



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DETERMINACIÓN DE LA BIODEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES
ORGÁNICOS Y NITROGENADO DE LA EMPRESA PROCESADORA DE
ACEITE DE PALMA AFRICANA “EL RAMA”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Aleyda Manolia Flores Morales

Br. Yazmer Miguel Lacayo Robles

Br. Kevin Uriel Flores López

Tutor

MSc. Henry Javier Vílchez Pérez

Managua, julio 2022

Dedicatoria

Agradezco infinitamente a Dios, por la vida, por momentos inolvidables como este, por la sabiduría, paciencia y entendimiento que me ha brindado para culminar mis estudios; en momentos donde dudé de mí, llenándome de confianza y entusiasmo. Lo sabes todo y sé que vas a leer esto, te amo, gracias a ti, lo logré.

A mis padres y hermanos, Aleyda Morales, Manuel Flores, Rayssa Flores y Marlon Flores; por apoyarme en mi educación y aprendizaje desde el momento en que nací, por estar para mí sobre todo en los momentos difíciles, y por llenarme siempre de mucho amor y alegría.

A mis tías, Ayda, Maritza, Ángela y tío Carlos y Apolinares; siempre estuvieron y aún están pendientes de mí, sé que siempre podré contar con ustedes, y sé que mi éxito también los hace feliz.

A mis amigos, Javiera, Angelly, Orlando, y mi prima Aydaleny; por brindarme su apoyo y amistad sincera, por creer en mí, y esperan verme convertida en profesional. De manera muy especial, a mi amigo, colega y compañero Yazmer Lacayo, tanto esfuerzo ha valido la pena, y hoy me enorgullece decir que lo logramos.

ALEYDA MANOLIA FLORES MORALES

Dedicatoria

Con entusiasmo y mucho cariño dedico este trabajo de investigación:

Sobre todas las cosas a Dios, por permitirme gozar de salud para llegar a este momento, por brindar sus frutos de paciencia, tolerancia, sabiduría, entendimiento y alegría, para poder avanzar en los momentos que creí que no podía seguir, por cuidar cada paso hacia mi educación y por poner en mi camino las personas correctas que brindaron su apoyo.

A mi madre, Carmen Robles Borge, que no sólo agradezco su apoyo y desvelo en estos últimos cinco años de universidad, sino toda una vida entera dedicada a cuidarme, acompañarme y confortarme en cada momento, por permitir con la ayuda de Dios que nunca faltara nada, para mí y mi hermano Yasler Farid a quién también le dedico este logro.

A mi abuela, Marina Hurtado, por ser ejemplo de paciencia y brindarme su confianza y motivación, también quiero dedicar esta investigación a todas las personas que han aportado de diferentes formas a mi crecimiento profesional y personal, a mi compañera de colegio, universidad y trabajo monográfico Aleyda Flores. A mi ***madrina*** Conny Miranda y su mamá Concepción Rivas, que siempre me han apoyado desde mi niñez y esperan verme convertido en profesional.

YAZMER MIGUEL LACAYO ROBLES

Dedicatoria

Principal agradecimiento a Dios, quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza, salud, comprensión, sabiduría para seguir adelante que algún momento pensé que no llegaría hasta este punto.

A mi madre y a mi padre, Maritza López Duarte y Francisco Flores, a quienes dedico este trabajo investigativo que, gracias a su ayuda incondicional, duro trabajo, esfuerzo, desvelo, siempre luchando para que no nos falte nada, con la ayuda de Dios han sabido llevarme adelante durante todos mis estudios y me han formado con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir de los momentos difíciles.

Agradezco a Dios darme la familia que tengo y por poner en mi camino a las personas correctas que de una u otra manera me ha brindado su apoyo, comprensión y estímulo a lo largo de mis estudios.

KEVIN URIEL FLORES LÓPEZ

Agradecimientos

Agradecemos a **Dios** creador, que en todo momento nos ha guiado para continuar el camino y alcanzar nuestras metas.

Muchas gracias al **MSc. Henry Javier Vílchez Pérez**, por su dedicación y compromiso con el equipo, por el conocimiento brindado durante todo este tiempo de la realización de este estudio, fomentando el espíritu investigativo.

De manera particular a la empresa procesadora de aceite de palma africana "**EL RAMA**", por el permiso para evaluar (aun siendo de manera anónima) su planta de tratamiento de aguas residuales, así como, el financiamiento de los análisis de agua.

A todas aquellas personas que una u otra forma nos ayudaron, ya que sin ellos no hubiese sido posible la culminación de nuestro proyecto monográfico.

A nuestros maestros y algunos compañeros de universidad, que compartieron sus conocimientos y nos guiaron durante estos cinco años de estudio. ¡Muchas gracias y que Dios derrame muchas bendiciones!

ALEYDA MANOLIA FLORES MORALES

YAZMER MIGUEL LACAYO ROBLES

KEVIN URIEL FLORES LÓPEZ

Listas de abreviaturas

- **ARND:** Aguas residuales no domésticas.
- **CCT:** Carga contaminante total
- **DQO:** Demanda química de oxígeno.
- **DBO₅:** Demanda bioquímica de oxígeno
- **G y A:** Grasas y aceites
- **INETER:** Instituto Nicaragüense de Estudios y Territoriales
- **LMP:** Límite máximo permisible
- **m:** Metros
- **Cm:** Centímetros
- **Pulg:** Pulgadas, en los cuales también se puede hacer referencia con dos comillas “
- **MARENA:** Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales
- **NT:** Nitrógeno total
- **NTON:** Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense
- **pH:** Potencial de hidrógeno.
- **PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales
- **SST:** Sólidos suspendidos totales
- **SS:** Sólidos sedimentados
- **TRH:** Tiempo de retención hidráulico
- **Q:** Caudal
- **C:** Grados centígrados
- **POME:** Siglas en ingles de Palm Oil Mill Effluent (efluente del proceso de extracción de aceite de palma)
- **Msnm:** Metros sobre el nivel del mar
- **TM:** Toneladas métricas
- **RFF:** Racimo de fruta fresca
- **mg/L:** Miligramos sobre litros
- **RAACS:** Región Autónoma Atlántico Caribe Sur

- **°C:** Grados Celsius
- **mgO₂/l:** Miligramos de oxígeno sobre litros
- **STAR:** Sistema de tratamiento de aguas residuales
- **CO₂:** Dióxido de carbono
- **NH₃:** Amoníaco
- **H₂S:** Ácido sulfúrico
- **P₂O₅:** Óxido de fósforo
- **N:** Nitrógeno
- **MADS:** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- **km:** Kilómetros
- **MVA:** Valor de mercado agregado
- **L/s:** Litros sobre segundos
- **L:** Litros
- **CH₄:** Metano
- **VCH₄:** Volumen de metano
- **m³/h:** Metros cúbicos sobre hora
- **m³/d:** Metros cúbicos sobre día
- **OHO:** Organismos heterótrofos ordinarios
- **SSV:** Sólidos suspendidos volátiles
- **XEH:** Residuo endógeno

Resumen

El objetivo general de la investigación fue: ***Determinación de la biodegradación de contaminantes orgánicos y nitrogenados de la empresa procesadora de aceite de palma africana “El Rama”*** considerando un tren de tratamiento conformado por: pretratamiento + tres lagunas de homogenización de temperatura y pH sin adición de químicos + cuatro lagunas de anaerobias para biodegradación de contaminantes presentes en el POME y dos tanques de almacenamiento que solo usan en época de temporada alta de producción de aceite.

En cuanto al funcionamiento operacional de la planta de tratamiento de aguas residuales se encontró que existe un abandono parcial en cuanto al mantenimiento. Así mismo, se encontró que no cuentan con un orden específico en la recirculación del POME, que ayuden a mejorar el desempeño de las lagunas, siendo un indicador de éste el exceso de natas, grasas y sólidos flotantes en las lagunas. Debido a que no es de prioridad para la empresa depurar lodos y materia orgánica, su interés es disminuir temperatura y pH.

La investigación consideró determinar las variaciones de caudal en afluente y efluente de la PTAR, por 15 días consecutivos realizados durante las ocho horas laborales por día de operación de la planta. Registrándose un caudal máximo el 17 de marzo en el afluente con 976 m³/día, un promedio de 702.6 m³/día y mínimo de 408 m³/día el 30 de marzo. No se logró hacer aforo de caudales en el efluente, ya que, el caudalímetro se encontró dañado, y además, el agua residual no es vertido a un cuerpo receptor, sino utilizado para fertirriego de los mismos cultivos.

Por medio del levantamiento batimétrico se determinó, la distribución de los lodos sedimentados en las lagunas de homogenización uno, dos y tres, y lagunas anaerobias uno, dos y cuatro, debido al sistema operacional de la planta no se pudo realizar levantamiento batimétrico en la laguna anaerobia tres. El volumen total de la laguna anaerobia uno, es de 31,070.02 m³ con un volumen de lodo acumulado seco de 2,489.18 m³, el cual ocupa un 8.01% del volumen total de la laguna. La laguna anaerobia dos tiene un volumen total de 21,014.58 m³, con un volumen de

lodo acumulado seco de 546.72 m³ lo cual representa un 2.60% del volumen total de la laguna.

El siguiente aspecto trata sobre las concentraciones obtenidas en el efluente, se tomaron las muestras en los puntos de descarga. De tal manera, que no se cumple con respecto al límite máximo permisible del Decreto 21-201 en cuanto a DQO ya que el valor máximo permisible es de 700 mgO₂/L. Con respecto al efluente general, sus concentraciones son de 1,802.43 mgO₂/L, así como, los sólidos suspendidos totales no cumplen, ya que el valor máximo permisible es de 150 mg/L y su concentración en el efluente general es de 666.66 mg/L; el nitrógeno total no cumple con respecto al límite permisible de NTON 05 027-05 es de 5mg/L, y su concentración es de 574.56 mg/L. El fosforo total no cumple respecto al límite permisible NTON 05 027-05 es de 6 mg/L, su concentración es de 15.47 mg/L. Grasas y aceites no cumple comparadas al límite permisible del Decreto 21-2017 que es de 50 mg/L, y su concentración es de 120 mg/L. Excepto el caso del pH siendo este el que cumple ya que se encuentra dentro del rangos permisibles de 6-9, que si cumple con el Decreto 21-2017.

Por otro lado, se comprobó el funcionamiento operacional de las lagunas basado en los períodos de retención. Por lo que fueron variables debido a que las lagunas tienen volúmenes diferentes, de tal manera que el TRH total es de 117 días.

Palabras claves: caudal, período de retención, biodegradación, efluente, concentración.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	1
1.2. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Aguas residuales industriales de extracción de aceite de palma	8
2.1.1. Generalidades.....	8
2.1.3 Características de las aguas residuales de aceite de palma.....	11
2.1.3.1. Características físicas	11
a. Temperatura	11
b. Olor.....	11
c. Color	12
2.1.3.2. Características químicas	12
2.1.3.3. Características biológicas.....	14
2.2. Tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa extractora de aceite de palma "El Rama"	15
2.2.1. Tratamientos preliminares.....	15
2.2.2. Torres de enfriamiento	16
2.2.3. Lagunas de homogenización.....	16
2.3.4. Tratamiento primario.....	17
2.2.5. Lagunas anaerobias.....	18
2.4. Nutrientes	18

2.5. Eutrofización.....	19
2.6. Balance hídrico.....	20
2.7. Estudio batimétrico	21
2.8. Balance de masa	22
2.9. Carga orgánica	22
2.10. Regulaciones ambientales	23
2.10.1. Decreto 21-2017	23
2.10.2. Norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reúso (NTON 05 027-05)	23
2.10.2. Resolución Colombiana número 0631 de 2015	23
CAPITULO III. DISEÑO METODOLÓGICO.....	25
3.1. Tipo de investigación	25
3.2. Procedimiento de investigación	26
3.3. Primera etapa: Recolección de información básica	26
3.3.1. Área del sitio.....	27
3.3.4. Descripción de la planta.....	28
3.3.4.1. Descripción del proceso industrial:	28
3.4. Segunda etapa.....	30
3.5. Tercera etapa.....	37
3.6. Cuarta etapa	41
3.6.1.4 Balance de masa	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	50
4.1. Primera etapa: recolección de la información básica	50
4.1.1. Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales	50
4.1.1.1. Pretratamiento	51

4.1.1.2. Recirculación:.....	55
4.1.2 Criterios para evaluación de ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con respecto a NTON 05-027 05	57
2.2 Evaluaciones de las condiciones físicas de operación y mantenimiento de la PTAR – Empresa Procesadora de palma de aceite	62
4.2. Segunda etapa: determinación de caudales y períodos de retención	66
4. 2.1. Determinación de caudales	66
4.2.2. Determinación de períodos de retención	67
4.3. Toma y análisis de muestras	72
4.3.1. Resultados fisicoquímicos afluente	72
4.4. Cuarta etapa: Regulaciones ambientales y eficiencia de remoción de CC. 80	
4.4.1 Resultados de análisis fisicoquímicos con respecto a las regulaciones ambientales	80
4.4.1. Determinación de las eficiencias en la remoción de contaminantes en la PTAR	85
4.4.2. Determinación de la carga orgánica	87
4.4.3. Balance de materia orgánica, CH ₄ y sólidos.....	88
4.4.4. Biodegradación de la materia orgánica y nitrogenada	89
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
5.1. Conclusiones	92
5.2. Recomendaciones:	95
BIBLIOGRAFÍA	97

Índice de tablas

Tabla 1. Caracterización de pH afluentes de plantas extractoras en Colombia	12
Tabla 2. Caracterización de ST y SS afluentes de plantas extractoras en Colombia	13
Tabla 3. Caracterización de DBO ₅ afluentes de plantas extractoras en Colombia	13
Tabla 4. Caracterización de DQO afluentes de plantas extractoras en Colombia.	14
Tabla 5. Caracterización de pH afluentes de plantas extractoras en Colombia	14
Tabla 6. Cronograma de aforo PTAR.....	30
Tabla 7. Formato de lectura de caudales	31
Tabla 8. Ubicación, espécimen y periodos de muestras.....	39
Tabla 9. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos.....	41
Tabla 10. Valores máximos permisibles de vertido de aguas residuales provenientes de la industria de extracción de aceite vegetal	42
Tabla 11. Valores máximos permisibles de vertido de aguas residuales para reúso agrícola/forestal	42
Tabla 12. Valores máximos permisibles de vertido de agua para extractoras de aceite vegetal.....	42
Tabla 13. Balance de masa.....	48
Tabla 14. Ubicación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales	59
Tabla 15. Evaluaciones de condiciones operación de la PTAR.....	62
Tabla 16. Parámetros operacionales.....	64
Tabla 17. Mantenimiento preventivo	65
Tabla 18. Determinación de caudal de laguna por medio de balance hídrico.....	67
Tabla 19. Datos teóricos de las unidades de depuración	68
Tabla 20. Consolidado de estudio batimétrico.....	69
Tabla 21. Periodos de retención hidráulicos TRH	72
Tabla 22. Cargas contaminantes totales	87

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Determinación del período de retención	33
Ecuación 2: Determinación de balance hídrico.....	33
Ecuación 3: Corrección de balance hídrico	34
Ecuación 4. Muestras en campo	40
Ecuación 5. Determinación de carga de contaminante.....	43
Ecuación 6. Determinación de las eficiencias de la PTAR	43
Ecuación 7. Carga DQO Afluente (másico)	44
Ecuación 8. Eficiencia de remoción teórica	44
Ecuación 9. % Eficiencia de remoción de DQO en el reactor	45
Ecuación 10. Concentración de materia orgánica transformada con respecto a la DQO	45
Ecuación 11. Masa de DQO convertida a metano.....	45
Ecuación 12. Volumen de metano a condiciones normales.....	46

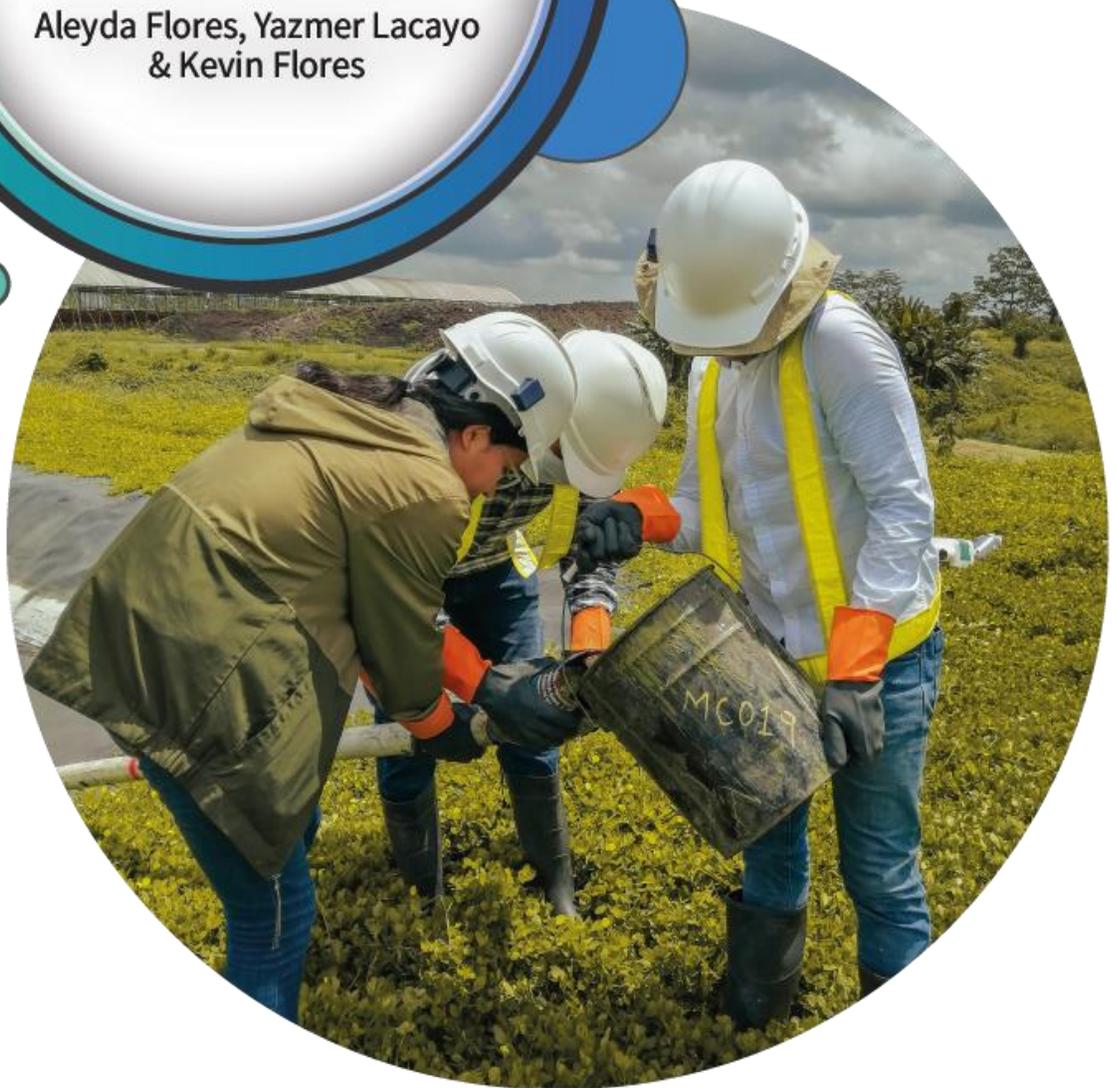
Índice figuras

Figura 1: Etapas de la investigación.....	26
Figura 2: Macro localización y micro localización	27
Figura 3: Lectura caudal afluente	31
Figura 4: Puntos de lectura de caudales	32
Figura 5. Puntos de referencia de perfil batimétrico	35
Figura 6. Creación de perfiles batimétricos	36
Figura 7: Ejecución de medición de volúmenes de lodos a través de estudios de batimetría.....	37
Figura 8: Perfil longitudinal CIVIL 3D	37
Figura 9. Puntos de toma de muestra	38
Figura 10: Toma de muestra en cada unidad.....	40
Figura 11: Planta de tratamiento POME.....	50
Figura 12: Sistema de rejillas gruesas para retención de sólidos	51
Figura 13: Cárcamo de bombeo.....	51
Figura 14: Tanques de decantación	52

Figura 15:Torres de enfriamiento	53
Figura 16: Lagunas de homogenización 1, 2 y 3.....	53
Figura 17: Tanques de almacenamiento	54
Figura 18. Circulación y recirculación de POME	55
Figura 19: Mapa urbano, ciudad El Rama	58
Figura 20: Simbología de estudio batimétrico	69
Figura 21. Representación gráfica de volúmenes de lodos obtenidos de perfiles longitudinales en cada unidad de depuración.....	70
Figura 22. Volúmenes de agua residual en lagunas y lodo acumulado seco.....	71
Figura 23: Presencia de alcalinidad en tubería.....	74
Figura 24. Derrame de aceite en planta de producción y florentinos	79
Figura 25. Eficiencia laguna anaerobia 1	85
Figura 26. Eficiencia laguna anaerobia 2	86
Figura 27. Eficiencia laguna anaerobia 3	86
Figura 28. Eficiencia laguna anaerobia 4	87
Figura 29. Biodegradación de la materia orgánica en laguna anaerobia 1	88
Figura 30. Rutas metabólicas de cargas másicas y nitrogenadas	89
Figura 31: Macro localización.....	106
Figura 32: Micro localización.....	106

Capítulo I. Generalidades

Aleyda Flores, Yazmer Lacayo
& Kevin Flores



CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.2. Introducción

La producción de aceite de palma africana se concentra en la Región Autónoma Atlántico Sur de Nicaragua. Hay más de 32,000 hectáreas plantadas con palma de aceite en la Costa Caribe debido al suelo adecuado y precipitación, que alcanza entre 2,500 mm a 3,500 mm anuales. El aceite de palma africana es la principal fuente de aceite comestible en Nicaragua. Para 2018/2019, la industria de la palma anticipa más de 82,000 TM de producción de palma de aceite, un ligero aumento con respecto a la campaña comercial 2017/2018 (USDA, 2019).

De acuerdo, a la gerencia de la planta extractora de aceite de palma africana “El Rama”, existen aproximadamente cinco mil hectáreas del cultivo con proyección a unas 6,500 con una capacidad de procesamiento por día de aproximadamente 120 toneladas.

La industria de aceite de palma continúa creciendo en el país con lo que podría aumentar a un 30 por ciento en los próximos cinco años, por lo que, con este crecimiento las plantas extractoras de aceite de palma producirán grandes cantidades de aguas residuales, sobre todo en la esterilización de la fruta y en la clarificación del aceite. De acuerdo con, Chungsiripon (2006) informaron que para el procesamiento de una tonelada de racimos de fruta fresca (RFF) se utilizan 1.5 m³ de agua; la mitad de esta cantidad termina como POME.

Según Ma et al. (1999) el POME cuando sale del proceso industrial es caliente (80-90°), ácido (4-5), espeso y viscoso de color marrón o amarillo pardusco. La coloración se debe a los orígenes del caroteno (8 mg/L), pectina (3,400 mg/L), tanino, fenólico (5,800 mg/L) y lignina (4,700 mg/L), lo que lo convierte en una sustancia rica nutrientes (Mohammed, 2014). Tiene una materia orgánica muy alta y es 100 veces más contaminante que las aguas residuales domésticas (Khalid y Wan Mustafa, 1992). Con rangos de concentración de demanda biológica de

oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO) en el rango de 10,250 - 43,750 mgO_2/l y 15,000 - 10,000 mgO_2/L , alto contenido de sal y sólidos en suspensión (5,000 - 54,000 mg/L).

Tomando en cuenta lo anterior, el objetivo de la investigación fue la ***Determinación de la biodegradación de contaminantes orgánicos y nitrogenados de la empresa procesadora de aceite de palma africana “El Rama”***, que en sus instalaciones tiene un sistema de tratamiento de aguas residuales anaerobio, considerando un tren de tratamiento conformado por: pretratamiento + tres lagunas de homogenización de temperatura y pH sin adición de químicos + cuatro lagunas de anaerobias para biodegradación de contaminantes presentes en el POME y dos tanques de almacenamiento que solo usan en época de temporada alta de producción de aceite. La planta de tratamiento está en abandono parcial y nunca se han realizado evaluaciones a las cargas contaminantes que se descargan en el efluente consideran que se usan para riego, por esta razón el MARENA ha multado la empresa en múltiples ocasiones.

En efecto a esto, se evaluó la remoción de cargas másicas orgánicas y nitrogenadas de la PTAR, con el fin de conocer la calidad operacional de cada una de las fases del tratamiento de las aguas residuales. Por lo que, con los resultados obtenidos se realizaron propuestas de mejoras para el mantenimiento operacional y funcional de la PTAR.

Considerando lo anterior, se hace necesario como estudio preliminar, la determinación de las variaciones de caudal. Así como, también la determinación del funcionamiento operacional de la PTAR basados en los periodos de retención, logrando así determinar la degradación y transformación de la materia orgánica y nitrogenada en las lagunas. Por último, se analizó las concentraciones obtenidas en afluente y efluente, para verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de vertido en el Decreto 21-2017 Art 37 *“Rangos y Valores máximos permisibles para los Vertidos de Aguas Residuales provenientes de la Industria de Extracción*

de Aceite Vegetal” y NTON 05-027-05 tipo 1 reúso agrícola y/o forestal categoría A, ya que, Nicaragua no cuenta con un decreto específico para el POME, se compararon los resultados de los análisis con la resolución colombiana 631-2015 “*Extracción de aceite de origen vegetal, parámetros y límites aplicables para el sector palmero*” para verificar el funcionamiento operacional de la PTAR, ya que Colombia es un país que también produce aceite de palma africana y existen asociaciones como la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (FEDEPALMA) y la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (CENIPALMA) que se ha dedicado a elaborar rutas tecnológicas para el manejo de aguas residuales del sector palmero desde 1990, hoy en día cuentan con parámetros aplicables específicamente para plantas extractoras de aceite de palma.

1.2. Antecedentes

En la región autónoma de la costa caribe sur la industria aceitera inició en 2012 con un capital guatemalteco. La empresa opera en El Rama, trabajando bajo un modelo de negocio inclusivo de arrendamiento con productores independientes, asociados y plantaciones propias (USDA, 2019).

Desde el 2012 la industria contaba con una planta de tratamiento de aguas residuales formada por dos torres de enfriamiento marca Alpina, considerando que se tenían problemas con pH y temperatura se diseñaron y construyendo dos lagunas de homogenización. En el 2014 la planta procesadora de aceite de palma agrega una unidad más de enfriador Alpina más una laguna de homogenización.

A comienzos del 2015 la industria anexa dos tanques que se pensaban para ser usados como un reactor biológico seguido de un reactor anaeróbico en el que se iba a aprovechar el biogás, pero no se concretó el proyecto únicamente se construyen los tanques con capacidades de 3,000 m³ cada uno. Posteriormente, se construyen dos lagunas anaerobias, y a finales del 2017 inician una nueva construcción de dos lagunas anaerobias y así poder utilizar el efluente como un subproducto para el riego de la misma palma de aceite.

1.3. Justificación

De acuerdo a las Naciones Unidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como Objetivos Mundiales, se adoptaron por todos los Estados Miembros en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030.

De ahí que, se plantea el objetivo 6: “Agua limpia y saneamiento”, el origen de la crisis radica en la falta de infraestructuras y sistemas de gestión adecuados para el volumen creciente de aguas residuales generadas. A nivel mundial se vierten dos millones de toneladas de aguas residuales, desechos industriales y agrícolas en los cursos de agua del planeta, esto sin contar el vertido no regulado o ilegal de agua contaminada. Hasta el 90 % de las aguas residuales llegan sin tratar a las zonas costeras densamente pobladas, incrementando las pérdidas de biodiversidad y resiliencia de los ecosistemas, así como, socavando la prosperidad y los esfuerzos en pro de un futuro más sostenible.

De ahí que, los residuos líquidos que genera una empresa procesadora de aceite de palma, se conocen por sus siglas en inglés como POME, que se traduce como efluente de plantas de beneficio de palma de aceite. El POME es caracterizado por ser un líquido de color amarillo-marón con características agresivas: Demanda química de oxígeno (DQO) de 55,000 mgO₂/l, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 25,000 mgO₂/l, sólidos suspendidos de 20,000 mg/l, temperatura muy alta: 80 °C, pH ácido entre 4 y 5 (Althausen, 2016).

El POME es el agua residual producida por el procesamiento de la palma aceitera y se compone de diferentes materiales en suspensión. El POME es 100 veces más contaminante que las aguas residuales municipales debido a su alta concentración en DBO y DQO. El efluente también contiene una mayor concentración de nitrógeno orgánico, fósforo y diferentes sustancias suplementarias (Tabassum, 2015).

Desde su inicio hasta hoy en día la planta de tratamiento de aguas residuales producidas por la extracción de aceite de palma no se ha realizado ninguna

evaluación operacional y funcional. Además, se debe considerar que la PTAR no siguió un diseño en el que se considerará la degradación de los diversos contaminantes, sino más bien al ritmo del incremento en la producción de aceite. De ahí que, no se han identificado las cargas orgánicas y nutrientes que existen en todas las etapas de depuración hasta la descarga, así como, no se han determinado volúmenes de lodo en las lagunas y no se han realizados muestreos para analizar los límites máximos permisibles con respecto al Decreto 21-2017 y NTON 05-027-05.

El POME plantea un problema ambiental debido a la descarga por medio de riego que se está dando en la plantación de palma en el Rama, además se debe considerar que en el interior de la plantación existe un sistema de drenaje que descargan en diferentes cuerpos receptores, por lo que se están descargando altas concentraciones de materia orgánica y nitrogenada, lo que crea un impacto adverso en el medio ambiente.

La empresa procesadora de aceite de palma “El Rama”, hace una depuración del afluente de agua residual por medio de su sistema lagunar. Debido a las debilidades técnicas en cuanto al manejo de la PTAR, el POME está siendo tratado de manera parcial, más aún, se dificulta la operación eficiente, por el mal estado de algunos equipos de campo como: válvulas, bombas de succión y falta de asesoramiento técnico al personal de la planta de tratamiento.

Como consecuencia, se desconocen las concentraciones físicas y químicas del efluente de POME de la empresa “El Rama” por lo que se requiere un análisis de la eficiencia de la PTAR, así como, conocer las concentraciones del efluente que se están enviando a riego.

Es por ello que el estudio, sirvió en primera instancia para conocer las concentraciones de nutrientes y contaminantes orgánicos, que están siendo biodegradados en las lagunas de estabilización, así como, determinar las eficiencias operacionales y de mantenimiento de la PTAR.

Considerando que en Nicaragua no existen parámetros para la regulación de agua residual de la industria aceitera, utilizada para riego de cultivo de palma se tomaron en consideración las concentraciones máximas permisibles del Decreto 21-2017, NTON 05-027-05.

Tomando en consideración lo anterior se presenta un estándar internacional para vertidos de la industrial de aceite de palma que es exclusiva del sector.

Considerando que la empresa actualmente no posee un manual de uso técnico, para garantizar la operación correcta de cada unidad de biodegradación, se presentaron medidas correctivas específicas para lograr una mejor calidad del efluente que está siendo ocupado para riego de cultivo de palma africana y compost.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

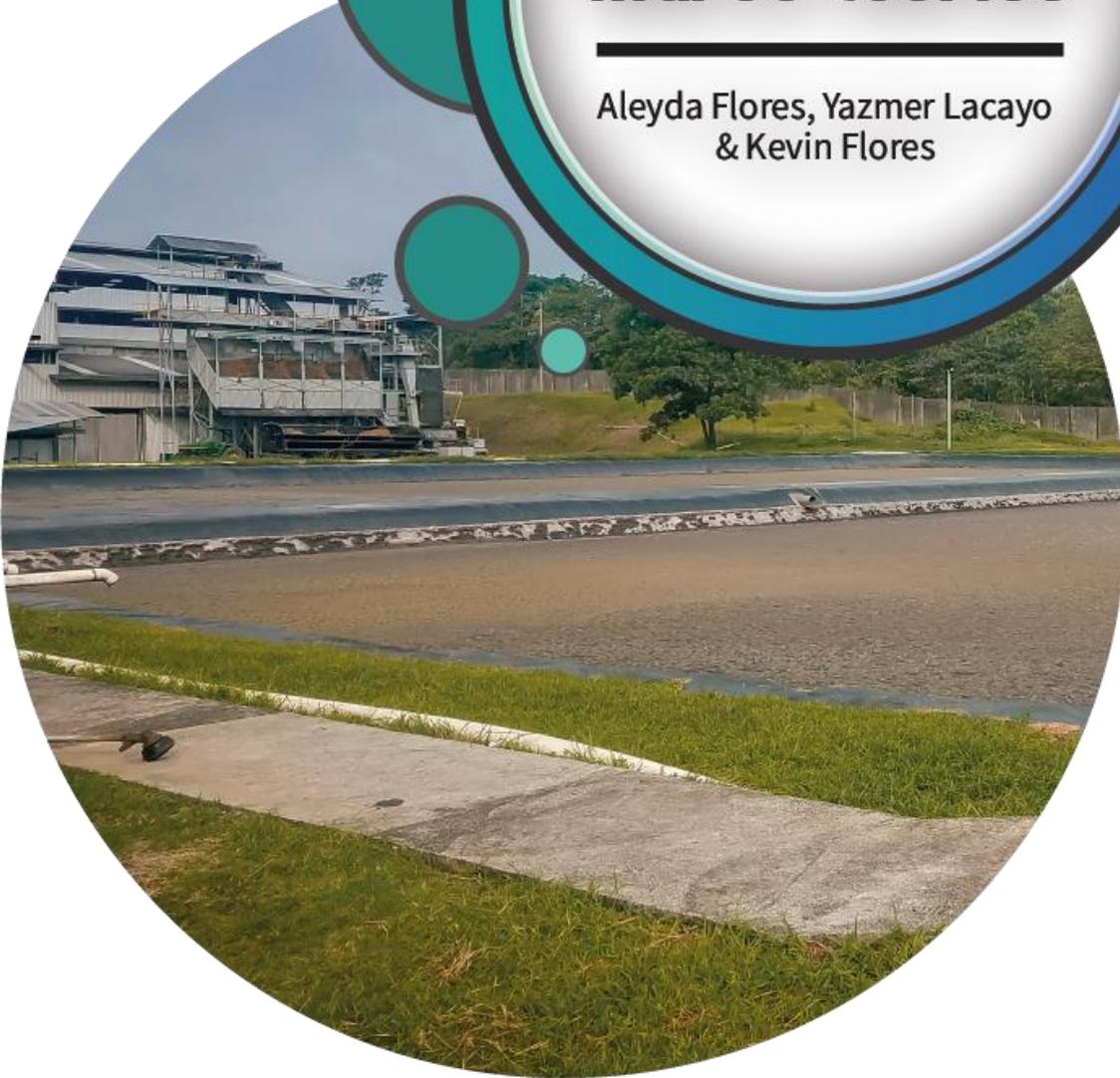
Determinar la biodegradación de contaminantes orgánicos y nitrogenados de la empresa procesadora de aceite de palma africana “El Rama”.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Analizar las variaciones de caudal en el afluente y efluente del sistema de tratamiento para elaboración de hidrogramas de aguas residuales.
2. Analizar el funcionamiento operacional de la planta procesadora de aceite de palma africana, en el manejo de las aguas residuales proveniente del proceso industrial.
3. Identificar la carga orgánica producida en la planta de procesos de frutos frescos de palma africana que se descarga a través del riego del efluente.
4. Realizar batimetría de lodos en las siete lagunas anaerobias para conocer volumen efectivo de operación de las lagunas.
5. Analizar las concentraciones fisicoquímicas obtenidas de los muestreos compuestos para verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles del Decreto 21-2017 y la NTON 05-027-05.

Capítulo II. Marco teórico

Aleyda Flores, Yazmer Lacayo
& Kevin Flores



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Se presenta el marco teórico en el que se sustenta la investigación considerando el tipo de agua residual, las unidades de depuración existente y el marco legal existente, así como, otros conceptos de interés.

Las plantas de beneficio de palma de aceite producen grandes cantidades de aguas residuales, sobre todo en la esterilización de la fruta y en la clarificación del aceite.

2.1. Aguas residuales industriales de extracción de aceite de palma

2.1.1. Generalidades

El procesamiento de los racimos de fruta fresca (RFF) de la planta de aceite, se realiza mediante los efectos de presión, temperatura y procesos mecánicos, se extra el aceite contenido en la pulpa del fruto. Como insumo único podría considerarse el agua utilizada como medio de dilución, producción de vapor y lavado. Los procesos en los cuales se generan afluentes son:

- **Esterilización:** Mediante uso de autoclaves horizontales presurizados con vapor de agua, el fruto es depositado en las vagonetas que se someten a un proceso de esterilización. Este vapor es evacuado de la autoclave en parte como vapor a la atmósfera y en parte como un condensado, generando de esta forma el primer efluente que contiene aceite, sólidos en diferentes formas, materia orgánica entre otros.
- **Clarificación:** El aceite crudo proveniente del prensado se bombea a través de una columna de ebullición que lo recalienta hasta los 100°C y es descargado a los tanques de sedimentación conocidos como clarificadores. Las aguas aceitosas del clarificador se envían a unos tanques para recuperar aceite que se ha escapado.

Los efluentes de este tanque son conducidos generalmente, a una centrifuga en la cual se recupera otro tanto de aceite. El efluente de estas centrifugadoras es conducido a los tanques florentinos.

- **Hidrociclones:** Cuando la separación de almendras y cáscara se produce una tercera fuente que contiene mucho menos material orgánico que los condensados de esterilización y las aguas residuales de la clarificación.

Adicionalmente, una cuarta corriente sería producida por el lavado y las purgas de algunos equipos durante proceso.

2.1.2. Biodegradación

Biodegradación es el término que se le da a la descomposición de sustancias químicas orgánicas acción de un organismo vivo. En el contexto ambiental, generalmente los microorganismos son los agentes de biodegradación más importantes. Aunque la degradación extensa de algunos productos químicos xenobióticos pueden ocurrir en mamíferos (generalmente en el hígado), no son particularmente importante en la degradación del medio ambiente contaminantes (Científica, 2017).

Las bacterias heterotróficas son a menudo consideradas de primordial importancia, sin embargo, el papel de los hongos está siendo cada vez más reconocido. Las algas y las cianobacterias pueden catalizar algunos procesos biodegradables, pero probablemente tengan una importancia limitada. Pueden producirse diversos grados de biodegradación según la cantidad de compuesto ha sido modificado Henze et al. (2008).

2.1.2.1. Biodegradación de materia orgánica

Para la eliminación de materia orgánica, es necesario conocer la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de los sólidos suspendidos (SS, sedimentables y/o no sedimentables) presentes en el agua residual. El oxígeno que se requiere para la degradación de la materia orgánica y el alto contenido orgánico favorece el

crecimiento de bacterias y hongos, mejorando la calidad del efluente y operación de la planta.

Los constituyentes orgánicos biodegradables presentes en una laguna, sean estos solubles, no sedimentables o sedimentables, pueden ser transformados en organismos heterótrofos ordinarios (OHO, XBH), los cuales pasan a formar parte de los sólidos suspendidos orgánicos (volátiles) (SSV) en el reactor. Cuando estos organismos mueren, dejan tras de sí material orgánico no biodegradable y no soluble, llamado residuo endógeno (XEH), compuesto principalmente del material no biodegradable de la pared celular. Este residuo endógeno se incorpora a la masa de sólidos suspendidos volátiles en el reactor (SSV).

La fracción de material orgánico particulado (suspendido y sedimentable), no biodegradable (XI) se adhiere o es absorbida junto con la masa de OHO_5 y de residuo endógeno. Juntos estos tres componentes (XBH + XEH + XI) forman el componente orgánico de los sólidos sedimentables que se acumulan en el reactor biológico (SSV, XV).

Los componentes inorgánicos (sedimentables y suspendidos), junto con los componentes inorgánicos solubles precipitables, forman la masa de sólidos sedimentables inorgánicos (SSI). Los compuestos inorgánicos solubles biológicamente utilizables son absorbidos por la biomasa y se convierten en parte de esta o se transforman a la fase gaseosa, en cuyo caso escapan a la atmósfera. Los compuestos inorgánicos solubles no precipitables y no aprovechables biológicamente escapan con el efluente George et al. (2017).

2.1.2.3. Biodegradación de materia nitrogenada

El proceso de nitrificación y desnitrificación constituye el método biológico más adecuado para la depuración de nitrógeno en aguas residuales, ya que presenta una elevada eficacia de eliminación, una alta estabilidad y fiabilidad, así como, un fácil control del proceso y costes menores a otros tratamientos (AEMA, 2018).

Los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma, contienen cantidades importantes de nitrógeno, fósforo y potasio los cuales pueden servir de nutrientes en la plantación una vez se haya estabilizado la materia orgánica (Cenipalma, 1996).

La primera etapa es la nitrificación, donde con la ayuda de dos géneros de bacterias (nitrosomas y nitrobacter). En esta etapa se reduce la demanda de oxígeno, las bacterias nitrosomas se encargan de oxidar el amoníaco y es convertido a nitrito; posteriormente las nitrobacter convierten el nitrito en nitrato. El nitrógeno no es eliminado en esta etapa, solo es transformado.

En la segunda etapa, llamada desnitrificación, el proceso se da por medio de bacterias heterótrofas facultativas que se encargan de convertir el nitrito en un producto gaseoso llamado nitrato Hense et al. (2017).

2.1.3 Características de las aguas residuales de aceite de palma

2.1.3.1. Características físicas

a. Temperatura

Las aguas residuales de aceite de palma presentan temperaturas entre 50 a 80°C debido al proceso de producción en la etapa de esterilización. Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas son influenciadas notoriamente por la temperatura. Es una variable que se relaciona con la radiación solar y afecta tanto a la velocidad de la fotosíntesis como el metabolismo de las bacterias responsables de la remoción de la materia orgánica (Althausen, 2016).

b. Olor

En las lagunas se pueden dar malos olores debido a: Sobrecarga de DQO que causa condiciones anaeróbicas. La sobrecarga puede ser causada por un exceso de caudal, mal diseño, períodos de retención hidráulica demasiado bajos por cortocircuitos hidráulicos o sobre acumulación de lodos, y la descomposición anaeróbica de lodos al fondo de la laguna. Además de la descomposición

anaeróbica de natas y materia flotante no removida de la superficie de la laguna (Oakley S. M., 2005).

c. Color

El aceite crudo de palma presenta un color rojo anaranjado muy fuerte, debido al alto contenido en carotenoides, que alcanza niveles de 500-700 mg/L. La fijación del color en el aceite crudo de palma incrementa con la acidificación (formación de ácidos grasos libres por oxidación), lo que a nivel industrial significa mayores requerimientos de tierras de blanqueo para su refinación.

Los afluentes al sistema de tratamiento llevan consigo altas cantidades de arena, aceite, lodos aceitosos, residuos mucilaginosos y gomas que imparten un color marrón al vertimiento, que se fija a través del tiempo a causa de la oxidación. Adicionalmente se tiene en cuenta la formación de ácidos húmicos durante el tratamiento (Cenipalma, 2011).

2.1.3.2. Características químicas

a. Potencial de hidrógeno (pH)

Las aguas residuales de la industria aceitera generalmente son ácidas o poco alcalinas entre 4 y 5, tienen tendencia a volverse ácidas muy rápidamente a causa de la ausencia de oxígeno (Althausen, 2016), ver tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de pH afluentes de plantas extractoras en Colombia

Parámetro	Unidad	Rango	Límites máximos permisibles Resolución 0631-2015
pH	-	3.87-5.25	6-9

b. Sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos sedimentables (SSED)

Los sólidos suspendidos totales son la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Por el contrario, los sólidos sedimentables son aquellos que tras reposo (una hora) se decantan. Los efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales de palma aceitera contienen altas

cantidades de sólidos suspendidos totales con rangos que pueden variar 32,482 a 11,1029 mg/L, eliminado algunos datos atípicos, ver tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de ST y SS afluentes de plantas extractoras en Colombia

Parámetro	Unidad	Rango	Límites máximos permisibles Resolución 0631-2015
Sólidos totales (ST)	mg/L	32,482 – 111,029	400
Sólidos suspendidos (SS)	mg/L	19,129 - 88,258	

c. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Se define como el oxígeno disuelto necesario para que los organismos vivos que se encuentran en el agua biodegraden la materia orgánica Cortés et al. (2017).

Según Althausen (2016) el rango de concentración de DQO en las aguas residuales de aceite de palma es de 25,000 mgO₂/L. Por otro lado, de acuerdo a la tabla 3 se reportan los rangos encontrados en Colombia.

Tabla 3. Caracterización de DBO₅ afluentes de plantas extractoras en Colombia

Parámetro	Unidad	Rango	Límites máximos permisibles Resolución 0631-2015
DBO ₅	mgO ₂ /L	187,000-175,521	600

d. Demanda química de oxígeno (DQO)

Se refiere a la medición de oxígeno necesario para oxidar toda la materia orgánica e inorgánica, tanto de aguas residuales industriales como de municipales. La composición de las aguas de la industria aceitera tiene un rango de DQO en 55,000 mgO₂/L (Althausen, 2016). Por otro lado, de acuerdo a la tabla 4 se reportan los rangos encontrados en Colombia.

Tabla 4. Caracterización de DQO afluentes de plantas extractoras en Colombia

Parámetro	Unidad	Rango	Límites máximos permisibles Resolución 0631-2015
DQO	mgO ₂ /L	45,256 - 232,000	1,500

e. Grasas y aceites

La presencia de aceites y grasas en las aguas residuales debido a que la extracción del aceite se hace mediante procesos físicos y mecánicos, y la palma es una planta compuesta por grasa y aceite sin refinar en la parte externa carnosa del fruto de la palma africana.

Aun cuando la carga orgánica, y en especial aceites y grasas, es alta en el afluente al sistema de tratamiento la remoción es superior al 94% obteniendo en el efluente valores inferiores a 20 mg/L (Cenipalma, 2011).

Tabla 5. Caracterización de pH afluentes de plantas extractoras en Colombia

Parámetro	Unidad	Rango	Límites máximos permisibles Resolución 0631-2015
Grasas y aceites	mg/L	6,480 – 80,701	20

2.1.3.3. Características biológicas

a. Algas

Existen en formas unicelulares, pluricelulares, móviles o inmóviles; no fijan nitrógeno atmosférico, pero lo requieren para sus procesos metabólicos, especialmente en forma inorgánica.

La presencia de las algas en niveles adecuados asegura el funcionamiento de la fase aerobia de las lagunas. Cuando se pierde el equilibrio ecológico, se corre con el riesgo de producir el predominio de la fase anaerobia, que trae como consecuencia una reducción de la eficiencia del sistema Treviño et al. (2017).

b. Virus

Proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales. Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: Poliovirus, virus Echo, Coxsackrevirus A y E, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, Rotavirus, Reovirus, Adenovirus y Parvovirus Espigares et al. (1985).

c. Bacterias

Organismo unicelular y procariota perteneciente al reino monera, Su aspecto externo es variado, Puede poseer una forma esférica (coco), helicoidal o alargado (bacilo). Y aunque se pueden encontrar aisladas, cuando las condiciones son favorables se multiplican asexualmente por bipartición y generan colonias. La estructura celular consta de una membrana lipídica en cuyo citoplasma abundan los ribosomas. Las bacterias carecen de membrana nuclear, por lo que el material genético se halla esparcido por toda la célula; este consta de un único cromosoma circular y, a veces, existe un segundo anillo muy reducido denominado “plásmido” Tomasini et al. (2017).

2.2. Tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa extractora de aceite de palma “El Rama”

Para la estabilización de estos afluentes se usan principalmente sistemas de tratamientos de tipo biológico anaeróbicos, dado que el uso de sistemas aeróbicos con inyección de oxígeno sería demasiado costoso. Así mismo, la adición de químicos para floculación y sedimentación además de costosa es muy ineficiente (Cenipalma, 1996).

2.2.1. Tratamientos preliminares

Hacen parte de los tratamientos preliminares, las rejillas y el florentino; este último funciona como desarenador para aprovechamiento de aceite por rebose. En las

rejillas se remueven partículas voluminosas como, palos, frutos y basuras en general que pueden causar problemas en el resto del conjunto. En las aguas que llegan al florentino, el contenido de aceite no debe sobrepasar los 8,000 mgO₂/l, siempre y cuando se ejecute un buen control del proceso dentro de la planta extractora (Cenipalma, 1996).

2.2.2. Torres de enfriamiento

Una torre de enfriamiento es una instalación cuya función es la dispersión de calor del agua, que involucra conjuntamente los fenómenos de transferencia de calor y de masa (evaporación controlada por el contacto directo del agua con el aire) (HVAC&R, 2018).

El enfriamiento del POME es importante para garantizar un trabajo óptimo de la población de microorganismos que actuará en la siguiente laguna, ya que estos requieren temperaturas menores de 37 °C (Cenipalma, 1996).

2.2.3. Lagunas de homogenización

Según Aguamarket (2017) la homogenización es una operación unitaria usada para evitar las descargas violentas, aplicables a descargas de origen industrial en el cual se almacena el desecho para aplanar el histograma diario de descarga y para homogeneizar la calidad del desecho.

El objetivo de la homogeneización es el de minimizar las fluctuaciones en las características del agua tanto en calidad como en cantidad con el fin de proveer las condiciones óptimas para los tratamientos subsecuentes.

Las funciones de la homogeneización en el esquema de tratamiento son:

- Proveer un adecuado amortiguamiento de las fluctuaciones orgánicas con el fin de prevenir choques de carga orgánica al sistema anaerobio.
- Minimizar el consumo de químicos necesarios para la neutralización creando variaciones de pH más amortiguados.

2.3.4. Tratamiento primario

Una laguna facultativa se caracteriza por presentar tres zonas bien definidas. La zona superficial, donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias. La zona del fondo, de carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan y son descompuestos, fermentativamente. Y por último una zona intermedia, parcialmente aerobia y parcialmente anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas. El agua residual entre la laguna, la materia orgánica y partículas sedimentables se depositan en el fondo, mientras que la materia orgánica soluble y coloidal será consumida por las bacterias que se encuentran en la zona de degradación. Las bacterias utilizan el oxígeno disuelto en el agua para transformar la materia orgánica en CO_2 y en más bacterias, para completar el proceso es necesario que el agua contenga nitrógeno amoniacal y fosfatos. Las nuevas bacterias se incorporan al proceso, las células muertas sedimentan y forman parte de los lodos que se degradan por vía anaerobia.

El CO_2 generado por las bacterias es utilizado por las algas en presencia de la luz solar para generar más algas y oxígeno molecular que será aprovechado por las bacterias aerobias. Bacterias y algas requieren de nitrógeno y fósforo para completar el proceso de transformación. En el fondo de la laguna en la zona de sedimentos ocurre una degradación a nivel anaerobio (ausencia de oxígeno) la materia orgánica es transformada por acción de las bacterias anaerobia, en compuestos intermedios como ácidos orgánicos y finalmente en compuestos más simples como metano, dióxido de carbono, nitrógeno amoniacal y ácido sulfhídrico. El CO_2 el NH_3 y el H_2S son altamente solubles y serán utilizados por los microorganismos o se combinan para formar nuevos compuestos, El metano tenderá a escapar a la atmósfera (TILLEY et al. 2018; CONAGUA 2015; Martinez, 2002).

2.2.5. Lagunas anaerobias

En estas lagunas, se desarrolla la mayor cantidad de remoción de la materia orgánica que entra al sistema a través de procesos que trabajan sin oxígeno. Por su gran actividad metanogénica, se forma en el fondo de la misma un lodo estabilizado compuesto en su mayoría por células muertas, el cual se puede usar como fertilizante en la plantación. Se debe prever un sistema de retención de los sólidos con el fin de no saturar las lagunas siguientes (Cenipalma, 1996).

2.4. Nutrientes

Tradicionalmente los lodos y efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de aceite, al igual que otros residuos como racimos vacíos (tusas), han sido valorados por su alto contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo), siendo empleados, en algunos complejos, para fertilización orgánica y compostaje.

Los racimos vacíos contienen aproximadamente 1% de nitrógeno y 0.1 % de P_2O_5 , en base húmeda. Siendo, aproximadamente 210 kg de racimos vacío/racimos procesados, obtenemos 2.1 kg N/t RFF y 0.09 kg P/t RFF. El cuesco contiene 0.42% \pm 0.03 de nitrógeno (0.33 kg/t RFF) y la fibra 1.21% \pm 0.08 (1.63 kg/t RFF) La almendra contienen en promedio 1.6% de nitrógeno (0.92 kg/t RFF).

- **Fósforo:** Es esencial para el crecimiento de los organismos. Las formas en que se puede encontrar en las aguas residuales, son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato satisface los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se necesita en niveles mucho más bajos que el nitrógeno. Al igual que éste, es responsable de la producción de procesos de eutrofización Perez et al. (1985).

La fibra y el cuesco contienen fósforo 594,91 \pm 68,08 mg/kg y 115,04 \pm 4,35 mg/kg, respectivamente (0.08 kg/t RFF y 0.01 kg / t RFF).

Teniendo en cuenta los datos anteriores se puede estimar que el contenido de nitrógeno contenido en la materia prima es de 4.98 kg/t RFF (sin tener en cuenta el aceite crudo), en el caso del fósforo es de 0.18 kg/t RFF (descontando el aceite crudo). Algunas cantidades de nitrógeno y fósforo son llevadas al sistema de tratamiento de efluentes en los lodos de clarificación procedentes, entre otros, de tusa, fibra y cuesco. Algunos valores reportados por literatura son de 948 mg/L para el nitrógeno y 154 mg/L para el fósforo (Cenipalma, 2011).

2.5. Eutrofización

Proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, entre otros).

Las masas de agua eutróficas tienen un alto nivel de productividad y de biomasa en todos los niveles tróficos; proliferan las algas, tienen aguas profundas pobres en oxígeno y un crecimiento intenso de las plantas acuáticas. En contraste, los cuerpos de agua oligotróficos, poseen concentraciones bajas de nutrientes, poseen mayor diversidad en las comunidades de plantas y animales, un bajo nivel de productividad primaria y de biomasa y una buena calidad del agua para distintos usos.

Los factores que afectan el grado de eutrofización son:

- **Clima:** los climas cálidos favorecen el proceso.
- **Cuerpos de agua poco profundos y/o de bajo caudal** son más propicios para el desarrollo del proceso
- **Área de drenaje:** la poca cubierta arbórea sujeta a precipitaciones abundantes favorece la erosión y el arrastre de nutrientes hacia el cuerpo de agua
- **Geología:** en áreas de drenaje donde predominan rocas sedimentarias hay mayor aporte de fósforo por escorrentía. Los suelos arcillosos drenan

pobremente y también favorecen la escorrentía y consecuentemente el aporte de nutrientes.

Las causas de la eutrofización pueden ser:

a) Naturales:

- Aportes atmosféricos: precipitación.
- Re suspensión de los sedimentos del fondo.
- Liberación desde los sedimentos anóxicos.
- Descomposición y excreción de organismos.
- Fijación de nitrógeno por microorganismos.

b) Antropogénicas:

- Vertidos de residuos industriales, agrícolas, urbanos y de plantas de tratamiento.
- Deforestación que aumenta la erosión y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca, aumentando su ingreso al cuerpo de agua.
- Fertilizantes aplicados en exceso.
- Aguas residuales de granjas (silos, tambos).
- Tanques sépticos.
- Uso de detergentes con grandes cantidades de fósforo.
- Aporte de contaminantes por agua de lluvia.
- Sistema de alcantarilla do de ciudades y pueblos.

2.6. Balance hídrico

El estudio de balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de la continuidad.

Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

El balance hídrico solo se aplica en lagunas facultativas y de maduración a causa de que en las anaerobias no es posible, en vista de que generalmente la superficie es cubierta de una nata que impide en gran manera la evaporación (Cortés Martínez, y otros, 2011).

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural, o cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua. En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación en forma de lluvia, la evaporación desde la superficie de masa de agua (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1971).

2.7. Estudio batimétrico

El término “batimetría” procede del griego, “El arte de medir las profundidades”.

En topografía, batimetría es levantamiento del relieve de una superficie sub acuática (levantamientos del fondo del mar, así como del fondo de cursos de agua, de embalses, entre otros); la labor del topógrafo consiste en realizar el levantamiento de los fondos, como si de un terreno seco se tratase.

El levantamiento batimétrico se efectúa para verificar los perfiles de acumulación de sólidos sedimentados y estimar la cantidad de lodos acumulados en el fondo de las lagunas, así como, el volumen útil disponible en cada unidad.

La parte más compleja en la batimetría, es la determinación de la profundidad, esta tarea se denomina operación de sondeo. La profundidad de un punto se obtiene midiendo la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

En el levantamiento topográfico de los extremos, para determinar la posición planimetría de un punto acuático, existen varios métodos para obtener las coordenadas en los puntos sub acuáticos; el método directo, es el más básico, se fundamenta en la materialización de una alineación por medio de una cuerda atada a cada extremo de la orilla en la laguna, y marcada a distancias determinadas. El método consiste en colocar la balsa en cada marca de la cuerda y determinar en

estos puntos la profundidad. Este método es preciso para lagunas, reservorios de agua o para fuentes donde cursa el agua.

En el levantamiento batimétrico los puntos se organizan en perfiles. Los perfiles consisten en un conjunto de puntos alineados en una determinada dirección (longitudinales o transversales), situados de modo paralelo uno con otro, realizando algunos en dirección transversal a los principales (longitudinales) o viceversa, para una mayor cobertura de la zona (CELADA PEREZ, 1999)

2.8. Balance de masa

El balance de masa, puede definirse como una contabilidad de entradas y salidas de masa en un proceso o de una parte de éste. No es más que la aplicación de la ley de conservación de la masa que expresa “La masa no se crea ni se destruye”.

Los cálculos de balance de masa son casi siempre un requisito previo para todos los demás cálculos, además, las habilidades que se adquieren al realizar los balances de masa se pueden transferir con facilidad a otros tipos de balances.

Los balances de la materia generalmente designados balances de masa, son muy útiles para examinar un proceso o partes de él; se emplean bastante en ingeniería química y también son muy útiles en campos ambientales. Los balances de la materia sirven para comprobar las mediciones de aquellas corrientes difíciles, o imposibles, de medir directamente; también ayudan al diseño de procesos para incluir todos los materiales, tanto de producción como de consumo (inclusive los residuales). Cuando en un sistema no existe acumulación, es que tiene un estado estacionario. En el estado no estacionario, la velocidad de acumulación cambia con el tiempo, el vaciado o llenado de un tanque de almacenamiento sería un ejemplo de balance de materia no estacionario (Henry & Heinke, 1999).

2.9. Carga orgánica

Es determinada con respecto a DQO, o DBO_5 que se le aplica diariamente a la laguna que será estabilizada en el tratamiento biológico. Su valor se expresa normalmente en kg de DQO, por unidad de tiempo. La carga orgánica al caer a un

cuerpo de agua, se oxida, consumiendo oxígeno necesario para los seres vivos allí presentes. A mayor carga orgánica menos oxígeno para los seres vivos del medio (Grepalma, 2011).

2.10. Regulaciones ambientales

2.10.1. Decreto 21-2017

Tiene por objeto establecer las disposiciones en materia de regulación del vertido de aguas residuales provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agroindustriales y de servicio a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario, mediante el establecimiento de límites o rangos máximos permisibles de vertidos, todo de conformidad al mandato de la Ley No. 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales y su Reglamento.

2.10.2. Norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reúso (NTON 05 027-05)

Esta norma tiene por objeto establecer las disposiciones y regulaciones técnicas y ambientales para la ubicación, operación y mantenimiento, manejo y disposición final de los desechos líquidos y sólidos generados por los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias; incluyendo el reúso de las aguas tratadas.

2.10.2. Resolución Colombiana número 0631 de 2015

La presente Resolución 0631 de 2015 reúne las experiencias de Fedepalma, Cenipalma y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) con el sector de aceites y grasas en Colombia, en las que se discutieron en detalle diversos aspectos técnicos entre ellos los parámetros de uso de efluentes del sector productivo de aceite palma.



Capítulo III. Diseño metodológico

Aleyda Flores, Yazmer Lacayo
& Kevin Flores

CAPITULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2018); Dankhe (1986), existe cuatro tipos de investigación; exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. En este caso se explicarán los tipos de investigación que se utilizarán.

- **Descriptivo:** Se describen rutas metabólicas de degradación de materia orgánica que será transformada en los procesos biológicos lagunares, es decir cómo se transforma la materia y sirve de sustrato para diversos microorganismos. Se tomarán como indicadores de materia orgánica la DQO y como nutrientes el nitrógeno total.
- **Cuantitativa:** Se realizarán las cuantificaciones de las concentraciones de diversos contaminantes de las aguas residuales, obtenido de los resultados de laboratorio: pH, temperatura, nitrógeno total y resultados de campo como es la batimetría, SST y SSED.
- **Correlacional:** La utilidad y el propósito principal de este enfoque será saber cómo se comportaron las variables ambientales (temperatura y precipitaciones) con respecto a las concentraciones de aguas residuales (DQO, NT, entre otras).
- **De corte transversal:** Debido a que se analizaran variables en un tiempo determinado.

De acuerdo a Fernández et al. (2017) una investigación puede tener una combinación de los diferentes tipos de enfoques, pero nunca podrá ser básicamente de un solo tipo, sino que siempre tendrá elementos de alguno de los otros tipos de enfoques. Es por esta razón que la investigación es de enfoque mixto.

3.2. Procedimiento de investigación

El procedimiento constará de cuatro etapas que serán mencionadas de manera general en la figura 2. Se presenta cada de una de las etapas que se seguirán para lograr los objetivos de la investigación.

Figura 1: Etapas de la investigación



3.3. Primera etapa: Recolección de información básica

Se realizará la recolección de información de soporte, a través de la revisión exhaustiva de bibliografías que permitan tener una perspectiva con respecto a los objetivos y variables considerados en la investigación. Con el propósito de conocer el estado, antecedentes, definiciones, entre otros, con referencia al tema.

3.3.1. Área del sitio

El estudio se desarrollará en la PTAR de la empresa procesadora de aceite de palma africana “El Rama” en la Ciudad de El Rama, RACCS en Nicaragua. Sus coordenadas geográficas son 11°43'12" y 12° 44' 00" latitud norte y 83° 58' 15" y 85°00'00" longitud oeste, zona 16P a una altitud de 25 msnm y cuenta con un clima tropical a temperatura promedio de 30°C a una distancia de 221 km de la capital Managua.

La ciudad “El Rama” limita: al norte: municipios de Paiwas y El Tortuguero, al sur: municipio de Nueva Guinea, al este: municipios de Bluefields y Kukrahill, al oeste: municipios de Muelle de los Bueyes, Santo Domingo. Cuenta con una población de 59,089 habitantes y una densidad poblacional de 15.7 hab./kms² (INIDE, 2005).

No existen comunidades en el área de influencia directa, el centro poblado más cercano corresponde a la comunidad rural El Areno, localizada a una distancia aproximada de seis kilómetros. En el área se desarrollan actividades de ganadería extensiva y cultivos agrícolas de subsistencia.

La PTAR se encuentra situada en la parte noroeste de la empresa, esta misma se ubica a ocho kilómetros de la ciudad El Rama. En la actualidad se cuenta con parcelas de terreno destinados para la ampliación del sistema actual. A continuación, se muestra macro y micro localización:

Figura 2: Macro localización y micro localización



3.3.2. Servicios básicos de ciudad El Rama

En el caso de los servicios básicos, existe una subestación con capacidad de cinco MVA, suplida por las plantas hidroeléctricas Carlos Fonseca y Centro América y por la geotérmica Patricio Argüello. Este servicio de energía es proporcionado por la Empresa Nicaragüense de Energía Eléctrica (ENEL), y está integrado al sistema interconectado nacional.

Las aguas superficiales son muy abundantes por las altas precipitaciones y el gran tamaño de las cuencas hidrográficas, que van desde los ríos Siquia, Mico, Rama y Mahogany, hasta las subcuencas y microcuencas que en conjunto forman la cuenca mayor del río Escondido, que abarca el departamento de Chontales y los municipios de Zelaya Central.

3.3.3. Actividad económica

Según INETER et al. (2004) El municipio de El Rama tiene como diferentes sectores que sostienen la economía local entre ellos:

- Sector primario: en este se encuentra la producción agrícola de granos básicos, raíces y tubérculos, musáceas y cultivos tradicionales, en este sector también podemos destacar el cultivo de palma que es la materia prima de la elaboración del aceite.
- Sector secundario: en este se encuentra la ganadería y la comercialización de productos derivados de la leche.
- Otros sectores: sector maderero, sector pesquero y sector turismo.

3.3.4. Descripción de la planta

3.3.4.1. Descripción del proceso industrial:

La industria de palma de aceite El Rama en la parte de producción del aceite cuenta con una recepción de fruta la cual está compuesta por dos tolvas o rampas donde son depositadas los racimos de fruto fresco dependiendo de su variedad en este caso Guineensis en la tolva de capacidad de 300TM y la de híbrido con una capacidad de 120 ton, en las cuales según el proceso seleccionado serán

distribuidas en el transportador número uno hacia las siguientes fases del proceso de extracción.

Una vez depositada y separadas las frutas en las rampas, pasan a un desmenuzador; esta parte del proceso el racimo que ingresa de la tolva de recepción es cortado por esta máquina que está compuesta por dos tornillos que giran al contrario con puntas que lo desmenuzan, con el fin de que al momento de entrar al área de cocina se le pueda sacar todo el provecho al producto. Seguido de esto se realiza una esterilización de las frutas, su función es hacer una cocción del fruto o racimo para ablandar y permitir el desprendimiento de la pepa con el raquis, la temperatura de entrada de vapor a los esterilizadores es de 250°C como máximo 290°C- 300°C.

Después que es esterilizada es depositada a un desfrutador cilíndrico con rejillas que separa el raquis del fruto permitiendo la salida del raquis por el ducto que alimenta el transportador de raquis y por el transportador bajo donde caen el fruto suelto (que ya fue separado del raquis). Seguidamente pasan a proceso de extracción que consiste en la maceración del fruto en cilindros con espas giratorias a temperaturas de 95 grados llamados digestores en donde luego de esta función pasa a las prensas que trabajan en base a presión hidráulica a través de dos tornillos que giran al contrario para lograr la extracción del mesocarpio, para obtener un licor que luego pasará al área de clarificación.

Luego de la extracción sigue la etapa de clarificación que es separada en dos fases, la clarificación estática es aquella que se da en los tanques clarificadores y la separación de líquidos es por decantación la cual su función se completa al momento de someter a los componentes del licor de prensas (aceite, lodo liviano, agua, lodo pesado) a temperaturas altas donde su densidad juega el papel principal para la división de cada uno de ellos y así recuperar en la parte superior todo el aceite posible según eficiencia del proceso y tanque clarificador; y clarificación dinámica, esta fase es directamente relacionada con la recuperación de aceite a través de maquinaria tales como Tricanter o decantadores trifásicos y centrífugas.

Al terminar el proceso de clarificación del aceite es enviado a una licorera que su función principal es la extracción de aceite de los líquidos provenientes de la clarificación estática en donde su trabajo motor es por movimiento centrifugo en tres fases de separación: Licor final el cual está compuesto por una dilución con un porcentaje mínimo aceitoso el cual pasara a otro proceso dinámico, aceite recuperado como función principal de la planta extractora y solidos provenientes del proceso estático anterior los cuales se reflejan en lodo.

La producción de palma de aceite genera grandes cantidades de aguas residuales llamadas POME, sobre todo en la esterilización de la fruta y en la clarificación del aceite. Por cada tonelada procesada de racimos de fruta fresca (Fresh Fruit Bunches o ffb, por sus siglas en inglés) produce aproximadamente de 0.7 a 1 m³ de efluente (POME), (Althausen, 2016).

La recolección del fruto fresco varía ya que esta es cosechada día a día.

3.4. Segunda etapa

3.4.1. Lectura de caudales

Para las sub etapa, se realizará lectura de los datos brindados por el caudalímetro que posee la PTAR en el afluente, los muestreos no serán tomados por hora ya que el caudalímetro solo registra por día, y la gerencia de la empresa no permite un cambio de registro. En el caso del efluente, se determinará por medio del balance hídrico, debido a las malas condiciones actuales que presenta el caudalímetro de salida de la planta.

Tabla 6. Cronograma de aforo PTAR

No. De aforo	Día	Fecha	Observaciones
1	Lunes	15 de marzo	
2	Martes	16 de marzo	
3	Miércoles	17 de marzo	
4	Jueves	18 de marzo	
5	Viernes	19 de marzo	
6	Sábado	20 de marzo	
7	Lunes	22 de marzo	

No. De aforo	Día	Fecha	Observaciones
8	Martes	23 de marzo	
9	Miércoles	24 de marzo	
10	Jueves	25 de marzo	
11	Viernes	26 de marzo	
12	Sábado	27 de marzo	
13	Lunes	29 de marzo	
14	Martes	30 de marzo	
15	Miércoles	31 de marzo	

a. Afluente

En el afluente se cuenta con cárcamo de bombeo. El monitoreo en este punto se realizará por medio de la lectura en caudalímetro que se encuentra ubicado antes de las torres de enfriamiento.

Figura 3: Lectura caudal afluente

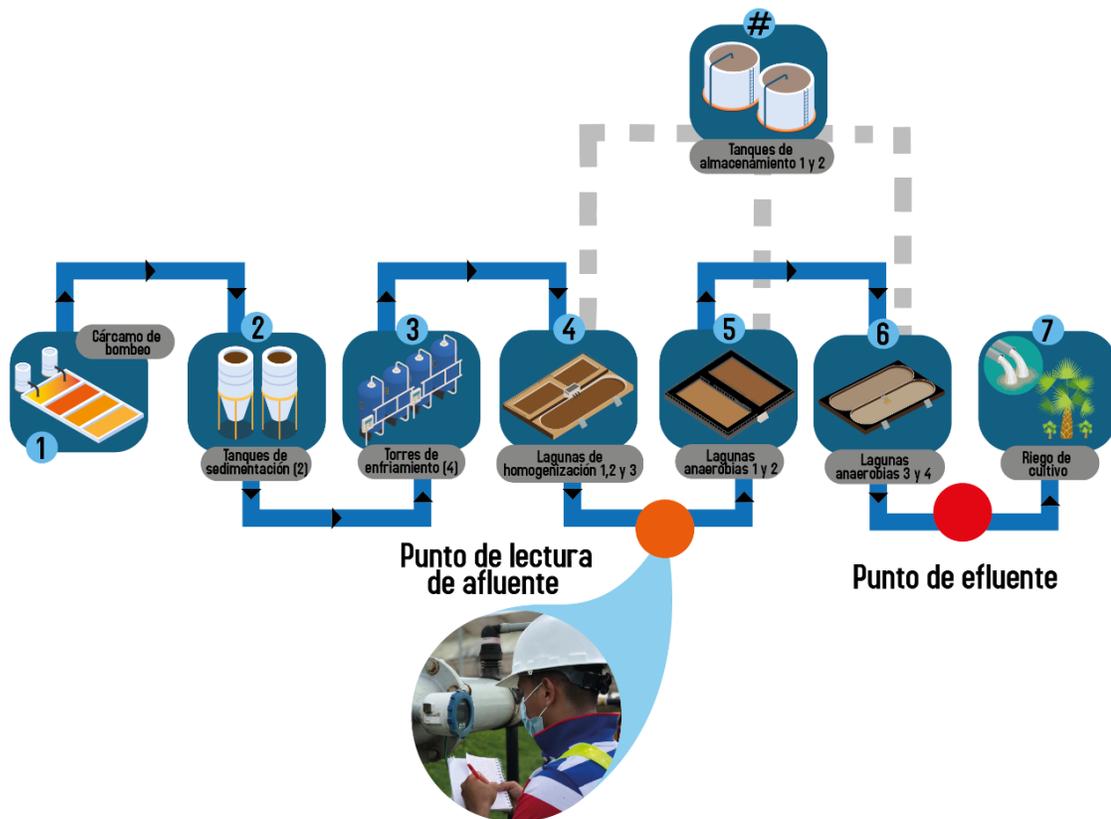


Tabla 7. Formato de lectura de caudales

Lectura caudal afluente	
Día	Q m ³ /día
15/03/21	
16/03/21	
17/03/21	
18/03/21	
19/03/21	
20/03/21	
22/03/21	
23/03/21	

Lectura caudal afluente	
Día	Q m ³ /día
24/03/21	
25/03/21	
26/03/21	
27/03/21	
29/03/21	
30/03/21	
31/03/21	

Figura 4: Puntos de lectura de caudales



3.4.2. Período de retención

El período de retención para cada laguna del sistema de tratamiento, se obtendrá de la relación entre el volumen y el caudal afluente promedio, como se muestra en la ecuación 1 (Arthur, 1984).

Ecuación 1. Determinación del período de retención

$$TRH = \frac{V \text{ lag}}{Q \text{ medio}}$$

Donde:

Vlag: Volumen de laguna (m³)

Qmedio: Caudal medio del STAR (m³/día)

Consideraciones:

- Las lagunas están expuestas a la evaporación, por lo que, se realizara una corrección a los caudales afectándolos por la evaporación.
- La determinación del volumen de las lagunas depende directamente del volumen de lodos que están presentes, por lo que, se realizó la batimetría en cada laguna.

3.4.2.1 Balance Hídrico

Según Sáenz (1985), estableció el criterio en el cual se toma en cuenta el mes más crítico; es decir, el de menor precipitación, nivel freático muy bajo y alta evaporación.

Ecuación 2: Determinación de balance hídrico

$$Q_e = Q_a + (P_r + P_c) - (E + P_e)$$

Donde:

Q_e: Caudal del efluente.

Q_a: Caudal afluente de aguas residuales.

P_r: Precipitación sobre el área de laguna.

P_c: Infiltración de agua subterránea hacia la laguna.

E: Evaporación

P_e: Pérdida por percolación: sucede cuando no se impermeabilizan las lagunas.

Las unidades, en todas las variables, pueden considerarse en (m³/día) o (L/día).

En el caso de las evaluaciones a los sistemas de tratamiento lagunares de acuerdo con Cortés Martínez et al. (2011). Los valores que se obtienen en el cálculo de los caudales, se deben aplicar algunas consideraciones al balance hídrico para corregir el caudal del efluente de cada unidad de tratamiento, debido a las condiciones actuales que existen en la PTAR se tomaran las siguientes:

- Los valores de precipitación se despreciaron, ya que la evaluación se realizó en época de verano.
- Para los valores de evaporación se utilizaron los valores obtenidos de un estudio de impacto ambiental (EIA) realizado por la dirección de pre inversión PISASH en la ciudad de El Rama.
- Los valores de infiltración no se consideraron ya que cada unidad de tratamiento posee una geomembrana la impide la pérdida o el paso del agua residual.

Es por ello, que de acuerdo a los criterios antes mencionados la ecuación se simplifica (ver ecuación 3). Esta coincide con la ecuación propuesta por Cortés et al. (2011).

Ecuación 3: Corrección de balance hídrico

$$Q_e: Q_i - 0.001 A * E.$$

Donde:

Q_e : Caudal del efluente (m^3/d).

Q_i : Caudal medio del afluente (m^3/d).

A: Área (m^2)

E: Evaporación (mm/d).

3.4.2.2 Estudio batimétrico

Se realizará un levantamiento batimétrico, auxiliado de una estación total marca Gowin, modelo tks-202 y un prisma topográfico: en primera instancia se recolectarán

los puntos topográficos de los bordes de todas las lagunas de la PTAR, una vez terminado el levantamiento topográfico se medirá el nivel de lodos con ayuda de una cinta métrica (en los bordes de la laguna), después de esto se procederá al levantamiento batimétrico.

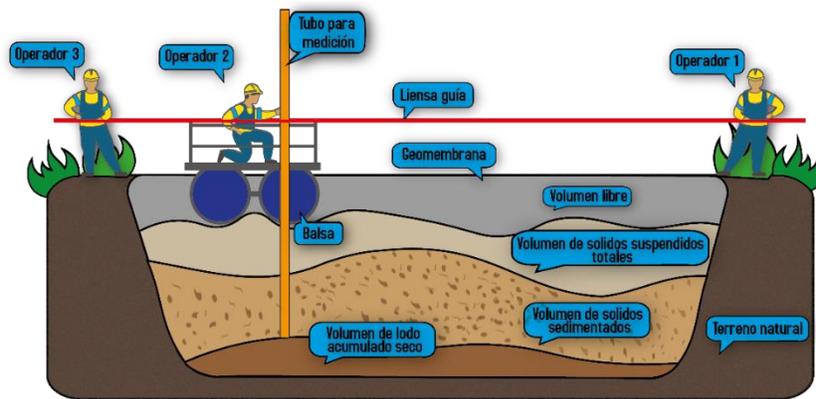
Figura 5. Puntos de referencia de perfil batimétrico



En la figura 5, 6 y 7 se observa el procedimiento para poder determinar la profundidad de los lodos que es resultado de la biodegradación de la materia orgánica y otros productos de síntesis celular. En cuestiones de funcionamiento: la batimetría consiste en la medición de los niveles de lodos y profundidad, en puntos específicos de cada laguna.

Para determinar los puntos de referencia se realizaron marcas con spray a cada 5 metros alrededor de la laguna como se muestra en la figura 8, las cuales nos ayudaron a mantener el alineamiento de los perfiles en terreno, se utilizará una lienza de alambre tensor ubicado de forma longitudinal de punto a punto, de los antes mencionados y que permitirá orientar la dirección de la balsa.

Figura 6. Creación de perfiles batimétricos



La obtención de los datos batimétricos de profundidad total de la laguna, profundidad de la columna de líquido y profundidad del lodo acumulado se realizará con ayuda de un tubo transparente de dos pulgadas de diámetro con una válvula check para evitar la pérdida de la columna.

Como se muestra en la figura 8 el operador 1 y 3 son los encargados de mantener la estabilidad y dirección de la balsa, esta debe ser estacionada en cada punto de medición o en cada intersección de la cuadrícula formada, como se muestra en la figura 7 una vez estacionada la balsa en el punto de medición, el operador 2 es el encargado de introducir el tubo de muestreo.

La muestra de columna será obtenida gracias a que el tubo al ser introducido, era llenado automáticamente de agua residual, manteniendo la columna de agua y mostrando los perfiles de lodos listos para proceder a la medición de estos, a continuación, se procederá a realizar este mismo proceso en el siguiente punto de medición (o intersección de cuadrícula) y posteriormente en el resto de lagunas, ver figura 7.

Con los datos obtenidos se elaborarán los perfiles del fondo de las lagunas y de acumulación de sedimentos, así como, el cálculo de los volúmenes de lodo acumulados por medio del programa CIVIL 3-D, ver figura 8.

Figura 7: Ejecución de medición de volúmenes de lodos a través de estudios de batimetría

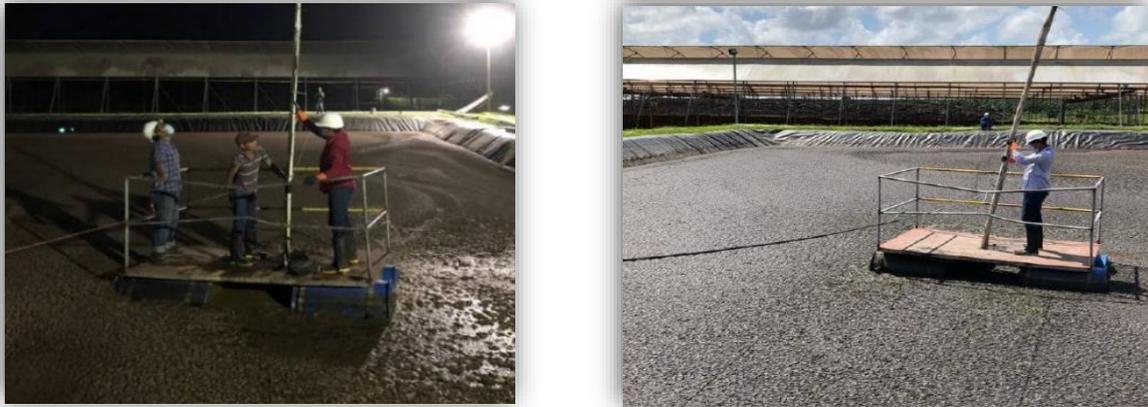
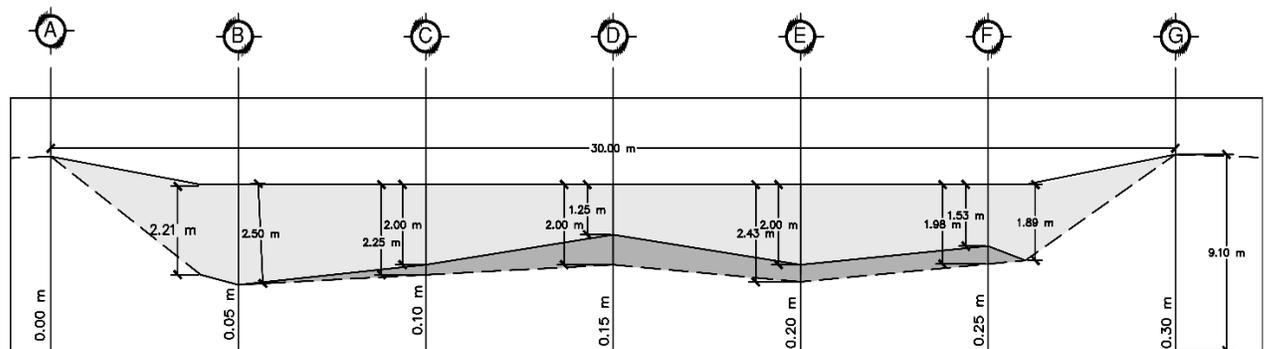


Figura 8: Perfil longitudinal CIVIL 3D



PERFIL LONGITUDINAL 1
LAGUNA DE HOMOGENIZACIÓN 1

La cantidad de perfiles longitudinales varía debido que a las siete lagunas son de dimensiones variables, pero cabe recalcar que los perfiles longitudinales están marcadas a cada cinco metros de separación con algunas excepciones que generalmente se presentan en las esquinas de cierre de medición de cada laguna.

3.5. Tercera etapa

3.5.1. Recolección y preparación de muestra

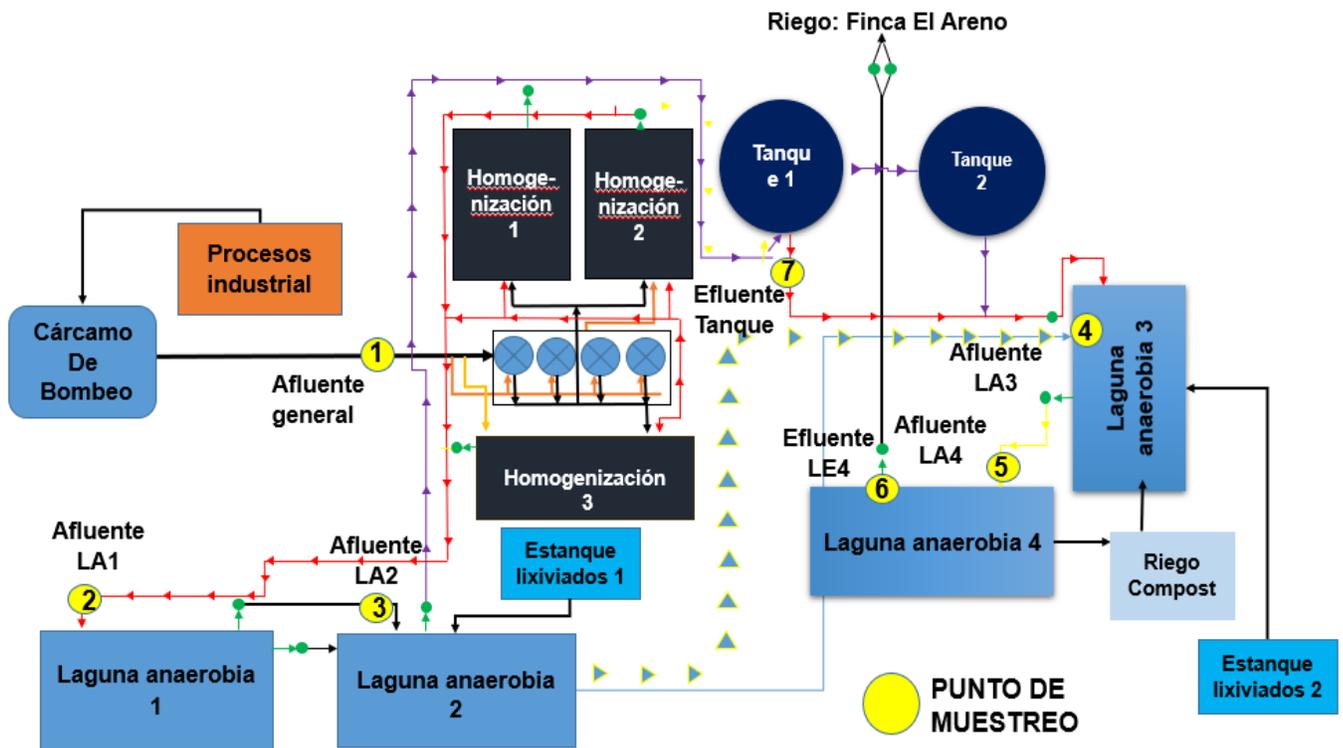
Se realizó la toma de muestras a lo largo de la planta, las cuales serán de tipo compuesto, constituida por la mezcla homogénea de muestras puntuales con

intervalos de una hora, considerando que la planta procesa únicamente por ocho horas los RFF. Para esto, se considerarán puntos de muestreo representativos dentro del PTAR, los cuales ayudarán a obtener una concordancia entre resultados de laboratorio y las condiciones actuales que existen en el sistema.

Es por ello, que se considerará como punto de muestreo el afluente general de la PTAR posterior al cárcamo de bombeo, a los dos tanques sedimentadores (florentinos), a las Alpinas y las tres lagunas de homogenización, debido que es de gran importancia, para conocer la concentración de contaminantes que ingresan al sistema, ya que, aún el POME en este punto, no ha recibido ningún tipo de tratamiento y se considera como agua cruda. En la figura 9 se observa que el punto uno es el afluente o agua cruda de la planta, y el efluente del puto seis es el mismo que es descargado a riego.

Posteriormente, se tomó en cuenta como puntos de muestreo, el efluente de cada laguna con el fin de conocer la concentración de cargas contaminantes que están presentes en el cuerpo receptor, tal y como se representa en la siguiente figura:

Figura 9. Puntos de toma de muestra



El tipo de muestra recolectada es compuesta durante un periodo de ocho horas (tiempo de operación de la planta en el día) en el caso del afluente general de la PTAR y puntual en el efluente de las lagunas.

3.5.1.1. Toma de muestras en campo

Una vez que se definan los puntos de muestreo conocidos, se procederá a la recolección de muestras. Estas se recolectarán en recipientes de polietileno con capacidad de un galón para todas ellas, para evitar la contaminación de las mismas, fue necesario enjuagar los envases tres veces con el agua de la misma.

Como se mencionó anteriormente, la planta en temporadas bajas de producción es operada en 8 horas laborales (de 8 am a 5 pm), por lo que, el tipo de muestra recolectada es compuesta durante el periodo de 8 horas. A continuación, se muestra formato guía para muestreo de agua residual, ver tabla 8.

Tabla 8. Ubicación, espécimen y periodos de muestras

Tipo de muestra	Localización	Fechas	Número total de muestras
Compuesta	Afluente general	lunes, 12 de abril de 2021	1
Compuesta	Afluente laguna anaerobia 1	lunes, 12 de abril de 2021	1
Compuesta	Afluente laguna anaerobia 2	lunes, 12 de abril de 2021	1
Compuesta	Afluente laguna anaerobia 3	lunes, 12 de abril de 2021	1
Compuesta	Afluente laguna anaerobia 4	lunes, 12 de abril de 2021	1
Compuesta	Efluente tanque 1	lunes, 12 de abril de 2021	1
Compuesta	Efluente laguna anaerobia 4	lunes, 12 de abril de 2021	1

La cantidad de muestra que se recolectarán por hora se determinará mediante la siguiente operación matemática:

Ecuación 4. Muestras en campo

$$Vi = \frac{(Qi * V)}{(Qp * n)}$$

Donde:

Vi: Volumen de alícuota de muestra simple (L)

Qi: Caudal a la hora de la muestra simple (L/s)

V: Volumen total del recipiente (L)

Qp: Caudal promedio (L/s)

n: Número de muestras integrales tomadas a las diferentes horas

Los recipientes se llenarán con la muestra de agua residual provenientes de cada una de las etapas antes descritas, para posteriormente ser rotulados con la fecha y hora del muestreo, preservándose en un termo con hielo. Se muestra en la figura 10 la toma de las muestras en las lagunas.

Figura 10: Toma de muestra en cada unidad



3.5.2. Parámetros físico-químicos

En esta etapa se realizarán los análisis de las muestras recolectadas en campo a partir del 15 al marzo 2021, las cuales fueron llevadas a los laboratorios del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA), para obtener sus concentraciones, ver tabla 9.

Tabla 9. Parámetros físico-químicos y bacteriológicos

Parámetro	Lugar de medición	Método SM/EPA
Alcalinidad	Laboratorio	SM/EPA 2320-B
Demanda química de oxígeno	Laboratorio	SM/EPA 5220-C
Sólidos suspendidos totales	Laboratorio	SM/EPA 2540-D
Sólidos sedimentables	Laboratorio	SM/EPA 2540-F
Sólidos totales volátiles	Laboratorio	SM/EPA 2540-E
Nitrato	Laboratorio	SM/EPA 4500-B
Nitrito	Laboratorio	SM/EPA 4500-B
Fósforo total	Laboratorio	SM/EPA 4500-C
Grasas y aceites totales	Laboratorio	SM/EPA 5520-B
pH	Laboratorio	SM 4500-H B
Temperatura	Laboratorio	Termométrico

3.6. Cuarta etapa

3.6.1. Regulaciones ambientales

Durante esta etapa se evaluarán los resultados de laboratorios de los parámetros físico-químicos, y los valores máximos permisibles de vertido de aguas residuales provenientes de la industria de extracción de aceite de palma, estipulados en el artículo 37 del Decreto 21 - 2017, los parámetros establecidos en la norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales industriales y su reúso (NTON 05 027-05), y la resolución colombiana 0631 del 2015 de aguas residuales de extracción de aceite de origen vegetal, parámetros y límites aplicables para el sector palmero para verificar la eficiencia de la PTAR, ver tabla 10, 11 y 12.

Tabla 10. Valores máximos permisibles de vertido de aguas residuales provenientes de la industria de extracción de aceite vegetal

Parámetro	Límites máximos permisibles Decreto 21 – 2017, Art. 37
pH	6-9
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	150
Sólidos sedimentables (mg/L)	1
DQO (mgO ₂ /L)	400
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	700
Aceites y grasas (mg/L)	50

Tabla 11. Valores máximos permisibles de vertido de aguas residuales para reúso agrícola/forestal

Parámetro	Límites máximos permisibles Según categoría A NTON 05 027-05
DQO (mgO ₂ /L)	120
Nitrógeno total (mg/L)	5
Fósforo total (mg/L)	6

Tabla 12. Valores máximos permisibles de vertido de agua para extractoras de aceite vegetal

PARAMETRO	UNIDAD	Límites máximos permisibles Resolución 0631-2015
pH	-	6-9
DQO	mgO ₂ /L	600
DBO	mgO ₂ /L	1,500
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	400
Sólidos sedimentables (SSED)	mL/L	2
Grasas y aceites	mg/L	20
Fósforo total (p-total)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno total (N T)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂)	Mg/L	Análisis y Reporte
Alcalinidad total	mg/L	Análisis y Reporte

3.6.1.1. Nutrientes

Los resultados de los análisis de nitrógeno total se compararán con los rangos obtenidos de estudios de otras plantas extractoras de aceite de palma africana (67.5 mg/L – 695 mg/L), ya que no existe un límite máximo permisible según la resolución colombiana 0631 del 2015. Se considerará el nitrógeno en base a las concentraciones de nutrientes, debido a que es un componente importante para los microorganismos, al tener escasez de este, afecta el proceso de nitrificación de la PTAR y por ende su funcionamiento operacional.

3.6.1.2. Determinación de cargas contaminantes

Se realizará el cálculo a fin de conocer la carga contaminante que realmente se está enviando a riego. En este sentido las evaluaciones se harán en función de las concentraciones de DQO y nitrógeno, por lo que la ecuación general será:

Ecuación 5. Determinación de carga de contaminante

$$CC = \text{Concentración} \times \text{Caudal} \times 0.0864$$

Donde:

Concentración: Se tomará cada una de las concentraciones determinadas por análisis químicos y fueron sustituidas en esta ecuación para obtener valores de carga orgánica en función de DQO, carga de nutrientes en función del nitrógeno, expresada en mg/L.

Caudal: caudal promedio expresado en L/s

0.864 = conversión de mg/L a Kg/día para el cálculo de la COT.

3.6.1.3. Determinación de las eficiencias en el PTAR

Para la eficiencia en la remoción de cargas contaminantes en el PTAR se utilizará:

Ecuación 6. Determinación de las eficiencias de la PTAR

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Afluente} - \text{Efluente}}{\text{Afluente}} * 100$$

A través, de la ecuación N. °6, se obtendrá la eficiencia en el efluente de la PTAR, con respecto a los valores de DQO, nitrógenos, aceites y grasas, sólidos suspendidos que entran en el sistema.

3.6.1.4 Balance de masa

Se determinará la carga másica de la DQO tomando en cuenta que dicho valor representa la carga másica de materia orgánica del afluente. Con el fin de convertir la concentración de DQO expresada en mgO_2/L , a valor másico expresada en $\text{kg DQO}/\text{día}$, para ello se multiplicará la concentración por caudal medio, todo esto multiplicado por un factor de conversión equivalente a 0.0864

Ecuación 7. Carga DQO Afluente (másico)

$$\text{Carga DQO Afluente (másico)} = Q_{\text{medio}} \times \text{DQO afluente}$$

$$\text{CC} = \text{Concentración} \times \text{Caudal} \times 0.0864$$

Donde:

Carga DQO Afluente (másico): Expresado en: $\text{Kg DQO}/\text{día}$

Caudal medio: ($\text{m}^3/\text{día}$)

DQO Afluente: (mgO_2/L)

Se determinará la eficiencia de la remoción de carga orgánica en el reactor según los datos que se obtendrán del análisis de laboratorio con respecto a la DQO obtenida en el afluente y el efluente. El intervalo de 60 a 70% que se observará a continuación es de acuerdo a Chernicharo & Bressani-Ribeiro (2019), por lo que se calculará conforme a la eficiencia real del sistema evaluado en la empresa procesadora de aceite de palma africana.

Ecuación 8. Eficiencia de remoción teórica

Eficiencia de remoción teórica $\varepsilon = 60$ a 70%

Se determinará la eficiencia de remoción de DQO en el efluente mediante la siguiente ecuación que expresa el porcentaje de materia orgánica que será removido en el proceso biológico de los módulos. Ver ecuación 9 acápite 3.6.1.4

Ecuación 9. % Eficiencia de remoción de DQO en el reactor

A continuación, se presenta la ecuación para determinar el porcentaje de la materia orgánica que no ha sido removido multiplicado por el valor másico.

$$DQO_{ef.} = (1-\varepsilon) * DQO \text{ Afluente (másico)}$$

Donde:

DQO ef.: Kg DQO /día

Se determinará la DQO convertida mediante la resta de los valores de DQO afluente (másico) menos el valor de la DQO efluente, obteniendo de esta forma la concentración de materia orgánica que se transformará con respecto a la DQO.

Ecuación 10. Concentración de materia orgánica transformada con respecto a la DQO

$$DQO \text{ Convertida} = DQO \text{ Afluente (másico)} - DQO \text{ Efluente (másico)}$$

Según Chernicharo & Bressani-Ribeiro (2019) la materia orgánica con respecto a DQO se fracciona en:

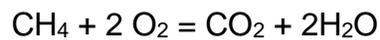
- a) La fracción de DQO convertida a biomasa oscila entre 5 a 15 % (Y)
- b) La fracción de DQO convertida a CH₄ (Z: 0.9)

Ecuación 11. Masa de DQO convertida a metano

$$\text{Masa de DQO convertida a metano (M CH}_4\text{)} = Z \times DQO \text{ convertido}$$

- c) La fracción de DQO convertida a H₂O = DQO Efluente

Se observa estequiométricamente una relación que un mol de metano es oxidado por dos moles de oxígeno, por lo que un mol de metano ocupa 22.4 litros en condiciones normales de temperatura y presión (CNTP), dos moles de oxígenos pesan 64 gramos, debido a que se está oxidando se hace equivalente a 64 gramos de DQO, por lo que a partir de esta relación 1 litro de metano (CNTP) equivale a $64/22.4$ lo cual es igual a 2.86 g de DQO, multiplicado por la masa de DQO que se está convirtiendo en metano obteniendo de esta forma la ecuación:



$$(16\text{g}) + (64\text{g}) = (44\text{g}) + (36\text{g})$$

$$1 \text{ mol CH}_4 = 2 \text{ mol O}_2$$

$$1 \text{ L CH}_4 \text{ (CNTP)} = 64/22.4 = 2.86 \text{ g DQO}$$

Ecuación 12. Volumen de metano a condiciones normales

$$V_{\text{CH}_4} = \frac{22.4 * M \text{ CH}_4}{64}$$

Donde:

Volumen de metano a condiciones normales (V_{CH_4}) = se expresa en $\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{día}$

Masa de DQO convertida a metano ($M \text{ CH}_4$) = se expresa en $\text{Kg DQO}/\text{día}$

Se determinará el valor de DQO de biomasa según la siguiente ecuación.

Ecuación 13. DQO de biomasa

$$\text{DQO Biomasa} = (Y) \times \text{DQO convertida}$$

Donde:

DQO de biomasa es expresada en $\text{kg de DQO convertido en sólidos} / \text{día}$. La fracción de DQO convertida a biomasa (Y): $\text{kg DQO}/\text{día}$

Se convertirá los sólidos suspendidos volátiles de lodo (SSV) en Kg de DQO de la siguiente forma.

1 kg SSV de lodo= 1.42 kg DQO convertido a sólidos.

Se utilizará un factor estequiométrico de 1.42 para la determinación de lodos generados mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 14. Lodos generados

$$\text{Lodo generado} = \frac{\text{DQO biomasa}}{\text{Factor estequiometrico}}$$

Donde:

Lodo generado: se expresa en Kg SSV Lodo / día.

Se convertirá el valor de lodo generado a Kg SST/día con el siguiente factor de conversión.

SSV: 0.7SST

Utilizando la siguiente ecuación se obtiene que

Ecuación 15. Lodos generados

$$\text{Lodo generado} = \frac{\text{Lodo generado (Kg SSV } \frac{\text{Lodo}}{\text{día}} \text{)}}{0.7}$$

Donde:

"Lodo generado": se expresa en Kg SST/día

A continuación, se presenta en la tabla 13 el cálculo de balance de masa.

Tabla 13. Balance de masa

Datos de entrada	Ecuaciones
Q de diseño	
DQO Afluyente	
Carga DQO Afluyente (másico)	$Q * C * 0.0864$
Eficiencia de remoción	
DQO Efluyente	$DQO_{ef} = (1 - \varepsilon) * DQO_{inf}$
DQO Convertida	Ver ecuación 10
Estimación de metano	
Fracción DQO convertida a biomasa (Y)	
Fracción DQO convertida a metano (Z)	transformación de DQO a metano
Masa de DQO convertida a metano (M CH ₄)	$M_{CH_4} = Z * DQO_{conv}$
Volumen de metano a condiciones normales (V CH ₄)	$V_{CH_4} = 22.4 * M_{CH_4} / 64$
CH ₄ disuelto en el agua residual	0.25
CH ₄ en el biogás	0.75
Flujo efectivo de CH ₄ en el biogás	$FE_{CH_4} = V_{CH_4} * 0.75$
Fracción de metano en el biogás (70% al 75%)	
Q biogás efectivo	$Fr_{CH_4} = FE_{CH_4} / 0.75$
Estimación de producción de lodo	
Rendimiento Biomasa (Y)	
DQO biomasa	$DQO_{biomasa} = Y * DQO_{conv}$
La biomasa está expresada como DQO. Hay que transformarla en unidades de SSV.	
Factor estequiométrico	
Lodo generado (Lg)	$Lg = DQO_{biomasa} / Fe$
SSV = 0.7 SST	$SSV = 0.7 SST$
Lodo generado (Lg)	$Lg = Lg * SSV$

Capítulo IV. Resultados

Aleyda Flores, Yazmer Lacayo
& Kevin Flores



CAPÍTULO IV: RESULTADOS

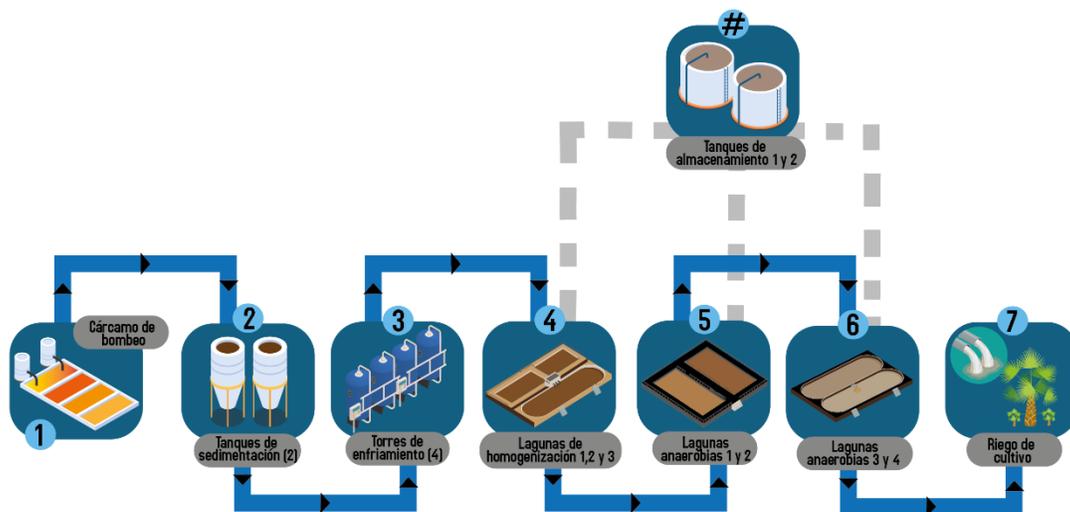
4.1. Primera etapa: recolección de la información básica

4.1.1. Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales

La empresa procesadora de aceite de palma africana “El Rama” posee un tratamiento a las aguas residuales aguas generadas por la extracción del aceite, el cual está compuesto por un cárcamo de bombeo, dos tanques de sedimentación llamados florentinos, cuatro torres de enfriamiento marca Alpina que descarga en tres lagunas de homogenización, también la planta de tratamiento cuenta con dos tanques de almacenamiento y cuatro lagunas anaerobias.

El efluente final de la PTAR es enviado a riego de los cultivos de la misma empresa, y otra parte a riego de compost, la empresa no realiza una operación adecuada al sistema de la planta de tratamiento POME, ver figura 11.

Figura 11: Planta de tratamiento POME



4.1.1.1. Pretratamiento

El tratamiento de POME, inicia con la recepción del fruto fresco en las tolvas hasta el proceso industrial de obtención de aceite, así como, las actividades diarias que realizan los colaboradores en las limpiezas del área industrial, las cuales incluyen desechos como: arena, arcilla, semillas de frutos de palma y otros sólidos, estos son recopilados en múltiples canales cubiertos por rejillas encontrados en el piso de la planta, ver figura 12.

Figura 12: Sistema de rejillas gruesas para retención de sólidos



Los canales son limpiados, una vez a la semana, por lo que, se retira parcialmente la basura, y desechos sólidos grandes que se encuentran. De esta actividad la fracción líquida con un contenido aún alto de sólidos es descargado en los cárcamos de bombeo que se observan en la figura 13, el tiempo de retención en este es variable, quedando a consideración de los operadores que al alcanzar el nivel máximo se activan las bombas para dar continuidad a la siguiente fase.

Figura 13: Cárcamo de bombeo



Las bombas utilizadas para el traslado del POME a la siguiente fase son tres: todas de marca KEWPUMP, dos SEK-50 HP(m³/h) y SEK-40 HP(m³/h). Para la circulación del POME se hace en tubería galvanizada de 3 pulgadas, para posteriormente ingresar a los tanques de sedimentación.

En esta fase el POME es enviado a los tanques de sedimentación (florentino) de 120 m³ de capacidad de almacenaje, estos acumulan la mayor parte de grasas y natas en la parte superior, en este punto los operadores se encargan de remover todo el exceso de grasa y natas para dirigir las a “recuperación” lugar donde inician todo el proceso industrial para ser reutilizados, esta actividad es realizada por los operadores de manera variable, siempre que los tanques se encuentren llenos, normalmente esto sucede cuando se inicia el proceso industrial desde los días martes, hasta los días sábados de cada semana (en temporada baja o verano), ver figura 14.

Figura 14: Tanques de decantación



Lo que sedimenta en la parte inferior (cónica) de los tanques es lo que se envía a la siguiente fase, con ayuda de dos bombas de marca KEWPUMP, tipo KS-SE3 con una potencia SEK-80 HP(m³/h), ya que debido a la ubicación y diseño de la planta industrial no es posible transportar el POME, por gravedad, en esta fase es donde se remueve la mayor cantidad de grasas y natas de todo el sistema, actuando de esta manera como pretratamiento.

Después de los tanques florentinos, el POME es dirigido a cuatro torres de enfriamiento marca Alpina, cuya función es bajar la temperatura del afluente y que no se genere un efecto adverso en los procesos biológicos en las lagunas, ver figura 15.

Figura 15: Torres de enfriamiento



En la siguiente fase consta de tres lagunas de homogenización en serie y dos tanques de decantación, los tiempos de retención en las lagunas es variable considerando el afluente de entrada, así como, el volumen con el que se cuenta. En todas las lagunas se considera un borde libre 0.5 m por cualquier eventualidad climática, ver figura 16.

Figura 16: Lagunas de homogenización 1, 2 y 3



Figura 17: Tanques de almacenamiento



Los tanques ejercen su función para cualquier eventualidad por aumento de caudal, también cuentan con una válvula de salida de agua en la parte inferior de estos, los cuales están conectados entre sí. Una sola tubería conecta la salida de ambos tanques para verter el agua almacenada en ellos a la laguna anaerobia número cuatro (que es parte de la siguiente fase), ver figura 17.

Las primeras lagunas anaerobias (uno y dos) poseen dos formas de verter entre ellas, puede ser por gravedad o con ayuda de cuatro tubos de diez pulgadas de diámetro, ubicados en las salidas para garantizar un mayor caudal de pase. La otra manera es por medio de bombeo con ayuda de una bomba KEWPUMP, tipo KS-SE3, modelo y potencia SEK-50 HP(m^3/h), conectada a un tubo de tres pulgadas de diámetro.

La laguna anaerobia dos posee dos aireadores ubicados cerca del tubo de descarga que proviene de las lagunas de homogenización. Los aireadores se encuentran empotrados, por lo que, son únicamente para la entrada del afluente proveniente de la descarga de las lagunas de homogenización, considerando la inyección de O_2 , como un mecanismo para acelerar la metabolización de la materia orgánica por parte de los microorganismos aerobios que se encuentran en el primer metro de las lagunas.

En la siguiente laguna (anaerobia tres) el POME es bombeado a la siguiente fase, por medio de bombeo con una duración de tres horas aproximadamente. Esta laguna posee dos bombas KEWPUMP, tipo KS-SE3, ambas de modelo y potencia

SEK-100 HP(m³/h), conectadas a tubos de tres pulgadas de diámetro, las cuales descargan a dos tanques de almacenamiento (ver figura 17), una de las tuberías que transportan el agua bombeada a los tanques tiene la opción de verter directamente al tanque uno y la otra puede hacerlo a los dos respectivamente.

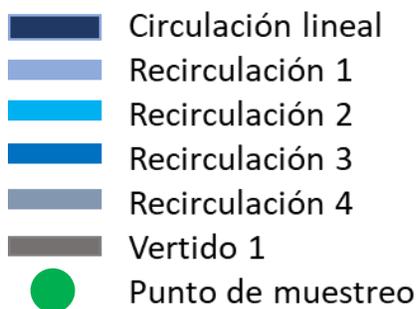
En este punto del proceso de tratamiento del agua se presenta un gran cambio, el efluente es en gran parte líquido y se genera poco lodo en la laguna anaerobia cuatro, posee una bomba KEWPUMP, tipo KS-SE3, ambas de modelo y potencia SEK-50 HP(m³/h), conectada a un tubo de tres pulgadas de diámetro, las cuales trasladan a la siguiente y última laguna de la fase (laguna anaerobia cinco o laguna para riego).

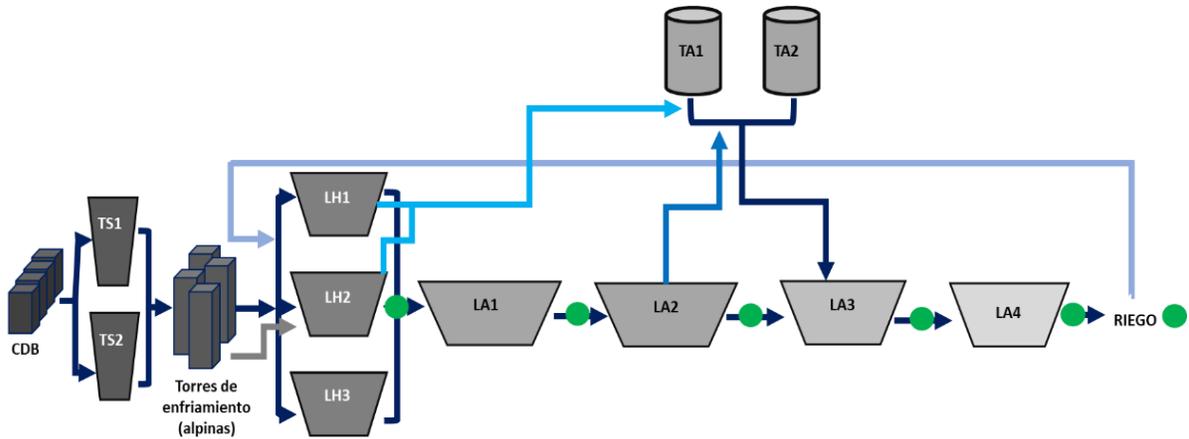
La laguna anaerobia cuatro, posee una bomba KEWPUMP, tipo KS-SE3, de modelo y potencia SEK-100 HP(m³/h), conectada a un tubo de tres pulgadas de diámetro, el efluente es usado para fertirriego usando dos bombas adicionales: KEWPUMP, tipo KS-SE3, ambas de modelo y potencia SEK-100 HP(m³/h).

4.1.1.2. Recirculación:

Para lograr una mejor comprensión del funcionamiento del sistema de recirculación de la PTAR, se presenta la siguiente ilustración que muestra cada unidad de la planta en forma lineal:

Figura 18. Circulación y recirculación de POME





Toda la PTAR trabaja de forma lineal, como se describía anteriormente, pero posee algunas ramificaciones que hacen que la planta contenga un peculiar sistema de circulación:

a) Recirculación 1: esta línea de recirculación inicia con el efluente de la laguna anaerobia número 3, la cual es dirigida al sistema de tubería que puede verter a las 3 lagunas de homogenización respectivamente.

b) Recirculación 2: inicia con el bombeo que se realiza en las lagunas de homogenización 1 y 2, el cual posteriormente es dirigido al tanque de almacenamiento 1.

c) Recirculación 3: esta línea de recirculación inicia su proceso con el bombeo que se realiza en la laguna anaerobia 2, este mismo es trasladado al tanque de almacenamiento 1.

d) Recirculación 4: La última línea de recirculación se desprende desde la laguna anaerobia número 3, esta se dirige directamente a la tubería que va dirigida a riego de cultivos, la cual es la última fase de la PTAR.

Cabe mencionar también que el **vertido 1** es toda el agua residual que queda después del lavado de alpina que se realiza semanalmente todos los lunes, este caudal es dirigido respectivamente a la laguna de homogenización número 2.

Todo el efluente que es depurado en cada una de las etapas de degradación de materia orgánica en las lagunas, se usa para riego, tomando en cuenta el acápite 11 (reúso de aguas tratadas) con el enfoque de tipo tres que es para reúso interno de la industria para la recuperación de la materia prima como son los nutrientes y de esta manera reducir los consumos de agua, establecido en la NTON 05-027-05.

4.1.2 Criterios para evaluación de ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con respecto a NTON 05-027 05

La ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales debe cumplir con todos los criterios establecidos en el acápite seis de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense, para regular la PTAR y su reúso (NTON 05-027 05):

a) La ubicación de la PTAR debe tomar en cuenta los planes de desarrollo urbano de la municipalidad o localidad.

De acuerdo, con el plan de desarrollo municipal, la ciudad de El Rama obtiene un crecimiento a nivel urbano, promete a mediano plazo una dinamización de su economía, aprovechar cada uno de sus potencialidades, dentro de las proyecciones económicas existe la instalación desde el año 2011, empresa San José, dedicada a la producción de palma de aceite africana, generando aproximadamente 600 empleos permanente (FISE, 2021).

Por lo tanto, la PTAR se encuentra ubicada a ocho kilómetros de la ciudad en dirección este lo cual, no afecta, ni afectará a los pobladores en la salud y condiciones higiénicas a largo plazo, tal como se puede apreciar en la figura 19.

Figura 19: Mapa urbano, ciudad El Rama



- b) El terreno donde se construya una PTAR no debe ser un área inundable. No se permite la construcción en pantanales, humedales, marisma y similares.**

El municipio de El Rama tiene un relieve muy variable, desde el plano de inundación hasta el montañoso. Aproximadamente el 42% del territorio, está localizado en las posiciones bajas cercanas a la desembocadura del río Mahogany, tiene un relieve plano sobre sedimentos aluviales recientes. En estas posiciones fisiográficas los suelos están sometidos a una intensa influencia de hidromorfismo debido al drenaje deficiente, a la tabla friática alta, a inundaciones y a encharcamientos.

Por esta razón, la PTAR de la empresa procesadora de aceite de palma africana está construida topográficamente en un relieve plano ligeramente ondulado, de este modo se cumple con este acápite.

- c) El área del terreno donde se ubique o se instale una PTAR debe tener una pendiente menor de cinco por ciento.**

De acuerdo, a lo indicado se cumple, ya que el sitio donde está ubicada la PTAR se caracteriza por presentar una topografía casi plana, con pendientes menores de 4%

d) La instalación o construcción de la PTAR debe estar ubicado a sotavento de cualquier actividad donde haya permanencia de personas por más de ocho horas, de tal manera que el aire circule de las actividades hacia el sitio de la ubicación del PTAR y no lo contrario.

En la PTAR, el viento va en dirección este. Las instalaciones de este sistema se encuentran ubicados a sotavento.

e) La distancia de separación entre la instalación o construcción de cualquier PTAR, y/o viviendas, fuente de abastecimiento y nivel freático se establece en la tabla 14:

Tabla 14. Ubicación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales

Unidades de tratamiento	Pozos individuales de agua para consumo doméstico	Lindero de propiedad	Viviendas o zonas pobladas	Nivel freático
Lagunas de estabilización	Mayor de 200 metros	Mayor de 20 metros	Mayor de 300 metros	Mayor de tres metros

La PTAR de la empresa procesadora de aceite de palma africana no se encuentra cerca de nuevos barrios, con respecto a pozos para consumo doméstico, no existen pozos excavados y/o perforados en la empresa.

No existen comunidades en el área de influencia directa, el centro poblado más cercano corresponde a la comunidad rural El Areno, localizada a una distancia aproximada de seis kilómetros, por lo que, los pobladores aledaños no se ven afectados por los malos olores del sistema. El único punto de referencia donde se pudo medir el nivel freático es el pozo perforado ubicado en el centro de operaciones de la empresa, en este punto se determinó un nivel freático de 12.25 m.s.n.m. por lo tanto, se cumple con este acápite.

f) En el caso de nuevas actividades o proyectos que requieran instalarse cerca del área de influencia de una PTAR en operación deben

de regirse por los criterios establecidos en la presente normativa y los criterios técnicos que las autoridades competentes dictaminen.

El plan de desarrollo municipal de El Rama ubica a esta zona como rural, por lo tanto, no se toma en cuenta con respecto al crecimiento urbanístico, de modo que con el paso de los años no presentaran problemas con respecto poblaciones aledañas (FISE, 2021).

g) La distancia mínima entre la PTAR y campos de pozos de abastecimiento de agua potable debe ser en un radio de 1000 metros medidos desde el pozo más cercano.

El único pozo perforado está ubicado en el centro de operaciones de la empresa procesadora de aceite de palma africana el cual está a 185 m hacia el sur de la PTAR.

h) Toda PTAR que se ubique en áreas protegidas debe solicitar la autorización o permiso ambiental al MARENA según corresponda. En el caso de áreas protegidas con planes de manejo, el sitio de ubicación de los PTAR deberá regirse según la zonificación y su normativa correspondiente.

El predio donde está ubicada la PTAR es propiedad privada y pertenece a la misma empresa. No existe un área protegida dentro de este lindero, ni colindante, por lo tanto, se cumple con lo establecido en la NTON 05-027 05.

i) La distancia mínima entre una PTAR y esteros (estuarios), debe ser de 100 metros de la línea máxima de crecida, en caso contrario el MARENA o INAA según su competencia establecerá su autorización en dependencia del tipo de sistema.

La PTAR se encuentra ubicada en la costa caribe sur de Nicaragua dentro de un área destinada a plantaciones de palma de aceite, por lo que, el área de influencia

directa del proyecto se encuentra conformada por este cultivo, el cual no posee ningún estuario, con respecto a la normativa en este inciso la PTAR cumple.

j) Cuando la descarga o disposición final del efluente de una PTAR se requiera en aguas superficiales, debe ser autorizada por el MARENA según el tipo de corriente, uso del recurso y actividades que se realicen en el punto de descarga. En el caso de los ríos y quebradas se debe tomar en cuenta el uso y las actividades que se realicen aguas abajo.

El efluente de la empresa procesadora de aceite de palma africana no es vertido a ningún cuerpo receptor, sino utilizado para fertirriego de los mismos cultivos, por lo tanto, se cumple con lo establecido en la NTON 05-027 05.

k) La distancia entre una PTAR y un aeropuerto, aeródromo o una terminal aérea, debe ser establecida por el Ministerio de Transporte e Infraestructura.

La empresa procesadora de aceite de palma africana no cuenta con una terminal aérea cercana, en este caso el PTAR con respecto a la normativa cumple.

l) La instalación de una PTAR con respecto a la profundidad del manto freático debe ser como mínimo de dos metros a partir del fondo de la PTAR y cumplir con las especificaciones diferentes.

- a. Para suelos limosos y limo-arenoso se debe impermeabilizar y compactar el área al 95% proctor estándar.
- b. En aquellos casos en que la profundidad del nivel freático sea menor a dos metros MARENA e INAA, según su competencia autorizará la viabilidad del sistema.

La empresa procesadora de aceite de palma africana realizó ambas especificaciones antes de la instalación de la PTAR, por lo tanto, cumple con lo

establecido en la normativa además de tener la resolución de fertirriego obtenida de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

m) En aquellos casos en que la profundidad del nivel freático sea menor de dos metros MARENA e INAA, según su competencia autorizará la viabilidad del sistema.

En el inciso 12 y 13 del acápite seis de la NTON 05-027 05, no existe un estudio realizado para la valoración y profundidad del manto freático en la zona, por lo tanto, se desconoce el estado actual del acuífero de El Rama. El único dato que se conoce es el proporcionado por la empresa en cuanto a sus niveles freáticos variables en la plantación con un promedio 2.5 m.

2.2 Evaluaciones de las condiciones físicas de operación y mantenimiento de la PTAR – Empresa Procesadora de palma de aceite

En la tabla 15, 16 17 se presentan las condiciones de operación de la PTAR, con un análisis de las acciones necesarias para determinar la funcionalidad de cada una de las unidades de depuración.

Tabla 15. Evaluaciones de condiciones operación de la PTAR

Unidad	Condición física	Personal	Observaciones
Canales	Buen estado, libres de desechos sólidos que obstruyan la circulación del POME.	Un conserje	Presentan residuos tanto del proceso de aceite como lodo y basura.
Cárcamo de bombeo	Saturado de residuos	Un operador	La empresa cuenta con un manual de operación y mantenimiento de la PTAR.
Dos equipos de bombeo, potencia SEK-50 HP(m3/h)	Buen estado. Presenta corrosión	Dos operadores	Sin mantenimiento desde hace más de un año.

Unidad	Condición física	Personal	Observaciones
Un equipo de bombeo, potencia SEK-40 HP(m3/h)	Buen estado, Presenta corrosión.	Dos operadores	Sin mantenimiento desde hace más de un año.
Un equipo de bombeo, potencia SEK-80 HP(m3/h)	Buen estado, Presenta corrosión	Dos operadores	Sin mantenimiento desde hace más de un año.
Dos tanques de sedimentación	Buen estado, libre de corrosión	Dos operadores	La empresa cuenta con un manual de operación y mantenimiento de la PTAR.
Cuatro torres de enfriamiento (Alpina)	Se filtra todo el POME y no reduce la temperatura.	Dos operadores	La empresa cuenta con un manual de operación y mantenimiento de la PTAR.
Tres lagunas de Homogenización	Saturada de lodos, geomembrana parcialmente parchada	Un operador	La empresa cuenta con un manual de operación y mantenimiento de la PTAR.
Tres equipos de bombeo, potencia SEK-80 HP(m3/h)	Buen estado, libre de corrosión.	Dos operadores	Sin mantenimiento desde hace más de un año.
Dos lagunas anaerobias	Saturada de lodos, geomembrana parcialmente parchada y presenta algunos daños en la base.	Un operador	La empresa cuenta con un manual de operación y mantenimiento de la PTAR.
Dos equipos de bombeo, potencia SEK-50 HP(m3/h)	Buen estado, libre de saturaciones	Dos operadores	Sin mantenimiento desde hace más de un año.
Dos equipos de bombeo, potencia SEK-100 HP(m3/h)	Buen estado, libre de saturaciones	Dos operadores	Sin mantenimiento desde hace más de un año.
Dos tanques de almacenamiento	Saturado de lodos, presenta corrosión		La empresa cuenta con un manual de operación y

Unidad	Condición física	Personal	Observaciones
			mantenimiento de la PTAR.
Dos lagunas anaerobias	Geomembrana parcialmente parchada y presenta algunos daños en la base.	Un operador	La empresa cuenta con un manual de operación y mantenimiento de la PTAR.
Un equipo de bombeo, potencia SEK-50 HP(m3/h)	Buen estado, libre de saturaciones	Dos operadores	Sin mantenimiento desde hace más de un año.
Tres equipo de bombeo, potencia SEK-100 HP(m3/h)	Buen estado, libre de saturaciones	Dos operadores	Sin mantenimiento desde hace más de un año.

Tabla 16. Parámetros operacionales

	Variable	Monitoreo	Observaciones
Condición física	Cárcamo de bombeo	Limpieza.	En el 2021 se inició la creación de manual de operación de planta de tratamiento con asistencia técnica.
	Pretratamiento	Remover todo el exceso de grasa y natas.	
	Tratamiento primario	Extraer el material sólido acumulado en la parte inferior, también es lavada toda el área de estas	
Condición hidráulica	Caudal afluente de la planta	Caudalímetro ubicado en la entrada de la planta.	Existe un formato de registro de caudales.
	Caudal efluente de la planta	Caudalímetro ubicado en la entrada de la planta.	
	Temperatura del agua		
	Color		

	Variable	Monitoreo	Observaciones
Condición fisicoquímica	pH Afluente y efluente de la PTAR.	Nunca se ha tomado control en ninguna de estas condiciones	En el 2021 se inició el estudio y control de las condiciones fisicoquímicas de la planta de tratamiento con asistencia técnica.
	DQO Afluente y efluente de la PTAR en cada unidad.		
	SST Afluente y efluente de la PTAR.		
	Nitrógeno Afluente y efluente de la PTAR.		
	Aceites y grasas totales Afluente y efluente de la PTAR.		

A continuación, se en listan las actividades de mantenimiento preventivo de las que es carente la PTAR – empresa procesadora de aceite de palma africana:

Tabla 17. Mantenimiento preventivo

Ubicación	Punto	Mantenimiento
Laguna de homogenización uno, dos y tres	Espejo de agua	La remoción de natas y sólidos flotantes se debe hacerse diariamente o cuando sea necesario para que no se extiendan demasiado sobre el área superficial de las lagunas.
Tanques de almacenamiento		
Laguna de homogenización uno, dos y tres		

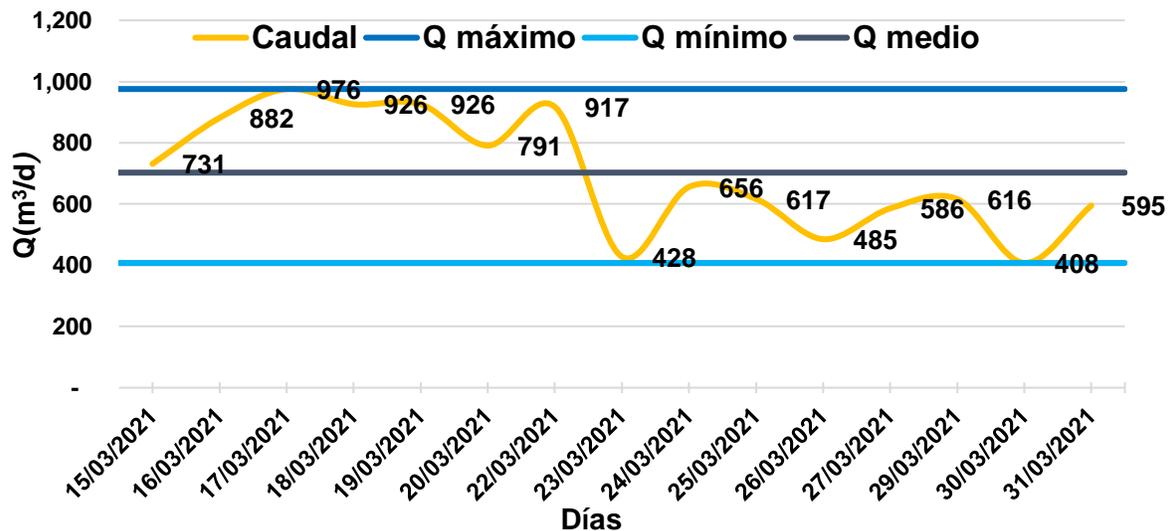
4.2. Segunda etapa: determinación de caudales y períodos de retención

4.2.1. Determinación de caudales

En la tabla 18, se muestran los resultados del aforo de caudales del afluente de la planta de tratamiento, registrados por el caudalímetro de la empresa en la fecha del 15 al 31 de marzo.

Con los aforos realizados, se alcanzaron los caudales máximos, medios y mínimos, obtenidos del afluente durante 15 días y se expresa en el gráfico 1.

Gráfico 1: Caudal máximo y mínimo de la PTAR



En el gráfico uno, se representa los caudales promedios para el día 15 al 31 de marzo, en el que se visualizan los caudales en el afluente procedente de la planta de proceso, se puede observar que el día de mayor demanda se registró el 17 de marzo con 976 m³/día, ya que hubo mayor recolección de racimo fruto fresco y la planta opero 24 horas continuas por lo tanto aumentó la producción y el afluente.

Se obtuvo como resultado que el caudal mínimo fue registrado el 30 de marzo con 408 m³/día debido a que en esas fechas hay menor producción de cultivo y ese día hubo pérdida de cultivos.

4.2.2. Determinación de períodos de retención

El período de retención es fundamental para la reducción de carga orgánica y patógenos; estos valores fueron obtenidos por la ecuación que se encuentra en el CAPÍTULO 3, acápite 3.4.2, ecuación 1.

A continuación, se hace la corrección de caudal, que fue retenido en las unidades de depuración, así como, los volúmenes reales de operación de cada módulo:

4.2.2.1. Balance hídrico

Los valores de la evaporación fueron obtenidos por un estudio de impacto ambiental (EIA) realizado por la dirección de pre inversión del PISASH en el 2019 en la ciudad de El Rama.

Se consideró el cálculo del balance hídrico, para conocer el caudal real que se encuentra en las unidades de depuración, a fin de saber cuánto disminuye la evaporación al caudal del afluente. En el caso de las lagunas de homogenización no se tomó en cuenta la pérdida por evaporación, debido a que la superficie de esta laguna posee una nata gruesa de 1.5 pulg aproximadamente. A continuación, se presenta la tabla 18, los resultados de los caudales reales encontrados en cada unidad de depuración.

Tabla 18. Determinación de caudal de laguna por medio de balance hídrico

Unidad de depuración	Caudal medio PTAR(m ³ /día)	Evaporación (mm/día)	Área (m ²)	Caudal laguna (m ³ /día)
Laguna de homogenización uno	702.6	-	1,862.00	702.6
Laguna de homogenización dos	702.6	-	1,862.00	702.6
Laguna de homogenización tres	702.6	-	1,890.00	702.6
Laguna anaerobia uno	702.6	3.83	6,860	676.33
Laguna anaerobia dos	676.33	3.83	6,440	651.66
Laguna anaerobia tres	651.66	3.83	4,268	635.31
Laguna anaerobia cuatro	635.31	3.83	1,862	628.18

El caudal de salida es calculado con los 628.18 m³/día de la laguna anaerobia cuatro, la cual se le debe restar 25.8m³/día que es el caudal enviado a riego de compost, para conocer el caudal de efluente real de la planta de tratamiento, obteniendo un caudal de efluente de 602.38 m³/día que es descargado al fertirriego.

4.2.2.2. Estudio batimétrico

El levantamiento batimétrico permitió conocer las condiciones de operación de las lagunas, con el fin de obtener datos reales y actuales del estado de cada unidad de tratamiento y de esta manera crear perfiles, y a partir de ello calcular las cantidades de lodos en sus diferentes estados en cada laguna.

A continuación, se presentan los datos teóricos brindados por la empresa, en donde:

- LH1: laguna de homogenización 1
- LH2: laguna de homogenización 2
- LH3: Laguna de homogenización 3
- LA1: laguna anaerobia 1
- LA2: laguna anaerobia 2
- LA4: laguna anaerobia 4
- b: base inferior
- B: base superior
- h: altura
- L: longitud de la laguna

Tabla 19. Datos teóricos de las unidades de depuración

N° Laguna	b (m)	B (m)	h (m)	L (m)	Volumen (m ³)
LH1	17	25	5	70	7,350.00
LH2	17	25	5	70	7,350.00
LH3	20	30	5	62	7,750.00
LA1	58	75	5	94	31,255.00

Los perfiles evidencian una acumulación variada de los lodos, con volúmenes de sólidos en suspensión, sólidos sedimentados, volumen libre de laguna y volumen total, así como, también la pérdida de volumen por lodo acumulado.

En la tabla 20 se muestra el consolidado de los datos obtenidos por el estudio batimétrico, los cuales se comparan con en el volumen de laguna brindado por la empresa.

Tabla 20. Consolidado de estudio batimétrico

N° laguna	Volumen brindado por la empresa (m ³)	Volumen total obtenido por batimetría (m ³)	Perdida de volumen por acumulación de lodo (%)
LH1	7,350.00	7,336.95	22.74
LH2	7,350.00	7,334.47	19.70
LH3	7,750.00	7,741.94	0
LA1	31,255.00	31,071.02	8.01
LA2	21,287.70	21,014.58	2.60
LA4	6,979.10	6,828.17	7.17

En la laguna anaerobia tres no se realizó estudio batimétrico por problemas operacionales de la empresa, considerando que esos días la empresa estaba usando la grúa para dar mantenimiento a las calderas por lo que no se logró concretar esta actividad. Las siguientes figuras muestran de manera gráfica las acumulaciones de lodos en cada unidad de tratamiento de la PTAR:

Figura 20: Simbología de estudio batimétrico

-  Volumen libre (vl)
-  Volumen de sólidos suspendidos (vsst)
-  Volumen de sólidos sedimentados (vss)
-  Volumen de lodo acumulado seco (vas)
-  Terreno natural
-  Volumen total de laguna por batimetría (vt)

Figura 21. Representación gráfica de volúmenes de lodos obtenidos de perfiles longitudinales en cada unidad de depuración.



En el diseño y desempeño hidráulico de la unidad de tratamiento y afecta de manera negativa el mantenimiento de las condiciones de la laguna en cuanto a su tiempo de retención hidráulica (TRH), debido a la acumulación de lodos seco reducen el tiempo de retención en las lagunas.

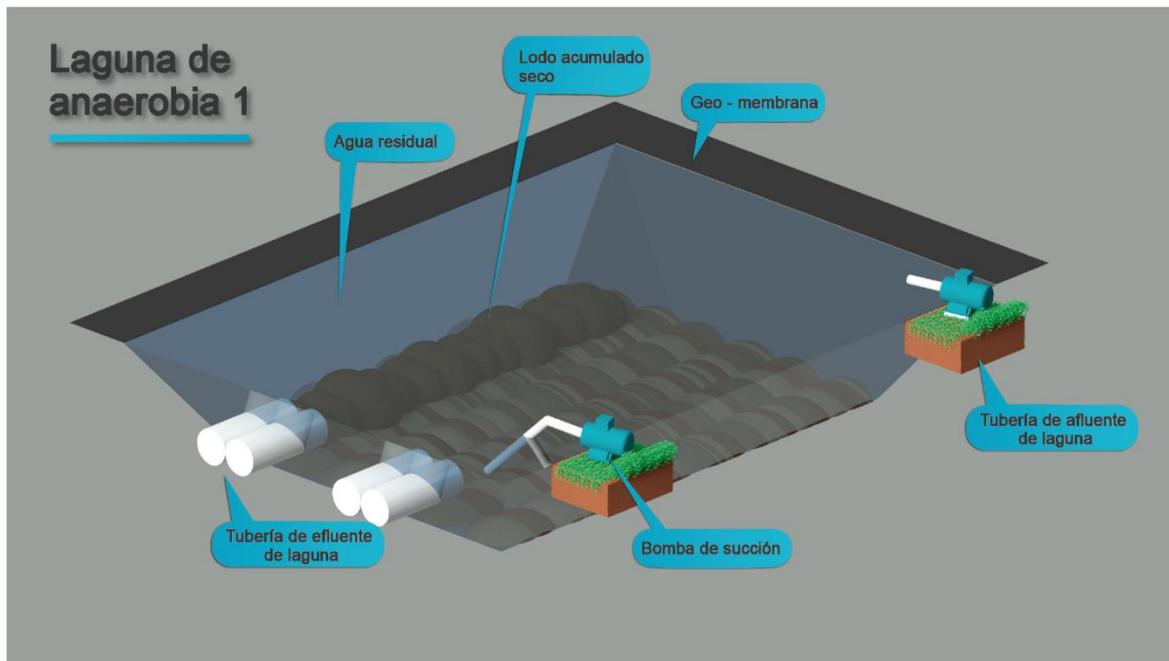
Dado el caso de las lagunas anaerobia uno y dos las cuales están saturadas de lodo, el volumen de lodo acumulado en la laguna anaerobia uno, es de 2,489.18 m³, lo que provoca una reducción de la profundidad y de su volumen útil de un 8.01%.

A partir de los datos de levantamiento batimétrico, el volumen útil en la laguna de anaerobia uno es de 31,070.02 m³ comparándolos con los datos brindados por la empresa, se puede observar que son similares.

Se presenta en la figura 22 la laguna anaerobia uno, y como está afectada por la acumulación de los lodos, se debe considerar que la acumulación de los lodos no es uniforme en toda la laguna, esto debido al tipo de succión y descarga que se tiene, por lo que acumulación de los lodos, sigue una tendencia con respecto al flujo de entrada y salida de las lagunas.

Figura 22. Volúmenes de agua residual en lagunas y lodo acumulado seco

4.2.2.3. Períodos de retención



Se presenta la tabla 21 en la que se registró los valores de TRH, considerando la influencia de la evaporación en el caudal, así como, el volumen de lodos obtenidos a través de batimetría. En el caso de las lagunas de homogenización no se consideró la evaporización, ya que, el exceso de nata gruesa formada en estas unidades de depuración, impide el paso de los rayos del sol. Se puede observar en la tabla 21, que los periodos de retención hidráulicos están de acuerdo con lo que

indica Oakley “*Para lagunas facultativas su periodo debe de ser diez días como minimo* (Oakley S. M., 2005)”.

Tabla 21. Periodos de retención hidráulicos TRH

Unidad de depuración	Vol. Agua (m ³)	Q medio (m ³ /día)	TRH (días)
Laguna de homogenización 1	7,336.95	702.60	10
Laguna de homogenización 2	7,334.47	702.60	10
Laguna de homogenización 3	7,741.94	702.60	11
Laguna anaerobia 1	31,070.02	702.60	44
Laguna anaerobia 2	21,014.58	651.66	31
Laguna anaerobia 4	6,828.17	635.31	11

Se puede observar en la tabla 21, que los tiempos de retención son muy extendidos en el sistema de tratamiento esto se debe a que el sistema no opera a flujo continuo, esto quiere decir que se requiere encender el equipo de bombeo para poder trasegar agua de una laguna a otra. Por esta razón los TRH son tan extendidos en el tiempo. El TRH total es de 111 días siendo un tiempo muy representativo en la degradación de los diversos contaminantes presentes en el POME.

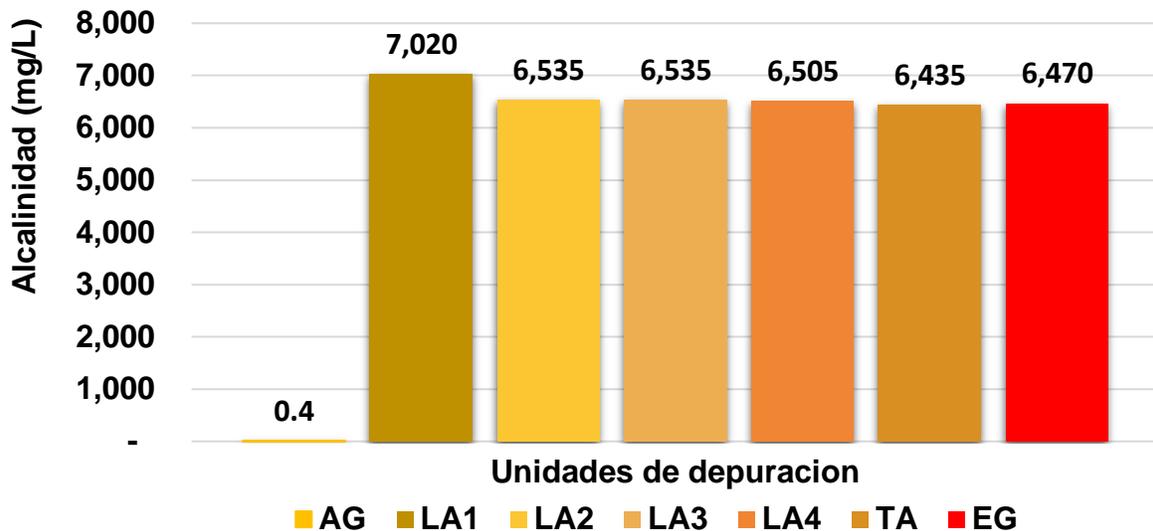
4.3. Toma y análisis de muestras

4.3.1. Resultados fisicoquímicos afluente

a) Concentración de alcalinidad

De acuerdo con, el gráfico dos se pueden apreciar las concentraciones de alcalinidad, del muestreo realizado en la PTAR el día 13 de abril del 2021.

Gráfico 2: Concentración de alcalinidad en las unidades de depuración



Se puede observar las variabilidades en las concentraciones de alcalinidad en las unidades de depuración. Al observar el gráfico dos la máxima concentración está presente en la laguna anaerobia uno con 7,020mg/L el día 13 de abril, ya que un día antes de la toma de muestra se dio una recirculación de lixiviados de las composteras a la laguna.

Las concentraciones de alcalinidad tan altas observadas es debido a que la empresa no cuenta con sistema de tratamiento de lixiviados de las composteras por lo que hacen un bombeo hacia las lagunas y esto hace que las concentraciones sean tan altas.

Al observar la concentración del afluente en alcalinidad es bajo, por lo que debido a la operación de enviar los lixiviados de las composteras aumentan la concentración de la alcalinidad debido a la cal que se usa para neutralizar pH.

A nivel internacional se establecen rangos de cero – 807.3mg/L, se pueda observar que las concentraciones reportadas en la gráfica seis, están fuera del rango CENIPALMA et al. (2015).

Figura 23: Presencia de alcalinidad en tubería

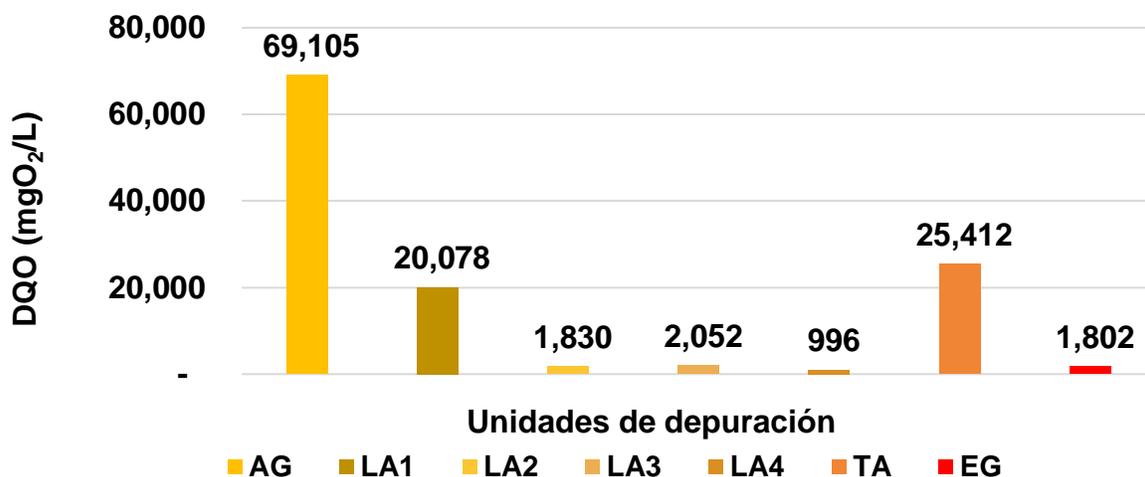


El POME no tiene alcalinidad en sus características físico química, se debe por la recirculación de los lixiviados de las composteras a las lagunas. Al observar la figura 23, se observa cómo se generan incrustaciones en las tuberías, así como, también en el equipo de bombeo debido a las concentraciones alcalinidad.

b) Concentración de DQO

En el gráfico tres se presentan las concentraciones de DQO obtenidos de los análisis fisicoquímicos en el laboratorio PIENSA, del muestreo realizado en la PTAR el día 13 de abril del 2021.

Gráfico 3: Concentración QDO en las unidades de depuración



Se puede observar en el gráfico tres, que la máxima concentración de DQO durante los muestreos, se encuentran en el afluente general de la planta, con 69,105.06 mgO₂/L, laguna anaerobia uno con 20,078.43 mgQ₂/L y el tanque de

almacenamiento con 25,411.76 mgO₂/L, debido a que los muestreo se realizaron en el día que hubo mayor producción de frutos tuvo como consecuencia mayor descarga del POME en la planta de tratamiento, el cual, presenta un elevado contenido de materia orgánica, con respecto a las concentraciones de DQO.

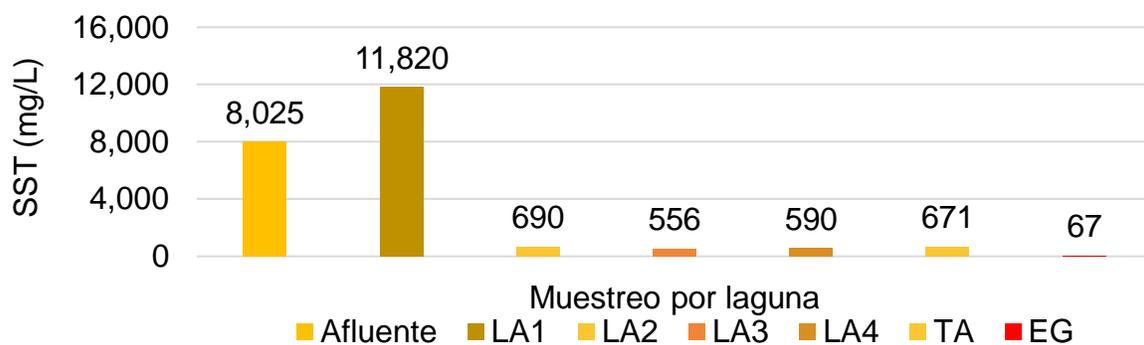
Se puede observar que conforme pasa el POME por cada unidad se tiene una variabilidad y no sigue la tendencia a la disminución de DQO, esto debido a que en la operación se hace una recirculación por lo que no se logra degradar la DQO conforme pasa por cada unidad. Se debe considerar que la succión y descarga está a 1.5 m de profundidad por lo que por momento en la operación se recirculan lodos que están por sedimentarse.

Según CENIPALMA et al. (2015) una extractora con una capacidad de 15 toneladas hora de Racimos de Fruta Fresca (RFF) puede producir la contaminación de una población con más de 180,000 habitantes, equivalente a 0.0000833 ton/h por habitante. Si la capacidad máxima de la empresa es 90 toneladas hora, podría producir una contaminación equivalente a la de una población de más de 1, 000,000 de habitantes.

c) Concentraciones de sólidos suspendidos totales

En el gráfico cuatro se puede observar que en la laguna anaerobia uno se da la mayor concentración de SST con 11,820 mg/L, esto es debido a la recirculación de las lagunas de homogenización uno, dos y tres hacia la laguna anaerobia uno, ya que ese día hubo mayor producción de palma de aceite, lo que resulta un aumento en suspensión de sólidos totales debido al bombeo.

Gráfico 4: Concentración sólidos suspendidos totales

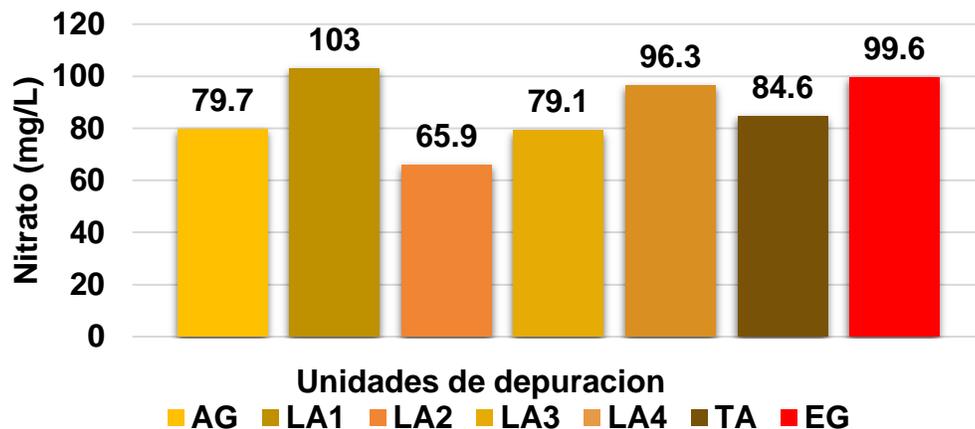


La concentración de SST se establece en los rangos de 19,129 - 88,258 mg/L, en contraste con este intervalo se observa que las concentraciones de las unidades de depuración, se encuentran dentro de lo establecido CENIPALMA et al. (2015).

d) Concentraciones de nitrato y nitrito

En la PTAR no se observó una remoción total de nitrógeno, pero sí una intensa mineralización de nitrógeno orgánico, debido a las condiciones operativas causa una variabilidad desde 65.9 mg/L a los 103 mg/L al querer estabilizar el pH. En la operación de lagunas anaerobias, la descomposición de la materia orgánica por parte de microorganismos anaerobios, conduce la hidrólisis de proteínas y urea y el consiguiente aumento de nitratos, razón por la que observamos una alta variabilidad del sistema de tratamiento. La alta concentración de nitrato se debe a la recirculación de las lagunas de homogenización uno, dos y tres hacia la laguna anaerobia uno, siendo ese día de mayor producción de palma de aceite, se obtuvo un aumento en la concentración de nitrato.

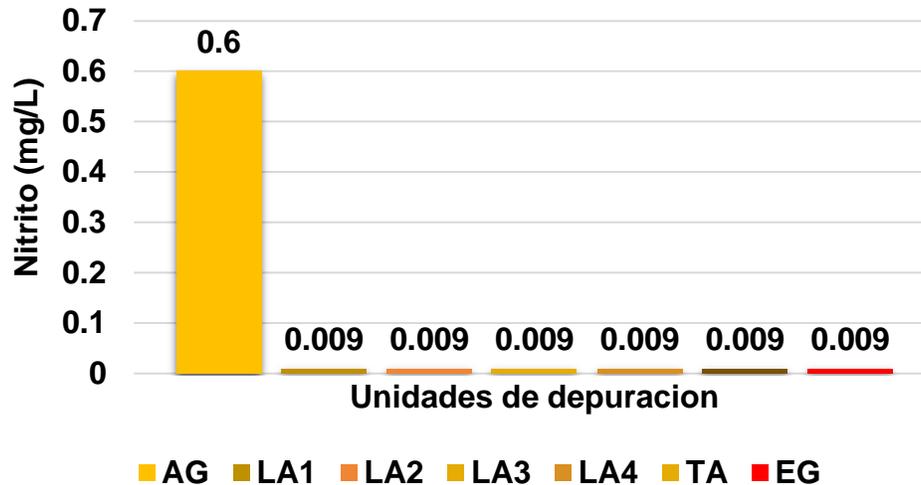
Gráfico 5: Concentración de nitrato en la PTAR



En el gráfico 5 se puede observar la mayor concentración de nitrato que se encuentra en la laguna anaerobia uno con 103 mg/L, tradicionalmente los afluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción, al igual que otros residuos como racimos vacíos (tusas), han sido valorados por su alto

contenido de nutrientes, siendo empleados, en algunos complejos, para fertilización orgánica y compostaje.

Gráfico 6: Concentración de nitrito en la PTAR



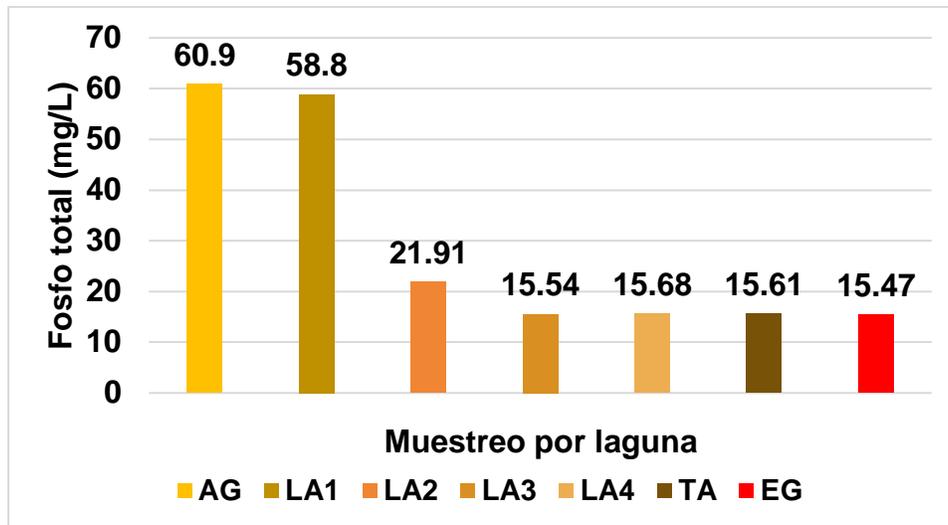
En la gráfica seis se puede observar que la mayor concentración de nitrito se encuentra en el afluente general de la planta de tratamiento con 0.6 mg/L, esto se debe a que el proceso industrial de aceite de palma africana genera temperaturas que oscilaron en los 74.5 C° y un pH de 4.20, lo que ocasiona que se de la formación para nitritos únicamente en el afluente general; y conforme se estabilizó el pH y la temperatura, se obtuvieron disminuciones significativas de nitrito en las unidades de depuración.

e) **Concentración fosforo total**

En la gráfica siete se puede observar el comportamiento de fósforo total a lo largo de cada una de las unidades de depuración, el afluente general de la planta de tratamiento presentó 60.9 mg/L. la concentración de fósforo en efluentes de POME siempre es menor con respecto a la materia orgánica que entra, se puede observar que los 58.8 mg/L de la laguna anaerobia uno es porque esta laguna todavía funciona como una laguna de homogenización de las tres lagunas de homogenización que están aguas arriba, en este proceso se logra una eficiencia de remoción el 37% a lo largo del sistema.

Se debe de notar que la remoción de fósforo que existe lo largo del sistema no es tan eficiente, debido a que las lagunas no son para remoción de nutrientes y de fósforos, sino, únicamente eficiente para la remoción de la materia orgánica, tal como lo describen Oakley et al. (2021) *un sistema lagunar no está diseñado para remoción de nutrientes y fósforos*.

Gráfico 7: Concentración de fósforo total

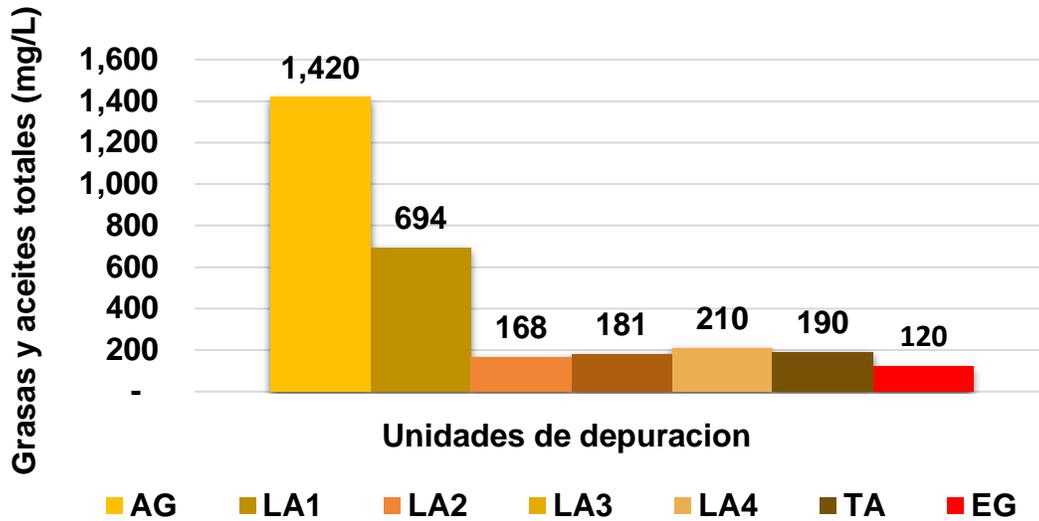


Se puede observar que el fósforo que tiene una concentración de 30.9 mg/L en el afluente será transformado a 15.47 mg/L, esta transformación es el paso de fósforo total a ortofosfatos. Se debe tomar en consideración que durante las jornadas de limpieza en las instalaciones industriales se hace uso de detergentes con altos contenidos de ortofosfatos, el uso de este tipo de detergentes es debido a que es el más barato en el mercado.

f) **Concentración de grasas y aceites**

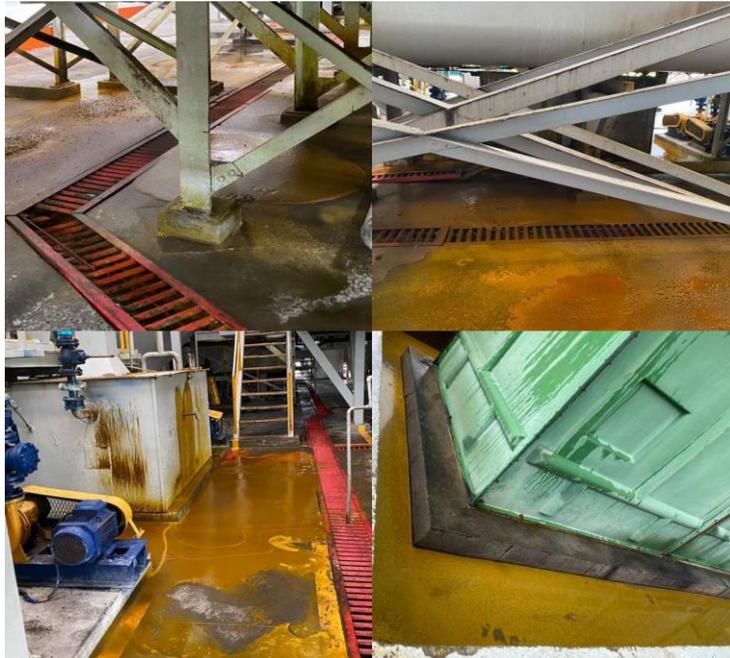
De acuerdo con el gráfico ocho, las concentraciones de aceites y grasas en el POME se debe a que la palma africana es una fruta oleaginosa, esto quiere decir que contiene grasa del cual se produce la palma de aceite; como se observa el día 13 de abril presenta una concentración de 1,420 mg/L.

Gráfico 8: Concentración de grasas y aceites



La mayor concentración de 1,420 mg/L se debe a que hubo un derrame de aceite producto de un mantenimiento en los clarificadores y torres de enfriamiento.

Figura 24. Derrame de aceite en planta de producción y florentinos



A nivel internacional se establecen rangos de 5,400 - 19,420 mg/L, se pueda observar que las concentraciones reportadas en la gráfica seis, están dentro del rango CENIPALMA et al. (2015).

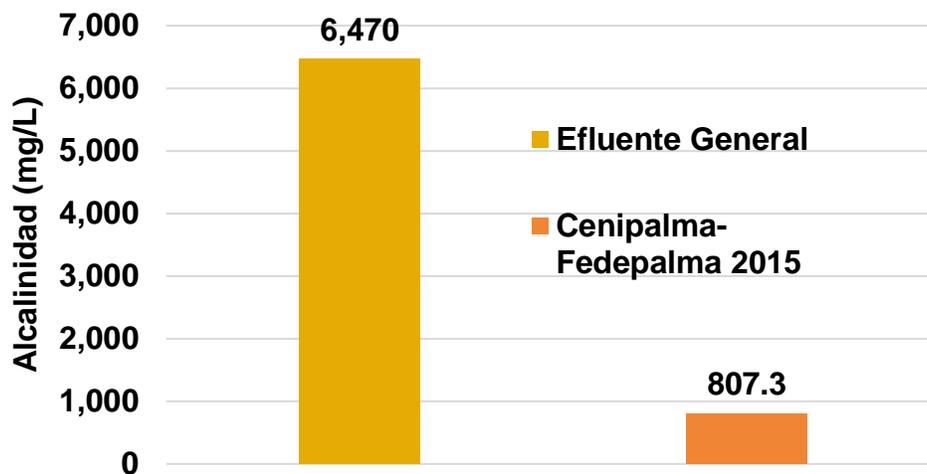
4.4. Cuarta etapa: Regulaciones ambientales y eficiencia de remoción de CC

4.4.1 Resultados de análisis fisicoquímicos con respecto a las regulaciones ambientales

a) Alcalinidad

Se puede observar en la gráfica nueve que la empresa procesadora de aceite de palma africana presenta altas concentraciones de alcalinidad en el efluente. En ninguna de las normativas existe un límite máximo permisible de alcalinidad para el POME, sin embargo, se compararon los resultados con el rango de plantas extractoras de palma de aceite africana colombianas.

Gráfico 9: Concentración alcalinidad



Los afluentes de POME no tienen altas concentraciones de alcalinidad, pero lo que se observa es debido a que el efluente de la laguna de riego también se utiliza para verter el compost de la empresa, y los lixiviados que se generan debido a la

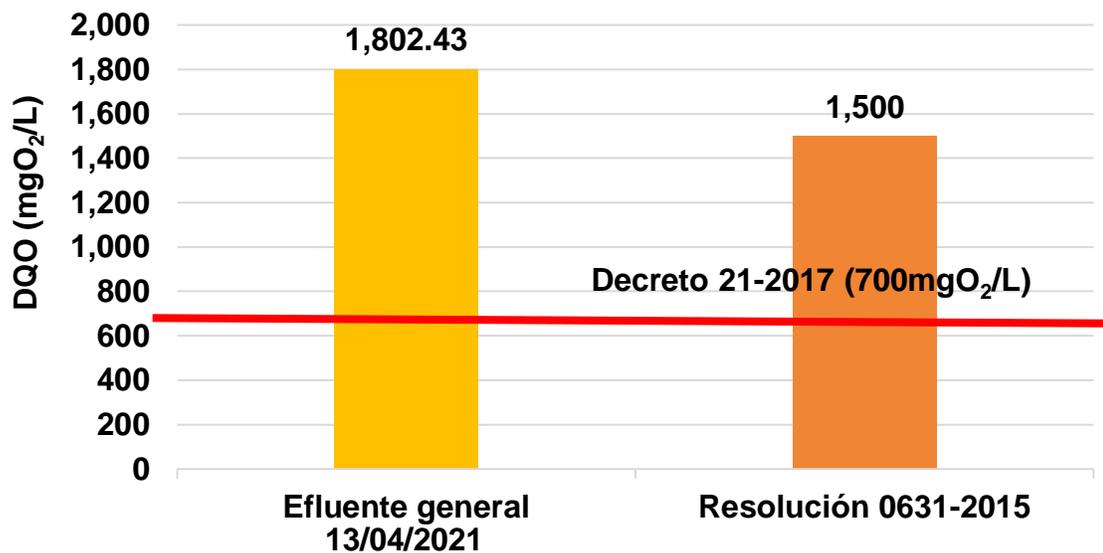
estabilización del compost se envían a las lagunas, y por esa razón se elevan las concentraciones de alcalinidad dentro de las lagunas, y no en el afluente.

b) DQO Vs Decreto -21-2017

Las lagunas de estabilización son muy eficientes en la degradación de materia orgánica, no obstante, de acuerdo con los resultados obtenidos no se cumple con el límite máximo de 700 mgO₂/L según el Decreto 21-2017 y con la resolución colombiana que establece un límite máximo permisible de 1,500 mgO₂/l de DQO.

La empresa cuenta con el uso de microorganismos (microlift) para ayudar a la degradación de la materia orgánica, sin embargo, no han sido muy eficientes, debido a que, la asistencia técnica que le han brindado a la empresa, no ha correspondido con la ficha técnica de inoculación del sistema.

Gráfico 10: Concentración DQO efluente vs Decreto 21-2017

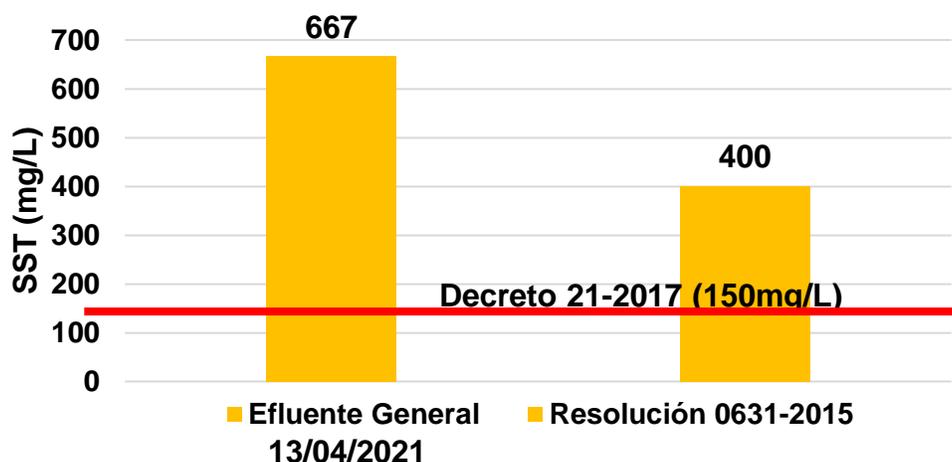


c) Sólidos suspendidos totales vs Decreto -21-2017

El efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales contiene altas cantidades de sólidos suspendidos totales, ya que no se cuenta con una unidad de pretratamiento que se encargue de muchos de los sólidos en suspensión que se arrastran desde el lavado de los racimos de fruta fresca. Los datos que se muestran en la gráfica reportan valores superiores con respecto al límite máximo permisible

de 150 mg/L del Decreto 21-2017 y de 400 mg/L en la resolución colombiana para SST. Esto se debe a las grandes cantidades de lodo que existen en las unidades de depuración y la recirculación variable que se presenta en el día de mayor producción de aceite.

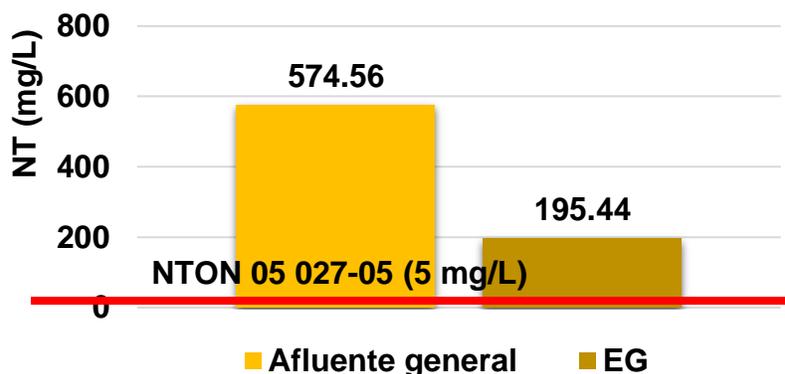
Gráfico 11: Concentración sólidos suspendidos totales vs Decreto 21-2017



Nitrógeno total vs NTON 05 027-05

En la gráfica 12 se puede observar que, según los resultados obtenidos de pruebas realizadas en laboratorio, se logra una remoción del 34% de nutrientes, sin embargo, al comparar estos resultados tanto del afluente general y efluente de la PTAR, con la norma, se puede apreciar que no se cumple con los límites máximos permisibles, esto se debe a que las lagunas no son realmente eficientes en la remoción de nutrientes, con respecto a lo que requiere la NTON 05 027-05.

Gráfico 12: Concentración de nitrógeno vs NTON 05 027-05

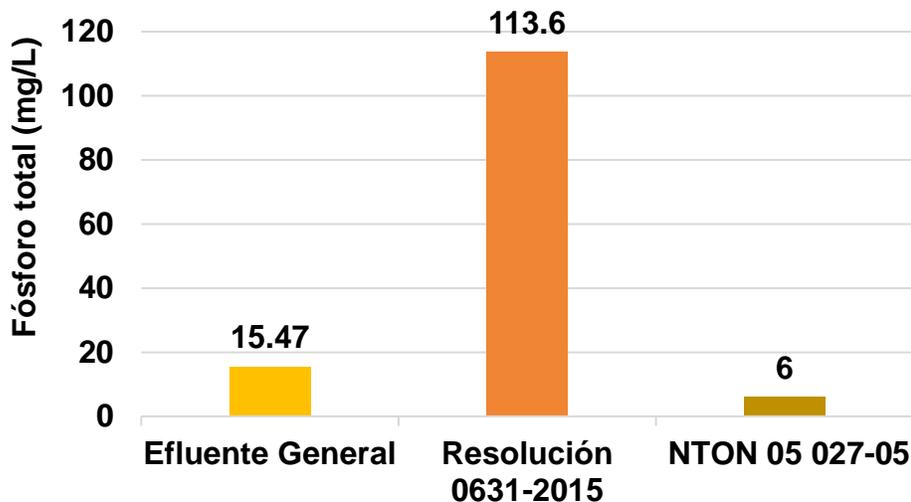


d) Fósforo total vs NTON 05 027-05

Únicamente se presenta el fósforo total porque es uno de los parámetros que se controla para realizar reúso de las aguas residuales, como es el caso de la empresa procesadora de aceite de palma africana es aprovechado para que los cultivos de palma absorban estos nutrientes.

En la siguiente gráfica 13 se puede observar la concentración de fósforo total de 15.47 mg/L, el cual no cumple con lo establecido en la norma técnica obligatoria nicaragüense para reúso de agrícola categoría C; sin embargo, si se relaciona con el límite máximo permisible de la resolución colombiana es mucho menor, ya que los sistemas lagunares no son para eliminación de nutrientes, por eso se puede observar que no se cumple con lo regulado para el reúso del agua residual industrial; pero, considerando la política de la empresa en cuanto a la certificación de la Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO), se considera el aprovechamiento de los nutrientes con respecto a fósforo y nitrógeno para el crecimiento de la palma.

Gráfico 13: Concentración fósforo total vs NTON 05 027-05

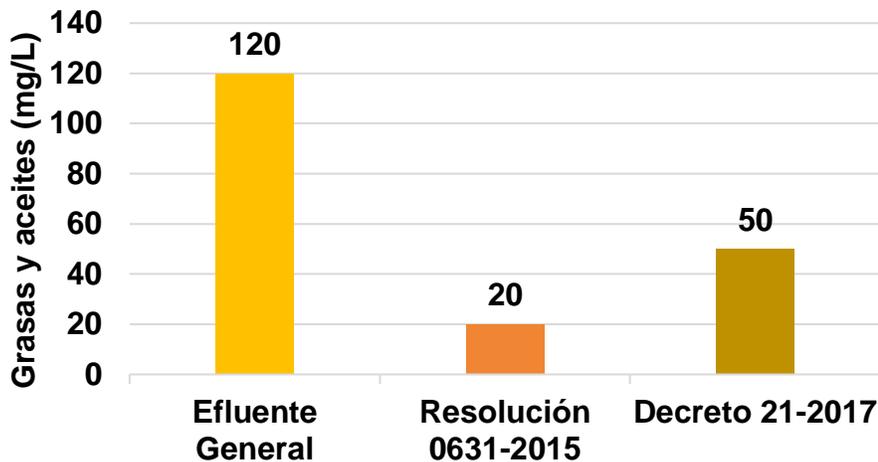


e) Grasas y aceites vs Decreto 21-2017

En el gráfico 14 se puede observar que la concentración en el efluente general de la planta de tratamiento es de 120 mg/L, lo cual es un valor superior con lo establecido en el Decreto 21-2017 que es 50 mg/L y con el límite máximo

establecido en la resolución colombiana que es de 20 mg/L. Debido a que la empresa produce grandes cantidades de aceite de palma africana, durante este proceso, la planta de tratamiento es expuesta a los accidentes laborales que se pueden presentar, como es el caso del derrame de aceite.

Gráfico 14: Concentración grasas y aceites vs Decreto 21-2017



Se puede observar en el gráfico, que por las propias características del kernel de palma, su concentración es alta en grasa y aceites, que al pasar por el proceso industrial para obtener el aceite, se dan pérdidas en el proceso hasta del 12%, además de los problemas operativos de vertidos de aceite provenientes de los florentinos o del tricanter, lo que hace un aumento en las concentraciones del afluente otro dato a tener en cuenta es que la planta no cuenta con una unidad de remoción de grasas y aceites.

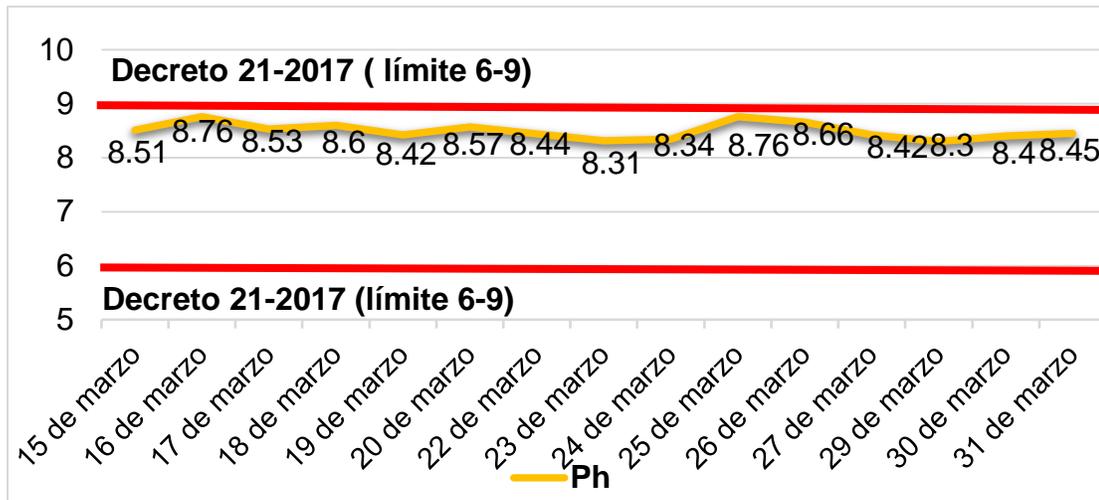
f) pH vs Decreto -21-2017

Las mediciones de pH se realizaron con ayuda del peachímetro, los valores obtenidos se muestran en el gráfico. El pH se encuentra dentro del rango establecido, conforme al Decreto 21-2017.

De acuerdo, al gráfico 15 los pH de la laguna de riego son alcalinos esto debido a que operativamente se garantiza este pH, no solo por la regulación ambiental, si no que también porque en momento de acidificación en lagunas de homogenización se

recircula el agua de la laguna riego por lo que se deben garantizar las condiciones alcalinas.

Gráfico 15: pH vs Decreto 21-2011



4.4.1. Determinación de las eficiencias en la remoción de contaminantes en la PTAR

Se puede observar en las siguientes figuras, las diferentes eficiencias de remoción de los distintos contaminantes evaluados.

Figura 25. Eficiencia laguna anaerobia 1

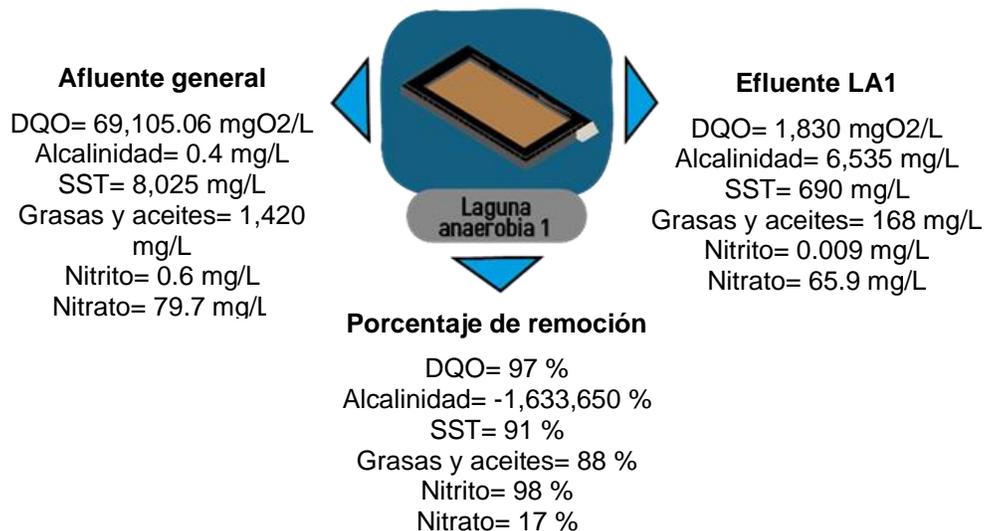


Figura 26. Eficiencia laguna anaerobia 2

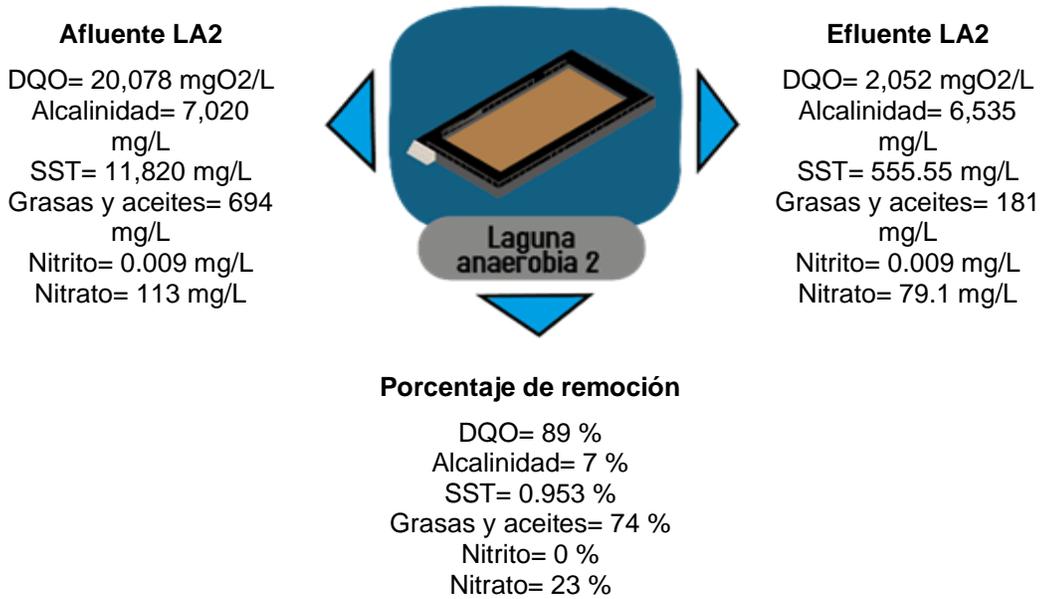


Figura 27. Eficiencia laguna anaerobia 3

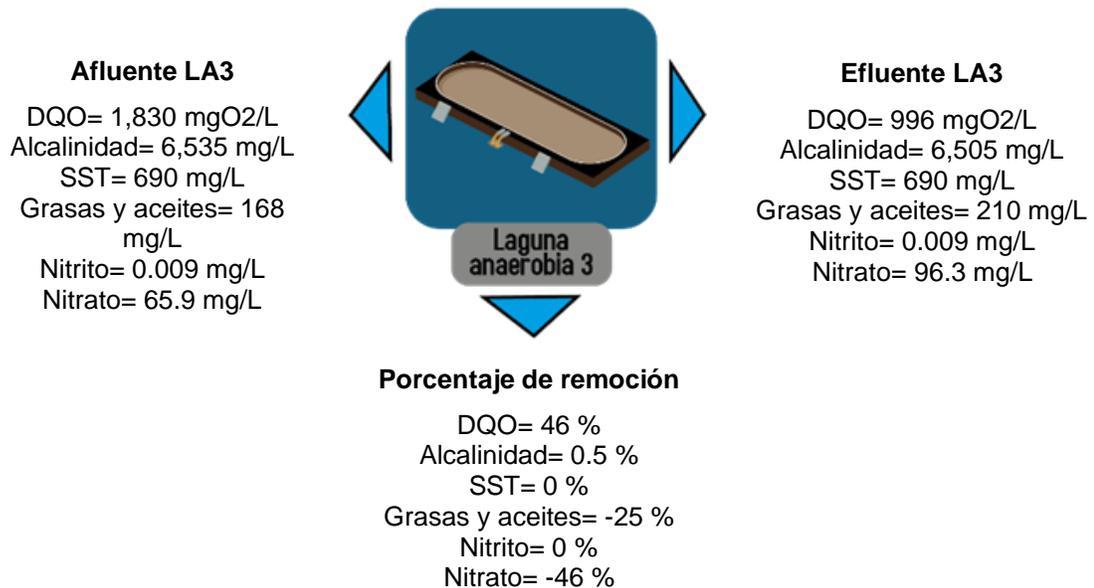
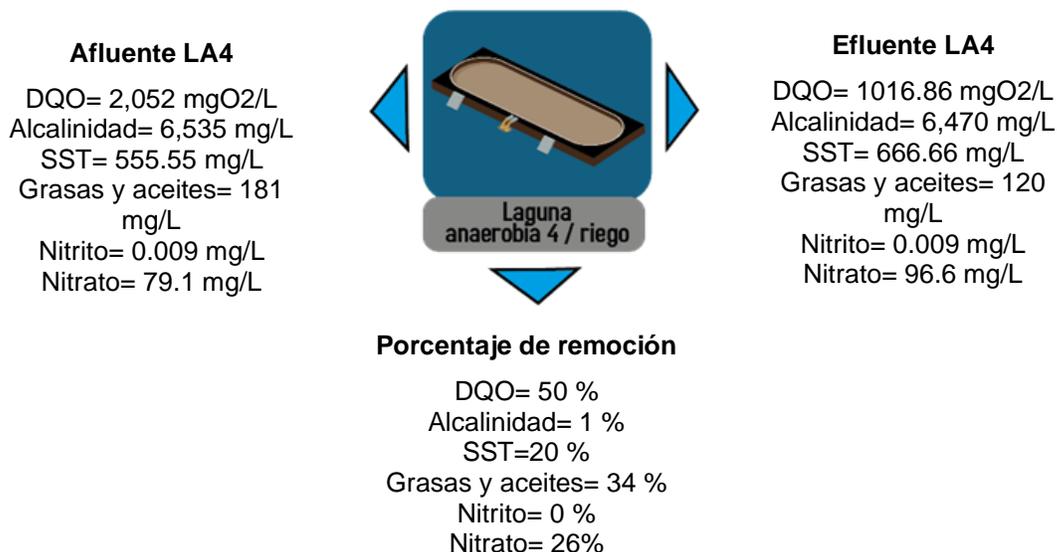


Figura 28. Eficiencia laguna anaerobia 4



Los resultados obtenidos en cuanto a remoción de DQO fueron muy buenos considerando que se logra remover un 97% en la laguna anaerobia uno, y un 89% en la laguna anaerobia dos, a pesar de la recirculación y del abandono en el que se encuentra la PTAR. Las eficiencias de remoción conseguidas en DQO son el reflejo que los sistemas lagunares son muy eficientes para la remoción de estos contaminantes, aun siendo mal operados.

4.4.2. Determinación de la carga orgánica

Las concentraciones de DQO se utilizaron para la determinación de carga orgánica en cada unidad de depuración, se observa en la tabla 22 la determinación de la carga orgánica total en función de la DQO. Así como, la carga de nutrientes con respecto a la concentración de nitrógeno.

Tabla 22. Cargas contaminantes totales

Unidad de tratamiento	Concentración (g/m ³)	Qprom (m ³ /d)	CO (kg DQO/día)
Laguna anaerobia 1	69,105.06	702.6	48,553
Laguna anaerobia 2	20,078.00	676.33	13,579
Laguna anaerobia 3	1,830.00	651.66	1,193
Laguna anaerobia 4	2,052.00	635.51	1,304
Carga orgánica (CO)			64,629

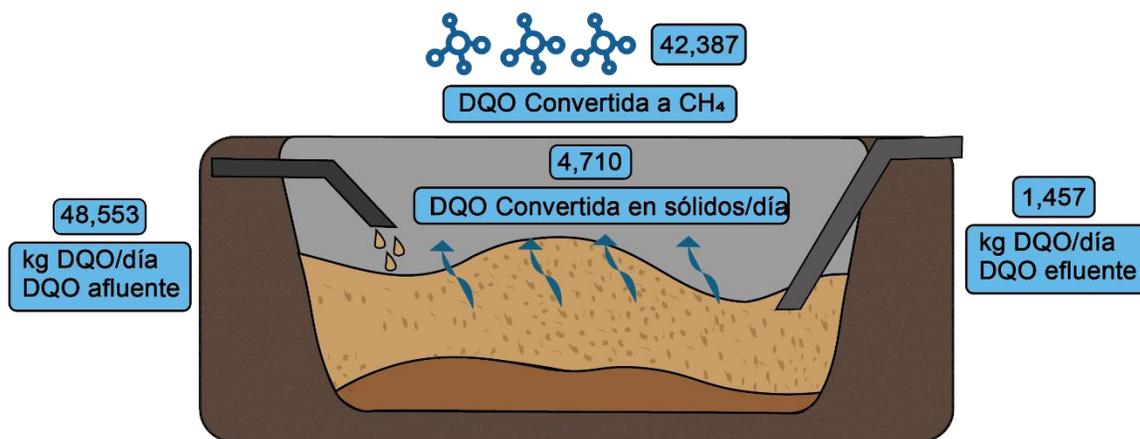
Se puede observar en la tabla anterior, las cargas contaminantes de DQO diarias que salen de cada unidad de depuración.

En el caso de la laguna anaerobia 4 o de riego, que es el efluente de la PTAR, es de 1,016.86 kg DQO/día de materia orgánica diaria, que si se compara con los 69,105.06 kg DQO/día de entrada se observa que la planta de tratamiento tiene una eficiencia diaria del 98%.

En la tabla 22, se puede observar las altas concentraciones de carga orgánica que son usadas para el riego de la palma diariamente. Las cargas diarias son variables tanto en temporada alta como baja, se debe considerar un análisis de la capacidad de fijación de nutrientes y carga orgánica que tiene las palmas africanas.

4.4.3. Balance de materia orgánica, CH₄ y sólidos.

Figura 29. Biodegradación de la materia orgánica en laguna anaerobia 1



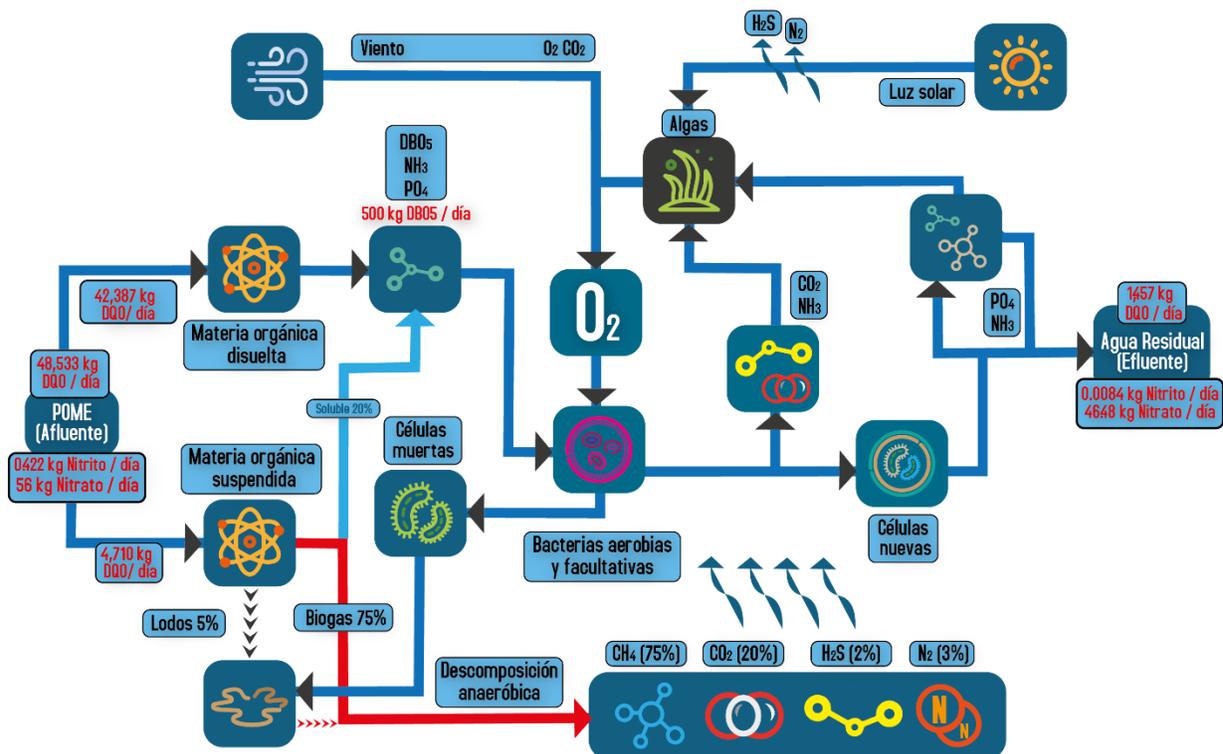
Se observa en la figura 29 una entrada de carga másica diaria de 48,553 kg DQO/día, de los cuales el 87% es materia orgánica disuelta que se transforma en CH₄ en la zona anaerobia lo que corresponde a 42,387 kg de DQO/día, por otro lado, el 10% es materia orgánica suspendida que es metabolizada en la zona anaerobia en lodo, lo que representa 4,710 kg de sólidos/día, como resultado de estos procesos metabólicos se logra una reducción de la carga másica del 3% que

corresponden a 1,457 kg DQO/día, que son descargado diariamente a la siguiente unidad de depuración.

4.4.4. Biodegradación de la materia orgánica y nitrogenada

En el siguiente esquema se representa la biodegradación de la materia orgánica con respecto a la DQO en la PTAR.

Figura 30. Rutas metabólicas de cargas másicas y nitrogenadas



Al analizar la biodegradación orgánica y nitrogenada de las aguas residuales industriales de la empresa procesadora de palma de aceite africana, figura 30, las rutas metabólicas y subproductos de la estabilización de los contaminantes analizados.

Se puede observar en la figura 30 que la carga másica de materia orgánica diaria es de 48,533 kg DQO/día, así como, la carga másica de nitritos es de 0.422 kg NT/día y la carga másica de nitratos es de 56 kg NT/día que fueron metabolizados por los microorganismos en dos etapas:

Con respecto a la primera etapa la materia orgánica disuelta (ver figura 29) sufrió una transformación de 42,387kg de DQO/día, 0.41 kg Nitritos/día y 1.62 kg Nitratos/día en la zona facultativa y aerobia, se puede observar que en las rutas metabólicas se da una transformación de amonio a nitritos a partir de la materia orgánica (42,387 kg de DQO/día) en simbiosis entre las poblaciones de microorganismos autótrofos y heterótrofos en la que el nitrito es oxidado a nitrato por bacterias nitrificantes, el proceso de nitrificación se inhibe y la concentración de nitrato cae a cero por lo que se transforma en nitrito que luego es transformado una parte en nitrógeno gaseoso que se va a la atmosfera y la otra que es descargado en el efluente con una carga másica de 0.008 kg Nitritos/día y 46.47 kg Nitratos/día.

En la segunda etapa la materia orgánica suspendida, es usada por los microorganismos para el catabolismo y anabolismo, se puede observar en el esquema 5 la transformación a 4,710 kg de DQO de materia orgánica suspendida, de tal manera que el 5 % se convierte en lodo, un 20% se encuentra diluido de manera flocculante en la matriz de agua, por último, con un 75% el subproducto de la estabilización de la materia orgánica suspendida en el fondo de la laguna como es el metabólico conocido como biogás. Este subproducto de la estatización (biogás) a su vez se descompone en; 20% CO₂, 75% en metano, 3% en N₂ y el otro 2% en otros gases que son liberados a la atmosfera.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

Aleyda Flores, Yazmer Lacayo
& Kevin Flores



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El resultado de la determinación de la biodegradación de contaminantes orgánicos y nitrogenados en la planta de tratamiento de la empresa procesadora de aceite de palma africana “EL RAMA”, inició con la toma de caudales, realizados con el caudalímetro de la empresa, en 15 aforos consecutivos por 15 días, realizados desde el 15 al 30 de marzo del año 2021, dando como resultado valores desde 976m³/día hasta 408 m³/día, que dependen de las horas de producción y la cantidad de fruto recolectado en el día, el caudal efluente fue corregido por medio del balance hídrico tomando en cuenta que el estudio fue realizado en verano, no se consideraron valores de precipitación, así como también no se consideró la infiltración, ya que, cada una de las lagunas posee una geomembrana que la impide la pérdida del agua residual.

Respecto al funcionamiento operacional de la planta de tratamiento de aguas residuales, se encontró que los operadores que trabajan en la planta no están bien capacitados en cuanto a los sistemas lagunares para tratamiento de aguas residuales, debido a que en el momento en que se realizó la recolección de datos, la empresa no contaba con un manual de mantenimiento de la PTAR.

En el período de tiempo en que se recolectó la información, no se realizó ninguna remoción de natas, grasas y sólidos flotantes en lagunas, esto es un reflejo de la carencia operacional, ya que no se llevan a cabo jornadas de limpieza en las lagunas, así como, la falta del diseño de unidades de pretratamiento que remuevan estos contaminantes.

El siguiente aspecto trata sobre los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio de acuerdo a los parámetros establecidos en los Art. 37, del Decreto 21-2017, se obtiene que la PTAR no cumple con los límites máximos permisibles, con respecto a DQO ya que, el valor máximo permisible es de 700 (mgO₂/L).

Todos los resultados de los análisis de laboratorio en cada una de las unidades de depuración no cumplieron con los valores máximos permisibles del Decreto 21-2017 y con la NTON 05-027-05, exceptuando el pH, el cual si cumplió con lo establecido en el Decreto 21-2017; una de las mayores causas de la difícil degradación de éstos contaminantes es la recirculación variable en la planta de tratamiento con respecto a la remoción de alcalinidad, DQO, nitrógeno, fósforo ya que las lagunas de estabilización no son eficientes para remover nutrientes; el diseño de la PTAR, la cual no cuenta con una unidad que se encargue de remover los sólidos, aceites y grasas del POME.

Por lo que se refiere al levantamiento batimétrico se encontró una distribución variable de los lodos en cada una de las lagunas, la laguna de homogenización 1 posee un volumen de sólidos sedimentados de 4,688.55 m³ y 1,668.07 correspondientes al 22.73 % de volumen de lodo acumulado seco, en la laguna de homogenización 2 se encuentra un volumen de sólidos sedimentados de 4,404.86 m³ y 1,444.99 m³ correspondientes al 19.70% de lodo acumulado seco.

La laguna de homogenización 3 posee un volumen de sólidos suspendidos totales de 968.05 m³, volumen de sólidos sedimentados de 4,927.01 m³, la laguna anaerobia 1 contiene un volumen de sólidos sedimentados de 25,819.87 m³ y 2,489.19 m³ correspondientes al 8.01% de lodo acumulado seco, la laguna anaerobia 2 posee un volumen de sólidos suspendidos totales de 14,813.90 m³, un volumen de sólidos sedimentados de 3,328.34 m³ y 546.72 m³ correspondientes al 2.60% de lodo acumulado seco. Por último, la laguna anaerobia 4 contiene un volumen de sólidos suspendidos totales de 2,740.10 m³, un volumen de sólidos sedimentados de 1,679.17 m³ y 489.86 m³ equivalentes al 7.17% de lodo acumulado seco.

En relación con los TRH en las lagunas es variable, fueron de diez días en las lagunas de homogenización uno y dos, en la laguna de homogenización tres es de 11 días, en la laguna anaerobia uno es de 46 días, en la laguna anaerobia dos es de 32 días, en la laguna anaerobia cuatro es de 11 días.

En relación a la eficiencia de remoción de los contaminantes, se determinó que en la laguna anaerobia uno tiene una eficiencia en cuanto a: DQO del 97%, 98% Nitrito, 17% nitrato, 91% SST, 88% aceites y grasas, en la laguna anaerobia dos tiene una eficiencia en cuanto a: DQO del 89%, Nitrito 0%, nitrato 23%, SST 0.95%, aceites y grasas 74%, en la laguna anaerobia tres tiene una eficiencia en cuanto a: DQO del 46%, Nitrito 0%, nitrato -46%, SST 0%, aceites y grasas -25%, en la laguna anaerobia cuatro/riego tiene una eficiencia en cuanto a: DQO del 50%, Nitrito 0%, nitrato 26%, SST 0.20%, aceites y grasas 34%. Su disposición final no cumple con el valor máximo permisible, así como el nitrógeno total, con base al artículo 37 Decreto 21-17.

Para el caso de las cargas contaminantes de DQO se calcularon a través de las ecuaciones de Chernicharo & Bressani-Ribeiro (2019), dando como resultado para la laguna anaerobia uno, una carga másica orgánica de 48,553 kg DQO/día, dando una eficiencia de remoción del 97%. Con respecto la laguna anaerobia dos da como resultado una carga másica orgánica de 13,579 kg DQO/día logrando una eficiencia de remoción 89%. A pesar que la PTAR tiene una alta remoción de carga orgánica el efluente no es apto para el vertido dado sus altas concentraciones de materia orgánica que es enviado a riego de sus propios cultivos.

A pesar que la PTAR tiene una alta remoción de carga orgánica, el efluente no es apto para reúso interno de la industria, dadas sus altas concentraciones de materia orgánica y nutriente lo que provocaran un efecto de eutrofización.

5.2. Recomendaciones:

Para que la PTAR de la empresa procesadora de palma de aceite africana, tenga sostenibilidad a largo plazo, se deberán de tomar en cuenta lo siguiente:

1. Crear manual de operación y mantenimiento de la PTAR, con el fin de capacitar operadores.
2. Diseñar y construir una unidad de pre - tratamiento adecuado para el POME.
3. Realizar constantemente remoción de natas que se acumulan en la superficie de las lagunas de homogenización y de esta manera evitar el exceso.
4. Diseñar y construir una unidad de remoción en la que se pueda aprovechar el metano, que se encuentra en el agua residual.
5. Estudio de comprobación de la capacidad de absorción de nutrientes y materia de la orgánica de la palma híbrida y Guinenses.
6. Estudio de mitigación de impacto por un posible vertido de efluentes de riego en un cuerpo receptor.

BIBLIOGRAFÍA

- Planta de Tratamiento de Agua Potable Acuatécnica (2019). *Tratamiento secundario de aguas.*
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2018). *Eliminación de nitrógeno en aguas residuales.*
- Aguamarket. (2017). *Registro de planificación estratégica.*
- Althausen M. (2016). *Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio Convertir un residuo en un recurso.*
- Arthur J. (1984). *Notes on the design and operation and waste stabilization ponds in warm climates of Developing countries, E.U.A.*
- Betanco M. (2018). *Evaluación de la remoción de carga de nutrientes y patógenos del nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Somoto, Nicaragua.*
- Blandon & Valenzuela. (2018). *Determinación de valores per cápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Sébaco, Nicaragua.*
- Brock T. (2004). *Biología de los microorganismos.*
- Casa de Gobierno (2006) *Norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso. (NTON 05 027-05), Nicaragua.*
- Casa de Gobierno. (2017). Decreto 21-2017. *Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el Vertido de Aguas Residuales. Publicada en La Gaceta Diario Oficial No. 229, del 30 de noviembre 2017, Nicaragua.*
- Centro de investigación en palma de aceite (Cenipalma 1996). *Manejo de tratamiento de aguas residuales de palma de aceite, Colombia.*

- Centro de investigación en palma de aceite. (2011). *Estudio de los efluentes líquidos de las aguas residuales de palma de aceite*, Colombia.
- Chernicharo & Bressani Ribeiro. (2019). *Anaerobic Reactors for Sewage Treatment*, London.
- Chungsiripon. (2006). *Hacia una producción más limpia en los molinos de palma de aceite*.
- Científica. (2017). *Eliminación de la materia orgánica e inorgánica presentes en el agua residual de una industria de pulpa de fruta empleando un catalizador enzimático*.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; Diseño de lagunas de estabilización*, Mexico.
- Comité Europeo de Supervisores Bancarios. (2013). *Diseño del sistema de tratamiento y disposición final de aguas residuales sanitaria de la Dalia en, Nicaragua*.
- Comité Europeo de Supervisores Bancarios. (2013). *Proyecto del sistema de alcantarillado sanitario de La Dalia Matagalpa*, Nicaragua.
- Cortés Martínez, Luevanos Rojas, Uranga Sifuentes, Avila Garza, & Gonzalez Barrios. (2011). *Diseño de Lagunas de estabilización en serie con diferentes configuraciones*, México.
- Cortés, Treviño & Tomasini. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*, Mexico.
- Covarrubias & Lopez. (2011). *Evaluación de un reactor de manto de lodo con flujo ascendente (UASB) con cambio de velocidad de alimentación*.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2012). *Diagnostico general de 35 sistemas de tratamiento de agua residual de ENACAL*, Nicaragua.

- Diez J. (2013). *Análisis y selección de medidores de caudal en instalaciones depuradoras de aguas residuales..*
- DURMAN. (2018). *Manual Técnico Trampas para Grasa.*
- Espigares García y Pérez López. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.*
- Espigares & Perez. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas, Granada.*
- Filho B & Neto. (2001). *Post-treatment of effluents from anaerobic reactors by overland flow, Brazil.*
- George, Hense, van Loosdrecht, A. Ekama & D. Brdjanovic. (2017). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño, London.*
- Gremial de palmicultores de Guatemala. (2011). *Generalidades y conceptos de tratamientos de aguas residuales, Guatemala.*
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2001). *Contribución del Grupo de Trabajo al Tercer Informe de Evaluación de Cambridge, New York.*
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2006). *Directrices de la IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Japón.*
- Gujer & A.J.B. (1983). *Conversion processes in anaerobic digestion.*
- Heating Ventilation Air Conditioning. (2018). *Torres de enfriamiento.*
- Henze M. (2008). *Tratamiento de aguas residuales : Pincipio, modelación y diseño.*
- Henze M. (2012). *Tratamiento Biologico de Aguas Reciduales: Paises bajos.*
- Huttunen J. (2001). *Greenhouse Gases in Non- Oxygenated and Artificially Oxygenated Eutrophied Lakes during Winter Stratification.*
- Industrial. (2010). *Analisis comparativas y relaciones entre DBO Y DQO.*

- Instruments (2009). *Guía para el análisis de la demanda química y bioquímica de oxígeno*.
- José Santos P, José A. Ramírez, Edgar Yamíl Acosta. (2000). *Experiencias en la utilización de aguas residuales y lodos del fondo de las lagunas de estabilización en la planta palmar de oriente, Colombia*.
- Khalid y Wan Mustafa. (1992). *External benefits of environmental regulation: resource recovery and the utilization of effluents*.
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). (2016). *Historia del proyecto de agua de Matagalpa y Jinotega, Nicaragua*.
- Larios & Pravia. (2018). *Determinar valores per cápita de carga orgánica, nutrientes y patógenos en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) en la ciudad de Matagalpa, Nicaragua*.
- Liikanen A. (2002). "Greenhouse Gas and Nutrient Dynamics in Lake Sediment and Water Column in Changing Environment". in: vol. 147 Kuopio University Publications C, Vol. Ph.D. Thesis Natural and Environmental Sciences, Finlandia.
- MA. (1999). *Treatment of palm oil mill effluent, Malaysia*.
- Martinez. (2002). *Factibilidad técnica-económica del sistema de alcantarillado sanitario para la ciudad de Juigalpa, Nicaragua*.
- Metcalf E. (1995). *Ingeniería de las aguas residuales, España*.
- Ministerio de ambiente y recursos naturales. (2018). *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, Nicaragua*.
- Mohammed. (2014). *Treatment and decolorization of biologically treated Palm Oil Mill Effluent*.
- Noyola A. (2012). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*.

- Oakley. (1998). *Lagunas de Estabilización para Tratamiento de Aguas Negras: Las Experiencias de Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala*. Tegucigalpa, Honduras.
- Oakley. (2005). *Manual de diseño, construcción, Operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad. lagunas de estabilización de Honduras*.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*, Lima, Peru.
- Organización de los estados americanos (OEA). (1984). *Limnología sanitaria, estudio de la contaminación de aguas continentales*.
- Organización mundial de la salud. (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene*, Suiza.
- Pimentel. (2017). *Día mundial del agua*.
- Pinell & López. (2017). *Evaluación operacional del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Estelí, departamento de Estelí*, Nicaragua.
- PROCOMPETENCIA. (2010). *Ficha de mercado para la industria aceitera*.
- R.Mihelcic. (2012). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*.
- Ramalho. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*.
- Rodriguez. (2015). *Rediseño del sistema de distribución de agua potable de Madriz*.
- Sanchez M. (1994). *Demanda bioquímica de oxígeno*.
- SPENA GROUP. (2015). *Tipos de tratamiento de aguas residuales*.
- Tabassum. (2015). *Un método integrado para el tratamiento de efluentes de molinos de palma de aceite (POME) para lograr una descarga de líquido cero*.
- Thompson and Duthie. (1968). *The biodegradability and treatment of NTA*, Cincinnati.

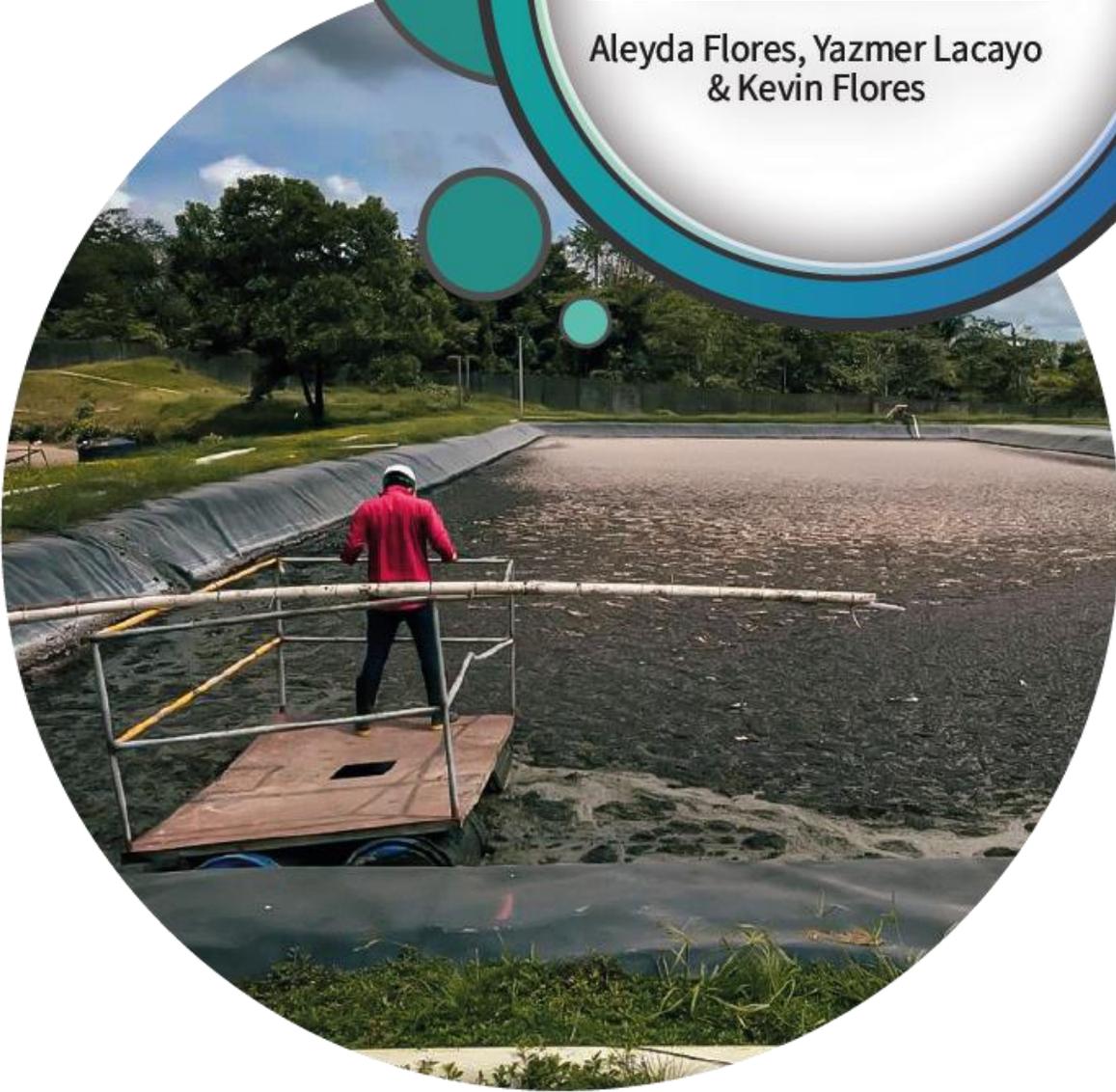
United States Department of Agriculture. (2019). *Semillas oleaginosas y productos anuales*.

United States Environmental Protection Agency. (1981). *Manual. Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*, USA.

Yanez Cossio. (1990). *Reduccion de organismos patogenos y diseño de lagunas de estabilizacion en paises en desarrollo*.

Anexos

Aleyda Flores, Yazmer Lacayo
& Kevin Flores



Actividades	Tiempo de ejecución																							
	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Visita in situ	■	■	■	■	■	■																		
Determinar las variaciones de caudal			■																					
Toma de muestras compuestas en STAR				■																				
Evaluación funcional y operacional del STAR					■	■	■																	
Análisis de resultados									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Realizar batimetría de lodos					■	■																		
Redacción del documento																						■	■	■

Anexo B.-

La ficha de campo permitirá registrar la información recolectada en el momento de medición de nata y batimetría en cada laguna.

Tabla A.-

LAGUNA N°:			
MEDICIÓN DE NIVEL DE NATAS EN TODO EL CONTORNO DE LA LAGUNA CON RESPECTO AL NPT +0.00			
PUNTO	MEDIDA	PUNTO	MEDIDA
1		13	
2		14	
3		15	
4		16	
5		17	
6		18	
7		19	
8		20	
9		21	
10		22	
11		23	
12		24	

Tabla C.-

LAGUNA N°:			
BATIMETRÍA DE LODOS MEDICIÓN EN LINEA TRANSVERSAL DE NORTE A SUR EN TODAS LAS LAGUNAS, SEGÚN POSICIÓN GEOGRÁFICA			
CORTE N°:		CORTE N°:	
PUNTO	MEDIDA	PUNTO	MEDIDA
1		1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	

Anexo C.-

Figura 31: Macro localización

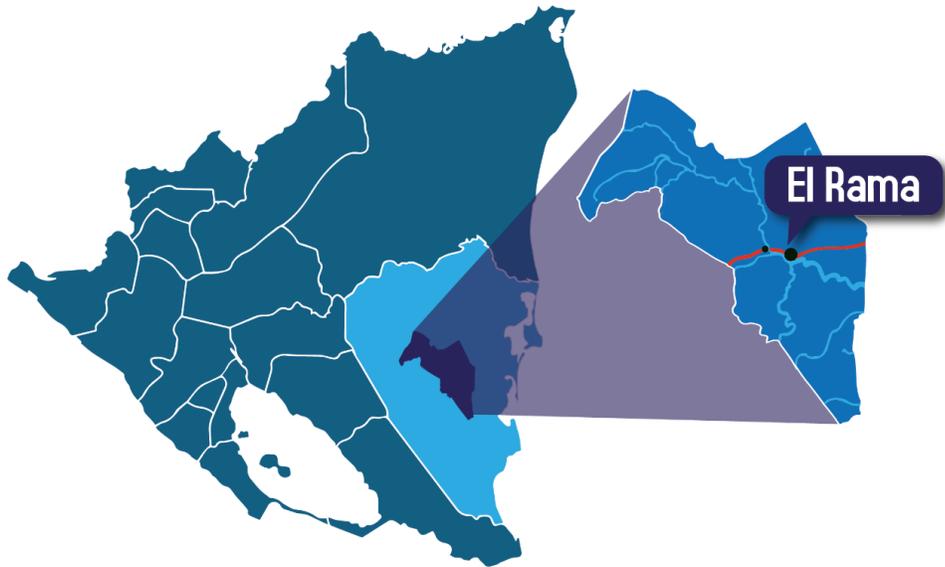
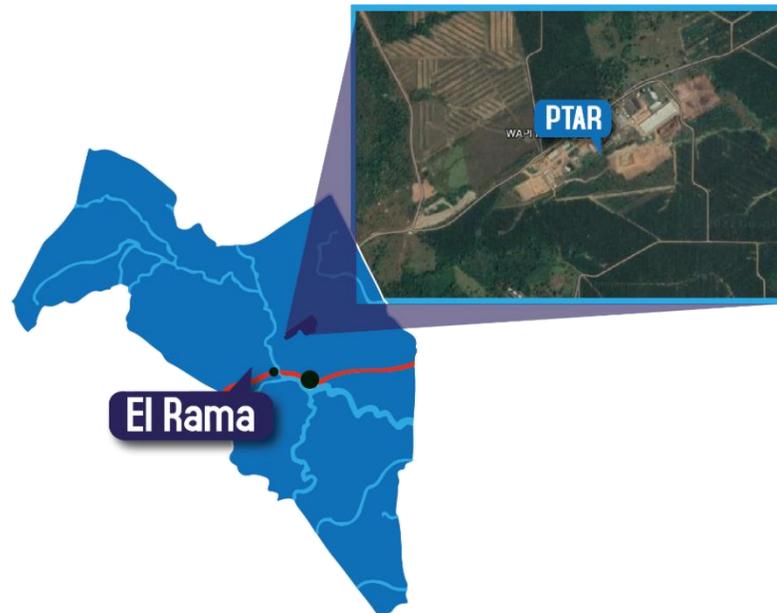


Figura 32: Micro localización



Estado de válvulas:

La PTAR actualmente cuenta con 27 válvulas de PVC distribuidas, en todo el sistema, comenzando la revisión por lagunas tenemos que:

Laguna de homogenización 1:

- Costado sur: se encuentra 1 válvula en excelente estado (V9)
- Costado norte: se encuentran 2 válvulas, ambas en mal estado con desprendimiento parcial de la maneta (V5 y V6)
- Costado este: se encuentra 1 válvula en excelente estado (V4)

Laguna de Homogenización 2:

- Costado norte: se encuentran 2 válvulas ambas en mal estado con desprendimiento parcial de la maneta (V2 y V3)
- Costado sur: se encuentran 3 válvulas todas en excelente estado (V10, V11 y V12)

Laguna de Homogenización 3:

- Costado sur: cuenta con 1 válvula en excelente estado (V7).
- Costado sur-este: cuenta con 1 válvula en mal estado con desprendimiento total de la maneta (V1).
- Costado sur-oeste: cuenta con 1 válvula en buen estado (V8).

Tanque 1:

- En el costado sur-este: se encuentran 5 válvulas ambas en excelente estado (V13, V14, V15, V16 y V17).
- En el costado noroeste (en la parte de arriba de vertido en el tanque): se encuentra 1 válvula en excelente estado (V20).

Tanque 2:

- En el costado norte: se encuentran 3 válvulas en buen estado (V18, V19 Y V21).

Laguna anaerobia 3:

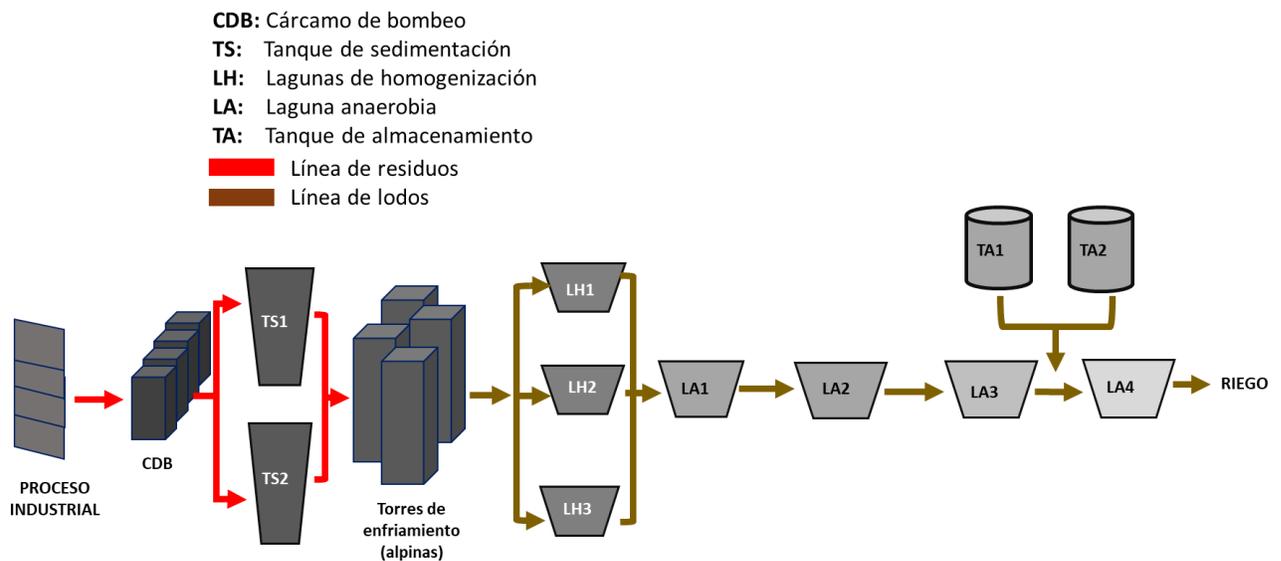
- En el costado oeste: se encuentran 3 válvulas todas en buen estado (V22, V23 y V24) en excelente estado.

Laguna anaerobia 4:

- En el costado sur: se encuentra 2 válvula en buen estado (V25 y V26).

Laguna anaerobia 2:

- Costado sur: se encuentra 1 válvula en buen estado (V27).



Resultados de laboratorio



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-2104-0101
FTP-7.8.2.1

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELEFONO	
Inteliázul S.A.		Oficentro, Carretera Norte - Managua		NR	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Ing. Henry Vilchez		Asesor Técnico		hvilchez.extracite@gmail.com	
CELULAR		8733-7407			
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO		
Fecha y Hora de recolección	13/04/2021, 9:55 AM		Ingreso de muestra	13/04/2021	
Fuente	Efluente		Inicio de análisis	14/04/2021	
Tipo de muestra	Agua Residual Puntual		Finalización de análisis	22/04/2021	
Ubicación de la fuente	Planta Tratamiento Aguas Industriales		Emisión del certificado	23/04/2021	
Coordenadas	NR		No. Cadena de custodia	4559	
Recolectada por	Ing. (inf) Yazmer Lacayo		Código de muestra	LA-2104-0429	
Supervisor en campo	Ing. Henry Vilchez		Muestra No.	Uno (01)	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS		Art. 37*
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	831.37		700
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	450.00		400
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	496.66		150
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	0.10		1
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	222.88		NE
4500-C	Fósforo Total	mg/L	10.12		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
 Abreviaturas y símbolos: ≤ menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NR= No Reporta, NE = No Especificado en el Decreto
 Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
 EPA = Environmental Protection Agency, *Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. María Lidia Gómez
 Coordinadora de Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

000787

Dirección: (505) 22781462 • Área Académica 2270-5613 y 8886-6702 (M); Atención al Cliente: 2270-1517 y 8152-7314 (M)
 Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: atencion.cliente@piensa.uni.edu.ni, infopiensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-2104-0101
FTP-7.3.2.1

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELEFONO
Inteliazul S.A.		Oficentro, Carretera Norte - Managua		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Ing. Henry Vilchez		Asesor Técnico	hvilchez.extracete@gmail.com	8733-7407
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO	
Fecha y Hora de recolección	13/04/2021; 10:05 AM		Ingreso de muestra	13/04/2021
Fuente	Salida Tanque		Inicio de análisis	14/04/2021
Tipo de muestra	Agua Residual Puntual		Finalización de análisis	22/04/2021
Ubicación de la fuente	Planta Tratamiento Aguas Industriales		Emisión del certificado	23/04/2021
Coordenadas	NR		No. Cadena de custodia	4559
Recolectada por	Ing. (inf.) Yazmer Lacayo		Código de muestra	LA-2104-0430
Supervisor en campo	Ing. Henry Vilchez		Muestra No.	Dos (02)
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art. 37*
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	25,411.76	700
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15,500.00	400
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	31,380.00	150
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	900.00	1

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: s menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NR= No Reporta, NE = No Especificado en el Decreto
Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, *Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. Mariatidia Gomez
Coordinadora de Laboratorios Ambientales
PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

000788



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-2104-0101
FIT-7.8.21

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELEFONO
Intelezui S.A.		Oficentro, Carretera Norte - Managua		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Ing. Henry Vilchez		Asesor Técnico	hvilchez.extracete@gmail.com	8733-7407
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO	
Fecha y Hora de recolección	13/04/2021; 9:50 AM		Ingreso de muestra	13/04/2021
Fuente	Salida Laguna Anaerobia 3		Inicio de análisis	14/04/2021
Tipo de muestra	Agua Residual Puntual		Finalización de análisis	22/04/2021
Ubicación de la fuente	Planta Tratamiento Aguas Industriales		Emisión del certificado	23/04/2021
Coordenadas	NR		No. Cadena de custodia	4559
Recolectada por	Ing. (inf) Yazmer Lacayo		Código de muestra	LA-2104-0431
Supervisor en campo	Ing. Henry Vilchez		Muestra No.	Tres (03)
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art. 37*
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	899.35	700
5210-B	Demanda Bicquímica de Oxígeno	mg/L	440.00	400
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	436.00	150
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	0.10	1

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: <= menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NR= No Reporta, NE = No Especificado en el Decreto
Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, "Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confiabilidad e imparcialidad del informe.

000789



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-2104-0101

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELEFONO
Inteliazul S.A.		Oficentro, Carretera Norte - Managua		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Ing. Henry Vilchez		Asesor Técnico	hvilchez.extracite@gmail.com	8733-7407
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO	
Fecha y Hora de recolección	13/04/2021; 9:21 AM		Ingreso de muestra	13/04/2021
Fuente	Salida Laguna Anaerobia 2		Inicio de análisis	14/04/2021
Tipo de muestra	Agua Residual Puntual		Finalización de análisis	22/04/2021
Ubicación de la fuente	Planta de Tratamiento Aguas Industriales		Emisión del certificado	23/04/2021
Coordenadas	NR		No. Cadena de custodia	4559
Recolectada por	Ing. (Inf.) Yazmer Lacayo		Código de muestra	LA-2104-0432
Supervisor en campo	Ing. Henry Vilchez		Muestra No.	Cuatro (04)
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art. 37*
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1,694.12	700
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	840.00	400
2540-D	Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	1,135.00	150
4500-B	Nitrógeno Total	mg/L	308.56	NE
4500-C	Fósforo Total	mg/L	14.35	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: <= menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NR= No Reporta, NE = No Especificado en el Decreto
Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, "Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


 Ing. Mariadida Gómez
 Coordinadora de Laboratorios Ambientales
 Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio y el Cliente. Aseguramos la confidencialidad e imparcialidad del informe.

000790



LABORATORIOS AMBIENTALES

CERTIFICADO DE ENSAYOS

AR-2104-0101
FTP-7.3.2.1

CLIENTE		DIRECCIÓN		TELEFONO	
Inteliazul S.A.		Oficentro, Carretera Norte - Managua		NR	
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Ing. Henry Vilchez		Asesor Técnico		hvilchez.extracete@gmail.com	
				CELULAR	
				8733-7407	
DATOS DE LA MUESTRA			CONTROL DEL LABORATORIO		
Fecha y Hora de recolección	13/04/2021; 9:45 AM		Ingreso de muestra	13/04/2021	
Fuente	Salida Laguna Anaerobia 1		Inicio de análisis	14/04/2021	
Tipo de muestra	Agua Residual Puntual		Finalización de análisis	22/04/2021	
Ubicación de la fuente	Planta Tratamiento Aguas Industriales		Emisión del certificado	23/04/2021	
Coordenadas	NR		No. Cadena de custodia	4559	
Recolectada por	Ing. (Inf) Yazmer Lacayo		Código de muestra	LA-2104-0433	
Supervisor en campo	Ing. Henry Vilchez		Muestra No.	Cinco (05)	
METODO SM # EPA	ENSAYO REALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS	Art. 37*	
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	20,078.43	700	
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	9,200.00	400	
2540-D	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	17,600.00	150	
2540-F	Sólidos Sedimentables	mL/L	900.00	1	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Abreviaturas y símbolos: s menor al Límite de Detección que se especifica por parámetro, NR= No Reporta, NE = No Especificado en el Decreto
Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23 RD 2017
EPA = Environmental Protection Agency, *Decreto N° 21-2017 Reglamento en el que se establecen las Disposiciones para el vertido de Aguas Residuales.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el Cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ing. María Liza Gómez
Coordinadora de Laboratorios Ambientales
DECLARAMOS QUE ESTE INFORME DE RESULTADOS SERÁ DE USO EXCLUSIVO DEL CLIENTE, EN EL QUE SE GARANTIZA LA CONFIDENCIALIDAD E IMPARCIALIDAD DEL INFORME.



000791



LABORATORIOS QUÍMICOS, LAQUISA



LAQUISA-RT-FM-068-E

INFORME DE ANÁLISIS

Cliente: EXTRACEITE, S.A. **Lugar de muestreo:** El Rama
Dirección: Módulo A-101, Centro Ejecutivo San Marino, **Municipio/Depto.:** El Rama / RACCS
Rotonda Jean Paul Genie 400 m hacia el Oeste.
Managua
Nombre de muestra: LA4 **Fecha muestreo:** 13/04/2021
Descripción muestra: Laguna Anaerobia 4 **Fecha de realización de ensayo:** 14/04/2021-22/04/2021
Fecha ingreso: 13/04/2021 **Fecha de emisión:** 23/04/2021
Ref. laboratorio: AG-1173-21 **Muestreado por:** Cliente
Número de muestreo:

Análisis	Método	Unidad	Resultado
*pH	SMEWW 4500 H B	-	7,5
*Conductividad Eléctrica	SMEWW 2510 B	µS/cm	9555,0
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW 2540 D	mg/l	3668,0
Sólidos Sedimentables	SMEWW 2540 F	ml/l	42
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW 5210 B	mg/l	1202,00
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW 5220 B	mg/l	1923,20
Grasas y Aceites Totales	SMEWW 5520 D	mg/l	6,4

LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recibida y el cliente de la información proporcionada.
Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado por LAQUISA.

Lic. Indiana Lucia Acosta López
Vice-Directora Ejecutiva

Lic. Joel Antonio González Salmerón
Resp. de Agua

Página 1 de 1

*Los ensayos dentro del alcance de la acreditación LE-010-11-R1 son: Agua: pH, Conductividad eléctrica, Cobre, Cianuro, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Nitritos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, Suelo: Bases Intercambiables(Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio), Alimentos: Proteína en Maíz, Humedad en Granos y Aflatoxinas en Maní.

Este informe electrónico es emitido al cliente con carácter informativo, el informe oficial es impreso en hoja de papel tamaño carta, membretado, sellado y con firma manuscrita. El cliente es responsable de garantizar la no alteración del mismo.

📍 Km 83 Carretera Managua-León

📧 recepcionlaquisa@gmail.com / resultadoslaquisa@gmail.com

📞 2310 - 2583 / 8854 - 2550



LABORATORIOS QUÍMICOS, LAQUISA



LAQUISA-RT-FM-068-E

INFORME DE ANÁLISIS

Cliente: EXTRACEITE, S.A. **Lugar de muestreo:** El Rama
Dirección: Módulo A-101, Centro Ejecutivo San Marino, **Municipio/Depto.:** El Rama / RACCS
Rotonda Jean Paul Genie 400 m hacia el Oeste.
Managua
Nombre de muestra: AG **Fecha muestreo:** 13/04/2021
Descripción muestra: Afluente General **Fecha de realización de ensayo:** 14/04/2021-22/04/2021
Fecha ingreso: 13/04/2021 **Fecha de emisión:** 23/04/2021
Ref. laboratorio: AG-1174-21 **Muestreado por:** Cliente
Número de muestreo:

Análisis	Método	Unidad	Resultado
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW 5520 D	mg/l	61,252.53

*LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recibida y el cliente de la información proporcionada.
Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado por LAQUISA.*

Lic. Indiana Lucia Acosta López
Vice-Directora Ejecutiva

Lic. Joel Antonio González Salmerón
Resp. de Agua

Página 1 de 1

*Los ensayos dentro del alcance de la acreditación LE-010-11-R1 son: Agua: pH, Conductividad eléctrica, Cobre, Cianuro, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Nitritos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, Suelo: Bases Intercambiables(Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio), Alimentos: Proteína en Maíz, Humedad en Granos y Aflatoxinas en Maní.

Este informe electrónico es emitido al cliente con carácter informativo, el informe oficial es impreso en hoja de papel tamaño carta, membretado, sellado y con firma manuscrita. El cliente es responsable de garantizar la no alteración del mismo.

Km 83 Carretera Managua-León

recepcionlaquisa@gmail.com / resultadslaquisa@gmail.com

2310 - 2583 / 8854 - 2550