

**RECUPERACIÓN DE LODOS DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN
PROVENIENTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA,
PARA USAR COMO ABONO EN CULTIVOS DE PALMA AFRICANA.**

**FRANCY YADIRA AVENDAÑO CARDENAS CODIGO 63.553.957
JHON ALEXANDER MARTINEZ GONZALEZ CODIGO 91.530.880**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
INGIENERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
OCTUBRE DE 2015**

**RECUPERACIÓN DE LODOS DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN
PROVENIENTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA,
PARA USAR COMO ABONO EN CULTIVOS DE PALMA AFRICANA.**

**FRANCY YADIRA AVENDAÑO CARDENAS CODIGO 63.553.957
JHON ALEXANDER MARTINEZ GONZALEZ CODIGO 91.530.880**

**PROYECTO DE GRADO APLICADO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERA AMBIENTAL**

**DIRECTORA:
JANET BIBIANA GARCIA MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE
INGIENERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
OCTUBRE DE 2015**

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por darnos la oportunidad de estar al lado de nuestras familias quienes nos han brindado su apoyo incondicional durante este proceso de formación y poder aportar un granito de arena en la construcción de un ambiente sostenible mediante la búsqueda de alternativas que permiten recuperar y transformar residuos resultantes de procesos en valor agregado.

A nuestra hija porque se ha convertido en nuestro motor principal para seguir creciendo profesionalmente y de esta forma poder brindarle un mejor futuro.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarnos el don de la vida y poder compartir momentos de aprendizaje al lado de familiares que impulsan el desarrollo personal e intelectual, en especial a nuestro padres, Gloria González Otero, Gustavo Martínez Díaz, Hugo Avendaño Villamil y Luz karime Cárdenas, a la Ingeniera Janet Bibiana García, por guiarnos en el desarrollo de este proyecto.

A las directivas de la empresa Indupalma Ltda., que nos brindó la oportunidad de desarrollar el proyecto investigativo en busca de una solución ambiental a la problemática de la mala disposición de los lodos residuales.

Jhon Alexander Martínez González

Francy Yadira Avendaño Cárdenas

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION	1
2	FORMULACION DEL PROBLEMA.....	2
3	JUSTIFICACION	3
4	OBJETIVO GENERAL.....	4
4.1	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
5	MARCO TEORICO.....	5
5.1	INDUSTRIA DE LA PALMA EN COLOMBIA.....	5
5.2	TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS DE LA INDUSTRIA PALMERA	6
5.3	COMPOSICION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	7
5.3.1	Tanques Florentinos.....	8
5.3.2	Lagunas anaeróbicas	8
5.3.3	Lagunas facultativas.....	8
5.3.4	Lechos de secado de lodos	8
5.4	ANTECEDENTES	9
5.5	LODOS RESIDUALES DEL PROCESO DE EXTRACCION DE PALMA DE ACEITE	10
5.5.1	Caracterización.....	11
5.6	APROVECHAMIENTO DE LODOS	11
5.7	Impactos ambientales.....	13
5.7.1	Impacto al Cambio Climático	13
5.7.2	Minimización del impacto	14
6	USO DE LODO EN CULTIVOS	14
	Conversión de lodos en abono	15
	Lodos líquidos.....	15
	Lodos deshidratados.....	15
	Lodos Secos	16
	Parámetros de la calidad de los lodos	16
6.1	APLICACIÓN DE LODOS COMO ABONO ORGANICO PARA EL CULTIVO DE PALMA	17
6.1.1	NECESIDADES NUTRICIONALES DE LA PALMA DE ACEITE.....	17
7	DESARROLLO METODOLOGICO	20
7.1	Localización geográfica	20

7.2	Fase1: Recolección y análisis de la información, básica de la investigación.	21
7.3	Fase 2 Toma de muestras de lodos para analizar.	22
7.4	Fase 4 Análisis de resultados de laboratorio.	22
7.5	Fase 5 Selección de cultivo experimental.	23
7.5.1	Fase de Pre vivero.	24
7.5.2	Fase de trasplante.	25
7.6	Fase 6 Preparación de muestras sustrato.	25
7.7	Fase 7 Marcación del área de estudio cultivo experimental.	27
7.8	Fase 8 Registro del cultivo experimental planta por planta.	28
7.8.1	Medidas Vegetativas.	29
7.9	Fase 9 Seguimiento y registro trimestral de cultivo experimental.	31
8	RESULTADOS.	32
8.1	Numero de hojas emitidas.	32
8.2	Longitud de la hoja.	33
8.3	Diámetro del bulbo O grosor del tallo.	34
8.4	Altura total de palma.	35
9	ANALISIS ECONOMICO.	36
9.1	ANALISIS DE COSTOS POR DISPOSICION FINAL.	36
9.2	ANALISIS DE COSTOS POR USO DE LODO MEJORADOR DE SUELO.	38
10	ANALISIS DE RESULTADOS.	39
10.1	IMPACTOS ASOCIADOS A LA APLICACIÓN DE LODOS EN EL SUELO.	40
	CONCLUSIONES.	42
	BIBLIOGRAFIA.	43
	ANEXOS.	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de las zonas productoras de palma en Colombia (2011)	5
Tabla 2. Rendimientos del procesamiento del fruto de la palma de Aceite	6
Tabla 3. Caracterización de Efluentes de Plantas Extractoras en Colombia.....	7
Tabla 4. Manejo de lodos residuales en diferentes países.....	9
Tabla 5. Composición química del lodo en base seca.....	11
Tabla 6: Parámetros de calidad de compost.....	16
Tabla 7. Composición de nutrientes en fertilizantes y lodo	19
Tabla 8. Generación de lodos mensual	22
Tabla 9. Resultados de laboratorio muestra de lodo	23
Tabla 10: Mezclas de sustratos experimentales	25
Tabla 11. Formato de registro medidas vegetativas (hoja de vida de las plantas)	28
Tabla 12. Numero de Hojas emitidas por sustrato y tiempo	32
Tabla 13. Crecimiento foliar por sustrato y tiempo	33
Tabla 14. Crecimiento del diámetro de bulbo o tallo por sustrato y tiempo	34
Tabla 15. Altura total de palma por sustrato y tiempo.....	35
Tabla 16 Costo anual actual por traslado y disposición final.....	36
Tabla 17 Costo anual por retiro de lodos del sistema lagunar.	36
Tabla 18 Comparativo costos actuales vs costo propuesta investigación.	37
Tabla 19 Costo anual con fertilizantes químicos por parte de Indupalma.	38
Tabla 20 Costo anual con fertilización química complementada con lodo tratado.....	38

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Palmas en pre vivero	24
Foto 2 Plantas en trasplanté.....	25
Foto 3. Preparación de sustratos	26
Foto 4. Selección de sustratos	26
Foto 5. Marcación de palma de acuerdo al sustrato.....	27
Foto 6. Alineación de palma según el sustrato	27
Foto 7. Registro número de hojas emitidas	29
Foto 8. Toma medida longitud de la hoja.....	29
Foto 9. Toma medida grosor del tallo.....	30
Foto 10. Toma medida altura total de la palma	30

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1 Sistema de tratamiento lagunar	7
Grafico 2 Ubicación Plantación: Kilómetro 10 vía Panamericana, San Alberto (Cesar).....	20
Grafico 3. Crecimiento porcentual de la emisión de hojas según tipo de sustrato.....	32
Grafico 4. Crecimiento porcentual de crecimiento foliar según tipo de sustrato	33
Grafico 5. Crecimiento porcentual del diámetro del tallo según tipo de sustrato	34
Grafico 6. Crecimiento porcentual de la altura total según tipo de sustrato	35

ANEXOS

Anexo: 1 Resultados propiedades Físico Químicas de Lodo Negro abril 2015	45
Anexo: 2 Resultados propiedades Físico Químicas de lo lodo liquido Enero 2015.....	46
Anexo: 3 Resultados propiedades Físico Químicas de los Lodos Junio 2014.....	47
Anexo: 4 Resultados propiedades Físico Químicas de los Lodos abril 2014.....	48
Anexo: 5 Registro primera toma de medidas vegetativas (mes 1)	49
Anexo: 6 Registro primera toma de medidas vegetativas (mes 3)	50
Anexo: 7 Registro primera toma de medidas vegetativas (mes 6)	51

RESUMEN

TÍTULO: RECUPERACIÓN DE LODOS DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN PROVENIENTES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA, PARA USAR COMO ABONO EN CULTIVOS DE PALMA AFRICANA.

AUTORES: Francy Yadira Avendaño Cárdenas
Jhon Alexander Martínez González

PALABRAS CLAVES: Aceite de palma, oleaginosas, aceites, grasas, efluentes, lodos, fertilización, compost, abono.

CONTENIDO: Indupalma como productor de aceite de palma, enfrenta un desafío por parte de la generación de grandes cantidades de efluentes resultantes del proceso de extracción de aceite, problemas ambientales representan estos desechos que deben ser tratados con un sistema de alto rendimiento.

Este estudio pretende analizar la utilización de lodos provenientes de las lagunas de oxidación en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) sobre la aplicación de lodos en suelos, considerando al lodo tratado como un mejorador de suelos o como un complemento a la fertilización. Dichos estudios determinaran su aplicabilidad en la agricultura especialmente en los cultivos de palma africana.

Este estudio puso en relieve algunas tecnologías a implementar para dar tratamiento a los lodos y aplicar en zonas de estudio previamente identificadas para analizar su comportamiento paralelo con otras palmas sin aplicación de abono, buscando siempre la mejor alternativa que permita, abordar una solución económicamente rentable y técnicamente viable para reutilización de los lodos residuales en cultivos propios de palma, minimizando el impacto ambiental.

ABSTRACT

TITLE: SLUDGE RECOVERY GAPS OXIDATION PROCESS FOR REMOVAL FROM PALM OIL FOR USE AS FERTILIZER IN PALMA AFRICAN CULTURES.

AUTHORS: Francy Yadira Avendaño Cárdenas
Jhon Alexander Martínez González

KEYWORDS: Palm oil, oilseeds, oils, fats, fertilizer, compost.

CONTENT: Indupalma as palm oil producer, faces a challenge from the generation of large amounts of effluents from oil extraction process, environmental problems posed by these wastes should be treated with a high-performance system.

This study analyzes the use of sludge from the oxidation ponds in wastewater treatment plant (WWTP) on the application of sludge on soils, considering the treaty as a soil improver or as a complement to fertilization mud. These studies will determine its applicability in agriculture especially in oil palm cultivation

This study will highlight some technologies to implement in order to treat sludge and apply study areas previously identified to analyze their parallel behavior with other palms without application of fertilizer.

This study will highlight some technologies to implement in order to treat sludge and applied research in areas previously identified to analyze their behavior with other palms parallel without fertilizer application , always seeking the best alternative that allows , addressing a cost-effective solution technically feasible for reuse of sludge in own palm plantations , minimizing environmental impact.

1 INTRODUCCION

El rápido desarrollo industrial en los mercados internacionales y el efecto de la globalización a nivel mundial, ha llevado a incrementar la generación de desechos y residuos en los diversos procesos del sector agroindustrial en los diferentes países del mundo, lo cual se ha convertido en una amenaza muy seria para el medio ambiente si no se da un tratamiento adecuado.

La falta de cultura ambiental de las empresas del sector palmicultor en la recuperación y utilización de los subproductos, ha conllevado a que los lodos sean entregados a empresas especializadas al manejo de residuos peligrosos, trasladando la problemática a otro lugar, o en ocasiones van a parar a rellenos sanitarios por temas económicos, desaprovechando su potencial como mejoradores de suelos en los cultivos.

El presente estudio busca demostrar una solución viable económica y ambientalmente sostenible a la disposición final de los lodos, que en este momento se están generando en la industria palmera, los cuales son depositados en una cárcava sin ningún tipo de control ambiental, lo que genera molestias entre la comunidad cercana al área de la cárcava.

El sector agroindustrial del aceite de palma busca alternativas de recuperación de sus residuos productivos, en especial los procedentes de las lagunas de oxidación, pues estos pueden ser utilizados como materia orgánica en las plantaciones de palma aportando nutrientes y mejorando las condiciones del suelo para una mejor absorción de los fertilizantes. De esta manera al utilizar estas fuentes alternativas como complemento para la nutrición de las palmas se logra una disminución importante en los costos directos de la fertilización de los cultivos. Así mismo este tipo de prácticas permiten que las empresas extractoras logren un balance en las prácticas ambientales soportada en estándares de calidad y de eficiencia.

2 FORMULACION DEL PROBLEMA

La agroindustria de la palma de aceite en su fase de extracción de aceite crudo genera grandes cantidades de desechos (sólidos y líquidos), en los sólidos encontramos la tusa, ceniza y fibra que son depositados en los cultivos como abono por su fácil manejo y desplazamiento, pero el verdadero problema es el efluente resultante de los procesos que contienen una elevada carga de materia orgánica la cual puede favorecer las propiedades químicas y físicas del suelo y mejorar su productividad, aportando también otros compuestos como N, P, K, Mg, Ca entre otros.

En la actualidad estos lodos son depositados en lagunas de oxidación las cuales después de terminado el proceso generan grandes cantidades de lodos residuales los cuales no son aprovechados y por el contrario deben ser retirados periódicamente por medio de volquetas hasta las cárcavas donde se hace su disposición final.

Al ser depositados en cárcavas como relleno a cielo abierto se generan cantidades de dióxido de carbono y metano, algunos de los problemas que se presentan actualmente por la mala disposición de estos lodos esta:

- Generación e incremento de vectores.
- Generación de malos olores.
- Afectación de las propiedades físicas del suelo.
- Contaminación de fuentes hídrica aledañas.

A esta problemática se suma los costos económicos por las largas distancias que los vehículos tienen que recorrer para el traslado de estos lodos desde las lagunas de oxidación hasta el sitio de disposición final (cárcava) durante este trayecto las volquetas permiten que los lodos caigan a la carretera central afectando a la comunidad que por allí transita diariamente.

3 JUSTIFICACION

La mala disposición y el poco aprovechamiento de los desechos que se generan diariamente en los procesos productivos en algunas empresas agroindustriales, contribuyen a la contaminación ambiental de los recursos como el suelo, agua y aire. Debido a esta situación se ha generado la necesidad de realizar estudios soportados en resultados que pretendan sustentar alternativas ambientales para implementar un sistema de producción más limpia y aprovechar los residuos generados.

Lo anterior hace referencia a la necesidad de buscar soluciones que permitan aumentar la eficiencia en los cultivos de palma africana, reducir los riesgos de contaminación al medio ambiente y la posible afectación a salud de los seres humanos por el incremento de la contaminación causada por una mala disposición y manejo de los residuos.

Así mismo se busca que esta investigación resulte atractiva para la Agroindustria de aceite de palma, debido a la generación de beneficios, como son la reducción de costos al eliminarse el transporte de los lodos en vehículos hacia el punto de disposición final. La cual se haría por medio de tubería hacia los lechos de secado. Estos últimos están ubicados junto a las lagunas de oxidación lo que permite una reducción considerable en los costos del transporte.

Por otra parte, se resaltan los altos contenidos de nutrientes y materia orgánica que contienen los lodos; propiedades que favorecen las condiciones del suelo en los que se apliquen, dando lugar a un proceso de producción más limpia a la empresa que lo implemente.

El proyecto investigativo busca reutilizar estos lodos como abono orgánico para los mismos cultivos de la palma africana.

4 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad técnica, ambiental y económica de la generación de abono a partir de los lodos producidos en las lagunas de oxidación de la planta procesadora de aceite de palma.

4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar el potencial nutricional de los lodos, a partir ensayos experimentales, frente a la necesidad de nutrientes en cultivos de palma africana mediante la incorporación de lodos recuperados de las lagunas de oxidación durante seis meses en palma joven.
- Evaluar los costos económicos de disposición final en rellenos sanitarios vs la recuperación y tratamiento de los lodos como mejorador de suelos en cultivos de palma africana.
- Determinar los beneficios ambientales y reducción del impacto, mediante el proceso de recuperación de los lodos y análisis de resultados.

5 MARCO TEORICO

5.1 INDUSTRIA DE LA PALMA EN COLOMBIA

Colombia es el quinto productor de aceite en el mundo, después de Malasia, Nigeria, Tailandia y Brasil; Colombia cuenta actualmente con 243.037 Ha de las cuales 157.328 Ha en beneficio con una producción anual de aceite de palma de 730.338 Toneladas y 60.429 toneladas de aceite de palmiste sin cuantificar sus otros derivados¹.

Las principales plantaciones de palma de aceite están ubicadas en las siguientes zonas del territorio nacional.

Tabla 1. Ubicación de las zonas productoras de palma en Colombia (2011)

ZONA PALMERA	DEPARTAMENTOS	AREA	# MUNICIPIOS
NORTE	Atlántico, Cesar, Córdoba, Guajira, Magdalena	124.340	42
CENTRAL	Bolívar, Santander, Norte de Santander y sur del cesar	121.221	33
OCCIDENTAL	Cauca, Nariño, Valle del Cauca, Caquetá, Meta	18.630	3
ORIENTAL	Casanare y Meta	163.447	30

Fuente: Anuario Estadístico La agroindustria de la palma de aceite en Colombia y el mundo 2003 - 2012 – FEDEPALMA. DANE (2012, p. 20)

La palma de aceite (*Elaeis Guineensis*) es un cultivo tropical de tardío rendimiento, su vida productiva puede durar hasta los 50 años, pero en la actualidad se maneja hasta los 25 años debido a las dificultades presentadas en la altura del tallo. Cada hectárea sembrada en palma africana puede llegar a rendir hasta cinco toneladas anualmente, a diferencia de otras plantas oleaginosas².

La extracción del aceite de la palma africana se realiza mediante procesos térmicos y mecánicos sin necesidad de solventes lo que la hace un proceso completamente natural, los resultados del proceso son el aceite de palma a partir del mesocarpio del fruto y el aceite de palmiste a partir de

¹ Federación nacional de cultivadores de palma de aceite, Fedepalma y fondo de palmero. Anuario 2005. Editorial Ápice: Bogotá D.C. Junio 2005.

² García M., Jesús A. Estado actual del manejo de Efluentes en Colombia. Revista Palmas, Volumen 14, Numero Especial. Santa Fe de Bogotá 1993.

la almendra, el cual deja un residuo denominado torta de palmiste, de gran valor para producir concentrado para alimento en especial el de bovinos, toda esta operación genera gran cantidad de residuos sólidos y líquidos (tabla 2): Cerca del 80% de las materias primas (racimos de fruta y agua) se convierten en residuo del proceso, de los cuales el 50% son de efluentes mientras que el 30% restante son residuos sólidos ³

Tabla 2. Rendimientos del procesamiento del fruto de la palma de Aceite⁴

Producto	Kg por Tonelada de Racimo	%
Aceite crudo	207,7	15,37
Fibra	151,1	11,18
Racimo Vacío	231,5	17,13
Cascara	85,0	6,29
Nuez (almendra)	42,2	3,14
Efluentes Líquidos	614,1	45,46
Aceite Perdido	19,3	1,43

*Se agregan 359,9 Kg de agua por proceso

Fuente: Sistema de información ambiental UIS

5.2 TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS DE LA INDUSTRIA PALMERA

Los efluentes resultantes de las plantas extractoras de aceite de palma, se caracterizan por su alto contenido de carga orgánica en DBO y DQO, altas temperaturas y bajo pH; la presencia de aceite en el efluente se convierte en un problema costoso para su remoción, la mayor parte de este aceite se recupera en los tanques Florentinos (trampa de grasas). Actualmente la ley colombiana exige la remoción de un 80% de contaminantes como mínimo antes de ser vertido al cuerpo de agua⁵.

³ Indupalma Ltda. (2014). *sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo* (r.10 ed.). San Alberto, cesar: Indupalma Ltda.

⁴ Universidad industrial de Santander, UIS e instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, Ideam. Sistema de información Ambiental para Sectores Productivos Producción de Aceites Vegetales sin Refinar.

⁵ Garnica N., Jesús A Uribe M., León D. Manejo de Efluentes de Plantas Extractoras – 2. Diseño de Lagunas de Estabilización. Boletín Técnico No. 11: Cenipalma: Santa Fe de Bogotá, 1997.

Tabla 3. Caracterización de Efluentes de Plantas Extractoras en Colombia

Parámetro	Unidades	Intervalo	Promedio
pH	--	3,87-5,25	4,55
Temperatura	°C	53-77	67,4
DBO5	mg/l	18.700 – 175.521	48.873
DQO	mg/l	45.256 – 232.000	79.370
Solidos Totales (ST)	mg/l	32.482 – 111-029	45.670
Solidos Suspendidos (SS)	mg/h	19.129 – 88.258	35.105
Solidos Sedimentables (S.SED)	mg/l	125 – 1.000	677
Solidos Totales Volátiles (STV)	mg/l	26.530 – 98.445	48.988
Fosforo 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	6.480 – 80.701	18.747
Acidez Total	mg/l	750 – 2.548	1.611

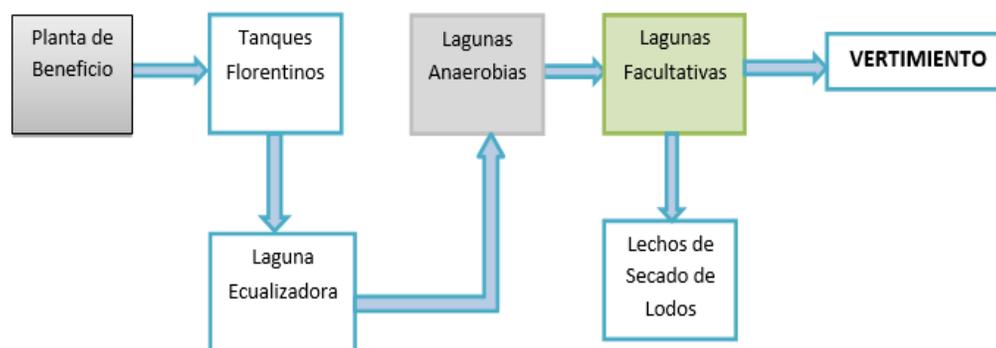
Fuente: Manejo de Efluentes de Plantas Extractoras Boletín 11

La carga orgánica de los procesos físico-químicos (sedimentación, filtración, secado, floculación y centrifugación) es una opción poco eficiente y de alto costo. La anterior afirmación se debe a la gran cantidad de reactivos que se utilizan en el proceso de extracción de aceite de palma.

Actualmente en Colombia el sistemas más usado para tratar los efluentes generados en la plantas extractoras de aceite de palma son las lagunas de estabilización, que combinan digestión anaerobia, aerobio y facultativa.

5.3 COMPOSICION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Grafico 1 Sistema de tratamiento lagunar



Fuente: Elaboración propia de los autores

5.3.1 Tanques Florentinos

El sistema de tratamiento inicia con los tanques florentinos los cuales reciben el agua que proviene de la fase de extracción de aceite de la planta de beneficio, aquí el agua es retenida por un periodo de 24 horas donde las grasas permanecen en la superficie del tanque; allí es recuperado manualmente un porcentaje del aceite el cual es retornado nuevamente al proceso. El efluente es conducido por tubería hacia las lagunas de oxidación en donde se estabiliza el pH y la temperatura⁶.

5.3.2 Lagunas anaeróbicas

En esta etapa un grupo de bacterias mesofilas descomponen los compuestos orgánicos más complejos y los convierten en compuestos más sencillos. Estas bacterias forman ácidos para darle paso a otro grupo de bacterias que ya en condiciones óptimas de pH y temperatura las convertirá finalmente en metano y dióxido de carbono; habrá aparición de burbujas gracias a la liberación de estos gases, se logra remover aproximadamente el 85% de DQO y finalmente el efluente es llevado a las lagunas facultativas para dar continuidad con el tratamiento.

5.3.3 Lagunas facultativas

La principal función de estas lagunas es la remoción de la carga permanente de la laguna anaerobia, las cuales poseen una zona aerobia (con oxígeno) en la parte superior y donde predominan bacterias aerobias; una zona anaerobia (sin oxígeno). Su objetivo es obtener un efluente de mayor calidad logrando remover aproximadamente el 18% del DQO permanente de las lagunas anaerobias.

5.3.4 Lechos de secado de lodos

Los lodos que son generados durante el tratamiento poseen unas características que hacen que no puedan disponerse directamente; ya que contienen un alto contenido de materia orgánica y agua, haciendo que se generen malos olores, proliferación de vectores y difícil secado natural; dificultando su disposición final⁷.

⁶ Indupalma Ltda. (2014). *sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo* (r.10 ed.). San Alberto, cesar: Indupalma Ltda.

⁷ Indupalma Ltda. (2014). *sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo* (r.10 ed.). San Alberto, cesar: Indupalma Ltda.

5.4 ANTECEDENTES

En Colombia, Fedepalma ha realizado investigaciones sobre la reutilización de efluentes y tusas en fertilizante orgánico con cero desperdicios y los resultados obtenidos permitieron llegar a la conclusión de que es posible reemplazar las lagunas anaerobias para tratamiento de efluentes, eliminando la emisión de metano y, por tanto mejorando las condiciones ambientales y la sostenibilidad de plantaciones de aceite de palma⁸.

El proceso de la extracción de aceite de palma es uno de los procesos más autosuficientes de la industria agraria, debido a que todos sus residuos generados en el proceso son aprovechados de manera eficiente disminuyendo el impacto ambiental. De 30 extractoras encuestadas por CENIPALMA. 16 poseen sistemas de lagunas, de las cuales, no más de cinco (17%) podría decirse que funcionan adecuadamente.

Tabla 4. Manejo de lodos residuales en diferentes países⁹

MANEJO DE LODOS	
Europa, Australia, Estados Unidos	Actualmente se realizan investigaciones para utilizar los lodos especialmente tratados, como freno a la contaminación de los acuíferos por productos fitosanitarios y sus impurezas, además servirán para acelerar la descontaminación de suelos que ya estén afectados. También se aplican como fertilizantes en tierras agrícolas.
España	Los residuos de materias orgánicas procedentes de la recolección de residuos separados de origen urbano, así como de la industria, aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento pretenden ser utilizados en la agricultura ya que se considera que es el destino más adecuado para este tipo de materias desde el punto de vista ambiental y económico. Se estudia la aplicación de lodos residuales en el control de filtraciones de productos fitosanitarios al acuífero.
Dinamarca	La gran parte de los lodos estabilizados se usan como fertilizante en tierras

⁸ Federación nacional de cultivadores de palma de aceite, Fedepalma y fondo de palmero. anuario 2005. editorial ápice: Bogotá D.C. junio 2005.

⁹ Oropeza, Norma. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo. Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo. México.

	laborales. El porcentaje de reutilización de los lodos de aguas residuales es de 72%, el 20% se destina a la incineración, y 8% se dispone.
Chile	En 1999 fue aprobado el anteproyecto del “Reglamento para manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas” estableciendo que la operación de plantas de tratamiento de agua potable, agua residual urbana y residuos industriales líquidos genera gran cantidad de lodos, los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera adecuada para prevenir impactos negativos en el ambiente.
Argentina	Se han instrumentado plantas de compostaje de lodos residuales, para su posterior aplicación como biosólidos en la agricultura.
México	Recientemente se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 para lodos y biosólidos, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final.

La aplicación de lodos tiene efectos positivos en los suelos: disminuye la densidad aparente, aumenta la estabilidad de agregados, incrementa la retención de agua, aporta nutrientes y materia orgánica, mejorando el rendimiento de diferentes cultivos, partiendo de las experiencias obtenidas en campo demuestran que los nutrientes de los lodos pueden sustituir a los fertilizantes minerales como urea y superfosfato triple, en un 50% a partir de la segunda temporada de aplicación y en un 100% durante la tercera temporada, para cultivos de maíz¹⁰.

5.5 LODOS RESIDUALES DEL PROCESO DE EXTRACCION DE PALMA DE ACEITE

El lodo residual es un subproducto semisólido generado durante el tratamiento del efluente de las plantas de extracción de palma de aceite, estos lodos se acumulados en el fondo de la laguna anaerobia y con el tiempo reducen la capacidad del sistema, por lo que es necesario retirarlos del fondo de la laguna periódicamente.

¹⁰ Salcedo Pérez, E., Vázquez Alarcón, A., Krishnamurthy, L., Zamora Natera, J., Hernández Álvarez, E., & Rodríguez Macías, R. (2007, February 1). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México.

5.5.1 Caracterización

El lodo es estabilizado en un proceso biológico generalmente por conversión de gases y tejido celular, el cual puede ser aeróbico o anaeróbico; contiene varios componentes en suspensión, incluyendo tejidos vegetales, paredes de las células, orgánulos, fibras, carbohidratos algunos compuestos nitrogenados y un conjunto de pequeños componentes orgánicos y minerales. En la Tabla 5 se muestran las características fisicoquímicas del lodo en base seca.

Tabla 5. Composición química del lodo en base seca

Análisis	Unidad	Lodo
pH		8,4
Conductividad Eléctrica	dS/m	11
Carbono Orgánico	%	8,5
Nitrógeno	%	5,9
Potasio	cmol/kg	31,8
Calcio	cmol/kg	41,4
Magnesio	cmol/kg	32,2
Sodio	cmol/kg	0,7
Capacidad de intercambio catiónico	cmol/kg	11
Fosforo	mg/kg	500
Boro	mg/kg	5,1
Azufre	mg/kg	388
Cobre	mg/kg	0,9
Hierro	mg/kg	2,9
Manganeso	mg/kg	4,1
Zinc	mg/kg	0,5

Fuente: Cortés. C, et ál. 2006¹¹

Para la adecuada interpretación de estos valores, es necesario considerar que el contenido de potasio, calcio, magnesio y sodio del suelo actualmente se expresa en cmol (+) Kg. Anteriormente, el contenido de calcio, magnesio y sodio se expresaba en meq/100 gramos de suelo. La expresión del contenido de estos elementos en meq/100 gramos de suelo, o cmol (+) Kg corresponde exactamente a la misma cantidad, es decir, 1 cmol (+) Kg = 1 meq/100 gramos.

5.6 APROVECHAMIENTO DE LODOS

Es necesario identificar los procesos que permitan plantear recomendaciones para el tratamiento y optima reutilización de los lodos residuales, se requiere entonces evaluar ambientalmente el

¹¹ Cortés, C.; Chayón, G. 2006. Respuestas fisiológicas de palma de vivero a la aplicación de residuos de la planta extractora. Desarrollo vegetativo y distribución de materia seca. *Palmas* (Colombia) 27 (4).

sitio de tratamiento de los lodos, que no esté cerca de cuerpos de agua y establecer un buen sistema de transporte de lodos que sea seguro, monitoreando permanentemente fugas u otro tipo de condición que pueda afectar el medio ambiente.

Suministrar bacterias a la laguna anaeróbica teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema de cada empresa, puede mejorar la eficiencia del tratamiento de efluentes; y así reducir la frecuencia de su limpieza con el fin de mantener una actividad alta de microorganismos para la rápida y completa descomposición de los sólidos.¹²

Para el adecuado aprovechamiento de los lodos se requiere realizar el respectivo perfil de lodos, identificando en la laguna los puntos claves en los cuales el lodo acumulado debe ser retirado o bombeado. Además de remover periódicamente los lodos del fondo de las lagunas con el fin de prevenir la “colmatación de los lodos”, recomendado cuando su altura sea superior a la tercera parte de su profundidad.

Con respecto a las restricciones para la evacuación del lodo, se recomienda no retirar todo el lodo del fondo, pues hacerlo desestabilizaría el sistema de la laguna y afectaría la integridad del revestimiento creado sobre la tierra.

El proceso de secado de los lodos es de suma importancia, debido al alto contenido de humedad de estos (90-95%), este se debe reducir hasta alcanzar valores por debajo del 75% p/p. El secado de los lodos al aire libre se realiza en lechos de secado, para lo cual se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ El lecho debe ser simple, permeable, que permita recolectar los lixiviados y secar el lodo por evaporación. El área y diseño del lecho de secado corresponde a la capacidad del sistema de tratamiento de cada planta.
- ✓ Impermeabilizar el piso del lecho de secado y tener una sección de tubos perforados que drenen el lixiviado para su posterior recolección.

¹² García, J.A.; Uribe, L.D. 1997. Diseño de lagunas de estabilización. Manejo de efluentes de plantas extractoras. *Boletín técnico* 10. Cenipalma.

- ✓ Se recomienda que la carga aproximada de lodos sea de 200 kg/m² de sólidos totales aplicada en capas delgadas de entre 20 y 30 cm.
- ✓ La deshidratación de los lodos se hace durante un periodo aproximado de 2 a 3 semanas hasta que sea manipulable con pala.
- ✓ Después de la deshidratación, retirar el lodo seco y verificar el espesor del lecho de arena y si es necesario se debe completar con más arena.
- ✓ El lixiviado obtenido requiere tratamiento secundario, puede ser enviado nuevamente al sistema de tratamiento de efluente.

5.7 IMPACTOS AMBIENTALES

En la agricultura, la principal entrada de elementos traza metálicos al suelo es por el uso de fertilizantes fosfatados; éstos contienen cadmio. Se ha constatado que la acumulación progresiva de elementos traza metálicos en los suelos y especialmente el cadmio tiene efectos negativos en la salud humana¹³

5.7.1 Impacto al Cambio Climático

Otro aspecto que se debe tener en cuenta con la mala disposición de lodos en sitios no aptos para esta actividad, es el aumento a la problemática con respecto al calentamiento global, cabe mencionar que la disposición de lodos en rellenos sanitarios provoca una importante generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), dado que las condiciones anaeróbicas dentro de los depósitos fomentan la producción de metano (CH₄)¹⁴. Lo anterior demarca que las emisiones de estos GEI se minimizan con un buen sistema de aplicación de lodos en suelos.

¹³ Valenzuela A., 2001. Determinación de los niveles de cadmio en distintos fertilizantes fosforados y su acumulación en el suelo. Tesis de Magíster en Ciencias Agropecuarias.

¹⁴ Henríquez Henríquez, O. (2011). *Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agro sistemas de la provincia de Melipilla, región metropolitana, Chile*. Santiago, provincia de Melipilla: universidad de Chile.

5.7.2 Minimización del impacto

Es importante notar que el manejo del desecho no sólo se centra en el tratamiento, utilización y recuperación, sino que es más importante aún el aspecto de la producción en la fuente. Un mejor método de abordar el manejo del desecho debe concentrarse en la manera de reducir las cantidades de desecho residual durante todas las etapas de proceso de la planta extractora¹⁵.

La minimización del desecho es siempre la primera selección en la jerarquía de las opciones de producción más limpia, un alto porcentaje de países desarrollados que buscan una producción más limpia disminuyendo considerablemente la cantidad de desechos, evitando serios problemas ambientales que se pueden originar si los desechos generados continúan multiplicándose y salen de control o tratamiento alguno.

Las plantas extractoras de aceite de palma están ubicadas principalmente cerca de ríos, debido a que se utilizan altos volúmenes de agua para la operación de éstas. Es muy normal que durante los primeros días, las plantas extractoras descarguen el efluente directamente al río. Mientras más efluente contaminante se descargue en la cuenca del río, mayor es el impacto ambiental adverso ocasionado en el ecosistema del río, por lo que la primera opción de esta industria palmera fue la implementación de lagunas facultativas para remover la cantidad de carga contaminante antes de depositar en el efluente.

6 USO DE LODO EN CULTIVOS

Diversos estudios demuestran el potencial que tiene la aplicación de los lodos en el cultivo como complemento de la fertilización. Por su alto contenido de macro y micronutrientes, contribuye al incremento en la producción de frutos y es adecuado para su utilización en la producción de compost¹⁶

¹⁵ Manejo de efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma - proceso de la más avanzada tecnología. (1995). *Palmas*, 171-177.

¹⁶ Brugés, C.; García, J.A.; Dueñas, J.; Zapata, G.; Guevara, M.L.2000. Evaluación económica de sistemas de tratamiento de efluentes para una planta extractora de aceite de palma. *Palmas* (Colombia) 21 (1) Número especial.

El lodo con su alto contenido de materia orgánica produce el mejoramiento de la estructura de los suelos, importante para texturas muy granuladas, arenosas y arenosas francas. También incrementa la capacidad de retención del agua, especialmente en épocas de verano y baja pluviosidad. Asimismo favorece la coexistencia en el suelo de diferentes especies de microorganismos, aumentando considerablemente las enzimas y los metabolitos microbianos, lo que beneficia la estimulación de sustancias de acción Fito hormonal y la producción de vitaminas y aminoácidos, entre otros¹⁷

Los lodos digeridos o estabilizados contienen grandes cantidades de agua. El método de deshidratación en lechos de secado es muy usado en los países tropicales por ser un proceso sencillo y de bajo costo.

Las siguientes especificaciones indican bajo qué circunstancias se podrán utilizar los Lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales:

Conversión de lodos en abono

Para este proceso se permite que los lodos sean mezclados con otros desechos y/o materiales, tales como desechos orgánicos de jardines. Este material podrá ser empleado en los siguientes usos:

- a) Fertilizante para especies hortícolas
- b) Viveros para plantas ornamentales
- c) Aditivos para mejorar las condiciones físicas de suelos
- d) Fertilizantes para áreas de recreación, tales como parques, campos de golf, etc.

Lodos líquidos

Los lodos líquidos corresponden a aquellos lodos que contienen menos de un 25% de sólidos totales. Estos lodos pueden ser utilizados solamente en las siguientes aplicaciones: fertilización de empastadas, estabilización de suelos y aditivos para mejorar las condiciones físicas de suelos.

Lodos deshidratados

Los lodos deshidratados corresponden a aquellos lodos que contienen al menos 25% de sólidos totales. Estos lodos pueden ser aplicados en cultivo de forrajeras, viveros de plantas

¹⁷ Cuervo, H. 1999. *Diagnóstico del manejo y control de efluentes en plantas de beneficio de aceite de palma de la Zona Oriental. Villavicencio.*

ornamentales, como un aditivo para suelos, campos de golf y otras áreas de contacto limitado con seres humanos.

Lodos Secos

Los lodos secos corresponden a aquellos lodos que contienen al menos 40% de sólidos totales. Estos lodos pueden ser utilizados en aplicaciones agrícolas sin restricción, ya sea como abono o fertilizante en horticultura, cultivos de especies comestibles, plantaciones bananeras, viveros de especies frutales u ornamentales¹⁸.

Parámetros de la calidad de los lodos

Se deben establecer o cumplir unos parámetros químicos y físicos de la calidad de los lodos garantizando todos los requerimientos establecidos en la normatividad vigente de la NTC 5167, tal como se muestra en la tabla 6¹⁹

Tabla 6: Parámetros de calidad de compost

Parámetro	Valor
Humedad (%)	<15
N total P ₂ O ₅ +K ₂ O	>10
CaO + MgO	Reportar
Densidad	
PH	
Sodio	
Conductividad Eléctrica	
Arsénico mg/Kg	15
Cadmio mg/Kg	0,7
Cromo mg/Kg	70
Mercurio mg/Kg	1
Níquel mg/Kg	25
Plomo mg/Kg	140

Fuente: NTC 5157

¹⁸ Water Environmental Federation (wef). sludge dewatering – manual of practice no. 16”, wpcf, alexandria, va-usa, 1995.

¹⁹ NTC 5167 Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC

6.1 APLICACIÓN DE LODOS COMO ABONO ORGANICO PARA EL CULTIVO DE PALMA

El uso y aplicación de lodos como mejorador de suelos ha sido una alternativa de reutilización muy eficiente ya que estudios anteriores de estas aplicaciones han demostrado impactos positivos en la calidad química del suelo como aumento de la materia orgánica, del nitrógeno total y del fósforo total, como también en la calidad física de los suelos como mejorador en la agregación de partículas al suelo, aumento en la capacidad de retención de agua del suelo. Todos estos macro y micro nutrientes hacen que su contribución sea de suma importancia en lo que respecta al ahorro de recursos en la compra de fertilizantes además de una mejora en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que genera una reducción de costos de disposición final e impactos positivos al medio ambiente por el reciclaje de nutrientes en el suelo.

Los residuos industriales resultantes del proceso de extracción de aceite de palma se convierten en un recurso aprovechable y beneficioso para los cultivos internos de la compañía por su alto contenido de materia orgánica aumentando la productividad de las plantas. Para realizar la aplicación de los lodos se debe tener en cuenta el aporte nutricional de los lodos para que sean descontados de la aplicación anual de fertilizantes, descontar la cantidad de nutrientes que se están adicionando con la aplicación de lodos al suelo, sin descuidar el monitoreo del estado nutricional de la palma.

6.1.1 NECESIDADES NUTRICIONALES DE LA PALMA DE ACEITE

Las plántulas de palma de aceite en todas sus etapas de crecimiento demandan nutrientes. Desde unos pocos días después de la germinación hasta el final de la etapa productiva, se requiere que el medio de crecimiento esté aportando los nutrientes en cantidad suficiente y en forma balanceada, para evitar deficiencias en su desarrollo.

Por lo anterior, en los cultivos comerciales de palma de aceite ordinariamente los programas de fertilización se inician desde los viveros. Para su normal desarrollo las plantas necesitan 16 elementos nutritivos. El Hidrogeno (H), Oxígeno (O) y Carbono (C) son elementos que la planta obtiene sin necesidad de aplicaciones. Pueden obtenerlos en el agua y el aire. Los restantes 13

elementos se conocen como minerales porque son aplicados artificialmente a la planta por medio de fertilización al suelo o follaje. Estos elementos son Nitrógeno (N), Potasio (K), Fósforo (P), Magnesio (Mg), Azufre (S), Calcio (Ca), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Boro (B), Hierro (Fe) y Cloro (Cl).

Según la cantidad que la planta necesite los elementos se conocen como macro y micronutrientes, para la palma africana la división de macro y micro elementos es:

- ✓ Macro elementos = N, P, K, Ca, Mg
- ✓ Micro elementos = Fe, Cu, Cl, B, Mn, Zn, Mo, S
- ✓ **Nitrógeno (N)** El nitrógeno es esencial para el crecimiento de la planta especialmente en el desarrollo de follaje en las plantas. El nitrógeno participa en la fotosíntesis que es la forma en las plantas adquieren energía.
- ✓ **Fósforo (P)** El fósforo es esencial para el crecimiento de la planta, particularmente para el crecimiento de la raíz durante el establecimiento y las primeras etapas de la plantación.
- ✓ **Potasio (K)** Participa en el crecimiento de la planta, sobre todo los frutos. Controla la apertura y cierre de las estomas (poros de la planta) por lo que controla el agua en la planta, contrarresta condiciones de sequía. Es un factor nutricional importante para mayor rendimiento, también ayuda en la resistencia a enfermedades.
- ✓ **Magnesio (Mg)** El magnesio es el elemento central en la fotosíntesis y respiración de la planta. Es importante para que la planta absorba la energía solar.
- ✓ **Boro (B)** Participa en el crecimiento, maduración y elongación de la planta. El boro es esencial para el crecimiento. Promueve el crecimiento del tubo de polen y la germinación.
- ✓ **Calcio (Ca)** Interviene en la elongación de las células en los tallos, puntos de crecimiento y puntos de crecimiento de las raíces.
- ✓ **Azufre (S)** El azufre estimula la producción de semillas. Ayuda a la planta a soportar temperaturas bajas. Es importante en la formación de vitaminas para la planta²⁰.

²⁰ Trejos Vélez, M., & Agudelo Vélez, N. (2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa "comestibles la rosa" como alternativa para la generación de biosólidos. Pereira: universidad tecnológica de Pereira.

A continuación, se presenta una comparación de la composición de nutrientes entre los fertilizantes minerales habitualmente utilizados en la producción agrícola y el lodo.

Tabla 7. Composición de nutrientes en fertilizantes y lodo

Insumos	Nitrógeno (N)	Fosforo (p)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Azufre (S)	Materia Orgánica
Kg/Ton						
Urea	460	0	0	0	0	0
SFT(+)	0	460	0	210	0	0
K ₂ SO ₄ (+)	0	0	500	0	180	0
Mezcla Maicera	290	140	80	40	5	0
Lodo(*)	27,7	57	3	82,4	2,7	452
(+)			Formulaciones químicas de fertilizantes			
(*)			Según la caracterización química del lodo			

De la tabla 7 se obtienen los distintos aportes de nutrientes, pudiendo observarse que la mezcla maicera y el lodo contienen un espectro más amplio de nutrientes, a diferencia de la urea que sólo aporta N, o del SFT que sólo aporta P y Ca. Los beneficios se contraponen con impactos negativos que se producen por la aplicación de lodos, los que tienen relación con el aumento de la salinidad del suelo, la disminución del pH y la acumulación en el suelo de algunos elementos traza metálicos, particularmente cobre y zinc, y de exceso de nutrientes

Dado que el lodo presenta un contenido de N de tipo orgánico y su entrega es gradual al suelo y luego al cultivo, ello implicaría un bajo riesgo de lixiviación de nitratos y consecuentemente un bajo riesgo de contaminación de acuíferos; situación similar ocurre con el P presente en el lodo respecto a la eutrofización. Sin embargo, al aplicar una dosis alta de lodos durante varias temporadas sucesivas, la experiencia demuestra que se generan impactos ambientales por los excesos de N y P²¹.

²¹ Henríquez Henríquez, O. (2011). *Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agro sistemas de la provincia de Melipilla, región metropolitana, Chile*. Santiago, provincia de Melipilla: Universidad de Chile.

7 DESARROLLO METODOLOGICO

La iniciativa del proyecto investigativo surge de la necesidad de dar una solución pronta y efectiva a la mala disposición de los lodos en la actualidad en la empresa INDUPALMA LTDA. Para la obtención de resultados validos se realizaron ensayos en cultivos de palma africana joven, con un periodo de 6 meses y tres tipos de sustratos diferentes que permitirán determinar la mezcla adecuada según los requerimientos nutricionales del cultivo.

7.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El proyecto se realizó en la empresa Indupalma la cual se encuentra localizada al sur del departamento del Cesar en la jurisdicción del municipio de San Alberto. Tiene una plantación con 18.109 hectáreas sembradas en palma africana. Cuenta además con una planta industrial, para el procesamiento del fruto de la palma y extracción del aceite y almendra o Palmiste, con una capacidad nominal de 60 toneladas / hora de fruto fresco procesado, y una planta de extracción de aceite de palmiste y torta (harina) de palmiste con una capacidad nominal de 30 toneladas / día de palmiste.

Grafico 2 *Ubicación Plantación: Kilómetro 10 vía Panamericana, San Alberto (Cesar)*



Fuente: Elaboración propia de los autores

7.2 FASE1: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN, BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.

Para la recolección de la información se tomó como referencia, artículos, revistas, y análisis realizados en otros estudios. Algunas de las fuentes de información consultadas para el desarrollo del presente estudio corresponden a:

- Industria de la palma en Colombia
- Tratamiento de efluentes líquidos de la industria palmera
- Sistema de tratamiento lagunar
- Lodos residuales del proceso de extracción de palma de aceite
- Recomendaciones para el aprovechamiento de los lodos
- Usos y beneficios del lodo en cultivos
- Calidad de lodos recuperados y sus diversos usos permitidos
- Ventajas y desventajas asociados a la aplicación de lodos como abono orgánico
- Recuperación y aprovechamiento de lodos
- Necesidades nutricionales de la palma de aceite

De acuerdo a la información recopilada y tal como lo demuestran los antecedentes en estudios previos, podemos decir con certeza que los lodos residuales estabilizados adecuadamente funcionan como mejorador de suelos degradados o faltos de nutrientes por continuas actividades agrícolas, gracias a las propiedades químicas y microbiológicas que contienen en altos niveles, se convierte en la mejor alternativa para recuperar residuos resultantes del proceso y a su vez, la utilización en cultivos propios.

La problemática de las compañías agroindustriales son los altos volúmenes que se generan diariamente de este residuo, la variedad de estudios señalan que son la mejor alternativa de recuperación y consumo interno disminuyendo los costos de aplicación de fertilizante mejorando las condiciones del cultivo.

7.3 FASE 2 TOMA DE MUESTRAS DE LODOS PARA ANALIZAR.

Los lodos fueron desaguados de las lagunas de oxidación, y se enviaron al sistema de lechos de secado, en el cual se dejaron madurar por un periodo de 6 meses para eliminar las altas cargas de humedad con las que salen de las lagunas de oxidación.

Posteriormente se enviaron las muestras del lodo maduro, al laboratorio certificado AGRILAB, para realizar su respectivo análisis y tener un comparativo de lodos húmedos (frescos) vs lodos deshidratados o maduros.

En la tabla No. 8 se muestra la generación de lodo residual mensual promedio de una planta extractora con capacidad de procesamiento de 60 toneladas Racimo de fruta fresca.

Tabla 8. Generación de lodos mensual

Mes	Lodos Generados Mt ³
Enero	2.170
Febrero	2.180
Marzo	2.120
Abril	1.870
Mayo	1.850
Junio	1.760
Julio	1.810
Agosto	1.620
Septiembre	1.760
Octubre	1.880
Noviembre	2.270
Diciembre	2.330
Total	23.620 Mt³

Fuente: Elaboración propia de los autores

Se puede observar que la cantidad de lodo no es constante y que por esta razón se debe tener en cuenta en los cálculos estimativos y así tomar como base el mínimo y máximo, el máximo se toma como base para la construcción de los lechos de secado.

7.4 FASE 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO.

Una vez son emitidos los resultados del laboratorio, se analizaron para determinar si el lodo ya deshidratado o maduro es apto para aplicar en el cultivo seleccionado.

Los aspectos que se tuvieron en cuenta al momento del análisis fueron los porcentajes de carbono, nitrógeno, fósforo y que se ajusten a los requerimientos o necesidades nutricionales del cultivo sin dejar a un lado las condiciones mínimas a cumplir al momento de realizar aplicaciones de abonos en cualquier clase de cultivo. Otro aspecto relevante que se analizó detenidamente fueron las cantidades de elementos traza metálicos que pudieran afectar el suelo al momento de la aplicación.

Tabla 9. Resultados de laboratorio muestra de lodo

PARAMETRO	RESULTADO	UNDADES	METODO ANALITICO
Humedad	85,9	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	6,24	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Perdidas por Volatilización	7,85	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Carbono Orgánico Total	3,68	%	Gravimétrico (NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	7,27		POTENCIOMETRO
Densidad (Base Seca – 20°)	0,77	g/c.c.	Gravimétrico (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	5,49	dS/m	CONDUCTRIMETRO
Retención de Humedad	16,6	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	8,31	(me/100g)	Volumétrico (NTC 5167)
C/N	7		
Nitrógeno orgánico (N _{Org})	056	%	MICROKJELDHAL(NTC 5167)
Fosforo Total (P ₂ O ₅)	0,41	%	COLOMETRICO (NTC 5167)
Potasio Total (K ₂ O)	0,12	%	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Calcio Total (CaO)	0,51	%	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Magnesio Total (MgO)	0,26	%	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Azufre Total (S-SO ₄)	0,10	%	TURRIDIMETRO (NTC 5167)
Hierro Total	0,16	%	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Manganeso Total	95	p.p.m	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Cobre Total	15	p.p.m	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Zinc Total	17	p.p.m	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Boro Total	4,1	p.p.m	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Sodio Total	0,01	%	Emisión de llama
Sílice total SiO ₂	4,14	%	ABS. ATOMICA (NTC 5167)
Residuo insoluble en acido	4,39	%	Gravimétrico (NTC 5167)

Fuente: Resultado laboratorio Agrilab.

7.5 FASE 5 SELECCIÓN DE CULTIVO EXPERIMENTAL.

Se seleccionó un cultivo específico dentro de la plantación que dio cumplimiento con los requerimientos del proyecto, en especial de fácil apreciación de los cambios presentados para cada uno de los sustratos aplicados.

El sitio seleccionado para ubicar las plantas experimentales fue el vivero debido a que se tuvieron aspectos que favorecen el crecimiento de la plantas, tales como son:

- ✓ Fuentes de agua próximas y facilidades de acceso a través de todo el año.
- ✓ Sistema de riego.
- ✓ Zanjas que permiten drenar el vivero en época de invierno.
- ✓ Personal que realizan mantenimiento a las plantas.

Una vez distribuidas las bolsas en el pre vivero, se llenaron con cada uno de los sustratos y se plantaron las semillas para su germinación, estas bolsas con las palmas se dejaron a la sombra, hasta los tres meses de edad, teniendo en cuenta que en ningún caso la reducción de la luz debe ser superior al 60%.

7.5.1 Fase de Pre vivero

En la fase de pre vivero se sembró la semilla en su respetiva bolsa con los cuidados que requiere el cultivo durante un periodo de 3 meses que dura antes de ser trasplantada en el vivero.

Foto 1. Palmas en pre vivero



Fuente: Elaboración propia de los autores

7.5.2 Fase de trasplante

En esta fase la planta cumple los 3 meses se poda y se seleccionan las plantas que cumplen con los requisitos mínimos para su paso y trasplante al vivero.

Foto 2 Plantas en trasplante

Palmas sin podar



Palmas Podadas



Fuente: Elaboración propia de los autores

7.6 FASE 6 PREPARACIÓN DE MUESTRAS SUSTRATO.

Una vez los lodos cuenten con las especificaciones idóneas del cultivo se procedió a realizar la incorporación de diferentes dosis de lodos y mezclas con fertilizantes minerales que se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Mezclas de sustratos experimentales

CLASES DE SUSTRATO	LODO	FERTILIZANTE
1 SUSTRATO EXPIREMENTAL	100%	-----
2 SUSTRATO EXPERIMENTAL	50%	50%
3 SUSTRATO EXPERIMENTAL	-----	100%

Estas muestras se aplicaran en el cultivo previamente seleccionado para satisfacer total o parcialmente los requerimientos nutricionales de los cultivos de palma africana joven, con el fin de evaluar el comportamiento del lodo en los cultivos de palma, como son el rendimiento, la incidencia de plagas y enfermedades y balance nutricional del suelo.

Estos lodos se empaican en bolsas de 6 kilogramos para iniciar el proceso de trasplante de la plántulas al vivero.

Foto 3. *Preparación de sustratos*



Fuente: Elaboración propia de los autores

Foto 4. *Selección de sustratos*



Fuente: Elaboración propia de los autores

Este estudio experimental consideró aplicaciones con diferentes cargas de lodos en palma joven (vivero y pre vivero) durante 6 meses, con el fin de determinar el efecto mejorador de los lodos, en las propiedades físicas de los suelos y en los rendimientos de los cultivos.

7.7 FASE 7 MARCACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO CULTIVO EXPERIMENTAL

Una vez se determinó el área de estudio se marcaron los tres lotes para cada estudio, con marcación de palma una a una, con su respectiva hoja de vida para registrar su comportamiento durante el desarrollo investigativo.

Foto 5. Marcación de palma de acuerdo al sustrato



Fuente: Elaboración propia de los autores

Foto 6. Alineación de palma según el sustrato



Fuente: Elaboración propia de los autores

7.8 FASE 8 REGISTRO DEL CULTIVO EXPERIMENTAL PLANTA POR PLANTA.

Una vez aplicadas las cantidades anteriormente mencionadas, se evaluó el comportamiento independiente de las palmas según la aplicación de los sustratos para cada una de las medidas vegetativas estos avances son registrados en la hoja de vida de cada palma.

Una vez seleccionado el cultivo se tomó registro de las medidas vegetativas de cada una de las palmas a evaluar, con el objetivo de evidenciar su comportamiento durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 11. Formato de registro medidas vegetativas (hoja de vida de las plantas)

REGISTRO DE MEDIDAS VEGETATIVAS EN PLANTAS EXPERIMENTALES						
<i>Árbol</i>	<i>Sustrato</i>	<i>Fecha</i>	<i># De hojas emitidas</i>	<i>Longitud de la hoja</i>	<i>Diámetro del tallo</i>	<i>Altura de la Palma</i>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

Fuente: Elaboración propia de los autores

En el formato de registraron los datos relacionados con las medidas vegetativas que se tuvieron en cuenta para un periodo de 6 meses tomando como referencia una primer media en el mes 1, otra en el mes 3, y la ultima en el mes 6, durante este tiempo se midieron estos 4 aspectos:

- Numero de hojas emitidas.
- Longitud de la hoja más larga.
- Diámetro del bulbo a grosor del tallo.
- Altura total de la planta.

7.8.1 Medidas Vegetativas

✓ **Numero de hojas emitidas**

Se tomó registro de las hojas emitidas, abriendo la palma y contando todas las hoja y consignadas en la hoja de vida para cada una de las palmas.

Foto 7. Registro número de hojas emitidas



Fuente: Elaboración propia de los autores

✓ **Longitud de la hoja**

Se tomó la hoja más larga de la palma y se midió desde la base hasta el final de la misma registrando en la hoja de vida.

Foto 8. Toma medida longitud de la hoja.



Fuente: Elaboración propia de los autores

✓ **Diámetro del bulbo o grosor del tallo**

Se tomó en la base inferior del tallo o bulbo abriendo las hojas evitando que entren en la medición, registrando en la hoja de vida.

Foto 9. Toma medida grosor del tallo



Fuente: Elaboración propia de los autores

✓ **Altura total de palma**

Se tomó abrazando todas las hojas de la palma desde la base hasta el final de la misma y se registró en la hoja de vida.

Foto 10. Toma medida altura total de la palma



Fuente: Elaboración propia de los autores

7.9 FASE 9 SEGUIMIENTO Y REGISTRO TRIMESTRAL DE CULTIVO EXPERIMENTAL.

En esta fase se realizó un seguimiento semanal de observación a cada una de las plantas revisando deficiencias o evolución anormal de la misma, para el caso del registro este se realizó cada 3 meses, al inicio de la siembra, a los 3 meses y 6 meses con el fin de determinar la evolución de cada una de las plantas.

Estas plántulas se mantuvieron en las mismas condiciones climáticas y de cuidado que las del cultivo de vivero y pre vivero, garantizando que la evaluación de cada sustrato se mantenga en condiciones normarles de un cultivo de palma africana en general.

8 RESULTADOS

8.1 NUMERO DE HOJAS EMITIDAS

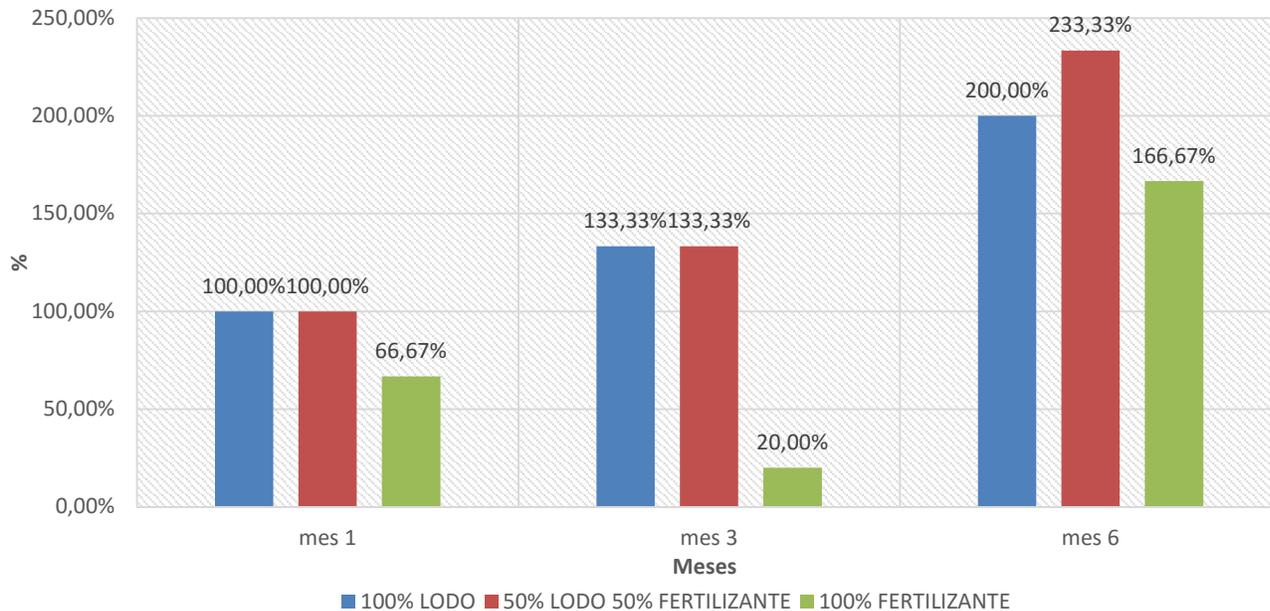
En los 2 primeros meses la planta emite dos hojas que no se desarrollan completamente, a los 4 meses comienza aparecer hojas separadas denominados foliolos, siguiendo con su desarrollo normal.

Tabla 12. Numero de Hojas emitidas por sustrato y tiempo

# hojas emitidas (Unidad)				
SUSTRATO	mes 0	mes 1	mes 3	mes 6
100% LODO	3	6	7	9
50% LODO 50% FERTILIZANTE	3	6	7	10
100% FERTILIZANTE	3	5	6	8

Fuente: Elaboración propia de los autores

Grafico 3. Crecimiento porcentual de la emisión de hojas según tipo de sustrato



Fuente: Elaboración propia de los autores

8.2 LONGITUD DE LA HOJA

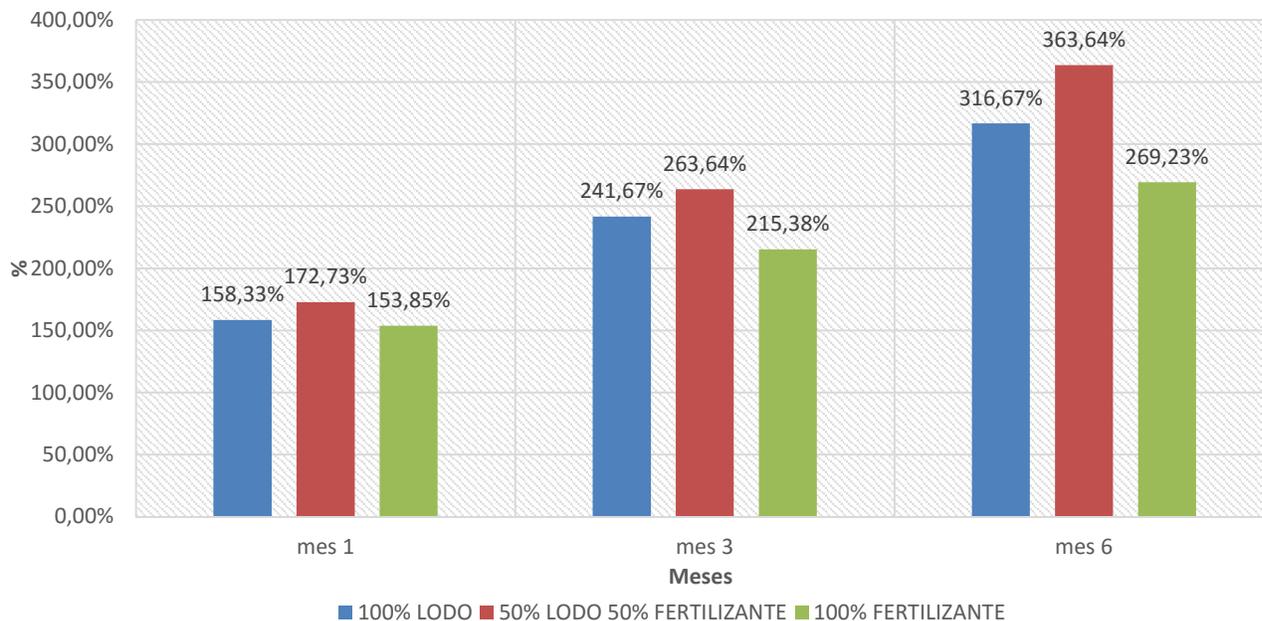
Las hojas pueden presentar reducción en su longitud, la pérdida de su curvatura normal, y se ven rectas, bien sea hacia los costados y en sentido vertical, en este tipo de palmas jóvenes de vivero, los folíolos presentan curvatura leve hacia abajo o pueden permanecer erectos.

Tabla 13. Crecimiento foliar por sustrato y tiempo

longitud de la hoja (cm)				
SUSTRATO	mes 0	mes 1	mes 3	mes 6
100% LODO	12	31	41	50
50% LODO 50% FERTILIZANTE	11	30	40	51
100% FERTILIZANTE	13	33	41	48

Fuente: Elaboración propia de los autores

Grafico 4. Crecimiento porcentual de crecimiento foliar según tipo de sustrato



Fuente: Elaboración propia de los autores

8.3 DIÁMETRO DEL BULBO O GROSOR DEL TALLO

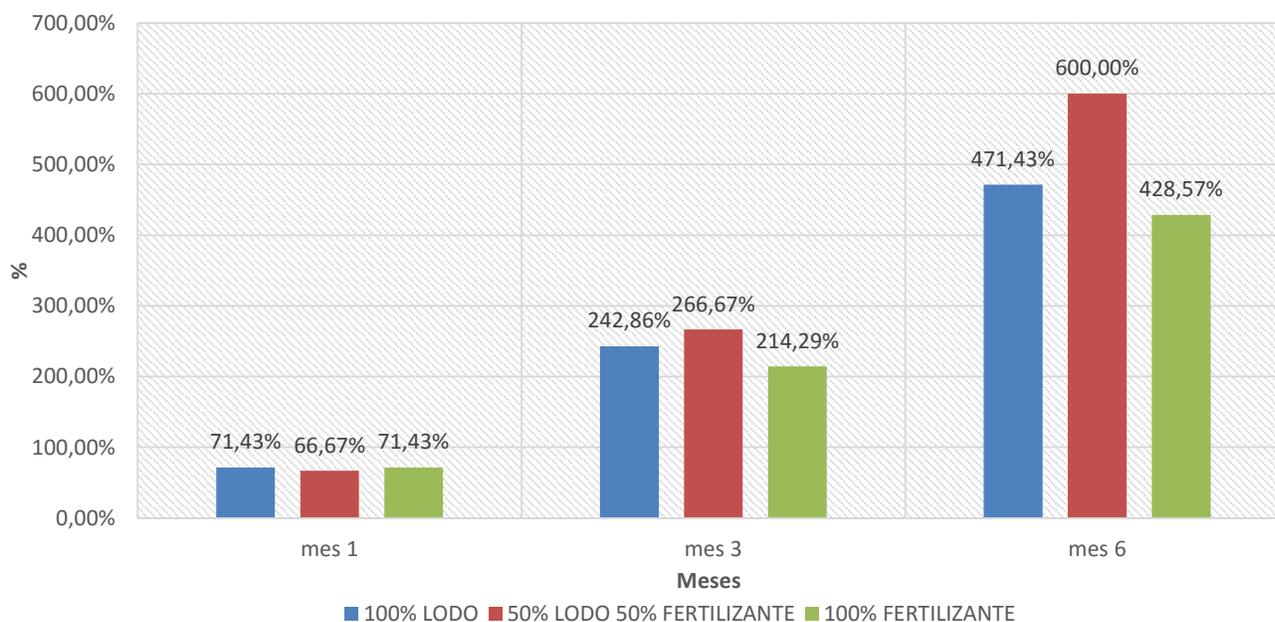
Después de los 3 o 4 meses la base del tallo toma forma de cono invertido “Bulbo” que da origen a las primeras raíces y es el punto de crecimiento vertical de la planta durante toda su vida.

Tabla 14. Crecimiento del diámetro de bulbo o tallo por sustrato y tiempo

Diámetro del bulbo o grosor del tallo (cm)				
SUSTRATO	mes 0	mes 1	mes 3	mes 6
100% LODO	0,7	1,2	2,4	4,0
50% LODO 50% FERTILIZANTE	0,6	1	2	4,2
100% FERTILIZANTE	0,7	1,2	2,2	3,7

Fuente: Elaboración propia de los autores

Grafico 5. Crecimiento porcentual del diámetro del tallo según tipo de sustrato



Fuente: Elaboración propia de los autores

8.4 ALTURA TOTAL DE PALMA

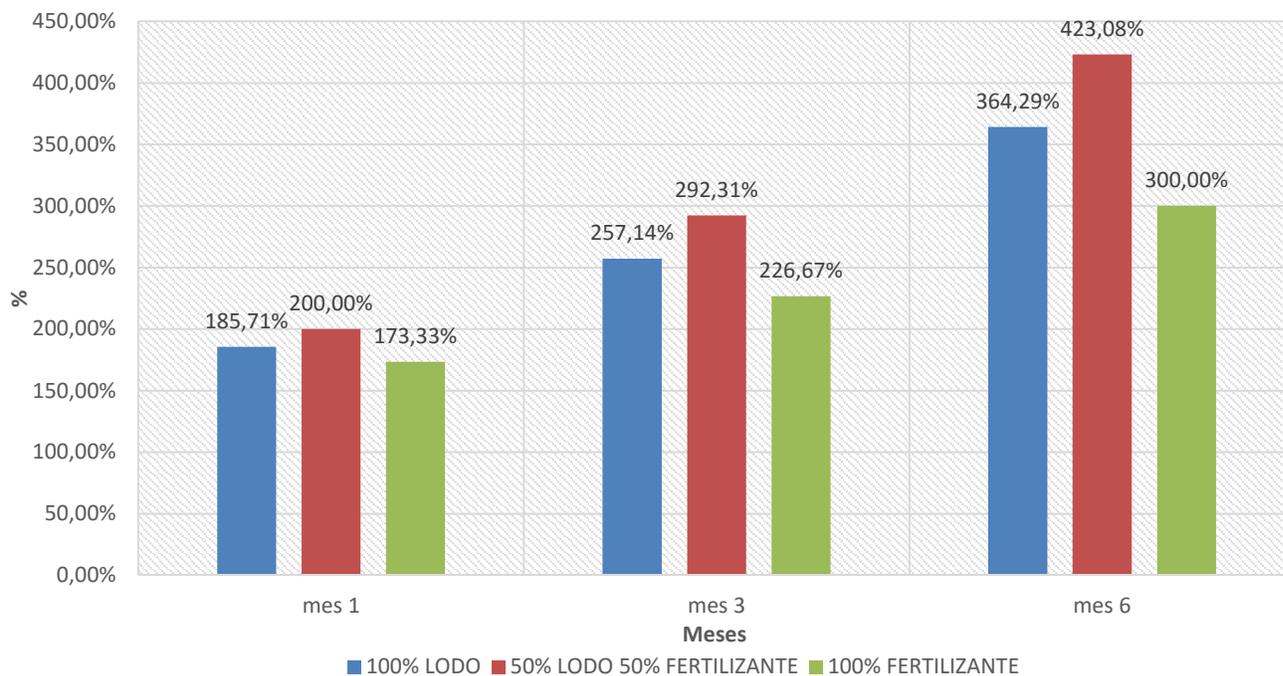
La corona o altura total de la palma presenta una acumulación de tres o más hojas flecha sin abrir. Esta situación puede presentarse en todas las palmas del lote. Generalmente se hace más notorio en la medida en que avanza su crecimiento.

Tabla 15. *Altura total de palma por sustrato y tiempo*

Altura de la palma (cm)				
SUSTRATO	mes 0	mes 1	mes 3	mes 6
100% LODO	14	40	50	65
50% LODO 50% FERTILIZANTE	13	39	51	68
100% FERTILIZANTE	15	41	49	60

Fuente: Elaboración propia de los autores

Grafico 6. *Crecimiento porcentual de la altura total según tipo de sustrato*



Fuente: Elaboración propia de los autores

9 ANALISIS ECONOMICO

El estudio realizado permite presentar un análisis económico en la implementación del proyecto a partir de resultados obtenidos mediante ensayos e investigaciones durante la ejecución del mismo, estos resultados muestran la viabilidad del proyecto ambientalmente y a su vez beneficio económico para la empresa, no solo por la disminución de costos elevados ocasionados por la disposición final, sino también el valor agregado que este genera en procesos internos dentro de la compañía que se refleja en la reducción de compra de fertilizantes químicos.

9.1 ANALISIS DE COSTOS POR DISPOSICION FINAL

En la actualidad INDUPALMA presenta un costo anual por el traslado y disposición final de los lodos al relleno sanitario, el cual se contrata con un ente externo especializado en el manejo de este tipo de residuos.

En la tabla N° 16 se observa el costo total anual por el traslado y la disposición final el cual asciende a \$302.336.000.

Tabla 16 Costo anual actual por traslado y disposición final.

Detalle	Costo mt ³	Mt ³ Año	Costo Anual
Disposición por tonelada Relleno	\$ 6.800	23.620	\$160.616.000
Viaje Mt ³	\$ 6.000	23.620	\$141.720.000
Costo total			\$302.336.000

Fuente: Elaboración propia de los autores

* Informacion entregada por el departamento de agronómico Indupalma Ltda.

Adicional al costo anteriormente mencionado, existe un Costo de retiro de los lodos del sistema lagunar al año, el cual asciende a \$1.417.200.

Tabla 17 Costo anual por retiro de lodos del sistema lagunar.

Detalle	Cantidad año	Costo Und.	Costo anual
Retiro lodos de todo el sistema	23.620 mts ³	\$ 600	\$ 1.417.200
Costo total			\$ 1.417.200

Fuente: Elaboración propia de los autores

* Informacion entregada por el departamento de agronómico Indupalma Ltda.

Para la investigación el costo de retiro de los lodos de todo el sistema es un valor en el que también se incurriría al retirarlos de las lagunas y pasar a los lechos de secado.

La tabla N° 17 presenta un análisis comparativo de los costos actuales incurridos por Indupalma y los costos en que se incurriría con la propuesta de la investigación.

Como puede observarse existe una diferencia de \$302.336.000, debido a que con la investigación el costo del traslado y la disposición final de lodos al relleno sanitario es nulo. Dicho ahorro en el costo puede ser usado como inversión en la compra de fertilizantes.

Tabla 18 Comparativo costos actuales vs costo propuesta investigación.

COSTO ACTUAL INDUPALMA				COSTO INVESTIGACIÓN		
Detalle	Costo m ³	m ³ Año	Costo Anual	Costo m ³	m ³ Año	Costo Anual
Disposición por tonelada Relleno	\$ 6.800	23.620	\$ 160.616.000	\$ 0	23.620	\$ 0
Viaje m ³	\$ 6.000	23.620	\$ 141.720.000	\$ 0	23.620	\$ 0
Retiro lodos de todo el sistema	\$ 600	23.620	\$ 1.417.200	\$ 600	23.620	\$ 1.417.200
TOTAL COSTO			\$ 303.753.200			\$ 1.417.200

Fuente: Elaboración propia de los autores

La relación costo-beneficio de esta investigación es viable y soportada en datos, como se ha mencionado anteriormente, en el ahorro del costo de la fertilización anual sería de en un 50%, según resultados analizados en el cultivo experimental donde se obtuvo que el mejor sustrato fue el de 50% lodos y 50% fertilizante.

Desde el punto de vista económico, se convierte en la mejor alternativa viable en virtud de la relación beneficio-costos evaluada. En cuanto a los beneficios, para INDUPALMA aumentaría su excelente imagen ambiental fomentando la recuperación de desechos para ser reciclados de manera eficiente y dinámica, cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, reciclado y recuperación de materiales hoy en día desechados por el proceso interno.

9.2 ANALISIS DE COSTOS POR USO DE LODO MEJORADOR DE SUELO

De acuerdo al párrafo anterior, las siguientes tablas representan el costo de la fertilización anual llevada a cabo por INDUPALMA, en comparación con el costo de fertilización basado en la investigación.

Tabla 19 Costo anual con fertilizantes químicos por parte de Indupalma.

Detalle	Cantidad año	Costo Und.	Costo anual
Costo fertilización anual	3.824.446 Kg*	\$ 900	\$ 3.442.001.400
Costo total			\$ 3.422.001.400

Fuente: Elaboración propia de los autores

* Información en kg entregada por el departamento de agrónomo Indupalma Ltda.

Tabla 20 Costo anual con fertilización química complementada con lodo tratado.

Detalle	Cantidad año	Costo Und.	Costo anual
Costo fertilización anual	1.912.223 Kg	\$ 900	\$ 1.721.000.700
Costo total			\$ 1.721.000.700

Fuente: Elaboración propia de los autores

El anterior análisis económico sustenta lo mencionado en la investigación, como la mejor alternativa viable en virtud de la relación costo-beneficio, debido a que se recupera el valor económico de los residuos mediante su reutilización y posterior aplicación en cultivos propios de palma de aceite.

10 ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los análisis realizados y los resultados del laboratorio en el que muestran que los lodos resultantes de las lagunas de oxidación poseen propiedades requeridas por los cultivos de palma africana, soportado en investigaciones realizadas en otros campos, como fue el realizado en cultivos de maíz, en el que el lodo sirvió como reparador de suelos volcánicos para adaptar a uso agrícola en cultivos de maíz²², donde se aplicaron lodos recuperados como abono orgánico, obteniendo buenos resultados en los que se destacan el incremento del grano y forraje en 18 y 22%, estudios más tecnificados ponen a Dinamarca como pionera en el uso de esta tecnología en donde la gran parte de los lodos estabilizados se usan como fertilizante en tierras agrícolas. El porcentaje de reutilización de los lodos de aguas residuales es de 72%, el 20% se destina a la incineración, y 8% se dispone, Otro ensayo investigativo a resaltar fue el realizado por la empresa Comestibles la Rosa donde sus procesos productivos dan como resultado la producción de lodos residuales los cuales se depositaban en rellenos sanitarios pero estudios realizados lograron su transformación en abono orgánico por medio un proceso de lombricultura, todos estos estudios anteriormente mencionados confirman los beneficios y características con las que cuentan los lodos como mejorador y recuperador de suelos faltos de nutrientes.

El ensayo experimental aplicado en el cultivo de palma joven durante el periodo de 6 meses evidencio que el sustrato con 50% lodo y 50% Fertilizante presenta una mejor evolución con respecto al sustrato 100% lodo y el sustrato 100% Fertilizante, demostrando las excelentes propiedades físico químicas con las que cuentan los lodos residuales, y mezclado en cantidades equilibradas, apuntado que sería la mejor alternativa técnica y ambientalmente recomendable para la recuperación de los lodos residuales y transformación en abono orgánico.

El manejo y tratamiento de lodos es una práctica que se realiza hace varios años, ampliando el conocimiento, pero su principal interés se centra en los últimos 10 años debido a la presión mundial por ejercer buenas prácticas ambientales en las industrias que generan grandes volúmenes de contaminación, los lodos residuales y sus múltiples ventajas han demostrado la

²² Salcedo Pérez, E., Vázquez Alarcón, A., Krishnamurthy, L., Zamora Natera, J., Hernández Álvarez, E., & Rodríguez Macías, R. (2007, February 1). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México.

factibilidad y su utilización en el campo agrícola, sin desconocer que estas aplicaciones deben estar supervisadas para identificar grandes cargas de elementos traza metálicos que se da en algunos casos en los que las lagunas no funcionan de la manera adecuada.

Con esta investigación se resaltan las bondades del lodo tratado como mejorador de suelos especialmente en aumentar su capacidad de retener la humedad, además mejora el contenido de materia orgánica, disminuye el % saturación del suelo, e incorporar nutrientes incluyendo macronutrientes tales como Na, Ca, S, Mg, y los micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) por lo que se puede afirmar que entrega prácticamente los nutrientes requeridos en los cultivos de palma africana, estas aplicaciones se deben controlar periódicamente debido a que estos nutrientes se entregan balanceadamente por el lodo.

Las aplicaciones se deben realizar en proporciones mínimas y graduales para que la raíces alcancen a absorber lentamente los nutrientes y evitar la mineralización del lodo, demostrando la capacidad que tiene el lodo por competir como fertilizante, despertando el interés en tratar los lodos como alternativa sustentable para mejorar las condiciones productivas de los suelos, disminuyendo la aplicación de fertilizantes sintéticos y por consiguiente las reducción de costos económicos en la compra de los mismos.

10.1 IMPACTOS ASOCIADOS A LA APLICACIÓN DE LODOS EN EL SUELO

El mayor beneficio o impacto positivo es la recuperación de suelos degradados, mejoramiento de materia orgánica y aporte nutricional en cultivo de palma africana, dando valor agregado al residuo que generalmente es desechado en sitios que aumentan la problemática ambiental.

Estos aspectos se registraron durante un periodo de 6 meses sustentado con resultados en la calidad de las plantas, evidenciando el aumento de la materia orgánica del sustrato, la cantidad de nitrógeno total y del fósforo total sin desconocer, la excelente capacidad de retención de humedad del suelo en el que se aplicaron los sustratos.

La incorporación de nutrientes al suelo de forma controlada durante periodos establecidos dentro del programa de fertilización, mejorando sustancialmente la productividad y rendimiento del fruto, esta tendencia resulta atractiva para la agroindustria palmera.

Las bondades superan a los impactos negativos que genera la recuperación de lodos, siempre que se realice de forma sostenible y siguiendo la recomendaciones de estudios previos para evitar malas experiencias, otro aspecto a tener en cuenta es una detallada planificación previa a la aplicación, en el que se deben contemplar las necesidades de los suelos, área de total de aplicación, cuerpos de agua cercanos entre otros aspectos que se deben analizar según el objetivo de la recuperación de los lodos y la aplicación.

CONCLUSIONES

- El análisis investigativo e experimental realizado demuestran que los lodos residuales tratados debidamente contribuyen con la función específica de mejorar los suelos en cultivos de palma africana, disminuyendo el impacto ambiental generado en la actualidad, reduce los costos a cero pesos por disposición final y un 50% de los costos en compra de fertilizantes químicos que serían sustituidos por los lodos tratados que se ajusta a los requerimiento en cultivos de palma africana.
- Los resultados del comportamiento de las plantas experimentales en las que se aplicaron los lodos residuales en dosis graduales, evidencian un excelente crecimiento y desarrollo de la planta, confirmando las propiedades físico químicas con las que cuenta los lodos residuales, apuntado que sería la mejor alternativa técnica y ambientalmente recomendable para la recuperación de los lodos residuales y transformación en abono orgánico.
- El análisis relación costo beneficio del proyecto, presenta una viabilidad económica como alternativa de recuperar los lodos residuales, gracias a que reduciría la compra de fertilizantes sintéticos y el costo de la disposición final de los lodos sería de cero, sin mencionar los beneficios adicionales como una excelente imagen ambiental.
- La recuperación de lodos se convierte en la mejor opción gracias a los múltiples beneficios que otorga a las prácticas agrícolas por su alto contenido de materia orgánica, que permite su inclusión fácilmente dentro del plan manejo de nutrientes de la plantación, lo que permite reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos fabricados con métodos menos sostenibles y a su vez reduce el impacto ambiental sobre una mala disposición en la que se pueden ver afectadas ecosistemas vecinos y cuerpos de agua por la generación de lixiviados.

BIBLIOGRAFIA

Brugés, C.; García, J.A.; Dueñas, J.; Zapata, G.; Guevara, M.L.2000. Evaluación económica de sistemas de tratamiento de efluentes para una planta extractora de aceite de palma. *Palmas (Colombia)* 21 (1) Número especial.

Corley, R.H.V.; Tinker P.B. La palma de aceite. 2009. World Agriculture Series, 4^a edition.

Cortés, C.; Chayón, G. 2006. Respuestas fisiológicas de palma de vivero a la aplicación de residuos de la planta extractora. Desarrollo vegetativo y distribución de materia seca. *Palmas (Colombia)* 27 (4).

Cuervo, H. 1999. Diagnóstico del manejo y control de efluentes en plantas de beneficio de aceite de palma de la Zona Oriental. Villavicencio.

Federación nacional de cultivadores de palma de aceite, Fedepalma y fondo de palmero. Anuario 2005. Editorial Ápice: Bogotá D.C. Junio 2005.

García M., Jesús A. Estado actual del manejo de Efluentes en Colombia. *Revista Palmas*, Volumen 14, Numero Especial. Santa Fe de Bogotá 1993.

García, J.A.; Uribe, L.D. 1997. Diseño de lagunas de estabilización. Manejo de efluentes de plantas extractoras. *Boletín técnico*10. Cenipalma.

Garnica N., Jesús A Uribe M., León D. Manejo de Efluentes de Plantas Extractoras – 2. Diseño de Lagunas de Estabilización. *Boletín Técnico* No. 11: Cenipalma: Santa Fe de Bogotá, 1997.

Henríquez Henríquez, O. (2011). Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agro sistemas de la provincia de Melipilla, región metropolitana, Chile. Santiago, provincia de Melipilla: universidad de Chile.

Indupalma Ltda. (2014). *Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo* (R.10 ed.). San Alberto, Cesar: Indupalma Ltda.

Manejo de efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma - proceso de la más avanzada tecnología. (1995). *Palmas*, 171-177.

Marmolejo, L., & Botina, A. (2005). Mejoramiento del potencial agrícola de lodos digeridos anaeróbicamente con el uso de cal. *Agronomía Colombiana*, 310-316 NTC 5167 Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC

Oropeza, Norma. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo. Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo. México.

Política ambiental para la gestión integral de residuos. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 2005.

Salcedo Pérez, E., Vázquez Alarcón, A., Krishnamurthy, L., Zamora Natera, J., Hernández Álvarez, E., & Rodríguez Macías, R. (2007, February 1). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México.

Trejos Vélez, M., & Agudelo Vélez, N. (2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “comestibles la rosa” como alternativa para la generación de biosólidos. Pereira: universidad tecnológica de Pereira.

Universidad Industrial de Santander, uis e instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, ideam. Sistema de información Ambiental para Sectores Productivos Producción de Aceites Vegetales sin Refinar.

Valenzuela A., 2001. Determinación de los niveles de cadmio en distintos fertilizantes fosforados y su acumulación en el suelo. Tesis de Magíster en Ciencias Agropecuarias.

ANEXOS

Anexo: 1 Resultados propiedades Físico Químicas de Lodo Negro abril 2015

Página 1 de 1
Laboratorio de Análisis Químicos
Insumos Agrícolas

Registrado ante el ICA según Resolución 000584

Remitente	INDUSTRIAL AGRARIA LA PALMA LTDA.		
Identificación suministrada	LODOS		
Descripción	Lodo Negro	No. Laboratorio	MO 16679
Fecha de Ingreso	26-mar-15	Fecha de Entrega	07-abr-15
CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO			
PARAMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Humedad	85,9	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Cenizas	6,24	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Pérdidas por Volatilización	7,85	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total	3,68	%	WALKLEY-BLACK(NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	7,27		POTENCIOMÉTRICO
Densidad (Base Seca - 20°C)	0,77	g/c.c.	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	5,49	dS/m	CONDUCTÍMETRO
Retención de Humedad	16,6	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	8,31	(me/100g)	VOLUMÉTRICO (NTC 5167)
C/N	7		
Nitrógeno Orgánico (N _{Org})	0,56	%	MICRO-KJELDHAL (NTC 5167)
Fósforo Total (P ₂ O ₅)	0,41	%	COLORIMÉTRICO (NTC 5167)
Potasio total (K ₂ O)	0,12	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Calcio total (CaO)	0,51	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Magnesio total (MgO)	0,26	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Azufre total (S-SO ₄)	0,10	%	TURBIDIMÉTRICO (NTC 5167)
Hierro total	0,16	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Manganeso total	95	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Cobre total	15	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Zinc total	17	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Boro total	4,1	p.p.m	COLORIMÉTRICO (NTC 5167)
Sodio total	0,01	%	EMISIÓN DE LLAMA (NTC 5167)
Sílice total SiO ₂ (sólido soluble en HF)	4,14	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Residuo Insoluble en ácido	4,39	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)

OBSERVACIONES: RESULTADOS EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

Anexo: 2 Resultados propiedades Físico Químicas de lo lodo liquido Enero 2015



Calle 79 B No. 70 - 16 Bogotá D
Teléfono: 2231999
Telefax: 2234087
e-mail: agrilab@eth.net.co

Página 1 de 1

**Laboratorio de Análisis Químicos
Insumos Agrícolas**

Registrado ante el ICA según Resolución 000584

Remitente	INDUSTRIAL AGRARIA LA PALMA LTDA. / Ing. Wilmar H. Alarcón		
Identificación suministrada	LODO		
Descripción	Líquido Café	No. Laboratorio	MO 14595
Fecha de Ingreso	31-Dic-14	Fecha de Entrega	14-Ene-15
CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO LIQUIDO			
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	METODO ANALITICO
Carbono Orgánico Oxidable Total	33.1	g/L	WALKLEY-BLACK(NTC 5167)
pH	7.32		POTENCIOMÉTRICO
Densidad (20 °C)	1.05	g/c.c.	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica (1:100)	0.11	dS/m	CONDUCTÍMETRO
Sólidos Insolubles	130	g/L	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	4.59	g/L	MICRO-KJELDHAL (NTC 5167)
Fósforo Soluble (P2O5)	4.96	g/L	COLORIMÉTRICO (NTC 5167)
Potasio Soluble (K2O)	1.90	g/L	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Calcio Soluble (CaO)	5.10	g/L	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Magnesio Soluble (MgO)	2.42	g/L	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Azufre Soluble(S-SO4)	0.56	g/L	TURBIDIMÉTRICO (NTC 5167)
Hierro Soluble	1.24	g/L	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Manganeso Soluble	66	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Cobre Soluble	12	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Zinc Soluble	12	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Boro Soluble	3.8	p.p.m	COLORIMÉTRICO (NTC 5167)
Sodio Soluble	0.09	g/L	EMISIÓN DE LLAMA (NTC 5167)
Sílice total SiO2 (líquido soluble en HF)	21.1	g/L	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)

Anexo: 3 Resultados propiedades Físico Químicas de los Lodos Junio 2014

REPORTE DE ANÁLISIS DE SUSTRATO No. 22-2014

Página 1 de 1

B-FAQL002-FT-10.002.010



Remitente: Indupalma - Ana Isabel Urrego
 E-mail: aurrego@indupalma.com
 Dirección: Calle 67 7-94
 Teléfono: 3175750821
 Ciudad: Bogotá D. C.

Material: Efluentes
 Fuente:
 Tipo:
 Lote: Efluentes lodos secos
 Cultivo: Palma de aceite

F. recibo: 07.05.14
 F. reporte: 13.06.14
 Recibo No.: DEBE

RESULTADOS

N	P	Ca	K	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
%						mg/kg					
1,46	0,35	0,81	0,26	0,41	ns	58,5	15066	324	114	45,7	ns

ns: no solicitado.

pH	CE dS/m	Humedad		CO oxidable total %	Cenizas	CIC meq/100g	C/N
		a saturación	a 70°C				
5,70	17,0	75,0	ns	9,09	73,6	32,0	6,21

Los resultados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio.

PARÁMETRO

N: Nitrogeno total
 P: Fósforo total
 Ca, K, Mg, Na, Cu, Fe, Mn, Zn totales
 B: Boro total
 S: Azufre total
 pH
 CE: Conductividad eléctrica
 Humedad a saturación
 Humedad a 70°C
 CO: Carbono orgánico
 Cenizas
 CIC: Capacidad de intercambio catiónico
 C/N: Relación carbono-nitrógeno

MÉTODOS DE ANÁLISIS

micro-Kjeldahl, valoración volumétrica
 Calcinción a 600 °C, valoración colorimétrica con molibdato y vanadato de NH₄
 Calcinción a 600 °C, valoración por espectrofotometría de absorción atómica
 Calcinción a 600 °C, valoración colorimétrica con azometina-H
 Incineración con Nitrato de Magnesio - Turbidimétrico
 Suspensión suelo:agua (relación peso:volumen 1:5), valoración potenciométrica
 Lectura en conductivímetro a 25°C del extracto de la pasta de saturación
 Secado de la muestra saturada a 105°C durante 24 horas
 Secado de la muestra con la humedad de campo a 70°C durante 24 horas
 Walkley-Black, valoración colorimétrica
 Calcinción a 600 °C.
 Desplazamiento del NH₄, intercambiado con NaCl, valoración volumétrica
 Estimada a partir del carbono orgánico oxidable total y el nitrógeno total

Director Técnico:

Director del Laboratorio:

Anexo: 4 Resultados propiedades Físico Químicas de los Lodos abril 2014

REPORTE DE ANÁLISIS DE AGUA No. 8-2014

B FAGL002-FT-10.002.008



Página 1 de 1

LABORATORIO DE SUELOS FACULTAD DE AGRICULTURA

Remitente: Indupalma - Ana Isabel Urrego
E-mail: surrego@indupalma.com
Dirección: Cllé 67 7-94
Teléfono: 3175750821
Ciudad: Bogotá D. C.

Uso del agua:
Tipo de agua:
Finca: Palma de aceite
Municipio: *
Departamento: *

Procedencia: Cuente 22m (otoño invierno)
F. de muestreo: 09.04.14
F. de recibo: 07.05.14
F. de reporte: 03.07.14
Recibo No.: DEBE

RESULTADOS

pH	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl	SO ₄	PO ₄	NO ₃	Ca	K	Mg	Na	NH ₄	B	CE	RAS	
	mg/L como CaCO ₃			mg/L												dS/m
7,44	ns	0,00	15,6	977	137	17,3	4,97	76,8	781	76,5	44,1	115	ns	2,78	0,85	

ns: no solicitado

Clasificación: C4-S2

Los resultados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio

PARÁMETRO	MÉTODOS DE ANÁLISIS	CLASIFICACION	Clasificación de aguas con fines de riego
pH	Potenciométrico	C1	Agua de salinidad baja
OH ⁻ , CaCO ₃ y HCO ₃ ⁻	Titrulación con H ₂ SO ₄ 0,02N	C2	Agua de salinidad media
Cl ⁻ (Cloruros)	Titrulación con AgNO ₃ 0,0143 N	C3	Agua de salinidad alta
SO ₄ ²⁻ (Sulfatos)	Cloruro de bario, valoración turbidimétrica	C4	Agua de salinidad muy alta
PO ₄ ³⁻ (Fosfatos)	Cloruro estannoso, valoración colorimétrica		
NO ₃ ⁻ (Nitratos)	Acido fenoldiaulfónico, valoración colorimétrica		
NH ₄ ⁺ (Amonio)	Nessler, valoración colorimétrica	S1	Agua con nivel de sodio bajo
Ca, Mg, K, Na	Espectrofotometría de Absorción Atómica	S2	Agua con nivel de sodio medio
B (Boro)	Manitol, titulación potenciométrica	S3	Agua con nivel de sodio alto
CE (Conductividad eléctrica)	Conductivímetro (lectura a 25°C)	S4	Agua con nivel de sodio muy alto
RAS (relación de adsorción de sodio)	Relación entre el Na y el Ca más Mg (meq/L)		

Director Técnico

Director del Laboratorio:

Laboratorio de Aguas y Suelos. Edificio 500 Piso 4, Computador 316 5000 Ext. 19088-19049; Telefax 316 5496. E-mail: mchenato@unal.edu.co

Correo electrónico: mchenato@unal.edu.co
Bogotá, Colombia

Anexo: 5 Registro primera toma de medidas vegetativas (mes 1)

REGISTRO DE MEDIDAS VEGETATIVAS EN PALMAS EXPERIMENTALES						
Árbol	Sustrato	fecha	# De hojas emitidas	Longitud de la hoja cm	Diámetro del bulbo o Grosor del tallo cm	Altura de la palma cm
1	100% LODO	01-feb-15	5	28	0,7	32
2	100 % LODO	01-feb-15	5	33	1,7	41
3	100 % LODO	01-feb-15	6	30	1,1	39
4	100 % LODO	01-feb-15	6	27	1,6	38
5	100 % LODO	01-feb-15	5	31	1,1	40
6	100 % LODO	01-feb-15	6	40	1	50
7	100 % LODO	01-feb-15	6	35	1,5	41
8	100 % LODO	01-feb-15	6	27	1,2	39
9	100 % LODO	01-feb-15	6	33	1	44
10	100 % LODO	01-feb-15	5	27	1,3	40
11	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	23	0,8	32
12	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	29	1,0	36
13	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	35	1,2	38
14	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	26	1,1	39
15	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	39	1,0	46
16	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	31	1,1	43
17	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	31	1,2	41
18	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	33	0,8	41
19	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	26	0,9	39
20	50% LODO 50% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	29	0,9	39
21	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	34	1,1	41
22	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	36	0,9	43
23	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	34	1,5	45
24	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	29	1,1	36
25	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	35	1,2	46
26	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	34	1,4	42
27	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	6	29	1,4	38
28	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	32	1,2	37
29	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	37	1,3	45
30	100% FERTILIZANTE	01-feb-15	5	34	1,3	41

Anexo: 6 Registro primera toma de medidas vegetativas (mes 3)

REGISTRO DE MEDIDAS VEGETATIVAS EN PALMAS EXPERIMENTALES						
Árbol	Sustrato	FECHA	# De hojas emitidas	Longitud de la hoja cm	Diámetro del bulbo o Grosor del tallo cm	Altura de la palma cm
1	100% LODO	02-may-15	6	37	1,8	43
2	100 % LODO	02-may-15	7	44	2,8	51
3	100 % LODO	02-may-15	7	39	2,0	49
4	100 % LODO	02-may-15	7	38	2,7	51
5	100 % LODO	02-may-15	6	40	2,4	49
6	100 % LODO	02-may-15	8	48	2,4	59
7	100 % LODO	02-may-15	8	43	2,4	51
8	100 % LODO	02-may-15	7	37	2,8	48
9	100 % LODO	02-may-15	6	41	2,3	52
10	100 % LODO	02-may-15	6	38	2,6	49
11	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	7	32	1,7	44
12	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	8	38	2,1	49
13	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	8	44	2,4	51
14	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	7	35	2,3	52
15	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	6	48	2,1	50
16	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	7	42	2,4	55
17	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	8	40	2,3	54
18	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	7	41	2	52
19	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	8	37	2	52
20	50% LODO 50% FERTILIZANTE	02-may-15	8	40	2,2	55
21	100% FERTILIZANTE	02-may-15	7	41	2,2	49
22	100% FERTILIZANTE	02-may-15	8	43	2,0	50
23	100% FERTILIZANTE	02-may-15	6	40	2,8	54
24	100% FERTILIZANTE	02-may-15	5	38	2,5	44
25	100% FERTILIZANTE	02-may-15	6	42	1,9	54
26	100% FERTILIZANTE	02-may-15	6	44	2,1	49
27	100% FERTILIZANTE	02-may-15	6	37	2,2	45
28	100% FERTILIZANTE	02-may-15	5	40	2,3	46
29	100% FERTILIZANTE	02-may-15	6	45	2,1	52
30	100% FERTILIZANTE	02-may-15	5	41	2,0	50

Anexo: 7 Registro primera toma de medidas vegetativas (mes 6)

REGISTRO DE MEDIDAS VEGETATIVAS EN PALMAS EXPERIMENTALES						
Árbol	Sustrato	fecha	# De hojas emitidas	Longitud de la hoja cm	Diámetro del bulbo o Grosor del tallo cm	Altura de la palma cm
1	100% LODO	03-ago-15	9	45	3,9	60
2	100 % LODO	03-ago-15	9	51	4,6	67
3	100 % LODO	03-ago-15	11	48	4,1	65
4	100 % LODO	03-ago-15	10	47	3,7	65
5	100 % LODO	03-ago-15	8	47	3,7	64
6	100 % LODO	03-ago-15	9	59	3,8	70
7	100 % LODO	03-ago-15	11	55	3,7	65
8	100 % LODO	03-ago-15	9	48	4,0	61
9	100 % LODO	03-ago-15	8	51	4,0	66
10	100 % LODO	03-ago-15	8	48	4,0	64
11	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	9	45	3,4	63
12	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	10	51	4	65
13	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	9	55	4,8	67
14	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	10	47	4,8	66
15	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	10	58	4,6	69
16	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	9	53	5	70
17	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	10	51	4,8	72
18	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	11	53	4,2	70
19	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	10	48	4,3	69
20	50% LODO 50% FERTILIZANTE	03-ago-15	11	52	4,7	72
21	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	8	48	3,7	60
22	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	9	49	3,6	60
23	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	8	47	3,8	65
24	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	7	45	3,9	53
25	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	8	48	3,5	63
26	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	9	51	3,8	59
27	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	8	45	3,6	56
28	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	7	49	3,7	59
29	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	7	52	3,5	63
30	100% FERTILIZANTE	03-ago-15	7	49	3,6	61