

**EVALUACIÓN DEL ARRANQUE, OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL
SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES RESIDUALES
DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ (CESAR)
PALMACARÁ LTDA**

JORGE LUIS BARBOSA ARRIETA

**Monografía para optar el título de
Especialista en Química Ambiental**

**Directora:
Cilenis Maria Espinoza Manjares
Jefe Laboratorio Palmas Oleaginosa de Casacará (Palmacará) Ltda**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

**EVALUACIÓN DEL ARRANQUE, OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL
SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES RESIDUALES
DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ (CESAR)
PALMACARÁ LTDA**

JORGE LUIS BARBOSA ARRIETA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006**

DEDICATORIA

Definitivamente tú Señor eres mi apoyo en esta nueva fase de mi vida, gracias por ayudarme a escalar un peldaño más en mi vida profesional.

A Maria Auxiliadora, mi madre amada que siempre ha estado apoyándome en las buenas y en las malas con sus oraciones. Madre querida, gracias por permitirme ser mejor en la vida.

A mi esposa, Viviana, por darme voz de aliento y apoyo para culminar esta nueva etapa de la vida. A Maria Valeria, mi hija, por convertirse en mi máximo estímulo para lograr este objetivo de vida, gracias nenita por estar alegrando nuestras vidas.

A mi padre, mi hermana, tía Ligia con sus incansables oraciones, abuela y Jesús David por su apoyo desde la lejanía.

A mis amigos de camino, Fernando, Oscar, Cesar, Ricardo, Chucho, Nata, Yadira y todos los demás por su compañerismo en las tareas laboradas a través de estos estudios.

AGRADECIMIENTO

La realización de este proyecto fue posible gracias a la colaboración del Dr. Fernando Restrepo Isignares, Gerente de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará - Cesar Ltda.; quien con su apoyo financiero e intelectual permitió la culminación de este proyecto para el mejoramiento de esta gran empresa.

Al Ingeniero Nain Pérez Nieves, director de la Empresa Palmas Oleaginosa de Casacará – Cesar LTDA. Por su colaboración y orientación.

Al Ingeniero Edgar Yañez, funcionario CENIPALMA, por su apoyo logístico.

A la Dra. Cilenis Maria Espinoza, por ser la principal guía de apoyo en la culminación de esta ultima etapa de estudio.

Al Dr. Jairo Puente por su valiosa colaboración en la revisión de la primera fase de este proyecto hecho realidad.

A la Dra. Luz Yolanda Vargas por aceptar ser la calificadora de este proyecto.

A Rosita y Julieth por su apoyo incondicional en el transcurso de la especialización.

Y a todas aquellas personas que me expresaron sus sinceras palabras de apoyo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 PALMA AFRICANA DE ACEITE	3
1.1.1 Historia	3
1.1.2 Tipos de Palma Africana	4
1.1.2.1. Pisífera	4
1.1.2.2. Dura	5
1.1.2.3. Ténera	5
1.1.3 Proceso Agroindustrial	5
1.1.4 Producción	6
1.1.5 Características del aceite de palma	7
1.1.6 La Palma de aceite, un cultivo verde	7
1.2. DESCRIPCION GLOBAL DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	8
1.3. CONTAMINANTES PROPIOS DEL PROCESO DE EXTRACCION	9
1.3.1. Vertimientos.	9
1.3.2 Residuos Sólidos	12
1.3.2.1 Tusas.	12
1.3.2.2 Cáscara y cascarilla.	12
1.3.3 Emisiones Atmosféricas	12
1.4. SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES.	13
2. PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARA (PALMACARA) LTDA	18

2.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA.	18
2.1.1 Lagunas de Estabilización	18
2.2. ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA	20
2.2.1. Tratamiento primario o físico	20
2.2.2 Sedimentación	20
2.2.3 Tratamiento secundario o biológico	20
2.3 UNIDADES DE TRATAMIENTO UTILIZADOS PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA.	22
2.3.1. Pretratamiento	22
2.3.1.1. Florentinos	22
2.3.1.2. Rejillas	22
2.3.1.3. Piscina de enfriamiento	22
2.3.2 Lagunas de estabilización	23
2.3.2.1. Laguna anaerobia facultativa	24
2.3.2.2. Laguna facultativa	25
2.3.2.3. Lagunas aerobias	25
2.3.2.4. Laguna de maduración	25
2.4 PARAMETROS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA.	26
2.4.1 Características de las aguas residuales	26
2.4.1.1 Características físicas	26
2.4.1.1.1 Sólidos totales	26
2.4.1.1.2 Olores	26

2.4.1.1.3 Temperatura	26
2.4.1.1.4 Densidad	27
2.4.1.1.5 Color	27
2.4.1.1.6 Turbiedad	27
2.4.1.2 Características químicas	27
2.4.1.2.1 Materia orgánica	27
2.4.1.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	27
2.4.1.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO).	28
2.4.1.2.4 Materia inorgánica	28
2.4.1.2.5 pH	28
2.4.1.2.6 Nitrógeno	28
2.4.1.2.7 Fósforo	28
2.4.1.2.8 Gases	28
2.4.1.2.9 Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S)	29
2.4.1.3 Características biológicas	29
3. MARCO LEGAL	31
3.1. Ley 09 de enero de 1979	31
3.1.1. Artículo 10	31
3.1.2. Artículo 15	31
3.1.3. Artículo 19	31
3.2. Decreto N° 1594 del 26 de junio de 1984	32
3.2.1. Artículo 72	32
3.2.2. Artículo 75	32
3.2.3. Artículo 76	33

3.2.4. Artículo 77	33
3.2.5. Artículo 78	33
3.2.6. Artículo 79	34
4. METODOLOGIA	35
4.1 FASE I. ANALISIS MICROBIOLOGICO DEL AFLUENTE	36
4.1.1. Toma de muestra	37
4.1.2 Determinación microbiológica	37
4.1.3 Técnica de muestreo para microalgas.	37
4.1.4 Cepas bacterianas	38
4.1.5 Cepas de microalgas	38
4.2 FASE II. ARRANQUE BIOLÓGICO EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.	39
4.2.1. Seguimiento de parámetros fisicoquímicos en las lagunas de estabilización.	39
4.2.1.1. Determinación de pH.	40
4.2.1.2 Determinación de Sólidos Totales.	40
4.2.1.3. Determinación de Alcalinidad.	40
4.2.1.4 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	41
4.2.1.5 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	41
4.3. FASE III. EVALUACION DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES	41
4.3.1 Cálculo para determinar la carga orgánica diaria	42
5. RESULTADOS Y DISCUSION	44
5.1. FASE I. ANALISIS MICROBIOLOGICO DEL AFLUENTE RESIDUAL	44
5.1.1 Cepas bacterianas	44
5.2. FASE II. ARRANQUE BIOLOGICO EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.	45
5.2.1. Seguimiento de parámetros fisicoquímicos en las lagunas de estabilización.	45

5.2.1.1 Evaluación del parámetro fisicoquímico pH durante el período de estudio	45
5.2.1. Evaluación de la temperatura durante el período de estudio	47
5.2.3. Evaluación de la alcalinidad durante el período de estudio	49
5.2.4. Evaluación de Demanda Bioquímica de Oxígeno durante el período de estudio	50
5.2.5. Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno durante el período de estudio.	52
5.2.6. Evaluación de los sólidos totales durante el período de estudio	53
5.3. FASE III. EVALUACION DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES	55
5.3.1. Carga orgánica diaria	55
6. CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del aceite de palma	7
Tabla 2. Efluentes líquidos en una extractora de aceite de palma	10
Tabla 3. Caracterización de efluentes de plantas extractoras en Colombia	11
Tabla 4. Principales procesos de tratamiento biológico	15
Tabla 5. Eficiencias típicas de remoción	21
Tabla 6. Dimensiones de las lagunas de estabilización de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	23
Tabla 7. Normatividad para usuarios nuevos y existentes	32
Tabla 8. Bacterias aisladas y el compuesto que degradan	44
Tabla 9. pH de efluentes residuales de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	46
Tabla 10. Valor de la temperatura de efluente residual de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	47
Tabla 11. Valor de alcalinidad total del efluente residual de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	49
Tabla 12. Valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) del efluente residual de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda	50
Tabla 13. Valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente residual de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	52
Tabla 14. Valor de sólidos totales del efluente residual tratado de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	53
Tabla 15. Reporte de entrada al sistema de tratamiento de aguas residuales empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	55
Tabla 16. Reporte de salida al sistema de tratamiento de aguas residuales empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	55
Tabla 17. Cálculos de la carga contaminante diaria y porcentajes de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Palma africana de Aceite	3
Figura 2. Planta extractora de aceite	5
Figura 3. Proceso de extracción de aceite.	8
Figura 4. (a) Proceso aerobio, (b) proceso anaerobio	16
Figura 5. Diagrama de flujo de las lagunas de estabilización de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacar Ltda.	24
Figura 6. Metodología experimental y analítica.	35
Figura 7. Metodología de pruebas microbiológicas.	36
Figura 8. pH del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacar Ltda.	46
Figura 9. Valor de temperatura del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacar Ltda.	48
Figura 10. Valor de alcalinidad total del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacar Ltda	49
Figura 11. Valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacar Ltda.	51
Figura 12. Valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacar Ltda.	52
Figura 13. Valor de sólidos totales del efluente residual tratado de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacar Ltda.	54

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Definiciones y Procedimientos analíticos	62
Anexo B. Registro fotográfico del sistema de tratamiento, lagunas de estabilización de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.	69
Anexo C. Registro fotográfico de las bacterias seleccionadas en el sistema de tratamiento de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda	72

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL ARRANQUE, OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES RESIDUALES DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ (CESAR) PALMACARÁ LTDA*

AUTOR: Barbosa Arrieta, Jorge Luis ** **

PALABRAS CLAVES: Tratamiento biológico, efluentes, lagunas de estabilización, carga orgánica,

DESCRIPCION: La empresa palmas oleaginosas de Casacarà Ltda, localizada en el corregimiento de Casacarà, municipio de Agustín Codazzi, en el departamento del Cesar, con una temperatura de 29 a 30 °C, se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales, por medio de lagunas de estabilización que permitieron la obtención y multiplicación de bacterias biodegradadoras de material orgánico.

Estas nos permitieron la estabilización de las aguas llevando consigo la disminución de material orgánico, erradicación de malos olores, cambio de color del efluente, y por ende la reutilización del mismo para el regadío de la plantación, pero sin perder las características benéficas como; el contenido de potasio, sodio, magnesio.

Las dos primeras lagunas fueron tratadas además del contenido bacteriano con cal viva para neutralizar los ácidos producidos y por ende el olor putrefacto.

El proceso se realizó en 304 días comprendiendo los meses de febrero a noviembre del año 2004.

Como aporte a la solución de la problemática de contaminación ambiental, surge la idea de implementar las lagunas de estabilización para las aguas residuales las cuales garantizan un adecuado tratamiento de las mismas evitando que se conviertan en un agente contaminante tanto para el medio ambiente, para las fuentes naturales, como para la población en general.

Además se busca evitar la descarga directa de las aguas residuales a los cuerpos de agua para mantener su calidad, así como de promover la aplicación de nuevas alternativas para reducir al máximo las cargas contaminantes a los sistemas acuáticos y disponer en forma adecuada los lodos de las piscinas para su posterior utilización en el campo, para la fertilización de las plantas de palma africana la búsqueda de una nueva alternativa para el uso y reconversión para la reutilización de los recursos.

* Monografía

** Universidad Industrial de Santander, Especialización en Química Ambiental, Escuela de Química.
Asesor: Cilenis Maria Espinosa Manjarrés

SUMMARY

TITLE: EVALUATION OF THE STARTING, OPERATION AND PURSUIT OF THE WASTEWATER BIOLOGICAL TREATMENT SYSTEM THE COMPANY OILY PALMS OF CASACARÁ (CESAR) PALMACARÁ LTDA.*

AUTHORS: Barbosa Arrieta, Jorge Luis^{**},**

KEY WORDS: Biological treatment, wastewater, stabilization lagoons, organic load.

DESCRIPTION: The company oleaginous palms of limited Casacar , located in the corregimiento of Casacar , municipality of Agustín Codazzi, in the department of the Cesar, with a temperature of 29 to 30  C, you design a system of treatment of residual waters, by means of stabilization lagoons that allowed the obtaining and multiplication of bacterias biodegradadas of organic material.

This allowed us the stabilization of the waters taking get. The decrease of organic material, eradication of bad scents, change of color of the effluent, and of course the reutilization of the same one for the irrigable of the plantation, but without losing the beneficent characteristics as; the content of potassium, sodium, magnesium.

The first two lagoons were treated besides the bacterial content with alive lime to neutralize the produced acids and of course the rotten scent.

The process was carried out in 304 days understanding the months of February to November of the year 2004.

As contribution to the solution of the problem of environmental contamination, the idea arises of implementing the stabilization lagoons for the wastewaters which guarantee an appropriate treatment of the same ones avoiding that they become a so much polluting agent for the environment, for the natural sources, like for the population in general.

It is also looked for to avoid the direct discharge from the wastewaters to the bodies of water to maintain their quality, as well as of promoting the application of new alternatives to reduce to the maximum the polluting loads to the aquatic systems and to prepare in appropriate form the muds of the pools for their later use in the field, for the fertilization of the plants of African palm the search of a new alternative for the use and reconversión for the reutilization of the resources.

* Monografy

** Industrial University of Santander Environment Chemistry Specialization, School of Chemistry.
Adviser: Cilenis María Espinoza Manjarrés

INTRODUCCION

La problemática ambiental ha sido uno de los temas de interés tratados por todos los países del mundo en los últimos tiempos, con el fin de encontrar salidas a este asunto que aqueja a la humanidad. Este tema ha surgido debido a la gran cantidad de residuos contaminantes generados, producto de actividades económicas desarrolladas por el hombre que se viene presentando en el transcurso de la historia.

La responsabilidad del medio ambiente es un problema que muchas industrias tienen que afrontar en función de una mejor conservación del mismo, por ende optimizar sus procesos de tratamientos de efluentes o mejorar las condiciones de producción (producción mas limpia) se convierten en unos de sus principales deberes al momento de cumplir con la normatibilidad ambiental establecida por la legislación colombiana.

El proyecto busca disminuir los problemas medioambientales del vertimiento originado durante el proceso de extracción de aceite de palma africana de la empresa palmas oleaginosas de Casacará Ltda, provenientes del proceso de esterilización, prensado, clarificación, palmisteria, mantenimiento, lavado de equipos, y de los hidrociclones o tanques lavadores; los cuales anteriormente eran vertidos a las fuentes de aguas naturales sin ningún tipo de tratamiento, llevando consigo la producción de malos olores, aparición de plagas, infecciones dermatológicas a los empleados y la disminución de la flora y fauna acuática.

Por lo tanto es necesario implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas de estabilización, anaerobias facultativas, aerobias y de maduración (aerobia), con el fin de evitar la contaminación por vertimientos de efluentes residuales a los cuerpos de aguas naturales que

alteren su calidad, así como de promover la aplicación de nuevas alternativas de uso y reconversión para la reutilización de los recursos.

El objetivo general de este proyecto fue evaluar el arranque, operación y seguimiento del sistema de tratamiento biológico de efluentes residuales de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Cesar LTDA.

Los objetivos específicos plantearon:

- Estudiar la diversidad microbiana presente en el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante la realización de análisis físico, químico y microbiológico.
- Aplicar conocimientos básicos que permitan a mediano o largo plazo aplicar tecnologías biológicas para el tratamiento de efluentes residuales de extractoras de aceite de Palma Africana.
- Alcanzar mediante el tratamiento biológico una alta eficiencia en la remoción de la materia orgánica y consecuentemente un efluente de calidad que cumpla la normatividad ambiental colombiana regida en el decreto 1594/84.
- Determinar una posible reutilización del efluente residual del proceso de extracción de aceite de palma africana, para el riego en la agricultura de palmas de aceite.

1. REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1 PALMA AFRICANA DE ACEITE

1.1.1. Historia

La palma de aceite es una planta tropical propia de climas cálidos que crece en tierras por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar. Su origen se ubica en el golfo de Guinea en el África occidental. De ahí su nombre científico, *Elaeis guineensis* Jacq., y su denominación popular: palma africana de aceite. (ver figura 1)



Figura 1. Palma africana de aceite.

FUENTE: www.fedpalma.org

Su introducción a la América tropical se atribuye a los colonizadores y comerciantes esclavos portugueses, que la usaban como parte de su dieta alimentaria de los esclavos en el Brasil.

En 1932, Florentino Claes fue quien introdujo la palma africana de aceite en Colombia y fueron sembradas con fines ornamentales en la Estación Agrícola de Palmira (Valle del Cauca). Pero el cultivo comercial sólo comenzó en 1945 cuando la United Fruit Company estableció una plantación en la zona bananera del departamento del Magdalena.

La expansión del cultivo en Colombia ha mantenido un crecimiento sostenido. A mediados de la década de 1960 existían 18.000 hectáreas en producción y hoy existen más de 150.000 hectáreas en 54 municipios del país distribuidos en cuatro zonas productivas:

- **Norte** - Magdalena, norte del Cesar, Atlántico, Guajira
- **Central** - Santander, Norte de Santander, sur del Cesar, Bolívar
- **Oriental** - Meta, Cundinamarca, Casanare, Caquetá
- **Occidental** - Nariño

Colombia es el primer productor de palma de aceite en América Latina y el cuarto en el mundo. Tiene como fortaleza un gremio que cuenta con sólidas instituciones, ya que desde 1962 fue creada la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite.(www.fedepalma.org)

1.1.2 Tipos de palma africana

Los tipos de palma africana más relevantes se establecen de acuerdo con el grosor del cuesco o endocarpio del fruto, característica íntimamente ligada con la producción de aceite. Se clasifican en tres tipos:

1.1.2.1. Pisífera: Son palmas cuyos frutos prácticamente no tienen cuesco, sino un cartílago blando. Carecen de interés para cualquier cultivo comercial.

1.1.2.2. Dura: Se cultivó comercialmente en todo el mundo hasta finales de los años sesenta. Su principal característica era la presencia de un gran cuesco, de dos a ocho milímetros de espesor en los frutos, en detrimento del porcentaje de pulpa, y por tanto, del contenido de aceite. Este cultivo es poco rentable y competitivo.

1.1.2.3. Ténera: Es un híbrido obtenido del cruzamiento de pisífera y dura, por lo tanto el cuesco del fruto es delgado y la proporción de pulpa bastante mayor; por ende el contenido de aceite es significativamente más abundante. Las palmas de este tipo son las más sembradas en plantaciones comerciales a escala mundial.

1.1.3. Proceso agroindustrial

La palma de aceite es un cultivo perenne y de tardío y largo rendimiento ya que la vida productiva puede durar más de 50 años, pero desde los 25 se dificulta su cosecha por la altura del tallo.

El procesamiento de los frutos de la palma de aceite se lleva a cabo en la planta de beneficio o planta extractora (ver figura 2). Ahí se desarrolla el proceso de extracción del aceite crudo de palma y de las almendras o del palmiste. Este es un proceso simple que consiste en esterilizar los frutos, desgranarlos de racimo, macerarlos, extraer el aceite de la pulpa, clarificarlo y recuperar las almendras del bagazo resultante.



Figura 2. Planta extractora de aceite.FUENTE: www.fedepalma.org

De la almendra se obtienen dos productos: el aceite de palmiste y la torta de palmiste que sirve para alimentos concentrados de animales.

Al fraccionar el aceite de palma se obtienen también dos productos: la oleína, que es líquida y sirve para mezclar con aceites de semillas oleaginosas, y la estearina que es más sólida y sirve para producir grasas, principalmente margarinas y jabones.

1.1.4. Producción

En cuanto al papel que el aceite de palma representa en el subsector Aceites y Grasas, su producción no solamente ha permitido compensar la caída de otras semillas oleaginosas, como la soya, el algodón y el ajonjolí y el estancamiento de la producción de sebos de bovino, sino que también se ha consolidado como la principal materia prima en la producción nacional de aceites y grasas animales y vegetales.

Los racimos de fruta fresca (RFF) oleaginosos emitidos pueden alcanzar producciones de 4.2 toneladas durante su vida productiva, lo que representa unas 600 toneladas acumuladas de fruta por hectárea, cuando el proceso productivo se desarrolla en condiciones óptimas de suelo, clima, nutrición, mantenimiento, sanidad y administración.

Cuando es posible aplicar un alto nivel de tecnología en el manejo de los suelos y la nutrición, del agua, de las plagas y enfermedades, de las malezas que compiten por agua y nutrientes, de la cosecha y demás labores del cultivo, se pueden llegar a tener producciones de alrededor de 10 toneladas de fruta por hectárea entre los 24 y 36 meses de edad de la palma.

En Colombia existen sesenta y cuatro (64) plantas extractoras de aceite de palma, pero sólo cincuenta y tres (53) operan actualmente para procesar el fruto de 128000 Hectáreas cultivadas.

1.1.5. Características del aceite de palma

El aceite de palma se compone de alrededor de 50% de ácidos saturados (esencialmente palmítico) y 50% de ácidos grasos insaturados (ácido oléico y linoléico). Difiere mucho de otros aceites vegetales como el de girasol o de soya, que se componen principalmente de ácidos grasos insaturados, y de los aceites de palmiste y coco, que contienen esencialmente ácidos grasos saturados. El color rojizo característico del aceite crudo es debido a los carotenoides liposolubles (0.05 - 0.2 %), que también son responsables del contenido elevado en provitamina A del aceite de Palma. Sin embargo, en la mayor parte de los casos en que es utilizado dentro de productos comestibles, el aceite es decolorado y este proceso de refinado destruye la provitamina A.

Algunas propiedades físico-químicas del aceite de palma son mostradas en la tabla 1:

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del aceite de Palma.

Densidad (50°C)	0,893 g/ml
Índice Refracción (60°C)	1,4510
Índice Yodo	196,4 - 206
Índice Saponificación	34,2 - 58,5

1.1.6. La Palma de aceite, un cultivo verde

Para evitar el uso de plaguicidas químicos, se han implementado diversas técnicas de control biológico.

Dentro de los cultivos de semillas oleaginosas, la palma de aceite es la más eficiente en la conversión de energía.

Los cultivos de palma de aceite son bosques protectores de los ecosistemas.

La técnica de siembra de los cultivos de palma de aceite previene la erosión.

1.2. DESCRIPCIÓN GLOBAL DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA

En la extracción por prensado, la fruta es sometida, mediante efectos de presión y temperatura a los procesos de esterilización, desfrutamiento, digestión, prensados (extracción) y clarificación.

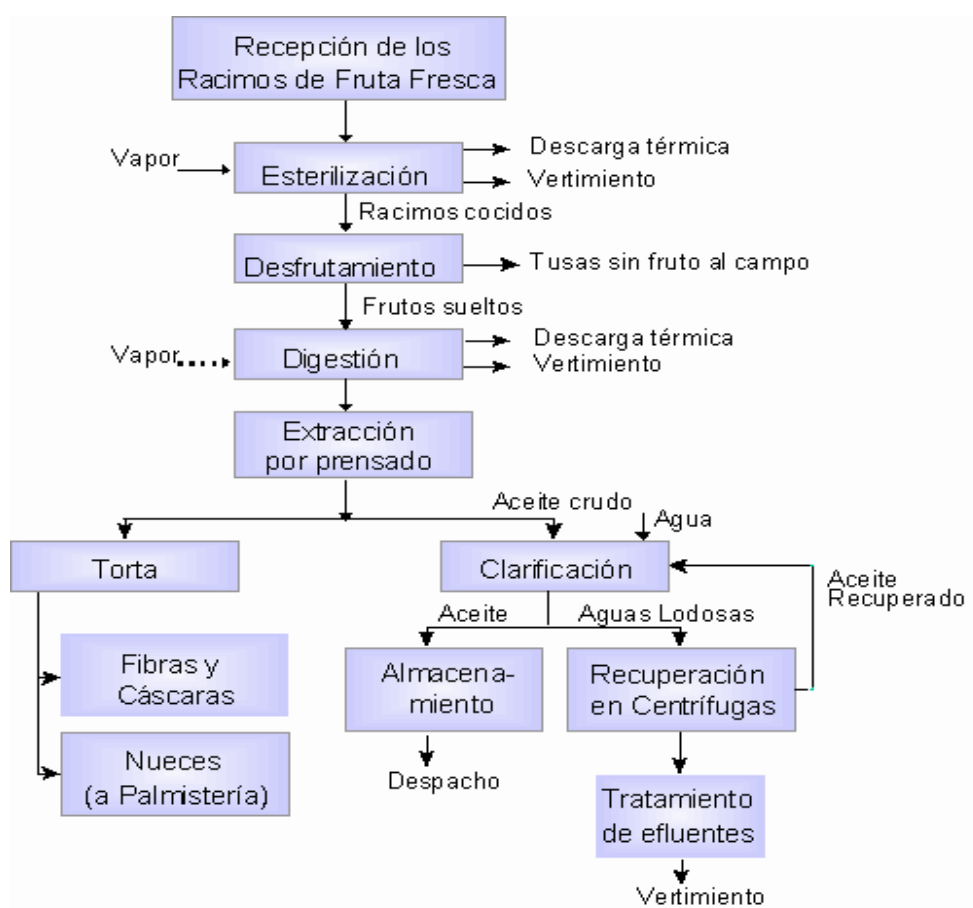


Figura 3. Proceso de extracción de aceite.

FUENTE: www.tecnologiaslimpias.org

La esterilización se hace con vapor de agua para facilitar los procesos subsiguientes; el condensado del vapor de agua constituye el primer vertimiento y el vapor de agua no condensado se descarga a la atmósfera. Los frutos esterilizados son separados de las tusas que los contienen y luego pasan al digester donde se les inyecta vapor para acondicionarlos para el prensado. Este vapor condensado constituye otro vertimiento y el no condensado una descarga térmica aérea.

La fruta es prensada para extraer el aceite, que se mezcla con agua y finalmente es enviado al proceso de clarificación. La clarificación es indispensable ya que el aceite va acompañado de grandes cantidades de masa celular y agua. La torta, en el caso de la palma, contiene fibras y nueces, las primeras son secadas y alimentadas a la caldera aprovechándola como fuente de energía, mientras que las nueces sin cáscaras, llamadas almendras, son sometidas al proceso de extracción para obtener el aceite de palmiste.(ver figura 3)

1.3. CONTAMINANTES PROPIOS DEL PROCESO DE EXTRACCION

Se entiende como contaminantes propios del proceso, aquellos que se generan durante las etapas básicas del procesamiento sin las cuales no se podría obtener el producto requerido.

1.3.1. Vertimientos. La generación de vertimientos durante el proceso de extracción, se encuentra localizada principalmente en las etapas de clarificación y esterilización. También existen otras descargas: en la sección de palmistería cuando se dispone de hidrociclones, en las purgas de los tanques desarenadores y sedimentadores y las descargas de aguas de lavado.

Tabla 2. Efluentes líquidos en una extractora de aceite de palma.

Efluentes líquidos	m³/tonRFF
Aguas lodosas de clarificación	0.55
Condensados de esterilización	0.10
Aguas de palmistería (Hidrociclones)	0.05
Aguas de limpieza de pisos y de purgas.	0.10
Efluente Total (sin purgas* y fugas)	0.80

*Purgas de los tanques desarenadores y del sedimentador.

FUENTE: www.tecnologiaslimpias.com

La cantidad de efluentes producidos en las plantas extractoras de aceite de palma en Colombia, oscila entre 0.55 y 1.20 m³ de agua / tonRFF, con un promedio de 0.80 m³ de agua / tonRFF. El rango de capacidad de procesamiento de las plantas extractoras de Colombia, es de 3 a 45 tonRFF/h. Para una jornada de trabajo de 8 horas, los efluentes por día oscilarían entre 20 y 295 m³, sin embargo, la producción de la palma de aceite presenta períodos de muy alta y muy baja producción, por lo cual, los diseños de sistemas de tratamiento deben ajustarse para el máximo caudal, así, para el ejemplo mostrado anteriormente, si la jornada es de 20 horas / día, los efluentes producidos serían 50 y 738 m³/día.

Debido a la alta carga orgánica que presentan los efluentes de las plantas extractoras por su contenido de aceite y por el arrastre de material celular (fibras, etc.), estos efluentes presentan un alto valor en la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), además de su contenido de arenillas, piedras y tierras lo que incrementa el nivel de Sólidos totales. En la tabla 3 se presenta un promedio de la caracterización de los efluentes antes de tratamiento para plantas extractoras en Colombia.

Tabla 3.Caracterización de efluentes de plantas extractoras en Colombia

PARÁMETRO	UNIDAD	RANGO	PROMEDIO
pH	unidad	3,87 - 5,25	4,55
Temperatura	°C	53 - 77	67,4
DBO ₅	mg / l	18700 - 175521	48873
DQO	mg / l	45256 - 232000	79730
Sólidos totales (ST)	mg / l	32482 - 111029	45670
Sólidos suspendidos (SS)	ml / h	19129 - 88258	35105
Sólidos sedimentables (S.SED)	mg / l	125 - 1000	677
Sólidos totales Volátiles (STV)	mg / l	26530 - 98445	48988
Fósforo total (P - total)	mg / l	15.7 - 113.6	66,1
Nitrógeno total (N - total)	mg / l	67.5 - 695	284,1
Grasas y aceites	mg / l	6480 - 80701	18747
Acidez total	mg / l	750 - 2548	1611

FUENTE : Cenipalma.1996.

De donde se pueden apreciar los altos valores en DBO y DQO, las altas temperaturas y los bajos pH como característica principal de los efluentes en las plantas extractoras colombianas. A pesar de todo esto, existe la ventaja que una alta fracción del efluente es biodegradable, ya que la relación DBO₅/DQO es de 0.61, la cual está por encima de 0.45 que es la mínima. La alta cantidad de aceite presente en los efluentes, también se considera un problema grave, pues generalmente este elemento es considerado de difícil degradación.

1.3.2 Residuos Sólidos. La producción de estos residuos se generan en diversas etapas del proceso y su volumen es muy significativo.

1.3.2.1 Tusas. Los racimos vacíos, raquis o tusas una vez se obtienen libres de las frutas, durante el proceso de desfrutamiento, se transportan a los lotes de cultivos, donde son extendidos por el suelo como abono, gracias a la cantidad de nutrientes que contienen y generan en su descomposición (potasio, nitrógeno, fósforo, etc.).

1.3.2.2 Cáscara y cascarilla. Estos son otros residuos que se generan durante la extracción, en la etapa de palmistería, durante el rompimiento de las nueces para obtener la almendra con la que se produce el aceite de palmiste. El porcentaje de cáscara en el racimo de fruta fresca es de 8.5 % aproximadamente; ésta es usada para iniciar la combustión de la caldera gracias a su gran poder calorífico, para relleno de las bolsas de vivero, para dar permeabilidad a la tierra que contendrá las futuras palmas y para producir carbón vegetal en briquetas.

1.3.3 Emisiones Atmosféricas. Estas se originan principalmente en la combustión que se efectúa en las calderas, aunque sin duda, el manejo y transporte de los racimos y de los frutos, junto con la fibra, nueces y almendra aportan material particulado en la zona de trabajo. Algunas plantas cuentan con ciclones como elementos de control de emisiones y recuperación de material. (www.tecnologiaslimpias.org)

1.4. SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

Como efluentes de una planta extractora se consideran las aguas resultantes, en orden de volumen, de los siguientes procesos: clarificación, esterilización, palmistería, limpieza de pisos y purgas.

Antes de efectuar un diseño de tratamientos de efluentes de una planta extractora de aceite de palma, se debe primero pensar en optimizar el proceso productivo. Un manejo adecuado de los programas de recuperación de aceite, como son el uso de centrifugas deslodadoras y de volúmenes de florentinos aceptables de acuerdo a la producción, ayudan a disminuir el contenido de aceite en los efluentes. Así mismo, la separación de las aguas lluvias de las aguas del proceso, disminuyen el volumen de los efluentes a tratar. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es optimizar el consumo de agua dentro del proceso, lo cual se puede lograr efectuando unos buenos controles de la dilución en la etapa de clarificación, y evitando el desperdicio de agua durante la limpieza.

Dentro de las alternativas para el diseño de tratamientos de efluentes, se encuentran los sistemas fisicoquímicos y los tratamientos biológicos. Por ensayos realizados en Malasia, primer productor mundial de aceite de palma, el uso de productos químicos para coagulación-floculación, no es recomendable por su alto costo e ineficiencia de remoción de la materia orgánica, además, los sólidos que se forman en la sedimentación constituyen un problema de manejo ambiental. El alto contenido de sólidos (mayor de 30.000 mg/l), y la presencia de aceites y grasas (mayor de 7.000 mg/l), confirman el problema de tratamiento por sistemas químicos convencionales. De la caracterización de efluentes de plantas extractoras se puede concluir que los problemas asociados con estos residuos son la elevada temperatura, bajo pH, alta carga de sólidos suspendidos y volátiles, grasas y aceites

residuales, alta carga orgánica medida como DQO, pero con la ventaja de que una alta fracción es biodegradable, si se tiene en cuenta que la relación DBO/DQO está por encima de 0.45 (mínima). Ensayos de biodescomposición en condiciones anaerobias muestran tendencias de biodegradación mayores al 70%. Sin duda los procesos biológicos son una muy buena alternativa siempre y cuando se cumpla con las siguientes condiciones básicas:

- Neutralización del desecho.
- Condiciones óptimas de temperatura (30-35 C).
- Precipitación y digestión de los sólidos orgánicos.
- Preparación y desarrollo de un cultivo biológico aclimatado.
- Balance nutricional adecuado (adición de nitrógeno y fósforo debido a las limitaciones presentes en los residuos).

Los sistemas de tratamientos biológicos pueden ser procesos aerobios, procesos anóxicos, procesos anaerobios y procesos combinados, aerobios con anóxicos o con anaerobios, aerobios, anaerobios, o una combinación de estos. Dentro de cada grupo hay, además, diferentes tipos, dependiendo de si el proceso es de crecimiento biológico suspendido, crecimiento biológico adherido o una combinación de ellos. En la tabla 2 se resumen los principales procesos del tratamiento biológico y su uso más importante.

Tabla 4. Principales procesos de tratamiento biológico

TIPO	CRECIMIENTO	PROCESO	USO PRINCIPAL
AEROBIOS	Suspendido	Lodos activados - Convencional -mezcla completa - aireación escalonada -proceso Krauss -zajón de oxidación Lagunas aireadas Digestión aerobia Lagunas aerobias	Remoción de DBO y nitrificación Remoción de DBO y nitrificación Remoción de DBO y estabilización Remoción de DBO y nitrificación
	Adherido	Filtros percoladores Torres biológicas Unidades rotatorias de contacto biológico Reactores de lecho fijo	Remoción de DBO y nitrificación Remoción de DBO y nitrificación Remoción de DBO y nitrificación Remoción de DBO y nitrificación
ANOXICO	Suspendido Adherido	Bardenpho Desnitrificación Desnitrificación	Remoción de DBO, N y P Remoción de nitrógeno Remoción de nitrógeno
ANAEROBIOS	Suspendido	Digestión anaerobia Anaerobio de contacto	Remoción de DBO-estabilización Remoción de DBO
	Híbrido	Lagunas anaerobias Manto de lodos-flujo ascensional (UASB)	Remoción de DBO-estabilización Remoción de DBO y SS
	Adherido	Filtro anaerobio Lecho expandido	Remoción de DBO-estabilización Remoción de DBO-estabilización

FUENTE: (Romero, 2002)

En Colombia, el sistema que más se ha utilizado para la degradación de las aguas residuales de las plantas extractoras de aceite, son las lagunas de estabilización, en las cuales se combinan principalmente procesos anaerobios complementados con procesos facultativos y aeróbicos.

Las lagunas de estabilización son sistemas estables de digestión anaerobia y de fácil manejo, en las cuales se garantiza una fácil operación y unas eficiencias de remoción de la materia orgánica superior al 95%. Si se tiene

sería una operación muy costosa, principalmente por el tratamiento y la disposición de la gran cantidad de lodos que se forman.

El sistema de lagunas de estabilización es un tratamiento secundario de los efluentes en la industria palmera, donde el tratamiento preliminar típico consta de rejillas y desarenadores y el tratamiento primario de florentinos y neutralización. El sistema de lagunas de estabilización está compuesto por dos etapas: una etapa anaerobia que rompe la alta carga del efluente, y una segunda etapa facultativa que depura el efluente hasta valores que permiten su vertimiento a las corrientes receptoras.

2. PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARA (PALMACARA) LTDA.

La empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. (Palmacará), la cual es una de las extractoras de aceite de palma africana con las que cuenta el departamento del Cesar. Se encuentra ubicada a 5 Kilómetros del corregimiento de Casacará, el cual cuenta con una población aproximada de 30.000 habitantes y a 15 kilómetros de la cabecera municipal, del municipio de Agustín Codazzi el cual cuenta con una población aproximada de 55.000 habitantes.

La planta extractora de aceite de palma africana de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda., comprende una extensión de 646 hectáreas, de la cual la mayor parte de la superficie de la empresa está dedicada al cultivo de palma africana de aceite. El resto del terreno esta dada a la construcción de un pequeño caserío donde habitan los trabajadores de la empresa y sus familias así como la ubicación de una escuela mixta de estudios primarios. El clima de la región comprende un bosque tropical con precipitación promedio anual de 900 – 1500 mm. Con dos periodos muy limitados (secos – lluvia), altura de 132 m.s.n.m., temperatura media anual 28 – 30 °C y humedad relativa de 68%.(Revista palmicultores, FEDEPALMA Enero de 2000).

2.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA.

2.1.1 Lagunas de Estabilización: La empresa consta de un sistema de tratamiento de aguas residuales por lagunaje, aprovechando la posibilidad de reutilización de las aguas para riego, el bajo coste de instalación y mantenimiento.

Las aguas provenientes del proceso de extracción del aceite de palma (afluente), llegan a un sistema para ser tratadas, conocido como *lagunas de estabilización*.

El agua pasa de unas a otras lagunas de distintas profundidades. En general, las primeras lagunas, más profundas, son anaerobias y las últimas son poco profundas y aerobias. Pueden también existir medias, de profundidad mediana, donde se generan tanto reacciones anaerobias como aerobias. Todo el proceso puede tardar, por término medio, unos veinte días. La efectividad de este sistema es semejante al de una depuradora convencional, e incluso mejor en lo que respecta a la eliminación de gérmenes patógenos, que desaparecen en un 99%.

La principal ventaja del lagunaje es su bajo costo, sin embargo presenta un inconveniente: requieren grandes superficies de terreno, -media hectárea por cada mil habitantes- por lo que es difícilmente aplicable a las grandes urbes. En cambio, es perfectamente válido en los núcleos rurales e incluso en ciudades medianas.

Existen cuatro (4) tipos de lagunas de estabilización:

- Lagunas anaerobias.
- Lagunas facultativas.
- Lagunas aerobias.
- Lagunas de maduración.

2.2. ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA.

El proceso de tratamiento de aguas residuales de la empresa se divide en dos etapas:

2.2.1. Tratamiento primario o físico: el tratamiento primario consta de una remoción de sólidos insolubles como arena y materiales como grasas y espuma por lo tanto el primer paso de la etapa inicial es la sedimentación y filtración de sólidos a través de rejillas. Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. La sedimentación separa tanto los sólidos decantables como aquellos que flotan. Durante esta decantación primaria existe la tendencia a que las partículas floculables formen agregados, hecho que puede ayudarse con la adición de compuestos químicos. El material que flota consiste en aceites, ceras, ácidos grasos y jabones insolubles que se conoce genéricamente como grasa.

2.2.2 Sedimentación: Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación.

2.2.3 Tratamiento secundario o biológico: El tratamiento secundario reduce un alto porcentaje de la cantidad de materia orgánica en el agua (ver tabla3). Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como

dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua al receptor.

Los procesos aeróbicos que más se aplican son las de lagunas aerobias. Las lagunas aerobias, son embalses de agua servida que ocupan una gran superficie de terreno, por lo que se emplean cuando éste es un bien barato. El agua servida así dispuesta se oxigena mediante por la difusión del aire por la superficie, permitiendo la reaireación suficiente para proporcionar oxígeno disuelto a toda la columna de agua.(MORENO, 1991)

Los anteriores tratamientos presentan una eficiencia en remoción de los distintos contaminantes mencionados. (Ver tabla 5)

Tabla 5. Eficiencias típicas de remoción

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje (%)					
	DBO	DQO	SS	P	N org	Patógenos
Rejillas	Desp ¹	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	0	Desp.
Lagunas de oxidación						
Lagunas anaerobias	50-70	---	20-60	---	---	90-99.99
Laguna aerobias	80-95	---	85-95	---	---	90-99.99
Lagunas facultativas	80-90	---	63-75	30	---	90-99.99
Lagunas de maduración	60-80	---	85-95	---	---	90-99.99

¹ Despreciable

FUENTE: (Romero, 2002)

2.3 UNIDADES DE TRATAMIENTO UTILIZADOS PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÀ LTDA.

2.3.1. Pretratamiento

Los efluentes emitidos por la planta extractora de la empresa palmas Oleaginosas de Casacarà antes de llegar a las lagunas de estabilización, pasa por un pretratamiento donde se retienen residuos de aceite y materiales sólidos. Cada una de estas series de trampas cumplen una función específica entre estas tenemos:

2.3.1.1. Florentinos: son también llamados trampas de grasas, son de gran importancia en el proceso de recuperación de aceites ya que en este, por medio de unos recolectores mecánicos se regresa gran parte del aceite que se pierde en los lodos vertidos del proceso clarificación. Los florentinos están formados por tres piscinas de 2 m de profundidad, 1 m de ancho, 1.70 m de largo cada una todas diseñadas con una serie de tubería metálica unidas entre si con un centro en forma de tasa, donde se recolecta el aceite que por su densidad de peso tiende a depositarse en la parte superior y en la parte inferior quedan los lodos los cuales son enviados a los canales de vertidos.

2.3.1.2. Rejillas: las rejillas son un tipo de trampas mecánicas formadas por una serie de varillas metálicas de 1.5 cm. de ancho por 75 cm. de alto colocadas en los canales de vertidos con el fin de retener los materiales de gran tamaño como palos, fibra, entre otros materiales sólidos.

2.3.1.3. Piscina de enfriamiento: Es el lugar donde se depositan todos los efluentes emitidos por la extractora de aceites, los cuales provienen del proceso de esterilización, digestión, extracción, clarificación, del lavado y

mantenimiento de equipos, los cuales son enviados por medio de un equipo al vacío (bombeo), mediante una serie de tuberías de 3.5 pulgadas de grosor y 15 m de largo hasta la primera laguna de estabilización (laguna facultativa).

2.3.2 Lagunas de estabilización

La empresa cuenta con una laguna anaerobia facultativa, una facultativa, dos lagunas aerobias y una laguna de maduración aerobia que es donde se depositan todos los efluentes residuales tratados, paralelas las cuales funcionan por proceso de rebose con un tiempo de retención de 2 a 3 horas, cuyas medidas se muestran a continuación (ver tabla 6).

Tabla 6. Dimensiones de las lagunas de estabilización de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda..

LAGUNAS DE ESTABILIZACION	DIMENSIONES			
	Altura (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Volumen (m ³)
Laguna anaerobia-facultativa	1.70	18	70	2142
Laguna facultativa	2.50	18	70	3150
Laguna aerobia #1	2.50	18	70	3150
Laguna aerobia #2	1.50	18	70	1890
Laguna de maduración	1.50	18	70	1890
Total	9.7	90.0	350.0	12.222

FUENTE: Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Para estabilizar las aguas residuales de la extractora de aceite emitidas durante el proceso de extracción y otros como el lavado y mantenimiento de equipos, se parte del tratamiento secundario cuyo objetivo es remover la DBO (demanda biológica de oxígeno), soluble que se escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de SS (sólidos suspendidos). Las remociones ocurren por procesos biológicos.

Cuando los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo secundario no cumplen con ciertos niveles de calidad se hace entonces necesario un tratamiento terciario o avanzado.

En la figura 5 se observa las fases del tratamiento por las que recorren las aguas residuales del proceso.

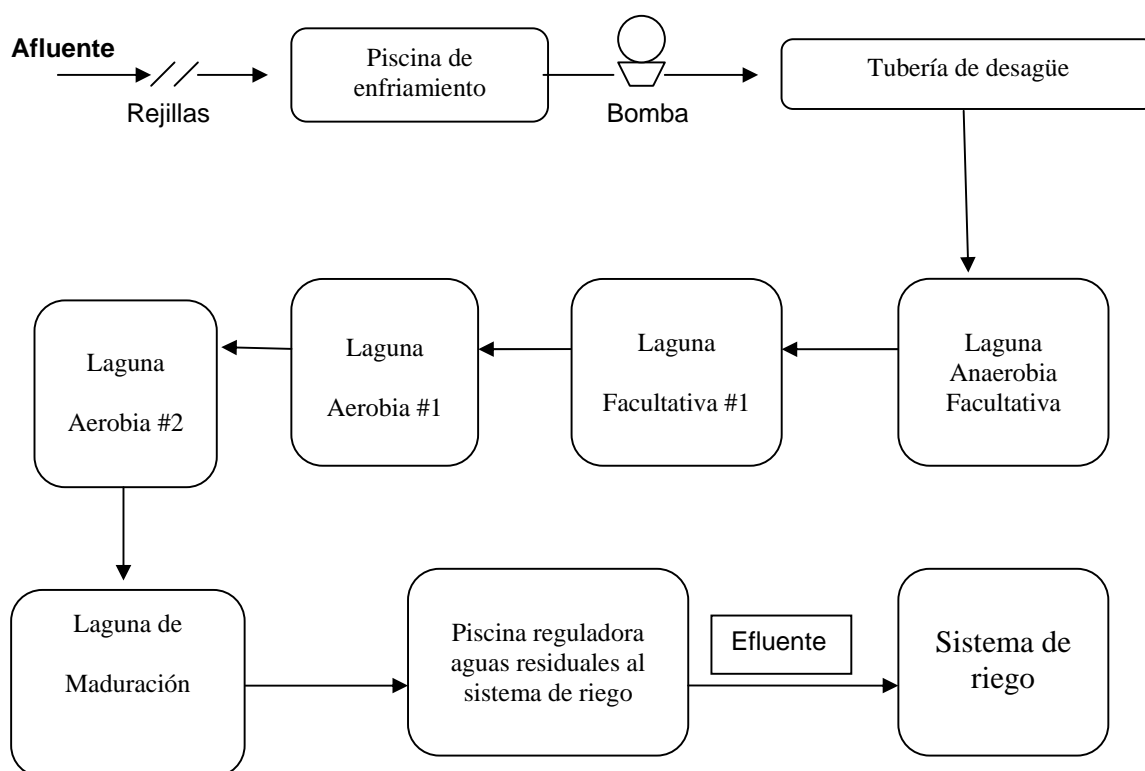


Figura 5. Diagrama de flujo de las lagunas de estabilización de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

FUENTE. El autor.

2.3.2.1. Laguna anaerobia facultativa. Es la primera laguna del tratamiento secundario que se presenta, es aquí donde se recibe el afluente procedente de la piscina de enfriamiento.

En esta laguna se realiza un proceso biológico con ausencia de oxígeno ó anaerobio, o con presencia de oxígeno aerobio, a una temperatura entre 20 y 35°C aproximadamente. Si la temperatura es menor de 20 °C el sistema es deficiente. Aquí, no se remueven los flotantes para conservar el calor y para aislar la laguna del oxígeno atmosférico. A pesar, que la desventaja de estas lagunas son la producción de olores, debido a los ácidos producidos en las reacciones de descomposición de la materia orgánica, el proceso presentó dificultades de este tipo en la fase inicial, pero se ha controlado hasta finales de de este estudio.(ver anexo B)

2.3.2.2. Laguna facultativa. Esta laguna recibe el efluente primario tratado en la piscina anaerobia-facultativa por intermedio de una canaleta en concreto. Estos estanques se caracterizan por poseer una zona aerobia, próxima a la superficie, y una zona anaerobia en el fondo. La cantidad carga orgánica por unidad de volumen procedente de la anterior laguna permite el crecimiento de organismos presente en estas zonas. La eficiencia de estas lagunas se puede observar en la tabla 3.(ver anexo B)

2.3.2.3. Lagunas aerobias. En esta fase se trabaja con algas que consumen CO₂ y producen oxígeno, y con bacterias que consumen oxígeno y producen CO₂. Aquí es donde se realiza la remoción de patógenos. En este proceso existen dos (2) piscinas de esta índole, en el cual se evalúa la producción de lodos, debido a que afectan el período de retención de la laguna. Aproximadamente cada diez años hay que vaciar la laguna para retirar los lodos y realizar disposición de los últimos.(ver anexo B)

2.3.2.4. Laguna de maduración. Su función es la desinfección de las aguas residuales que no pudo retirarse en las piscinas aerobias, que incluye la

destrucción de patógenos, virus, parásitos y demás organismos perjudiciales, principalmente los Coliformes fecales. (ver anexo B)

2.4 PARAMETROS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÀ LTDA.

2.4.1 Características de las aguas residuales. Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica; para su caracterización se emplean métodos de análisis cuantitativos y cualitativos.

2.4.1.1 Características físicas. Dentro de estas se encuentran el contenido total de sólidos, color, olor, temperatura, densidad y turbiedad.

2.4.1.1.1 Sólidos totales. Materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. Este termino engloba los sólidos en suspensión, sedimentables, coloides y disueltos.

2.4.1.1.2 Olores. Son producto de los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual séptica tiene un olor más desagradable que el agua reciente y este se debe principalmente al sulfuro de hidrógeno, que se produce al reducir los sulfatos a sulfitos por la acción de microorganismos anaerobios.

2.4.1.1.3 Temperatura. Depende de factores climáticos y de algunos desechos industriales, influyen sobre la filtración, floculación, sedimentación y ablandamiento del agua y puede afectar la fauna y la flora, además de incidir sobre el contenido de oxigeno en el agua. Cuando es mayor de 30 °C

la actividad de las algas decrece, las bacterias consumen más oxígeno y hay mayor producción de gases en el fondo.

2.4.1.1.4 Densidad. La densidad de un agua es la relación entre la masa y la unidad de volumen.

2.4.1.1.5 Color. El color sirve para reconocer las características de las aguas servidas. El agua residual reciente presenta un color grisáceo; pero con el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado aumenta y al desarrollarse condiciones próximas a las anaerobias, el color de las aguas residuales cambia de gris a gris oscuro.

2.4.1.1.6 Turbiedad. Es la medida de la reducción de la intensidad de la luz que pasa a través de una muestra, por efecto de la materia suspendida y coloidal y puede ser causada por materiales como arcilla, sílice, materia orgánica, sustancias minerales y en general material producto de erosión. Desechos industriales y domésticos.

2.4.1.2 Características químicas. El estudio de las características químicas de las aguas residuales se divide así: materia, orgánica, inorgánica y gases.

2.4.1.2.1 Materia orgánica. Los principales grupos de compuestos orgánicos encontrados en los residuos domésticos son: proteínas, carbohidratos, aceites y grasas.

2.4.1.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): Es la cantidad de Oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización (oxidación) de materia orgánica a través de su actividad metabólica en método aeróbico.

La DBO es usada para conocer el poder polusional de los líquidos que consumen tales demandas e indican los requerimientos de Oxígeno molecular que las aguas deben suplir para que la descomposición pueda llevarse a cabo bajo condiciones aeróbicas.

2.4.1.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO). Es una prueba usada para medir la capacidad de consumo de oxígeno por los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en el agua o en agua residual. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica puede ser oxidada por un agente oxidante fuerte como el dicromato de potasio (K_2CrO_2). En general la DQO es mayor que la DBO.

2.4.1.2.4 Materia inorgánica. Los constituyentes inorgánicos afectan en gran parte la naturaleza de las aguas residuales.

2.4.1.2.5 pH. Término empleado para reflejar condiciones ácidas y alcalinas del agua. La concentración del Ion de hidrogeno es un parámetro de gran importancia y está relacionado con el grado de disociación de las moléculas.

2.4.1.2.6 Nitrógeno. Se encuentra presente en forma orgánica e inorgánica como amoníaco, nitrito y nitrato. Este elemento al igual que el fósforo es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual recibe el nombre de nutriente o bioestimulador.

2.4.1.2.7 Fósforo. Este es un elemento esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos.

2.4.1.2.8 Gases. Los más importantes son el sulfuro de hidrogeno y el metano.

2.4.1.2.9 Sulfuro de hidrogeno (H₂S). Se forma durante la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre y es el responsable del olor a huevo podrido y del ennegrecimiento del agua residual y del fango, debido a su combinación con el hierro presente formando sulfuro de hierro. *Metano (CH₄)*. Principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual. El metano es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro que se encuentra en pequeñas cantidades en el agua residual.

2.4.1.3 Características biológicas. El agua residual contiene una diversidad de microorganismos, algunos de ellos perjudiciales para la salud por ser causantes de enfermedades, mientras que otros son importantes para el proceso de degradación de la materia orgánica. Los tipos de microorganismos más abundantes el agua residual son: bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas, animales y virus.

Un problema sanitario importante que se deriva del tratamiento de aguas residuales es el manejo de los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario. Estos lodos son barros semisólidos que contienen de 0,5 a 5% de sólidos, por lo que no tienen valor económico y si perjuicio ambiental.

Para convertir su materia orgánica en sólidos estables, reducir la masa y volumen de agua y destruir las bacterias dañinas, el lodo se concentra por sedimentación y coagulación-floculación. Este lodo, así concentrado, se puede tratar con cal como bactericida y exponerlo al sol para evaporar parte del agua, hacerlo pasar sobre filtros de arena, filtrarlo a vacío o centrifugarlo para eliminar parte importante del agua. El lodo deshidratado puede disponerse en vertederos o incinerarlo si su contenido de materia

combustionable es superior a 25%. Uno de los empleos más deseable de estos lodos es usarlo como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición limita este empleo.

Luego de la sedimentación de la materia orgánica floculada que se produce en el tratamiento bacteriano el efluente así producido se utiliza para regadío.

3. MARCO LEGAL

El presente proyecto se encuentra sustentado en algunos artículos de leyes y decretos vigentes en la legislación colombiana respecto al vertido de residuos líquidos.

3.1. Ley 09 de enero de 1979. Título I residuos líquidos, por lo cual se dictan medidas sanitarias.

Se resaltan los artículos que se consideran de más interés para el presente estudio.

3.1.1. Artículo 10. Todo vertimiento de residuos líquidos, deberá someterse a los requisitos y condiciones que establezca el Ministerio de salud, teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y de la fuente receptora correspondiente.

3.1.2. Artículo 15. Una vez construidos los sistemas de tratamiento de aguas, la persona interesada deberá informar al Ministerio de salud o a la entidad delegada, con el objeto de comprobar la calidad del efluente. Si al construir un sistema de tratamiento de agua, no alcanza los límites prefijados, la persona interesada deberá ejecutar los cambios o adiciones necesarias para cumplir con las exigencias requeridas.

3.1.3. Artículo 19. El ministerio de salud reglamentara el uso de productos no biodegradables.

3.2. Decreto N° 1594 del 26 de junio de 1984. “Por lo cual se reglamenta parcialmente el título 1 de la ley 09 de 1979, así como el capítulo 2 del título VI- parte III – libro y el título III de la parte III – libro I del decreto 2811 de 1974. En cuanto al uso del agua y residuos líquidos”.

DE LAS NORMAS DE VERTIMIENTO

3.2.1. Artículo 72: Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Tabla 7. Normatividad para usuarios nuevos y existentes.

Parámetro	Normatividad	
	Usuario existente	Usuario nuevo
pH	5-9 unidades	5-9 unidades
Temperatura	<40 °C	<40 °C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80 % en carga	Remoción > 80 % en carga
Sólidos suspendidos domésticos o industriales	Remoción > 50 % en carga	Remoción > 80 % en carga
Demanda Bioquímica de oxígeno para desechos domésticos: para desechos industriales:	Remoción > 30 % Remoción > 20%	Remoción > 80 % Remoción > 80%

3.2.2. Artículo 75: La carga de control de un vertimiento que contenga las sustancias de que trata el artículo anterior, se calculará mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$A = (Q) \cdot (CDC) \cdot (0.0864)$$

$$B = (Q) \cdot (CV) \cdot (0.0864)$$

Parágrafo: Para los efectos de las ecuaciones a que se refiere el presente artículo adóptanse las siguientes convenciones:

A: Carga de control, kg/día.

Q: Caudal promedio del vertimiento, l/seg.

B: Carga en el vertimiento, kg/día.

CDC: Concentración de control, mg/l.

CV: Concentración en el vertimiento, mg/l.

0.0864: Factor de conversión.

Parágrafo 2: La carga máxima permisible (CMP) será el menor de los valores entre A y B.

3.2.3. Artículo 76: Cuando la carga real en el vertimiento sea mayor que la carga máxima permisible (CMP), aquella se deberá reducir en condiciones que no sobrepase la carga máxima permisible.

3.2.4. Artículo 77: Cuando el caudal promedio del vertimiento se reduzca y por consiguiente la concentración de cualesquiera de las sustancias previstas en el artículo 74 se aumente, la carga máxima permisible (CMP) continuará siendo la fijada según el [Parágrafo 2 del Artículo 75 del presente Decreto].

3.2.5. Artículo 78: El control del pH, temperatura (T), material flotante, sólidos sedimentables, caudal y sustancias solubles en hexano, en el vertimiento, se hará con base en unidades y en concentraciones. El de los sólidos suspendidos y el de la demanda bioquímica de oxígeno con base en la carga máxima permisible (CMP), de acuerdo con las regulaciones que establezca la EMAR.

3.2.6. Artículo 79: Las normas de vertimiento correspondiente a las ampliaciones que hagan los usuarios del recurso se calcularán de acuerdo con lo establecido en los [Artículos 75, 76, 77 y 78 del presente Decreto].

4. METODOLOGIA

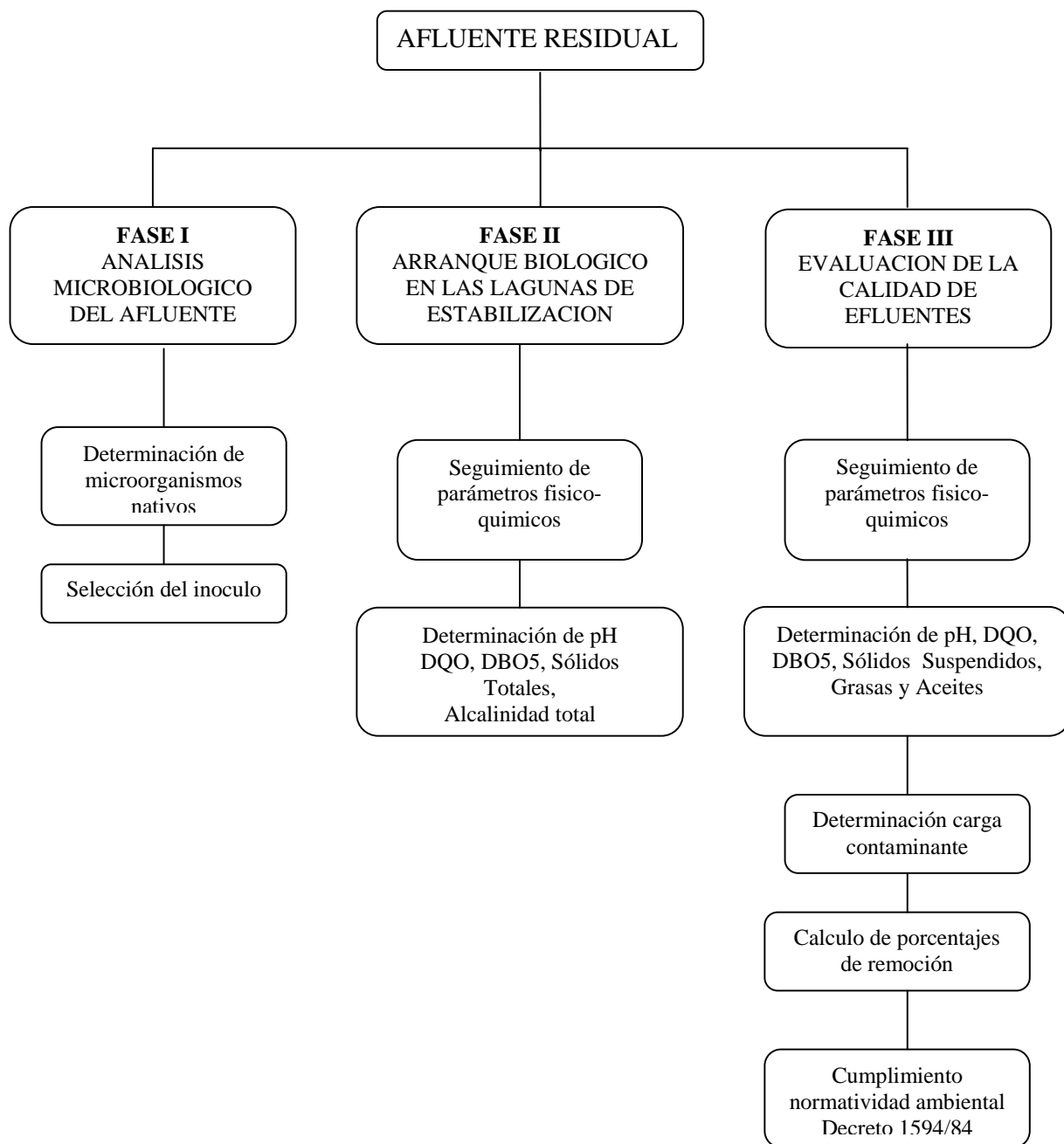


Figura 6. Metodología experimental y analítica.

FUENTE: El autor

4.1 FASE I. ANALISIS MICROBIOLOGICO DEL AFLUENTE

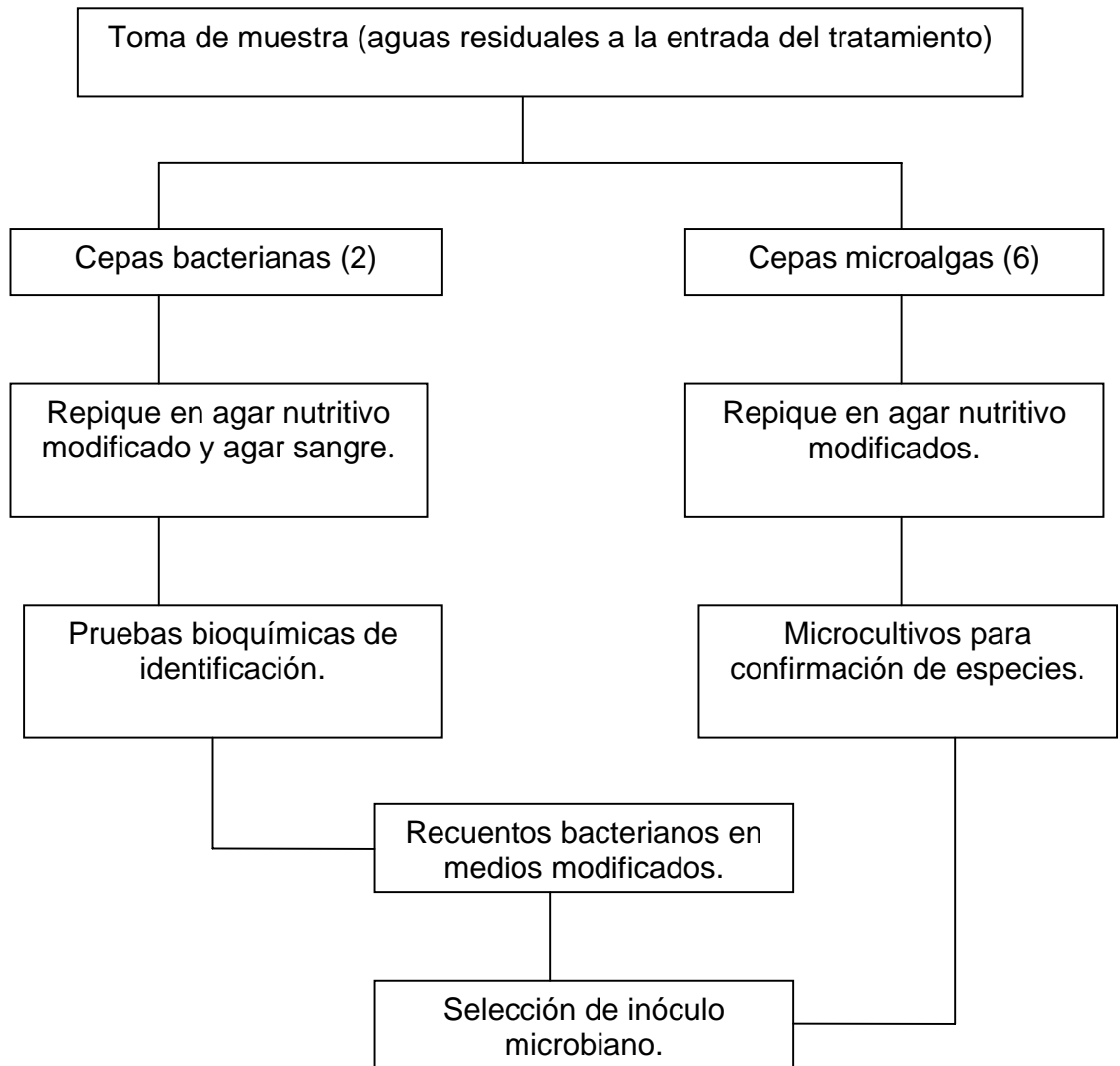


Figura 7. Metodología de pruebas microbiológicas.

FUENTE: El autor

4.1.1. Toma de muestra. Se realizaron seis (6) tomas de muestras puntuales en diferentes puntos de la primera laguna construida (anaerobia-facultativa) a 50 cm y 1m de profundidad, para así conformar una muestra integral. Las muestras puntuales se toman a las 10:00 am del 26 de Enero de 2005.

4.1.2 Determinación microbiológica. La implementación de un agar nutritivo con suplementos nutricionales de la materia prima (aceite) y otras sustancias orgánicas, nos permite un buen crecimiento de todos los microorganismos que se encuentran presentes en los afluentes residuales debido a su gran potencial nutricional obtenido de la materia orgánica prima contenida las aguas (aceites, sales y otros). (Ver reactivos y preparación en el anexo A)

4.1.3 Técnica de muestreo para microalgas.

4.1.3.1. Análisis cualitativo: se realiza con mallas de fitoplantun (tela con poros), el mas aceptado es el *desart*, es la categoría más aceptada la cual utiliza 7 categorías; Nanoplantun 2 μ m, Ultraplantun 2-20 μ m, Microplantun 20-200 μ m, Mesoplantun 200-2000 μ m y el Megaplantun 2000 μ m, se introduce en el lugar de la toma de muestra (lagunas de estabilización), por 10 min y se procede a tomar la muestra representativa de 1 litro (aguas ricas en nutrientes), 6 litros o más (aguas limpias u oligotrópicas), sacar una alícuota (muestra de aguas residuales) de 1-10 ml en un medio de cultivo (caldo nutritivo), dejar de 5-7 días para observar crecimiento.

4.1.3.2. Análisis cuantitativo: luego de crecimiento en caldo nutritivo, se agita antes de tomar la muestra, colocando una alícuota en una cámara de Neubauer, y realizar el conteo de células en 3 cuadrantes donde se cuentan los leucocitos. (ver anexo A.2.2.1.)

4.1.4 Cepas bacterianas. Se realiza una identificación de las bacterias presentes en el medio basado en los protocolos de aislamientos de microorganismos y sistemas especializados para identificación de especies bacterianas. Los procedimientos para los organismos seleccionados se pueden observar en el anexo C y A.2.3.1.

A cada microorganismo se le realizó el protocolo de identificación correspondiente, las condiciones de crecimiento fueron de 35-37°C durante 24-48 horas.

El mantenimiento de las cepas se realizó en medios modificados y agar sangre. Los repiques de las cepas se realizaron cada 15 días, el cepario permanece en el laboratorio de la extractora de aceites Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

4.1.5 Cepas de microalgas. Se realiza una identificación de las microalgas presentes en el medio basado en los protocolos de aislamientos de microalgas, se realizaron pruebas confirmatorias con el fin de determinar la pureza del cultivo.

El mantenimiento de las cepas de microalgas se realizó en caldo nutritivo modificado, y agar nutritivo modificado, con la adición lugol y formalina al 4% a temperatura ambiente.

4.2 FASE II. ARRANQUE BIOLÓGICO EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION.

Con la selección de las bacterias con mayor potencial degradador de la materia orgánica, se realiza un bioaumentación de los microorganismos en un medio líquido de agar-malta-afluente residual bajo condiciones anaerobias, a partir de las cepas mantenidas en los medio nombrados en la fase I. Con este medio de crecimiento se busca disminuir la fase estacionaria en la cual el microorganismo reconoce la fuente orgánica a atacar.

Durante diez (10) días se realiza el anterior proceso para una posterior evacuación de estos medios en la primera laguna (anaerobia-facultativa). Luego de cinco (5) días de las bacterias en contacto con el medio, para el cual se esperó haberse reproducido el doble de la cantidad inoculada inicialmente, se comienza el seguimiento físico-químico de los efluentes en el sistema de tratamiento a través de las diversas lagunas durante los siguientes diez (10) meses.

La fase de arranque y operación de la obra, es decir monitoreo del proceso de llenado de las lagunas por las aguas residuales generadas en los diversos procesos de extracción del aceite, comenzó con un caudal aproximado de 2.5 L/S, que da inicio el 18 de Enero del 2005.

4.2.1. Seguimiento de parámetros fisicoquímicos en las lagunas de estabilización.

El seguimiento y control del sistema de tratamiento se realizó mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos de los efluentes residuales de la empresa. Algunos de estos parámetros *in situ* como pH, temperatura, caudal y otros como color, turbiedad, alcalinidad, relación buffer, DBO₅ y DQO que

dieron un mejor entendimiento de la eficiencia del sistema en cuanto a la remoción de la carga orgánica y la calidad de los efluentes emitidos, hasta cumplir con las expectativas trazadas por la empresa y reguladas por el ente ambiental territorial (CORPOCESAR). Esta etapa inició el 26 del mes de Enero y termina el día 30 del mes de Noviembre de 2005 con el vertimiento de efluentes residuales tratados para el regadío de la plantación de palmas de aceite.

4.2.1.1. Determinación de pH. (Método electrométrico). La escala de valores de pH mide la intensidad de la acidez y de la alcalinidad. El valor del pH juega un papel importante en los procesos de coagulación, ablandamiento, cloración y control de corrosión. Esta metodología se realizó en base a las normas STANDARD METHODS 4500-H⁺/95.(ver Anexo A.2.4.1)

Determinación de Sólidos Totales. (Método Gravimétrico). Se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 °C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).(ver anexo A.2.4.3.)

4.2.1.3. Determinación de Alcalinidad. (Método volumétrico). La alcalinidad de un agua es la capacidad para neutralizar los ácidos. Esta es la suma de todas las bases titulables, la alcalinidad puede deberse a la presencia de carbonatos, hidróxidos, boratos, fosfatos y otras bases que pueden estar presentes. La prueba de alcalinidad tiene el propósito de proporcionar resultados que se demandan en los procesos de coagulación y ablandamiento. (ver cálculo en el anexo A.2.4.2.)

4.2.1.4 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). (Método de reflujo abierto). Este ensayo mide el equivalente en oxígeno de la fracción de materia orgánica presente en una muestra, que es susceptible de oxidación en medio ácido por parte del dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Basado en las normas STANDARD METHODS 5220 D/95. (cálculos en anexo A.2.4.5.)

4.2.1.5 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. (DBO₅). Este ensayo mide la cantidad de oxígeno que usan los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en esta agua residual. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el suministro de agua, también habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponer este desecho. En este caso, la demanda de oxígeno será alta (debido a todas las bacterias) así que el nivel de DBO será alto. Conforme el desecho es consumido o dispersado en el agua, los niveles de la DBO empezarán a bajar. Basado en la norma STANDARD METHODS 5210 B/95.(ver Anexo A.2.4.4.)

4.3. FASE III. EVALUACION DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES

Esta etapa consistió en evaluar los criterios de calidad de los efluentes residuales emitidos por la extractora de aceites en la entrada al sistema de tratamiento (laguna anaerobia-facultativa) y en la salida del sistema (laguna de maduración), con el fin de determinar la carga contaminante diaria con la que entran y salen estos vertimientos. Los parámetros de estudio para evaluar la remoción de los contaminantes más influyentes en las descarga de aguas residuales fueron: DBO₅, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, pH, Temperatura, Grasas y Aceites, caudal emitido.

Se realizarón dos (2) muestras compuestas a partir de seis (6) muestras puntuales para la determinación de los anteriores parámetros, en el período de producción de la planta (8 horas), la composición de las muestras se condujo de la siguiente forma:

Periodo de composición muestra número 1 entrada: 07:00 a.m. – 11:00 a.m.

Periodo de composición muestra número 2 entrada: 12:30 p.m. - 04:30 p.m.

Número de muestras puntuales tomadas entrada sistema: 6

Periodo de composición muestra número 1 salida: 01:40 p.m. – 04:40 p.m.

Número de muestras puntuales tomadas antes de la salida sistema: 3

Muestra puntual última laguna: 05:00 p.m.

Método para medición del caudal: Volumétrico

Volumen de muestra compuesta: 2 litros

La calidad de los efluentes deben cumplir los parámetros mínimos requeridos en la normatividad ambiental colombiana (decreto 1594/84), en cuanto a porcentajes de remoción y otras propiedades fisicoquímicas.

Las condiciones en las que se almacenaron y transportaron las muestras se observan en el anexo A.2.5.

4.3.1 Cálculo para determinar la carga orgánica diaria.

En base a las concentraciones reportadas en el informe de laboratorio y el caudal promedio hallado en cada muestra compuesta, se calcula la carga contaminante en la entrada y salida del sistema de tratamiento, empleando la ecuación del decreto 901 del 1 de abril de 1997, donde define la carga

contaminante diaria (C_c) como el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante, por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas, es decir:

$$C_c = Q_p * (C) * 0.0864 * (t/24)$$

Donde:

C_c = Carga contaminante, en kilogramos por día (Kg/día)

Q_p = Caudal promedio durante composición muestra compuesta en litros por Segundo (L/S) .

C = Concentración de la sustancia contaminante, en miligramos por litro (mg/l).

0.0864= Factor de conversión de unidades.

t = Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. FASE I. ANALISIS MICROBIOLOGICO DEL AFLUENTE RESIDUAL

5.1.1 Cepas bacterianas. Se aislaron 2 cepas bacterianas, teniendo en cuenta el marco referencial teórico de la degradación de materia orgánica en aguas residuales especifica que representan ellas. (Ver tabla 8.)

Tabla 8. Bacterias aisladas y el compuesto que degradan.

Género.	Compuesto degradado.
Corynebacterium pilosum.	Materia orgánica de aguas residuales industriales.
Proteus vulgaris.	Materia orgánica de aguas residuales industriales.

FUENTE: Bacterias degradadoras de aguas residuales industriales,

Se seleccionan estas cepas para continuar con la fase de arranque biológico de acuerdo a sus propiedades degradativas frente compuestos ricos en materia orgánica. A continuación una breve caracterización de estas bacterias:

- **Género:** Corynebacterium.
- **Especie:** Corynebacterium pilosum.
- **Características generales:** Son microorganismos pleomórficos, pueden ser bacilos rectos o ligeramente curvos, en forma de mazo o basto, producen agrupaciones angulares "letras chinas" o en empalizada, a pesar de ser anaerobios facultativos crecen mejor en aerobiosis (excepto E. suis), inmóviles, acapsulados, no esporulados. Gram. Positivos aunque algunas especies pierden esta propiedad y

pueden teñirse irregularmente, son parcialmente ácido-alcohol resistentes. (Ver anexo C).

- **Genero:** Proteus.
- **Especie:** Proteus vulgaris.
- **Características generales:** Son bacterias anaerobias facultativas, no fermentadoras de la lactosa caracterizadas por su movilidad hidrolizan la urea y el citrato, producen H₂S. Se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza (aguas residuales, suelo, plantas, materia orgánica en descomposición). Al sembrarlas en medios de cultivo sólidos invaden en forma de ondas muy características, dificultando el aislamiento de otras especies que puedan encontrarse en el producto, fenómeno que no se produce en medios inhibidores (ver anexo C).

5.2. FASE II. ARRANQUE BIOLÓGICO EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

5.2.1. Seguimiento de parámetros fisicoquímicos en las lagunas de estabilización.

Se realizó la caracterización de las aguas residuales antes y después del tratamiento, representados en las graficas de entrada y salida de los efluentes residuales tratados de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

5.2.1.1 Evaluación del parámetro fisicoquímico pH durante el período de estudio. En la tabla 9 se muestran los valores de pH registrados en las aguas residuales de las lagunas de estabilización durante el período de estudio (Febrero-Noviembre del 2005). Se usarán las siguientes abreviaturas

para identificar las diversas lagunas que conforman el sistema de tratamiento:

Lag.1 = Laguna anaerobia-facultativa.

Lag.2 = Laguna facultativa.

Lag.3 = Laguna areobia 1

Lag.4 = Laguna aerobia 2

Tabla 9. pH de efluentes residuales de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Mes Laguna	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.
Lag 1	6,32	6,23	6,54	7,2	7,26	7,38	7,32	7,1	7	7,2
Lag. 2	6,9	6,95	7,28	7,64	8,08	8,1	8	7,85	7,8	8
Lag. 3	0	7,44	7,59	7,8	8,39	8,53	8,52	8,2	8,4	8,45
Lag.4	0	0	0	8,8	8,82	9,31	8,8	8,8	8,6	8,65

Comportamiento de pH

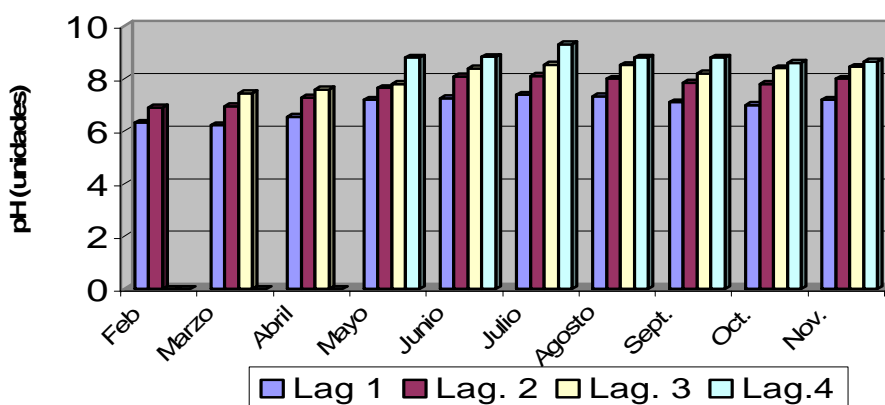


Figura 8. pH del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

De la figura 8, cabe resaltar que el pH de las aguas residuales se encuentra de los límites permisivos en el decreto 1594 de 1984 (ver tabla 7). La determinación del pH es importante en los procesos de tratamiento de aguas residuales por que mediante este parámetro se mantiene el control entre los ácidos y bases producidas durante el proceso de digestión bacteriana, además interviene en el ablandamiento, coagulación, todo relacionado con el grado de disociación de las moléculas. Es importante destacar que durante el llenado de las lagunas 1 y 2 se realizó un tratamiento con cal viva para neutralizar los ácidos producidos y consecuentemente el olor putrefacto. Este tratamiento se realiza en los tres meses iniciales al estudio (Febrero, Marzo, Abril).

5.2.1. Evaluación de la temperatura durante el período de estudio. En la tabla 10 se muestran los valores de temperatura registrados en las aguas residuales de las lagunas de estabilización durante el período de estudio (Febrero-Noviembre).

Tabla 10. Valor de la temperatura de efluente residual de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Mes Laguna	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.
Lag 1	30,1	32,9	34,4	31	32,3	32,2	32	32	30	30
Lag. 2	29,5	30,9	30,7	30	31,1	31,5	31	30	29,8	30
Lag. 3	0	29,4	30	30	29,8	30,7	30	29	29	29,2
Lag.4	0	0	0	30	32,1	31,9	29,8	29	28	28

Comportamiento de la Temperatura

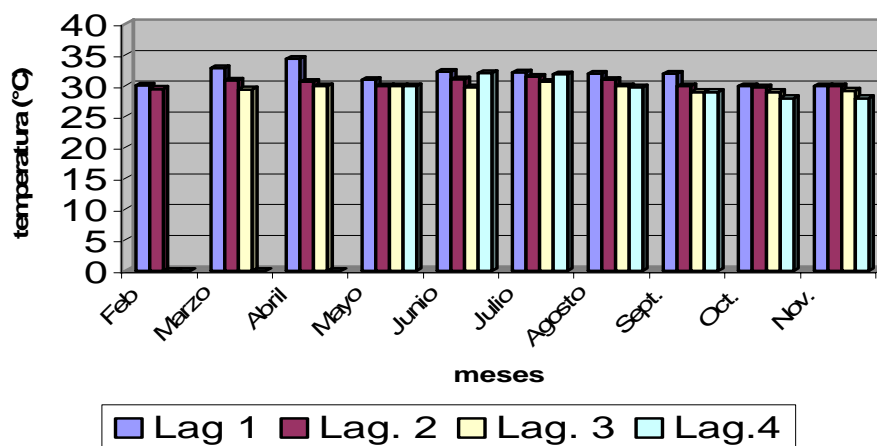


Figura 9. Valor de temperatura del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Se puede observar que la temperatura predominante fue de 30 °C, ideal para el proceso de digestión bacteriana permitiendo la multiplicación de los microorganismos necesarios para mantener el equilibrio ácido-base. Es importante destacar que la piscina de enfriamiento colabora con el proceso antes de entrar las aguas residuales del proceso al sistema de tratamiento por lagunaje, ya que las altas temperaturas incrementan la acción microbiana de bacterias anaerobias.

En el mes de Abril se presentó un relativo incremento en la temperatura debido a la saturación de materia orgánica, la cual disminuye luego de una semana de reposo sin alimentación. Este es un parámetro que depende de factores climáticos y de algunos desechos industriales, influye sobre la filtración, floculación, sedimentación y ablandamiento del agua, además incide sobre el contenido de oxígeno en el agua.

5.2.3. Evaluación de la alcalinidad durante el período de estudio. En la tabla 11 se muestran los valores de alcalinidad registrados en las aguas residuales de las lagunas de estabilización durante el período de estudio.

Tabla 11. Valor de alcalinidad total del efluente residual de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Mes Laguna	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.
Lag 1	886,4	1230,6	1405	2988	2608	2362,6	2345	2236,2	22145,4	2198,3
Lag. 2	1200	1299,7	1933	2290	2271	2242,5	2241,2	2199,4	2198,2	2212,4
Lag. 3	0	1272,8	1736	2172	2335	2256,1	2215,1	2245,3	2189,6	2198,2
Lag.4	0	0	0	1859	2472	2121	2105,2	2131,1	2096,4	2089,3

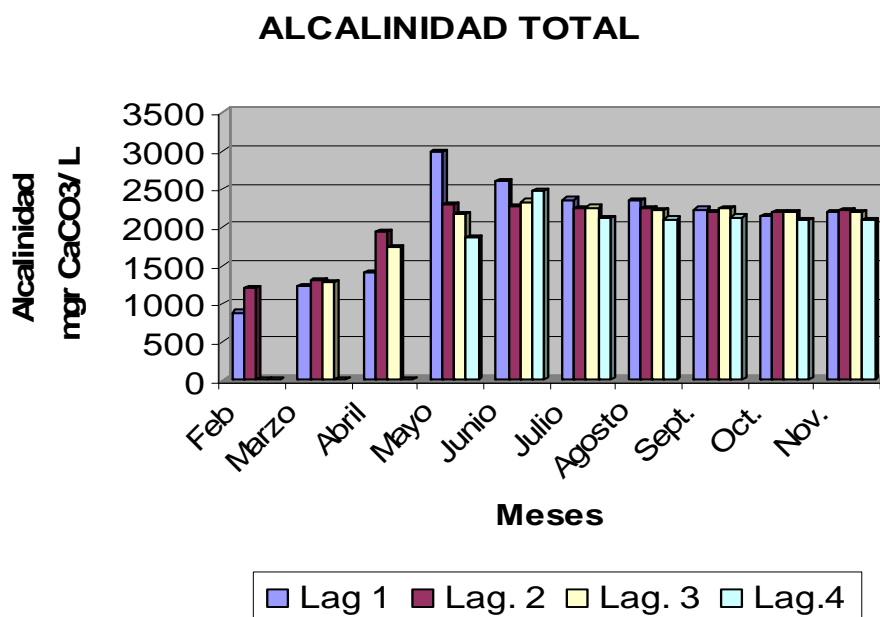


Figura 10. Valor de alcalinidad total del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda

La figura 10 describe la estabilidad de la alcalinidad total en el sistema, garantizando el buen funcionamiento, por la presencia de microorganismos capaces de producir suficiente material carbonático producto de la degradación de la materia orgánica, neutralizándose los ácidos generados durante el proceso metabólico bacteriano, evitando la formación de malos olores.

5.2.4. Evaluación de Demanda Bioquímica de Oxígeno durante el período de estudio. En la tabla 12 se muestran los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno registrados en las aguas residuales de las lagunas de estabilización durante el período de estudio.

Tabla 12. Valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) del efluente residual de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda

Mes Laguna	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.
Lag 1	0	0	5307	3551	1687	1496	1403,5	1356	1302	1321
Lag. 2	0	0	3012	2342	1663	1592,8	1498,5	1402,3	1396	1299
Lag. 3	0	0	2889,1	2181	1518	1285	1266	1210	1208,4	1997
Lag.4	0	0	0	2157	1552	1340,5	1300	1265	1198,3	1888,3

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

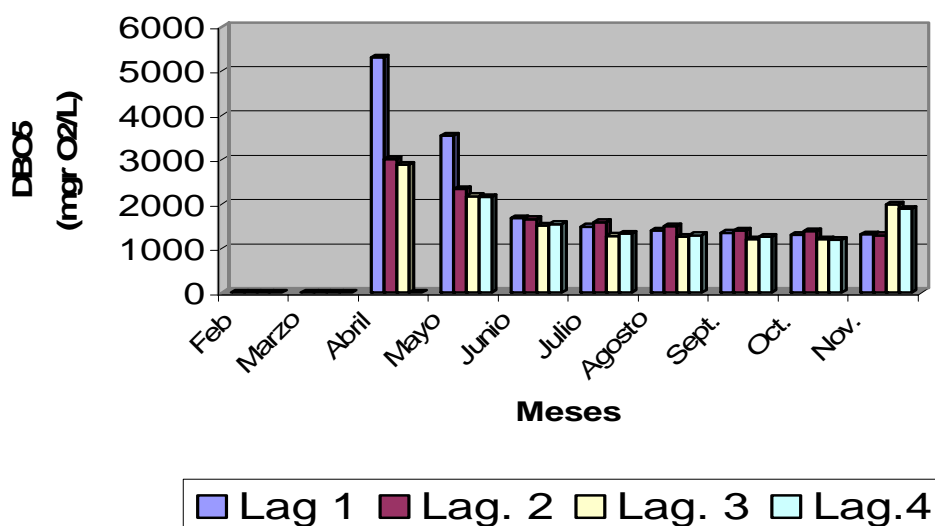


Figura 11. Valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Este parámetro no es medido en los dos meses de iniciación del estudio, conociendo la gran carga orgánica presentada por el afluente y dando tiempo a la reproducción de los microorganismos seleccionados e inoculados para degradar la materia orgánica. De acuerdo a los resultados obtenidos cabe resaltar la capacidad de los microorganismos para degradar gran parte de la materia orgánica, aun presentándose un incremento en el mes de Abril en la laguna 1 debido a la saturación en carga orgánica, pero que luego fue superada notándose con la disminución de este parámetro dentro de los rangos establecidos por los decretos 1594 de 1984.

5.2.5. Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno durante el período de estudio. En la tabla 13 se muestra el comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno en las aguas residuales de las lagunas de estabilización durante el período de estudio.

Tabla 13. Valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente residual de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Mes Laguna	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.
Lag. 1	0	0	12726	5775	2863	2773,5	2778,2	2685,1	2247	2091,5
Lag. 2	0	0	7228	3764	1126	1187,6	1798	1623	1645,5	1623,3
Lag. 3	0	0	6934	3269	2082	1881	1885	1863,5	1805,3	1721,4
Lag.4	0	0	0	2622	1967	1876,5	1875,3	1721,3	1630	1532

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

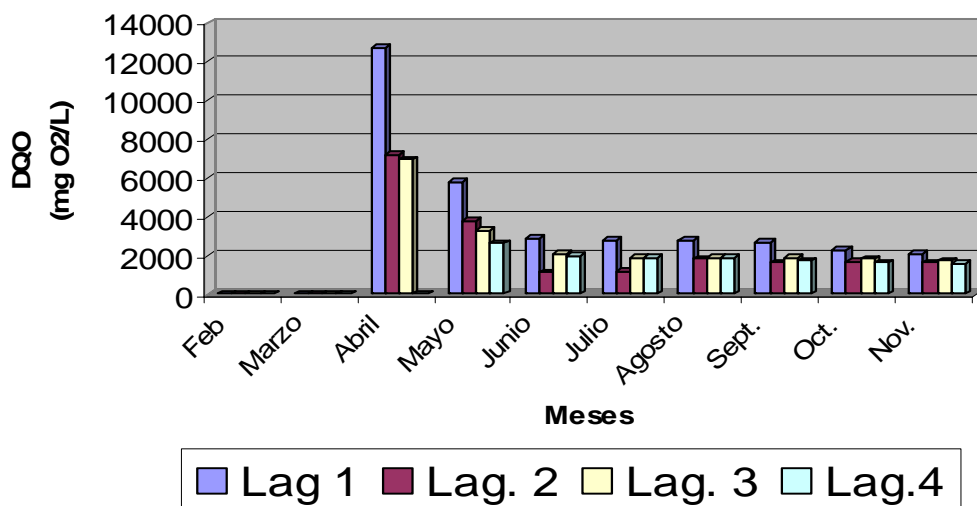


Figura 12. Valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del efluente residual de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Al igual que la DBO, este parámetro no fue observado para los meses de Febrero y Marzo. Como era de esperarse, a partir de la DBO, la DQO presenta el valor mas elevado durante el mes de Abril por la cantidad de materia orgánica generada en el proceso, debido a la escasez y adaptación de los microorganismos al medio.

Durante los siguientes meses se detalla la reducción de este parámetro, ya que los microorganismos vuelven a retomar su actividad metabolizadora.

5.2.6. Evaluación de los sólidos totales durante el período de estudio.

En la tabla 14 se muestran los valores de sólidos totales registrados en las aguas residuales de las lagunas de estabilización durante el período de estudio.

Tabla 14. Valor de sólidos totales del efluente residual tratado de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Mes Laguna	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.
Lag 1	0	1215,2	11941	2145	1459	1393,7	1256,2	1203,4	1199,2	1112
Lag. 2	0	249,9	2461,2	203,1	165,4	130	129,5	113,4	102,4	109,2
Lag. 3	0	225,7	2266	107,7	82,1	71	71,3	68,5	68	68,1
Lag.4	0	0	0	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,1	0,1

SOLIDOS TOTALES

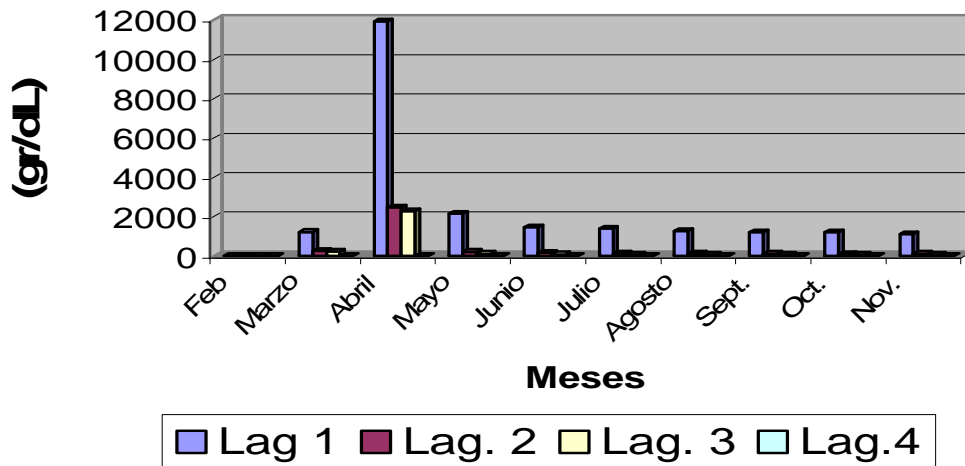


Figura 13. Valor de sólidos totales del efluente residual tratado de las diferentes lagunas de estabilización de la Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Este parámetro garantiza el buen funcionamiento del sistema de tratamiento mediante la medición de la remoción de la materia orgánica presente en el efluente, es decir, a menor cantidad de sólidos mayor remoción y menor cantidad de materia orgánica en el efluente.

Con los datos obtenidos se resume el buen funcionamiento del sistema debido a que más del 90 % de los sólidos son removidos o biodegradados por los microorganismos presentes, partiendo desde 12000 gr/dl de Sólidos totales desde la laguna 1 hasta 0.10 gr/dl laguna 4. Se presentó un notable aumento de los sólidos en el mes de Abril debido a la sobrecarga de materia orgánica en la laguna 1, pero que luego de un proceso de retención de ocho días sin alimentarla logro recuperar su acción bacteriana para continuar con la degradación.

5.3. FASE III. EVALUACION DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES

5.3.1. Carga orgánica diaria

Para el cálculo de la carga orgánica se muestran los resultados obtenidos por el Laboratorio CEIAM-UIS, institución que realizó el muestreo para la caracterización del agua residual industrial. En la tabla 15 y 16 se presentan los resultados obtenidos para las compuestas tomadas de la entrada y salida del sistema de tratamiento y en la tabla 17 los promedios entre compuestas para el cálculo de la carga orgánica realizando una comparación con el Decreto 1594/84.

Tabla 15. Reporte de entrada al sistema de tratamiento de aguas residuales empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADOS COMPUESTA 1	RESULTADOS COMPUESTA 2
DBO ₅	mg/l de O ₂	incubación 5 días	9500	11250
DQO	mg/l de O ₂	Reflujo Cerrado	28330	41170
S.S.T	mg/l	Gravimétrico	7460	12266.6
GRASAS Y ACEITES	mg/l	Extracción Soxhlet	589.61	

FUENTE: Laboratorio CEIAM.

Tabla 16. Reporte de salida al sistema de tratamiento de aguas residuales empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADOS COMPUESTA 1	RESULTADOS MUESTRA PUNTUAL
DBO ₅	mg/l de O ₂	incubación 5 días	17.5	17.5
DQO	mg/l de O ₂	Reflujo Cerrado	158.2	171.65
S.S.T	mg/l	Gravimétrico	13.3	12
GRASAS Y ACEITES	mg/l	Extracción Soxhlet	15.96	

FUENTE: Laboratorio CEIAM.

Tabla 17. Cálculos de la carga contaminante diaria y porcentajes de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

PARÀMETROS PROMEDIO	ENTRADA AL SISTEMA	SALIDA DEL SISTEMA	% DE REMOCIÓN EN CARGA	NORMATIVIDAD AMBIENTAL DECRETO 1594/84, ARTICULO 72.
pH	6.02	8.23	-	5-9
TEMPERATURA(°C)	48.50	33.27	-	< 40°C -
CAUDAL(l/s)	6.67	3.76	-	-
DBO ₅ (mg/L) O ₂	10375.00	17.50	99.90	Remoción ≥80% en carga
DQO (mg/L) O ₂	34750.00	164.93	99.73	
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	9863.30	12.65	99.93	Remoción ≥80% en carga
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	589.61	15.96	98.47	Remoción >80% en carga

FUENTE: Laboratorio CEIAM

Las muestras de salida del efluente se toman en la laguna 4 (aerobia #2), ya que el efluente en la laguna de maduración a la piscina reguladora aguas residuales al sistema de riego no es posible obtenerlo. Al parecer las altas temperaturas en la región y la baja producción para esta época del año no permiten que las lagunas rebosen continuando con el proceso continuo. Otro problema que puede estar surgiendo es de infiltración de las lagunas, para el cual se preparan a vaciar y curar para comienzos del año 2006.

6. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta el decreto 1594 de 1984 de las normas de vertimiento, artículo 72 para vertimientos aun cuerpo de agua, y de acuerdo con los resultados obtenidos, las aguas residuales industriales generadas por la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda., cumplen con los porcentajes de remoción permisibles en dicho decreto.
- Los cultivos de microalgas y bacterias depuradoras, son un sistema biológico eficiente en la utilización de nutrientes presentes en las aguas residuales y por lo tanto, constituyen una alternativa promisoría en la producción de biomasa y en tratamientos de depuración de aguas residuales agroindustriales.
- Durante la fase inicial del sistema de tratamiento (llenado), se crean condiciones anaerobias, que conllevan a la generación de malos olores, debido a la alta carga orgánica. Es preciso utilizar un tratamiento con cal viva que permita establecer condiciones optimas de pH para la población microbiana preparada para degradación de la materia orgánica.
- Se logró establecer la eficiencia del sistema de tratamiento mediante el calculo de porcentajes de remoción de materia orgánica, donde la DQO entrante era de 34750 mg/L O₂, y la saliente 164.9 mg/L O₂, lográndose así una remoción del 99.7% de la carga orgánica.

RECOMENDACIONES

- Promover la alternativa de uso y reutilización de los recursos de los lodos activados provenientes del proceso de tratamiento de las aguas residuales, para su eventual utilización como abono o fertilizante de los cultivos de palmas.
- Se debe continuar con los monitoreos del sistema de tratamiento, en cuanto se refiere a parámetros como pH y temperatura en forma diaria y parámetros como DQO y DBO₅ mensualmente, con el fin de verificar la eficiencia del sistema y poder corroborar así los resultados obtenidos con estudios anteriores.
- Realizar barridos o purgas a las lagunas, donde el plancton tiende a extenderse demasiado, cada 15 a 20 días según lo amerite el sistema. Como es conocido, el placton evita capacidad de reaireción en la superpifie de las lagunas evitando una buena eficiencia del sistema de tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

- 1) C. MERVIN, Palmer. Algas en los abastecimientos de agua. Manual ilustrado acerca de la identificación, importancia y control de las algas en los abastecimientos de aguas. Primera edición. Ed. INTERAMERICANO, S.A. 1962.
- 2) Decreto 1594 del 26 de junio de 1984.
- 3) FLORES, E. Biotecnología anaerobia para el Tratamiento de Efluentes Industriales. Biotecnología. 1992. Vol. 2, No. 3. pp. 85-95.
- 4) LÓPEZ, M.V. Tratamiento Biológico de Aguas Residuales en Perspectiva de la Biotecnología de México. Ed. CONACYT. 1981. México. pp. 259-284.
- 5) MORENO G., Maria Dolores. Depuración por lagunaje de aguas residuales. Manual de Operadores. Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT). Editorial Secretaria General Técnica MOPT. Bogotá, 1991.
- 6) ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.
- 7) SIERRA C, Jorge Humberto. Análisis de aguas residuales. Medellín; Universidad de Antioquia. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería sanitaria. Año 2000.

- 8) UNDA OPAZO, FRANCISCO. Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento básico y salud pública. México, Editorial Hispanoamericana. México 1969.
- 9) www.fedepalma.org/palma.html
- 10) www.sic.gov.co
- 11) www.cenipalma.org
- 12) www.cnpml.org

ANEXOS

ANEXO A

A.1.DEFINICIONES

Para la interpretación de esta monografía se dan a conocer las siguientes definiciones:

Afluente: Agua, agua residual u otro líquido que ingresa a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

Aguas crudas: Aguas que no han sido tratadas.

Aguas residuales: Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

Ambiente aerobio: Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

Ambiente anaerobio: Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Ambiente anóxico: Ambiente bioquímico en el cual no existe oxígeno.

Biodegradación: Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.

Carga orgánica: Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d)

Eficiencia de tratamiento: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el efluente, para un proceso o sistema de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Laguna aerobia: Lagunas de baja profundidad, donde el ambiente químico predominantemente aerobio.

Laguna anaerobia: Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en la ausencia de oxígeno con la producción de gas metano.

Lagunas de estabilización: Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de profundidad reducida (<5 m), diseñadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, SS, Coliformes, etc).

Laguna de maduración: Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (aneorobia-facultativa, aireada-facultativa o primaria-secundaria).

Laguna facultativa: Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estado superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estados inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Muestra compuesta: Mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos.

Muestra integrada: Consiste en el análisis de muestras tomadas simultáneamente en diferentes puntos o tan cerca como sea posible.

Muestra puntual: Muestra tomada al azar en un cuerpo receptor y en una hora determinada para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse.

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento en los cuales se intensifica la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

Volumétrico: El aforo volumétrico consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de éste.

A.2. PROCEDIMIENTOS ANALITICOS

A.2.1. Determinación microbiológica.

A.2.1.1 Reactivos. Como componente de los medios de cultivo se tiene: *Agar nutritivo no modificado* (Peptona de carne, extracto de carne, agar-agar). *Agar nutritivo modificado* (cloruro de sodio, extracto de azúcar, extracto de aceite de palma)

A.2.1.2. Procedimiento. Disolver 20 gr/litro (agar nutritivo) o 8 gr/litro (caldo nutritivo), una vez disuelto estos se le añaden los componentes adicionales: cloruro de sodio 2.5 gr, extracto de azúcar 1.5 gr y extracto de aceite 4 gr. Mezcla y una vez disueltos, esterilizar en autoclave (15 min. a 121 °C).

A.2.2 Técnica para muestro de microalgas.

A.2.2.1. Analisis cuantitativo

Células contadas / $3 \times 25 \times 1750 \times 10^4 = \text{células} / \text{minuto}$

Donde:

3= números de campos contados

25= profundidad de la cámara

1750= factor de corrección

104= factor logarítmico

A.2.3. Cepas bacterianas

A.2.3.1. Pruebas bioquímicas y medios de cultivo

Microorganismos	Medios de cultivo	Pruebas bioquímicas	Coloración
Corynebacterium pilosum	Caldo nutritivo modificado, agar sangre.	TSI, Citrato, Urea, Citocromo oxidasa, Catalasa, O-F (glucosa, lactosa, manitol sacarosa)	Azul de metileno Gram.
Proteus vulgaris	Agar nutritivo modificado.	TSI, Indol, O-F (glucosa, lactosa, lactosa), fenil-alanina.	Gram.

A.2.4. Seguimiento de parametros fisicoquímicos

A.2.4.1 Determinación del pH. 1) Encender el instrumento y mantenerlo preparado. 2) Enjuagar los electrodos con la solución amortiguadora. 3) Enjuagar los electrodos con agua destilada y sacarlos. 4) Calibrar el pHmetro utilizando para esto un buffer pH 4.0 y pH 7.0. 5) Tomar un vaso de precipitado y llenarlo con la muestra a analizar. 6) Sumergir el electrodo dentro del vaso de precipitado. 7) Registre el pH de la muestra. 8) Lavar el electrodo y guardar en la solución stop. 9) Apagar el equipo.

A.2.4.2. Determinación de alcalinidad. Con una pipeta volumétrica se toman 50 ml de la muestra seleccionada (agua residual). Agregar 3 gotas de indicador de verde de Bromocresol, la muestra toma una coloración azul, entonces se adiciona lentamente y con agitación constante la solución de ácido (H_2SO_4 0.02 N) para la titulación hasta que la muestra se torne amarilla.

A.2.4.2.1. Cálculos

$$mgCaCO_3 / L = \left(\frac{A * N}{B} \right) * 50 * 1000$$

Donde:

A: volumen gastado de H_2SO_4 .

N: normalidad de ácido.

B: volumen de muestra.

A.2.4.3. Determinación de sólidos totales. 1) Se pesa una cápsula de porcelana, conociendo su valor. 2) Se agregan 100 ml de muestra. 3) Se evapora el líquido en un horno a temperatura 103-105 °C. 4) El incremento de peso, sobre el inicial, representa el contenido de sólidos totales.

A.2.4.4. Determinación de la Demanda Biológica de Oxígeno. Toma 5 días completar la prueba de DBO y ésta se realiza usando un equipo para la prueba de oxígeno disuelto. El nivel de DBO se determina comparando el nivel de OD de una muestra de agua tomada inmediatamente con el nivel de OD de una muestra de agua que ha sido incubada en un lugar oscuro durante 5 días. Las diferencias entre los dos niveles de OD representan la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de cualquier material orgánico en la muestra y es una buena aproximación del nivel de la DBO.

A.2.4.5. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno. Tomar 10 ml del agua residual con una pipeta aforada y depositarlos en un balón de destilación de 250 ml, agregar 0.2 gr de sulfato de mercurio (HgSO₄), depositar 10 perlas de ebullición para prevenir salpicaduras, agregar 1 ml de H₂SO₄ con sulfato de plata, con una pipeta agregar 5 ml de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇), y por ultimo agregar 14 ml de H₂SO₄ concentrado 96%. Todo se debe agregar teniendo en cuenta que se debe tener el balón en agitación sobre baño de agua fría para evitar el calentamiento.

A.2.4.5.1 Cálculos.

$$DQO = \frac{(A - B) * N * 8000 * F}{ml.muestra}$$

Donde:

A: Blanco

B: Muestra

N: Normalidad

8000: Constante

F: Factor

A.2.5. Guía para preservación de las muestras.

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (ml)	Preservación	Período máximo de almacenamiento
Alcalinidad	P,V	100	Refrigerar a 4°C	Refrigerar a 4°C
DBO	P,V	1000	Refrigerar a 4°C	48 h
DQO	P,V	100	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH <2; refrigerar	28 d
pH	P,V	50	Analisis inmediato (<i>in situ</i>)	Ninguno
Sólidos	P,V	200	Refrigerar a 4°C	2-7 d
Temperatura	P,V	-	Analisis inmediato (<i>in situ</i>)	Ninguno

P = Plástico; V = Vidrio

FUENTE: Instituto DE Hidrología, Metreología y Estudios Ambientales, IDEAM.

ANEXO B
REGISTRO FOTOGRAFICO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO,
LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE LA EMPRESA PALMAS
OLEAGINOSAS DE CASACARA LTDA.

Laguna anaerobia facultativa, Empresa Palmas Oleaginosas de Casacar 
Ltda.



Laguna aerobia, Empresa Palmas Oleaginosas de Casacar  Cesar Ltda..



Laguna facultativa, Empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.



Alberca de almacenamiento las aguas residuales tratadas, PALMACARÀ Ltda.



Sistema de tratamiento por lagunas de estabilización, Empresa Palmas Oleaginosas Casacará Ltda.



ANEXO C

REGISTRO FOTOGRAFICO DE LAS BACTERIAS SELECCIONADAS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARA LTDA

Corynebacterium pilosum en Agar Sangre



Crecimiento de *Proteus vulgaris*. En el medio de Agar Nutritivo Modificado, formas de ondas.

