climático (IPCC), proporciona valores guía para la determinación del PCG, incluidos en la tabla 3.

Tabla 2. Valores guía recomendados por 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
Oxido Nitroso	N ₂ O	310	298	265
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23.9	22.8	23.5
Hidrofluorocarbonados	HFC's	140-11.700	124-14.800	< 13.900
Perfluorocarbonados	PFC's	6.500-9.200	7.390-12.200	< 12.401
T trifluoruro de nitrógeno	NF ₃	—	—	17.200

Fuente: Taller sobre huella de carbono, Corporación Ambiental Empresarial

b.1.) Metano

Las directrices de IPCC, proponen para la estimación de metano, 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, proporcionando tablas guía.

La ecuación general (1.2) de estimación de emisiones de metano de las aguas residuales, es la siguiente:

$$\text{Emisiones CH}_4 = \left(\sum (U_i * T_{i,j} * EF_j) \right) (TOW - S) - R \quad (1.2)$$

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.

T_{ij}= grado de uso de sistema de tratamiento o eliminación j, para cada fracción de grupo de ingresos i en año de inventario.

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

j= cada vía o sistema de tratamiento o eliminación

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

El factor de emisión EF_j, es función del potencial máximo de producción (Bo) de CH₄ y del factor de corrección para metano (MCF).

Para el sistema de tratamiento y eliminación de aguas residuales, se determina mediante la ecuación 1.3.

$$EF_j = Bo * MCF_j \quad (1.3)$$

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, de sus siglas 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 DBO/año.

b.2) 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 atmósfera, producto del consumo de energía eléctrica en el proceso de tratamiento.

c) Eutrofización

Esta puede definirse como el enriquecimiento de nutrientes, como 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 indica en kg equivalentes de PO₄, y se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$eutrofización = \sum_i EPI_i \times m_i$$

Donde:

EPI= potencial de eutrofización de la sustancia i (expresado en kg equivalentes de PO₄³⁻) y m es la masa en kilogramos de la sustancia i emitida al aire, agua o suelo.

Los factores de equivalencia de EP, se detallan en la tabla 5.

Tabla 3. Factores de equivalencia EP g eq PO₄³⁻

SUBSTANCIA	EP
Amoníaco (NH ₃)	0.35
Amonio (NH ₄ ⁺)	0.42
Dixido de Nitrógeno (NO ₂)	0.13
DQO (Demanda Quimica 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
Oxido Nitroso (N ₂ O)	0.27
Pentoxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	1.336

Fuente: Metodología del ACV, Antón Vallejo, capítulo 3

La tercera etapa de la metodología, consiste en la modelización mediante los factores de caracterización de los datos de inventario, para cada una de las categorías de impacto.

d) Carga contaminante

Para la determinación de la puntuación del ICC, se utilizó la ponderación recomendada por el panel de expertos de la ERIS, por cada parámetro 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 que corresponde al nivel de calidad de cada una de las variables.

La ponderación obtenida, se compara con los valores de la tabla 4, para la asignación de categoría, según el rango de puntuación.

Tabla 4. Ponderación ICC

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

Resultados

a) Energía

Los equipos instalados suman una potencia instalada de 45 HP, lo cual equivale a un consumo de energía en 30 días y 18 horas diarias de operación a:

$$18,127.80 \text{ kWh}$$

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

$$\text{kWh} = 18,127.8 \text{ kWh/mes} = 604.26 \text{ kWh/día}$$

$$\text{Para el tratamiento de } 531.45 \text{ m}^3/\text{día} = 604.26 = 1.137 \text{ kWh}$$

$$531.45 \text{ m}^3$$

a.1) Agotamiento de Recursos Abióticos

Aplicando la ecuación 1.1:

$$m_i = \frac{18,127.80 \text{ kWh/mes}}{531.27 \text{ m}^3 \times 30} = 1.137$$

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

$$1.137 \text{ kWh-mes/m}^3 = 3.46 \text{ MJ/m}^3$$

Para determinar Fi, recurrimos a la tabla 5:

Tabla 5. Factor de caracterización del agotamiento de recursos abióticos, F

SUBSTANCIA	F kg ⁻¹ . a ⁻¹	ADF kg Sb eq.kg ⁻¹
Antimonio	13.671	1
Azufre (S, in ground)	4.408	0.000358
Bauxita (Al ₂ O ₃)	0.108	-
Calcio	-	7.08E-10
Carbón (in ground)	0.0005037	0.00363
Cloro	-	4.86E-08
Cloruro Potásico (KCl, as K ₂ O, in ground)	0.086	-
Cobre (Cu, ore)	28.16	0.00194
Cromo (Cr, ore)	0.319	-
Fosfatos (in ground)	0.115	-
Fósforo (P)	-	0.000844
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
Níquel (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 ₂ O, 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: Metodología del ACV, Antón Vallejo, capítulo 3

Aplicando ecuación 1.1:

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

b) Emisión de Metano

Para la estimación de la TOW, usamos la ecuación 1.4:

$$TOW = P * DBO * 0.001 * I * 365 \quad (1.4)$$

Dónde:

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 es 1

Aplicando la ecuación 1.4, para determinación de la TOW, tenemos:

$$DBO \text{ persona/día} = (531.27 \text{ lts/día}) = 189.27 \text{ lts/persona/día}$$

$$2800 \text{ personas}$$

$$DBO \text{ persona/día} = 80.27 \text{ gramos}$$

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

Aplicando ecuación 1.3:

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

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

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

$$S = (DBO_{\text{entrada}} - DBO_{\text{salida}}) * \text{Its/año}$$

$$S = (423.16 + 13.35) \text{ mg/l} * 531,270 * 365 \text{ lts/año} =$$

$$79,467.71 \text{ kg DBO/año}$$

Aplicando ecuación 1.2:

$$\text{Emisión de CH}_4 = (1 * 1 * 0.06) * (82,035.94 - 79,467.71) - 0 = 154.09 \text{ kg CH}_4 / \text{año}$$

En términos de la unidad funcional (m³):

$$\text{Emisión de CH}_4 = 154.09 \text{ kg} \frac{\text{CH}_4}{\text{año}} / \left(\left(\frac{531.27 \text{ m}^3}{\text{día}} \right) * 365 \right) = 0.000795 \text{ kg/m}^3$$

b.1) Determinación de CO₂

Su determinación se realizó de forma automatizada, mediante calculadora en línea, la cual utiliza de base el IPCC, siendo necesario únicamente ingresar el dato de consumo eléctrico en Kwh, obteniendo el dato de emisión de CO₂, que se detalla en la figura 2:

Figura 2. Calculadora determinación CO₂

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

El valor obtenido es de 11,783.07 kg CO₂ por mes, y la cantidad de Kg de CO₂, por m³ y por kwh, son los siguientes:

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

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

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

$$\text{Kwh} \quad 18127.80$$

$$\text{KgCO}_2 = (0.74 \text{ KgCO}_2 / \text{m}^3) \times (531.27 * 365 \text{ m}^3 / \text{año}) = 143,496.03 \text{ kg/año}$$

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

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

$$\text{Emisión de CH}_4 / \text{m}^3 = 0.000795 \text{ kg/m}^3 \text{ CH}_4$$

Para estimar el CCI (Indicador de Cambio Climático), usaremos la siguiente ecuación 1.5:

$$CCI = \sum_i PCGi * mi \quad (1.5)$$

$$CCI = 0.74 + (28 * 0.000795) = 0.763 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ CO}_2 \text{ equivalente}$$

b.2) Valores de referencia de emisiones nacionales

Tabla 6. Emisiones y Absorciones de GEIs de Guatemala

AÑO	CO ₂ (En Gg)		CH ₄ (en Gg)
	emisiones	absorciones	
1990	7,489.92	-42,903.73	199.556
1994	18,474.94	-39,583.65	192.745
2000	22,911.20	-37,456.82	211.255
2005	20,817.88	-24,492.06	259.397

Fuente: Proyecto 2da comunicación nacional sobre cambio climático, MARN 2015

c.1) Potencial de eutrofización de afluente:

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

$$NO_3^- = 0.063 \text{ kg/m}^3 = 63 * 0.095 = 0.00598 \text{ kg PO}_4^{3-} \text{ eq}$$

$$PO_4^{3-} = 0.110 \text{ kg/m}^3 = 110 * 3.06 = 0.336 \text{ kg eq PO}_4^{3-}$$

Por sumatoria:

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

c.2) Potencial de eutrofización del efluente:

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

$$NO_3^- = 0.045 \text{ kg/m}^3 = 45 * 0.095 = 0.00427 \text{ kg eq PO}_4^{3-} / \text{m}^3$$

$$PO_4^{3-} = 0.022 \text{ kg/m}^3 = 22 \text{ g/m}^3 = 22 * 3.06 = 0.067 \text{ kg eq PO}_4^{3-} / \text{m}^3$$

Por sumatoria:

$$EP = 0.00427 + 0.067 = 0.0716 \text{ kg eq PO}_4^{3-}$$

d) Determinación de Índice de Carga Contaminante

Las curvas de referencia, por variable para la determinación del ICC son las siguientes:

Figura 3. Demanda bioquímica de oxígeno

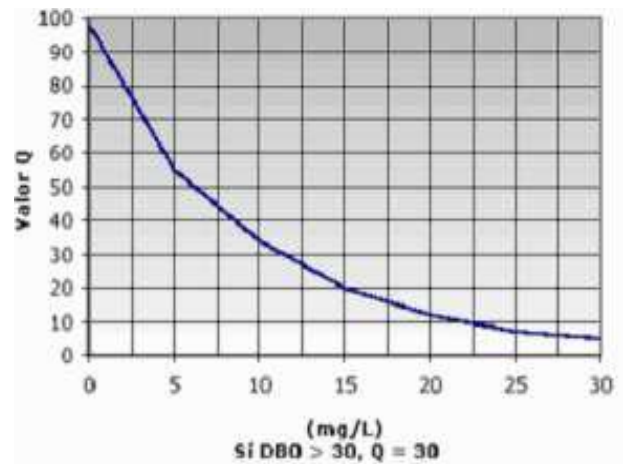


Figura 4. % Saturación de oxígeno disuelto

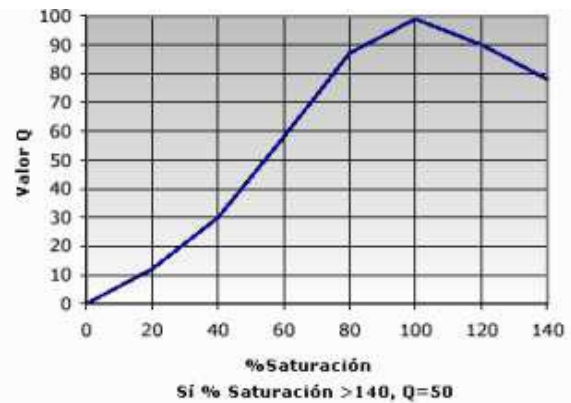


Figura 5. Coliformes fecales

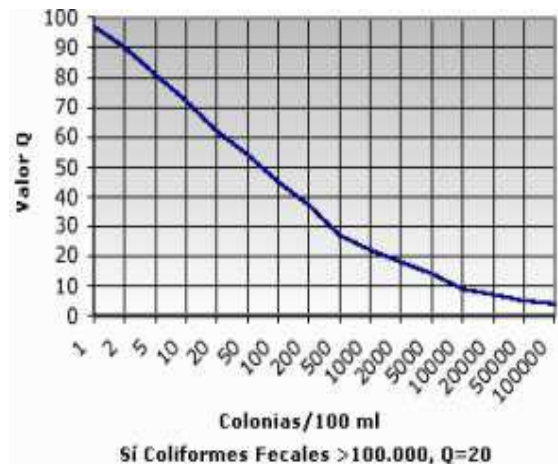


Figura 6. Potencial de Hidrogeno pH

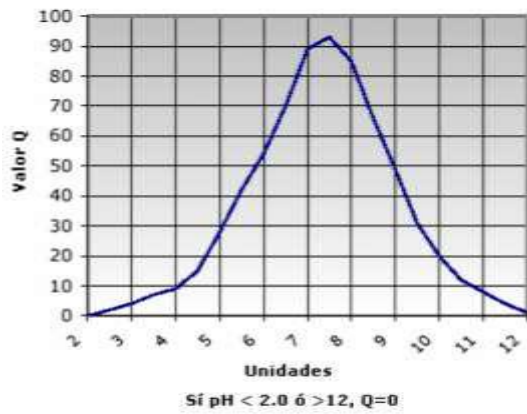


Figura 7. Temperatura °C

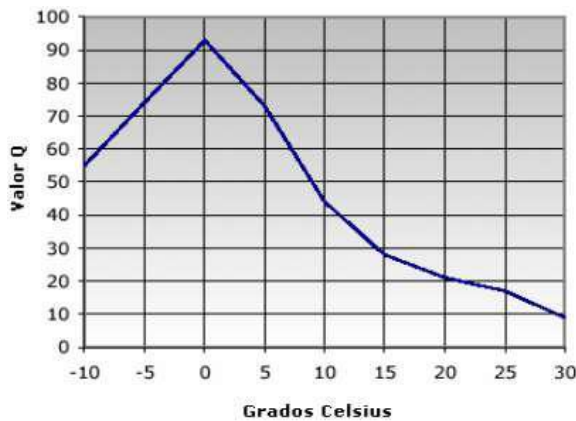
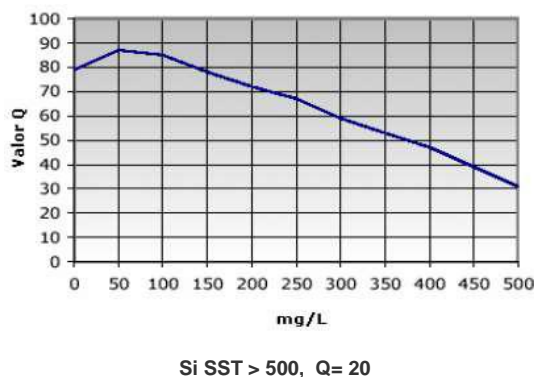


Figura 8. Sólidos suspendidos totales



Fuente figuras 3-8: Índices de calidad y contaminación del agua, capítulo 3, Fernández, 2005

De las curvas anteriores, se obtiene el valor Q que corresponde al resultado de calidad de cada una de las

variables, y cada uno de los valores se multiplica por el factor de ponderación asignado a las variables, y finalmente por sumatoria se obtiene la puntuación del ICC, como se detalla en la tabla 3.

Tabla 7. Resumen resultados ICC

DATOS ICC					
Parámetro	Unidades	Resultado PTAR	Factor Ponderacion	Subindice Q	Subtotal PTAR
SST	mg/l	13.69	0.16	82	13.12
DBO ₅	mg/l	13.35	0.23	25	5.75
pH	unidad pH	7.14	0.13	90.5	11.765
Oxígeno Disuelto	% Saturacion	0.65	0.19	65	12.35
Temperatura	°C	0.66	0.12	91	10.92
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3.72x10 ⁴	0.17	7	1.19
PUNTUACION Y CODIGO DE COLOR					55.10

d.1) Comparación de resultados de estudio versus norma nacional guatemalteca

Tabla 8. Comparación de resultados Acuerdo Gubernativo 236-2006-PTAR lodos activados

PARAMETROS	DIMENSIONAL	LIMITES PERMISIBLES	RESULTADO
Sólidos suspendidos	mg/l	100	13.69
pH	u	6 a 9	7.14
Coliformes fecales	NMP/100ml	1x10 ⁴	3.72x10 ⁴
DBO ₅	mg/l	100	13.35

Análisis de Resultados

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 por ser un elemento no abundante en la naturaleza. Mayor consumo de energía supone menor disponibilidad de recursos, y en el caso del ACV, se hace referencia al antimonio.

El dato obtenido es de un AR= 3.46 MJ/m³, es decir, que en un año de operación, por consumo de energía se tendría un agotamiento de 666,750 MJ/año. 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 de fuente no renovable.

Para tener exactitud del impacto, es importante conocer con certeza el origen de la energía.

b) 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 metano 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: 0.76 kg /m³ CO₂ eq, para tener mayor claridad del significado de este valor, se compara el resultados con los de la tabla 6, en la cual se indican las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (GEIs), según informe final, de la 2da comunicación nacional sobre cambio climático, emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en noviembre de 2015.

De dicha tabla, se tomó como referencia el valor del 2005, en el que se registra una emisión anual de 20,817.88 Gg de CO₂ equivalente y comparándolo con los 0.15 Gg de CO₂ equivalente, obtenidos al proyectar los m³ 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, que según la metodología, está dado en función de kilogramos equivalentes de fosfato. 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: 0.34 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, según estudio realizado sobre "Análisis de ciclo de vida de 1kWh, generado por un parque eólico" (on Shore,

GAMESA, 2013); notando con ello que el impacto de eutrofización, es mayor en las aguas residuales, que en la energía misma que se utiliza para tratamiento del proceso.

En resumen tras la caracterización, podemos decir que el sistema de lodos activados estudiado, emite 3.46MJ de Sb eq por m³, 0.76 kg de CO₂ equivalente y 0.0716 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 uno. El resultado que se obtuvo fue de 55.10 como valor de carga contaminante, lo cual según la ponderación de la tabla 4, es una calidad de efluente aceptable.

Para realizar una validación del resultado "aceptable", se realizó 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. Como se puede identificar, los resultados obtenidos del efluente de la planta de tratamiento de lodos activados, 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.

Conclusiones

El resultado de agotamiento de recurso abiótico, producto de la utilización de energía eléctrica, fue de AR= 3.46 MJ/m³; sin embargo, para analizar dicho valor se requieren datos de referencia de otras líneas de investigación, para poder 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.

Dentro del análisis ambiental, se obtuvo un dato de PCG o potencial de calentamiento global, dando como

resultado que la contribución anual del proceso es despreciable, por lo que no produce impacto negativo en el aspecto de cambio climático.

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 55.10, lo cual según la escala propuesta, es una calidad aceptable de efluente.

Referencias

- ANTÓN VALLEJO M. Capítulo 3, Metodología del Análisis de Ciclo de Vida-UP Commons, 2004.
- 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.
- ERIS-USAC, Determinación de ICC, panel de expertos, 2017.
- FERNÁNDEZ Nelson, Ramos Gabriel et al. Índices de Calidad y Contaminación del Agua. Universidad de Pamplona, 2005.
- GRAJEDA F. Celia, Análisis ciclo de vida línea lodos activados, caso Río Azul, Mixco Guatemala. ERIS-USAC, 2018.

MERLI, Gustavo Fernando. Propuesta de Reutilización de las aguas residuales vertidas al estuario de Bahía Blanca. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina), 2014.

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.

NOLASCO, Daniel. Desarrollos de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales. Banco Interamericano de Desarrollo, 2010.

NOYOLA ADALBERTO, Sagastume Morgan. Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. UNAM, 2013

Información de la autora

Ingeniera civil Celia María Grajeda Figueroa, graduada en la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2003. Msc. en Ingeniera Sanitaria, de la Escuela Regional de Ingeniera Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS-USAC año 2018. Experiencia de 10 años en área de diseño, operación y administración de sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de agua potable y agua residual.