



Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en extracción de aceite de palma

Analysis of pollutants removal efficiency water treatment systems waste extraction of palm oil



* Malacatus Paúl, Magister en Sistemas de Gestión.
Docente (UCE) / pnmalacatus@uce.edu.ec

**Chamorro Erika, / evchamorro@uce.edu.ec

Orellana Gabriela / gmorellana@uce.edu.ec

Resumen

El presente estudio se realizó en tres extractoras de aceite de palma ubicadas en las provincias de Pichincha, Santo Domingo y Esmeraldas, con el propósito de analizar la eficiencia de remoción de contaminantes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. En la evaluación se establecieron puntos de muestreo en cada sistema y se realizaron tres mediciones, analizando los parámetros: aceites y grasas, DQO, DBO5, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Totales y Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK). Se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción: Extractora 1: Aceites y grasas 99,16%, DBO5 94,71%, DQO 94,14%, SST 92,99%, ST 82,80%, NTK -944,44%; Extractora 2: DBO5, 99,45%, DQO 99,42%, SST 96,22%, ST 93,10% y NTK 75,55%; Extractora 3: Aceites y grasas 99,91% DBO5 96,88%, DQO 96,03%, SST 95,56%, y NTK -2279,97%. Las etapas de los sistemas de tratamiento presentan alta eficiencia con relación a fuentes bibliográficas, sin embargo, las descargas incumplen la normativa ambiental vigente.

Palabras clave: agua residual; carga contaminante; eficiencia de remoción

Abstract

This study was conducted in three palm oil extractor in the provinces of Pichincha, Santo Domingo and Esmeraldas, the purpose was to analyze the polluting products removal efficiency of wastewater treatment systems. In the evaluation, sampling points were established in each system and three measurements were performed by analyzing the next parameters: oil and grease, DQO, DBO5, Total Suspended Solids, Total Solids and Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). The following removal efficiencies was obtained, extractor 1: oil and grease 99,16%, DBO5 94,71%, DQO 94,14%, SST 92,99%, ST 82,80%, NTK -944.44%; Extractor 2: DBO5, 99,45%, DQO 99,42%, SST 96,22%, ST 93,10% y NTK 75,55%; Extractor 3: oil and grease 99,91%, DBO5 94,71%, DQO 94,14%, SST 92,99%, ST 82,80%, NTK -944.44%. The systems have high efficiency with respect to those presented in literature sources, but the effluent doesn't meet current environmental regulations.

Keywords: wastewater; pollution load; removal efficiency

1. Introducción

Los efluentes del proceso de extracción de aceite de palma contienen gran cantidad de materia orgánica, sólidos en suspensión y aceites. El tratamiento previo a su descarga debe orientarse a estabilizar la materia orgánica. Las tres extractoras del presente estudio cuentan con sistemas de tratamiento biológico por lagunaje, de los cuales se desconoce su eficiencia y no permiten cumplir con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente para la descarga, generando problemas de contaminación del recurso hídrico. El presente estudio tiene como objetivo: analizar las eficiencias y comparar los resultados obtenidos en las extractoras, basándose en las diferencias entre sus sistemas de tratamiento.

2. Material y métodos

La recopilación de información general se realizó en visitas de campo a las extractoras, que permitieron conocer el proceso productivo y cada una de las etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales, la entrega del historial de monitoreo realizado por las empresas, la medición de áreas y la definición de los puntos para el desarrollo del muestreo.

La caracterización de efluentes se definió con los puntos de muestreo a la salida de cada una de las etapas del sistema y se tomó una muestra simple diaria de 4 litros durante 3 días. De acuerdo con la finalidad del estudio, los parámetros analizados fueron: Aceites y grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos, Nitrógeno total Kjeldahl y se evaluaron con la Tabla 9: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE, Reforma al Anexo 1 Libro VI DEL TULSMA Acuerdo Ministerial 097.

En el análisis de eficiencia de remoción de contaminantes, se aplicó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Ec. (1). Eficiencia de remoción de contaminantes. Romero Rojas, 1999.

En el cual:

E = Eficiencia de remoción de carga contaminante (%)

S = Carga contaminante de salida (mg/L)

S_0 = Carga contaminante de entrada (mg/L)

Sobre la base de los resultados de los tres muestreos practicados, se calculó un valor promedio por parámetro, determinando la eficiencia de remoción general del sistema y de cada etapa. Para la evaluación de la eficiencia se comparó el valor calculado con el rango establecido en fuentes bibliográficas.

3. Resultados y discusión

3.1. Descripción de sistemas de tratamiento

3.1.1. Extractora 1

El agua residual del proceso productivo es conducida a tres tanques florentinos de 50 m³ cada uno, en los que se recupera el aceite remante. El efluente de los tanques sale a una temperatura promedio de 62°C y mediante un canal de aproximadamente 100m, llega al sistema de tratamiento con una temperatura de 53°C. El sistema se conforma por seis lagunas en serie: la primera cumple la función de enfriamiento, desaceitado y acidogénesis, una laguna anaerobia, dos facultativas y dos finales, donde se almacena el efluente para ser transportado mediante tanqueros a una plantación de palma aceitera cercana, sin embargo, remanentes se descargan al río. Ninguna laguna cuenta con impermeabilización.

3.1.2. Extractora 2

El efluente generado en el proceso productivo, es conducido a cuatro tanques florentinos secuenciales a través de canaletas encementadas, que cuentan con trampas de grasa como primera parte del sistema de tratamiento. Junto a los tanques florentinos se encuentra un tanque de 220 litros que sirve para determinar el caudal de ingreso al sistema de tratamiento de aguas residuales que consiste en: una laguna de desaceitado, equalización de caudales y enfriamiento, dos lagunas anaerobias en paralelo, una laguna facultativa, un humedal y finalmente una estructura en forma de gradas con suelo recubierto de piedra de río y sus paredes laterales de cemento, cuya estructura reduce energía cinética del efluente antes de la descarga; así como también, brindar al efluente tratado cierto grado de oxigenación. Las lagunas de desaceitado, equalización de caudales y enfriamiento, anaerobias y facultativa no se encuentran impermeabilizadas con geo membrana.

3.1.3. Extractora 3

El efluente generado es conducido mediante un canal al sistema de tratamiento conformado por cinco lagunas en serie, que no cuentan con un tratamiento primario, ni terciario. La primera laguna es de desaceitado y enfriamiento, la segunda, es anaerobia, dos lagunas facultativas y una laguna aerobia; finalmente el efluente es destinado para riego. Ninguna de las lagunas se encuentra impermeabilizada.

3.2 ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE CADA SISTEMA

3.2.1. Eficiencia del sistema, extractora 1

Tabla 1

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia de remoción
Aceites y grasas (mg/l)	127,47	1,07	99,16%
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	46239,33	2445,33	94,71%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	142163,33	8326,67	94,14%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	390,00	4073,33	-944,44%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	37111,00	2601,20	92,99%
Sólidos totales (mg/l)	73412,67	12628,33	82,80%

Eficiencia del sistema Extractora 1

Fuente: Datos obtenidos en campo Extractora 1.

3.2.2. Eficiencia del sistema, extractora 2

Tabla 2

Eficiencia del sistema Extractora 2

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia de remoción
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	30132	165	99,45%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	73658	425	99,42%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	734	179	75,55%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	19468	735	96,22%
Sólidos totales (mg/l)	64809	4471	93,10%

Elaborado por: Los autores

Fuente: Datos obtenidos en campo Extractora 2

3.2.3. Eficiencia del sistema, extractora 3

Tabla 3

Eficiencia del sistema Extractora 3

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia de remoción
Aceites y grasas	15510	13,3	99,91%
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	32407,33	1010,67	96,88%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	83393,63	3313,33	96,03%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	16,667	396,67	-2279,97%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	22723,667	1010	95,56%

Elaborado por: Los autores

Fuente: Datos obtenidos en campo Extractora 3

Seguidamente comparamos la eficiencia de remoción de los tres sistemas por parámetro monitoreado:

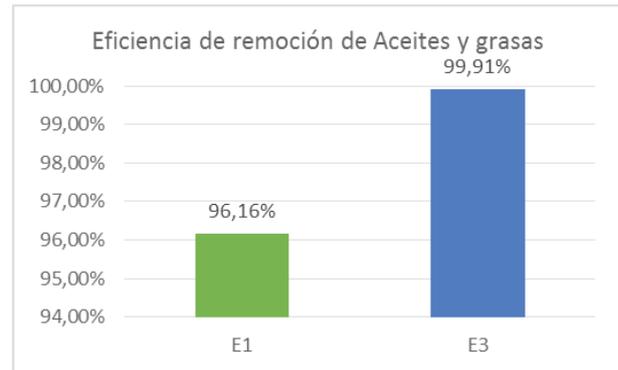


Figura 1. Eficiencia de remoción de aceites y grasas

Elaborado por: los autores

Se aprecia que la remoción de aceites y grasas en la extractora 3 es superior a la remoción de la extractora 1. Sin embargo, ambas superan el 95% de remoción. Con respecto a la extractora 2 no se midió este parámetro debido a que en el historial de monitoreo no se evidencia incumplimiento en la descarga.

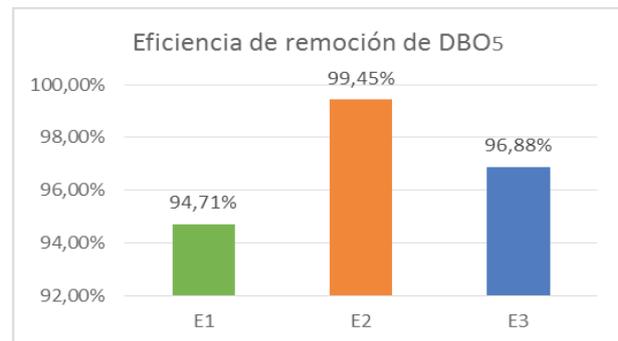


Figura 2. Eficiencia de remoción de DBO₅

Elaborado por: Malacatus Paúl y otros

En cuanto a la remoción de DBO₅ la extractora 2 presenta la más alta eficiencia, seguida por la extractora 3 y finalmente la extractora 1. Cabe mencionar que la eficiencia en las tres extractoras supera el 94%.

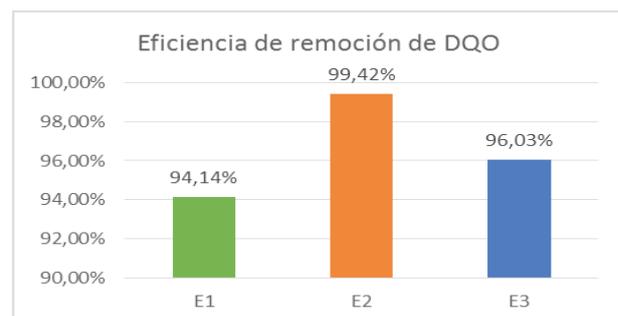


Figura 3. Eficiencia de remoción de DQO

Elaborado por: Los autores

Comparamos, en igual forma, la remoción de DQO es superior al 94% en los tres casos. La mayor eficiencia la presenta la extractora 2, seguida por la 3 y finalmente la 1.

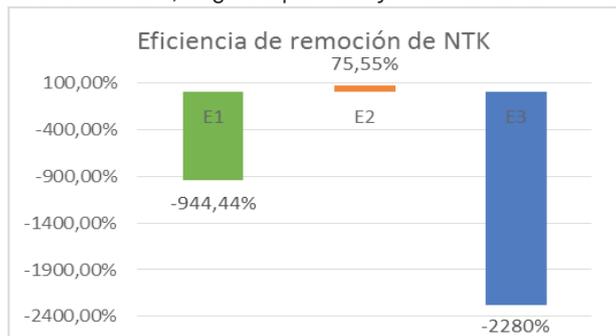


Figura 4. Eficiencia de remoción de NTK

Elaborado por: Malacatus Paúl y otros

El NTK presenta valores negativos en las extractoras 1 y 3, mientras que la extractora 2 presenta un valor positivo de 75,55%. Este fenómeno de nitrificación amerita una investigación más profunda.

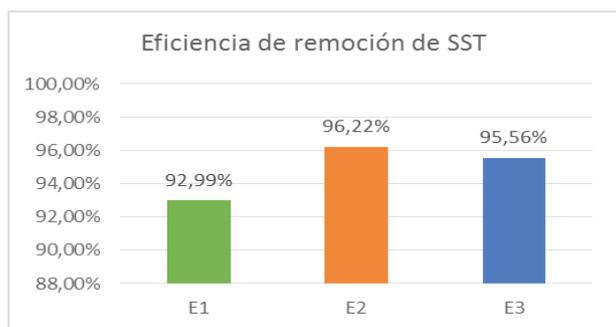


Figura 5. Eficiencia de remoción de SST

La extractora 2 presenta la más alta eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales, a continuación, la extractora 3 y por último la extractora 1.

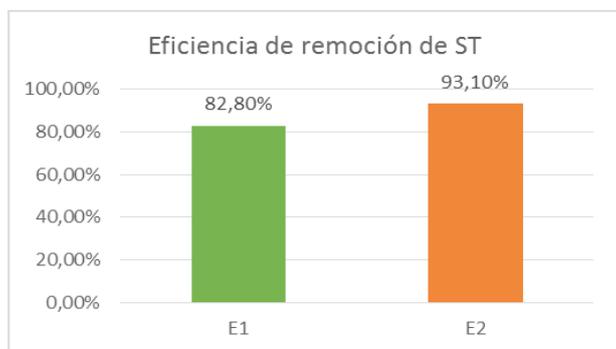


Figura 6. Eficiencia de remoción de sólidos totales

La extractora 2 presenta 10% más de eficiencia en la remoción de sólidos totales, con respecto a la extractora 1.

Elaborado por: Malacatus Paúl y otros

3.3. Análisis de eficiencia por etapas de cada sistema

3.3.1. Extractora 1

Tabla 3. Eficiencia laguna 1 enfriamiento, desaceitado y acidogénesis.

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia de remoción
Aceites y grasas (mg/l)	127,47	87,73	31,17%
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	46239,33	39576,00	14,41%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	142163,33	132816,67	6,57%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	390,00	1613,33	-313,68%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	37111,00	27737,00	25,26%
Sólidos totales (mg/l)	73412,67	69236,00	5,69%

Elaborado por: Malacatus Paúl y otros

Fuente: García, N. 1994

En la laguna 1 todos los parámetros analizados presentaron una eficiencia menor a la establecida en la bibliografía, a excepción del nitrógeno que presenta un valor negativo.

Tabla 4. Eficiencia laguna 2 anaerobia

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia de remoción
Aceites y grasas (mg/l)	87,73	5,33	93,92%
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	39576,00	5293,67	86,62%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	132816,67	17906,67	86,52%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	1613,33	7110,00	-340,70%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	27737,00	15744,33	43,24%
Sólidos totales (mg/l)	69236,00	17271,76	75,05%

Elaborado por: Malacatus Paúl y otros

Fuente: García 1994, Metcalf 1995, Ortiz 2015, Romero 1999.

En la laguna 2, se observa que la DQO se encuentra sobre del rango de eficiencia teórico; DBO, Sólidos suspendidos totales y Sólidos totales se encuentran dentro del rango. El parámetro NTK presenta un valor negativo.

Tabla 5

Eficiencia lagunas 3 y 4 facultativas

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia de remoción
Aceites y grasas (mg/l)	5,33	2,07	61,25%
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	5293,67	4150,67	21,59%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	17906,67	13833,33	22,75%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	7110,00	3540,00	50,21%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	15744,33	10030,67	36,29%
Sólidos totales (mg/l)	17271,76	17887,67	-3,57%

Fuente: García 1994, Metcalf 1995, Romero 1999, Zambrano 2016

En las lagunas 3 y 4 los parámetros DBO, DQO y sólidos suspendidos totales, presentan una eficiencia inferior a la esperada en la bibliografía. La remoción de NTK es superior, mientras que sólidos totales tiene un valor negativo.

Tabla 6

Eficiencia lagunas facultativas 5 y 6

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia de remoción
Aceites y grasas (mg/l)	2,07	1,07	48,39%
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	4150,67	2445,33	41,09%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	13833,33	8326,67	39,81%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	3540,00	4073,33	-15,07%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	10030,67	2601,20	74,07%
Sólidos totales (mg/l)	17887,67	12628,33	29,40%
* Las eficiencias obtenidas con los análisis de laboratorio para las lagunas 5 y 6 se compararon con las eficiencias de lagunas facultativas debido a las características que presentan: profundidad entre 1 y 2,5m y coloración verde. (Romero Rojas, 1999).			

Elaborado por: Los autores

Fuente: García 1994, Metcalf 1995, Romero 1999, Zambrano 2016

En las lagunas 5 y 6, los parámetros DBO, DQO y sólidos

totales, presentan una eficiencia inferior a la esperada en la bibliografía. La remoción de sólidos suspendidos totales se encuentra dentro del rango, mientras que NTK tiene un valor negativo.

En la extractora 1 la etapa más eficiente es la anaerobia, la menos eficiente la facultativa.

3.3.2. Extractora 2

Tabla 7

Eficiencia laguna 1 desaceitado eculización de caudales y enfriamiento

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia Extractora 2	Eficiencia bibliografía
Aceites y grasas (mg/l)	3585	1051	70,68%	51,78%
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	30132	23560	21,81%	46,25%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	73658	55264	24,97%	33,33%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	734	632	13,95%	41,14%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	19468	14921	23,36%	51,09%
Sólidos totales (mg/l)	64.809	43.011	33,63%	50,22%

Elaborado por: Los autores / Fuente: García, N 1994

En la laguna 1 el parámetro aceites y grasas se encuentra por encima de la eficiencia esperada en la bibliografía, los demás parámetros presentaron una eficiencia menor.

Tabla 8

Eficiencia laguna 2 y 3 anaerobia

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia Extractora 2	Eficiencia bibliografía
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	23560	873	96,30%	80 – 90%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	55264	2211	96,00%	50 – 85%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	632	515	18,45%	15%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	14921	5947	60,14%	20 – 60%
Sólidos totales (mg/l)	43011	12948	69,90%	65 – 80%

Elaborado por: Los autores

Fuente: García 1994, Metcalf 1995, Ortiz 2015, Romero 1999.

En las lagunas 2 y 3, se observa que los parámetros DBO5, DQO, NTK y sólidos suspendidos totales superan el rango de eficiencia teórico, mientras que el parámetro sólidos totales se encuentra dentro del rango.

Tabla 9

Eficiencia laguna 4 facultativa

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia Extractora 2	Eficiencia bibliografía
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	873	170	80,54	80-95%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	2211	498	77,49	80-90%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	515	221	57,02	43,68%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	5947	1045	82,43	63-75%
Sólidos totales (mg/l)	12948	4915	62,04	60- 80%

Elaborado por: Los autores / Fuente: García 1994, Metcalf 1995, Romero 1999, Zambrano 2016

En la laguna 4, los parámetros NTK y sólidos suspendidos totales presentan eficiencia superior a la esperada, DBO y sólidos totales se encuentran dentro del rango, mientras que DQO presenta una eficiencia inferior a la esperada en la bibliografía.

Tabla 10

Eficiencia humedal

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia Extractora 2	Eficiencia bibliografía
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	498	425	14,62	85-95%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	170	165	2,89	75-85%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	221	179	18,94	40-50%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	1045	735	29,61	70-90%
Sólidos totales (mg/l)	4915	4471	9,03	70-90%

Elaborado por: Los autores / Fuente: Libhaber & Orozco. 2012

En las lagunas 5 y 6, los parámetros DBO, DQO y sólidos totales, presentan una eficiencia inferior a la esperada en la bibliografía. La remoción de sólidos suspendidos totales se encuentra dentro del rango, mientras que NTK tiene un valor negativo.

En la extractora 2 la etapa más eficiente es la anaerobia, la menos eficiente el tratamiento terciario.

3.3.3. Extractora 3

Tabla 11. Eficiencia laguna

1 desaceitado y enfriamiento.

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia Extractora 2	Eficiencia bibliografía
Aceites y grasas (mg/l)	15510	3590	76,9%	51,78%
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	32407,333	21710,33	33,008%	46,25%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	83393,633	67193,333	19,426%	33,33%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	16,667	290	-1639,965%	41,14%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	22723,667	15713,667	30,849%	51,09%
Aceites y grasas (mg/l)	15510	3590	76,9%	51,78%

Elaborado por: Los autores / Fuente: García, N. 1994

En la laguna 1 el parámetro aceites y grasas se encuentra por encima de la eficiencia esperada en la bibliografía, los demás parámetros presentaron una eficiencia menor y NTK un valor negativo.

Tabla 12.

Eficiencia laguna 2 anaerobia.

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia Extractora 2	Eficiencia bibliografía
Aceites y grasas (mg/l)	3590	230	93,593%	---
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	21710,33	2053	90,544%	80 – 90%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	67193,333	6340	90,565%	50 – 85%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	290	526,67	-81,609%	15%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	15713,667	3755	76,104%	20 – 60%

Elaborado por: Malacatus Paúl y otros

Fuente: García 1994, Metcalf 1995, Ortiz 2015, Romero 1999

En la laguna 2, se observa que los parámetros DBO5, DQO y sólidos suspendidos totales, se encuentran sobre del rango de eficiencia teórico, mientras que NTK presenta un valor negativo.

Tabla 13. Eficiencia lagunas 3 y 4 facultativa

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia Extractora 2	Eficiencia bibliografía
Aceites y grasas (mg/l)	230	123,33	46,38%	---
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	2053	2574,67	-25,410%	80-95%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	6340	6273,33	1,052%	80-90%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	526,67	463,33	12,025%	43,68%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	3755	1507	59,867%	63-75%

Elaborado por: Malacatus Paúl y otros / Fuente: García 1994, Metcalf 1995, Romero 1999, Zambrano 2016

En las lagunas 3 y 4 los parámetros DQO, NTK y sólidos suspendidos totales, presentan una eficiencia inferior a la esperada en la bibliografía, mientras que DBO5 tiene un valor negativo.



Tabla 14. Eficiencia laguna aerobia

Parámetro	Promedio So	Promedio S	Eficiencia Extractora 2	Eficiencia bibliografía
Aceites y grasas (mg/l)	123,33	13,3	89,22%	---
Demanda bioquímica de Oxígeno (mg/l)	2574,67	1010,67	60,746%	80-95%
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	6273,33	3313,33	47,184%	80%
Nitrógeno total Kjeldahl (mg/l)	463	396,67	14,388%	75%
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	1507	1010	32,979%	---

Elaborado por: Autores / Fuente: Romero Rojas 1999, Rivas 1997

En la laguna 5 los parámetros DBO, DQO y NTK, presentan una eficiencia inferior a la esperada en la bibliografía.

En la extractora 3 la etapa más eficiente es la anaerobia, la menos eficiente la facultativa.

4. Conclusiones

- La extractora más eficiente, con respecto a remoción de DBO₅ y DQO es la extractora 2 con valores superiores al 99%, seguida por la extractora 3 con el 96% y finalmente la extractora 1 con el 94%.
- En las tres extractoras analizadas, la etapa más eficiente es la anaerobia, comprobando que estas unidades son adecuadas para tratar esta clase de efluentes. Cabe mencionar que las eficiencias de las extractoras 1 y 2 son superiores a la de la extractora 3, debido a que cuentan con una etapa previa de recuperación de aceite en tanques florentinos, y en el caso de la extractora 2, un equalizador de caudales que evita grandes variaciones de carga orgánica, en el sistema.
- En las extractoras 1 y 3, la etapa que presenta menor eficiencia es la facultativa, debido a la alta carga orgánica que reciben, mientras que en la extractora 2, el humedal es el menos eficiente, debido a que su lecho no presenta una estratificación definida; la estructura de entrada del afluente no es la adecuada ya que no permite una distribución uniforme del agua residual, a través del mismo y adicionalmente no ha recibido mantenimiento.
- En la extractora 2, la laguna de enfriamiento y desaceitado presenta mayor eficiencia que las extractoras 1 y 3, además de que funciona como equalizador de caudales lo que influye en el funcionamiento general del sistema.
- Los parámetros que presentan mayor remoción en los tres sistemas son DBO₅ y DQO con valores superiores al 94%, a pesar de este elevado valor no cumplen con el límite establecido por la normativa ambiental vigente.
- El parámetro que presenta menor remoción es el

Nitrógeno Total Kjeldahl, con valores negativos de -944,44% y -2280% respectivamente en las extractoras 1 y 3 y una remoción del 75% en la extractora 2.

- Con los altos porcentajes de remoción obtenidos para cada uno de los parámetros medidos en el estudio, las tres extractoras cumplen con el límite establecido de descarga a un cuerpo de agua dulce únicamente para el parámetro aceites y grasas, incumpliendo DBO₅, DQO, SST, ST y NTK.

5. Recomendaciones

- Realizar una investigación sobre el fenómeno de nitrificación que se observó en dos de las tres extractoras analizadas.
- La industria debe analizar una alternativa para complementar los sistemas biológicos de lagunaje que permita cumplir con los límites establecidos para la descarga.
- Elaborar y ejecutar un plan de mantenimiento que permita el correcto funcionamiento del sistema en sus diferentes etapas.
- Impermeabilizar las lagunas de forma que se optimice el funcionamiento y se dé cumplimiento a lo establecido en la normativa ambiental vigente.

6. Referencias

- García Nuñez, J. A. (marzo de 1996). Manejo de Efluentes de Plantas Extractoras. Boletín Técnico No. 10 . Santafé de Bogotá, Colombia.
- Romero Rojas, J. A. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño (Tercera edición ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (Noviembre de 2015). Acuerdo Ministerial No. 97 Sustitúyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Registro Oficial No. 387 . Quito.
- Zambrano, C. (5 de Enero de 2016). Determinación de las constantes cinéticas del sistema de lagunas de estabilización de luz. Obtenido de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewjKw6308ZLKAhVDbSYKHebtCLgQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Ftesis.luz.edu.ve%2Fde_archivos%2F144%2FTDE-2011-11-21T14%3A53%3A36Z-2326%2FPublico%2Fzambrano_carla.pdf&usg=AF
- Vinueza Estévez, J. S. (2014). Diseño de un sistema de pantanos artificiales para el tratamiento de aguas negras y grises del campo base y área de mantenimiento El Coca de la empresa TRIBOILGAS.

- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Trillo Montsoriu, J. (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización. Madrid: Editorial McGraw-Hill.
- Saldaña Zumaeta, M. R. (2014). Diseño de lagunas de estabilización para tratamiento de alfluentes del proceso de extracción de aceite de palma en la empresa Olamsa- Nes-huya, Region Ucayali. Lima, Perú.
- Romero Rojas, J. A. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño (Tercera edición ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rolim Mendonca, S. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Santa Fé de Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Ramallo, R. S. (2003). Tratamiento de aguas residuales. Barcelona, España: Editorial Reveté.
- Ortiz Vela, J. A., & Quishpe Veloz, D. J. (Mayo de 2015). Evaluación de la eficiencia en base a la carga contaminante del sistema de tratamiento de aguas residuales de la extractora de aceite de palma OLEOCASTILLO S.A. Quito, Ecuador.
- Oakley, S. M. (2005). Lagunas de estabilización en Honduras.
- Ngan, M. A. (2000). Innovaciones en el manejo del efluente de las plantas extractoras de aceite de palma. (FEDEPALMA, Ed.) PALMAS , 21 (2).
- Nemerow, N. L. (1997). Aguas residuales industriales. Teorías, aplicaciones y tratamiento. Madrid: Editorial Il. Blume.
- García Nuñez, J. A., & Garrido Aljure, J. (1994). Evaluación de lagunas de estabilización. Planta extractora Moterrey. Palmas , 15 (2).
- Fernandez , A., Rodriguez , A., García Letón, P., Rosal García, R., Dorado Valiño, M., Villar Fernandez, S., y otros. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid: Elecé Industria Gráfica.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana,S.A.
- Brugés Nivia, C., García Núñez, J. A., Dueñas, J., Zagala, G., & Guevara, M. L. (2000). Evaluación económica de sistemas de tratamiento para una planta extractora de aceite de palma. (FEDEPALMA, Ed.) PALMAS , 21 (Especial).
- Bonomie, M., & Reyes, M. (2012). Estrategia ambiental en el manejo de efluentes en la extracción de aceite de palma. TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales , 14, 323-332.
- Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central del Ecuador. (Mayo de 2015). Unidad de titulación especial. Quito.
- Centro de investigación de la palma CENIPALMA. (1995). Manejo de efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma - proceso de la más avanzada tecnología.
- Dirección General Académica de la Universidad Central del Ecuador. (Junio de 2015). Instructivo de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Central del Ecuador. Quito.
- Metcalf & Eddy INC. (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización (Tercera ed., Vol. 1). Barcelona, España: McGraw-Hill.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (s.f.). Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidades relacionados con sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador.
- Centro de investigación de la Palma CENIPALMA. (2011). Estudio de los efluentes líquidos de las plantas de beneficio, orientado al cumplimiento de normas ambientales. Bogotá Colombia.
- Centro de Investigación de la Palma CENIPALMA. (1993). Estado actual del manejo de efluentes en Colombia. Bogotá, Colombia.
- INAMHI. (2004 a 2012). Anuario meteorológico . Quito.
- PROEcuador. (2014). Análisis sectorial. Aceite de palma y elaborados 2014. Quito.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (noviembre de 2015). Acuerdo Ministerial No. 097 Sustitúyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Registro Oficial No.387 . Quito.
- Oscar Roja Bustamante FONAG. (2006). Manual básico para medir caudales. Quito.
- INEN. (2013). NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Quito.
- INEN. (2013). NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. Quito.
- AWWA (American Water Works Association. (2012). Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Ministerio del Medio Ambiente Colombia. (2002). Guía Ambiental para al formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales. Bogotá: Fotolito América LTDA.
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. (1998). Informe preliminar sobre la situación ambiental de la cadena de oleaginosas (palma de aceite) en Colombia. Santa Fé de Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Ministerio del Ambiente Ecuador. (Febrero de 2015). Acuerdo Ministerial No. 028 Sustitúyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Registro Oficial No. 270 . Quito.
- Burga, J. A. (Abril de 2004). Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura.
- DMQ. (JUNIO de 1998). Manual para muestreo de agua y sedimentos. QUITO.