EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA AGRÍCOLA DE UN LODO RESIDUAL USADO COMO BIOABONO EN UN INCEPTISOL DEL MUNICIPIO DE COROZAL, SUCRE, COLOMBIA

JAIME DARÍO CARBALLO MERCADO
JOSÉ RAFAEL OVIEDO ROJAS

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SINCELEJO
2003

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA AGRÍCOLA DE UN LODO RESIDUAL USADO COMO BIOABONO EN UN INCEPTISOL DEL MUNICIPIO DE COROZAL, SUCRE, COLOMBIA

JAIME DARÍO CARBALLO MERCADO
JOSÉ RAFAEL OVIEDO ROJAS

Director

ANTONIO TOVAR ORTEGA
Ingeniero Agrícola
Esp. En Manejo de Aguas y Suelos

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SINCELEJO
2003

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____
Firma del presidente del jurado

_____
Firma del jurado

_____
Firma del jurado

Sincelejo, junio de 2003

DEDICATORIA

A Dios que nos da la Energía y Vida para alcanzar los conocimientos.

A mis padres Jaime y Maritza, que nunca me abandonaron y me sirvieron de inspiración para la culminación de ésta carrera.

A mis hermanos Mitchel José, Andrés Eduardo y Diego Luis por estar siempre respaldándome en todo momento.

A mis amigos y amigas por haber estado siempre brindándome apoyo para llevar adelante el trabajo de grado.

Jaime Darío Carballo Mercado.

A Dios por ser mi luz y mi guía.

A mis padres Ana y Manuel por darme la vida y educarme.

A mis hermanos, Manuel José Luis y Ana Milena, por su comprensión y cariño.

A mi novia Omayra Stella por su apoyo, comprensión y estimulo para alcanzar mis metas.

A Jaime Rojas Martínez, y a mi Sobrino Deivis Oviedo Berthel por su valiosa colaboración en la realización de los estudios y experimentos requeridos en el trabajo de grado.

Y a todas aquellas personas que siempre me colaboraron.

Muchas Gracias. Que Dios los Bendiga.

José Rafael Oviedo Rojas

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios.

La Universidad de Sucre, por darnos la oportunidad de capacitarnos.

El Frigorífico Frigosabanas S.A. por brindarnos la oportunidad de realizar los estudios e investigaciones necesarias para cumplir con los objetivos del trabajo de grado.

Orlando Martínez, propietario de la finca "Las Cruces", por permitirnos realizar objetivos del trabajo de grado.

El Ingeniero Antonio Tovar, por su gran aporte temático y metodológico para la realización de nuestro trabajo de grado y acertada dirección.

Los Ingenieros Fabián Moreno, Guillermo Gutiérrez, Euriel Millán por sus consejos y asesorías.

Todo el personal del frigorífico Frigosabanas S.A. por su invaluable colaboración.

Los miembros del jurado: **Ing. Ruby Ortiz, Ing. Ricardo Andrade y el Ing. Heraldo Alviz**, por sus asesorías y consejos.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN 16
1. OBJETIVOS 18
1.1 OBJETIVO GENERAL 18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 18
2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO 20
3. ESTADO DEL ARTE 24
3.1 NATURALEZA DE LOS LODOS RESIDUALES 24
3.2 ORIGEN DE LODOS RESIDUALES 24
3.3 TRANSPORTE DE LODOS RESIDUALES 25
3.4 COMPOSICIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES 25
3.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS RESIDUALES 27
3.5.1 Características físicas 28
3.5.2 Características químicas. 28
3.5.3 Características biológicas. 28
3.6 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES 28
3.6.1 Sistema de disposición de lodo sobre el suelo. 28
3.6.2 Compostaje de lodos. 30
3.6.3 Sistemas de rellenos sanitarios 33
3.6.4 Sistemas de incineración de lodos 33
4. METODOLOGÍA 36
4.1 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE 36
4.2 ACTIVIDADES DE CAMPO 36
4.2.1 Fase 1. Recolección y análisis del lodo residual proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del frigorífico Frigosabanas S.A. en el proceso de compostaje 36
4.2.2 Fase 2. Manejo de los tratamientos del cultivo de maíz ICA V 109 38
4.3 ACTIVIDADES DE LABORATORIO 40
4.4 ACTIVIDADES DE OFICINA 42
4.5 MATERIALES Y EQUIPOS 43
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS 45
5.1 PROCESO DE COMPOSTAJE DEL LODO 45
5.1.1 Variación de la temperatura. 45
5.1.2 Variación de la humedad y reacción (pH). 46
5.2 CARACTERIZACION FÍSICA DEL LODO RESIDUAL 48
5.2.1 Temperatura. 49
5.2.2 Olor 49

5.2.3 Color. 50
5.2.4 Humedad 50
5.2.5 Determinación de densidades y espacio poroso 50
5.3 CARACTERIZACION QUIMICA DEL LODO RESIDUAL 51
5.4 CARACTERIZACION MICROBIOLOGICA 53
5.5 PROPIEDADES FÍSICO-QUIMICAS DEL SUELO 55
5.5.1 Descripción del perfil. 55
5.6 CARACTERIZACION FÍSICO – QUÍMICA DE LOS TRATAMIENTOS 57
5.7 ANALISIS ESTADÍSTICO 61
5.7.1 Análisis de las características de crecimiento. 61
5.7.2 Análisis de materia seca 62
5.7.3 Análisis de biomasa radical 63
CONCLUSIONES 65
RECOMENDACIONES 66
BIBLIOGRAFÍA 68

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Composición típica de lodos. 26

Cuadro 2. Composición típica de lodos. (datos referidos a materia seca). 27

Cuadro 3. Características de los lodos 27

Cuadro 4. Normas de control para metales pesados y compuestos orgánicos para uso agrícola. 30

Cuadro 5. Metodología aplicada para los análisis al lodo fresco y lodo compostado. 41

Cuadro 6. Metodología aplicada para los análisis del suelo y los tratamientos. 42

Cuadro 7. Temperatura promedio en el proceso de compostaje. 45

Cuadro 8. pH del proceso de compostaje del lodo. 46

Cuadro 9. Humedad en el proceso de compostaje del lodo. 47

Cuadro 10. Resultados de los análisis físicos del lodo. 49

Cuadro 11. Resultados de los análisis químicos de forma aprovechables del lodo (bases intercambiables). 51

Cuadro 12. Resultados de los análisis químicos de forma aprovechables del lodo (forma soluble). 52

Cuadro 13. Resultados de los análisis químicos del lodo (forma total). Universidad Popular del César. 52

Cuadro 14. Parámetros químicos. 53

Cuadro 15. Identificación de organismos y microorganismos en el lodo residual durante el proceso de compostaje.....54

Cuadro 16. Características físico-químicas del suelo. 57

Cuadro 17. Densidades y espacio poroso de los tratamientos. 57

Cuadro 18. Resultados de los análisis químicos de forma aprovechable de los tratamientos (forma soluble).....59

Cuadro 19. Resultados de los análisis químicos de forma aprovechable de los tratamientos (Intercambiable). 60

Cuadro 20. Resultado del análisis estadístico (crecimiento). 61

Cuadro 21. Resultado del análisis estadístico (materia seca). 62

Cuadro 22. Resultado del análisis estadístico (biomasa radical) 63

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Mapa del municipio de Corozal. 22

Figura 2. Variación de la temperatura y el pH en el proceso de compostaje. 31

Figura 3. Planta de tratamiento de aguas residuales del frigorífico Frigosabanas S. A. 37

Figura 4. Pila de lodo en el proceso de compostaje. 37

Figura 5. Diseño experimental del cultivo de maíz híbrido (ICA V109) 39

Figura 6. Comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo en el proceso de compostaje 45

Figura 7. Comportamiento del % humedad y el pH con respecto al tiempo en el proceso de compostaje 47

Figura 8. Descripción del perfil estratigráfico. 55

Figura 9. Comportamiento de las propiedades físicas de los tratamientos 58

Figura 10. Variación de las características de crecimiento 62

Figura 11. Variación del peso de materia seca. 63

Figura 12. Variación del peso de biomasa radical. 64

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Temperaturas promedios ambientales y del lodo 71

Anexo B. Resultado de análisis de lodo 73

Anexo C. Resultados de los análisis de caracterización del lodo. Universidad Popular del Cesar 82

Anexo D. Resultados de los análisis de tensoactivos y cloro residual. Ecoquimia S. A. 83

Anexo E. Resultados de los análisis coliformes fecales. DASSSALUD 87

Anexo F. Resultado de los análisis caracterización de suelos. Universidad de Sucre 88

Anexo G. Resultado de los análisis de caracterización de los tratamientos. Universidad de Sucre 89

Anexo H. Datos para el análisis estadístico de varianza para la variable de crecimiento 103

Anexo I. Datos para el análisis estadístico de varianza para la variable materia seca 104

Anexo J. Datos para el análisis estadístico de varianza para la variable de biomasa radical 105

Anexo K. Identificación de hongos 106

Anexo L. Tratamientos 108

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas del lodo residual del frigorífico Frigosabanas S.A. para ser usado como bioabono en un suelo degradado del municipio de Corozal-Sucre.

Para este estudio se tomaron sendas muestras representativas de lodo fresco para compostarlo en pilas a cielo abierto, evaluando en el proceso de compostaje, las variables de temperatura, pH y humedad. El lodo se caracterizó física, química y microbiológicamente al finalizar el proceso de compostaje, a los sesenta días, resultando éste de muy buena calidad para ser usado como bioabono en la mayoría de los suelos degradados.

El bioabono se evaluó agronómicamente en un sistema de bloques completamente al azar con 7 tratamientos y 3 repeticiones, utilizando dosis del 5, 10, 15, 20, 25 y 30% de lodo con una dosis constante de suelos de 10 Kg suministrados en relación peso / peso (p/p), evaluando en él las características de crecimiento, materia seca y biomasa radical en el cultivo de maíz híbrido ICA V109 a los treinta días; obteniéndose efectos positivos en los tratamientos, mostrando diferencias significativas según las variables de materia seca y biomasa radical en el tratamiento 2 (T2) siendo esta la aplicación del 10% del bioabono.

Esto permite concluir que mediante el uso de los lodos residuales procedentes del frigorífico Frigosabanas S.A. previamente compostados, sí es posible de contribuir en corto tiempo y a bajos costos al mejoramiento integral de los suelos degradados y la disminución de la contaminación ambiental.

ABSTRACT

The present study is carried out with the objective of evaluating the physical, chemical characteristics and microbiology of the residual mud of the Refrigerating Frigosabanas CORP. to be used as organic payment in a degraded soil of the municipality of Corozal-Sucre.

For this study they took paths representative samples of fresh mud for compostarlo in piles to open sky evaluating in the compostaje process the variables of temperature, pH and humidity. Which was characterized physics, chemistry and microbiologily when concluding the compostaje process (sixteen Days). Being this of very good quality to be used as organic payment in most of the degraded soils.

The organic payment was evaluated agronomically totally at random in a system of blocks with seven treatments and three repetitions, using dose of the five, ten, fifteen, twenty, twenty-five and thirteen% with a constant dose of soil of ten Kg given in relationship weight / I weigh (p/p), evaluating in him the characteristics of growth, dry matter and radical biomass in the cultivation of hybrid Corn ICA V109 to the thirteen days; being obtained positive effects in the treatments, showing significant differences according to the variables of dry matter and radical biomass in the treatment two (T2) being this the application of ten% of the organic payment.

This allows to conclude that by means of the use of the residual muds coming from the Refrigerating Frigosabanas CORP. previously compostados, yes it is possible to contribute in short time and at low costs to the integral improvement of the degraded soils and the decrease of the environmental contamination.

INTRODUCCIÓN

La preocupación del hombre por la naturaleza va acompañada de la inquietud por la sobrevivencia de la especie humana, es decir, el interés por los demás seres vivos y del medio, es una necesidad que se impone con miras a asegurar el futuro de la humanidad.

Es así como el hombre empieza a tomar conciencia de la afección a la productividad agrícola, y del daño que se le está causando al suelo con la mala planificación de uso y manejo a que son sometidos. Surge entonces en el hombre la necesidad de devolverle su fertilidad.

La problemática de la contaminación ambiental del entorno causada por el proceso industrial del sacrificio de ganado vacuno y porcino en el frigorífico Frigosabanas S. A. está generando impactos ambientales negativos en los alrededores de dicha planta.

El objetivo fundamental de esta investigación es determinar las características físicas, químicas y microbiológicas de un material de desecho (lodo residual) producido en el proceso de tratamiento de las aguas residuales del frigorífico Frigosabanas S. A., y evaluar su potenciabilidad como abono orgánico por medio de un cultivo de maíz híbrido (ICA V109), como alternativa de uso agrícola.

El lodo residual producido en la planta de tratamiento de las aguas residuales del frigorífico Frigosabanas S. A., después de ser sometido a una caracterización físico-química y microbiológica y un proceso de compostaje

presenta resultados importantes para ser experimentadas en el área agrícola como ya se ha hecho con otros subproductos y residuos industriales, por lo que este lodo compostado se podría constituir en un futuro en una fuente útil y valiosa en la agricultura.

Este trabajo se realizó en el periodo comprendido entre los meses de noviembre de 2001 a enero de 2003.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficiencia agrícola de un lodo residual usado como bioabono en un inceptisol del municipio de corozal, Sucre, proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del frigorífico Frigosabanas S. A.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las variaciones de humedad, temperatura y pH durante el proceso de descomposición del lodo residual.

- Caracterizar física, química y microbiológicamente el lodo residual proveniente de la planta de tratamiento de las aguas residuales del frigorífico Frigosabanas S.A., antes y después del proceso de descomposición.

- Describir y caracterizar física y químicamente el suelo en estudio antes y después de los tratamientos.

- Evaluar las características de crecimiento, materia seca a los 30 días y biomasa radical del cultivo de maíz híbrido (ICA V109).

- Evaluar el potencial nutricional del lodo residual en un inceptisol del municipio de Corozal, Sucre en el cultivo de maíz híbrido ICA V109 para determinar la viabilidad como abono orgánico.

- Contribuir al fortalecimiento del paquete tecnológico asociado con el uso de materiales residuales como abono orgánico y mejoradores de la productividad de los suelos.

2. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en un lote de la finca "Las Cruces", situada en la margen izquierda de la vía que va de Corozal al corregimiento de San José de Pileta, a 3 Km de la primera; y el frigorífico Frigosabanas S.A, donde se encuentra la materia prima (lodo residual), situado en la margen izquierda de la carretera Troncal de Occidente, entre Sincelejo y Corozal, a 6 Km. de la primera; ambos puntos localizados en las sabanas del departamento de Sucre. Geográficamente la finca "Las Cruces" se encuentran localizados a 9° 17' 32.7" de latitud norte y 75° 18' 20.3" de longitud oeste, y el frigorífico Frigosabanas S.A. a 9° 19' 14.4" de latitud norte y 75° 20' 06.5" de longitud oeste, en la costa caribe colombiana.

El municipio de Corozal se encuentra a 174 m.s.n.m. y geográficamente a 9° 19' latitud norte y 75° 18' de longitud oeste de Greenwich, el clima es cálido, con 2 épocas climáticas bien definidas, una seca que va desde diciembre hasta mediados de abril y una lluviosa desde el mes de abril hasta finales de noviembre, presenta una pluviosidad promedio de 1105.6 mm/año según datos obtenidos de la estación metereológica del aeropuerto Rafael Barvo, la temperatura promedio es de 27.2 °C, siendo la máxima en el mes de marzo de 27.9°C y la mínima en el mes de Octubre 26.5°C; la velocidad del viento es variable, mostrando promedios mayores al medio día y por la tarde, lo que influye en la humedad relativa y en el régimen de precipitaciones, la humedad relativa tiene un valor promedio del orden del 80%. De acuerdo con los datos de la Unidad Regional de Planificación Agropecuaria, la evapotranspiración potencial oscila entre 1600 y 1800 mm anuales y las lluvias soplan entre el 50% y 75% de la humedad requerida para el óptimo rendimiento de los cultivos y pastizales.

El municipio de Corozal tiene una extensión de 203,328.78 kilómetros cuadrados, que con relación a la extensión del departamento de Sucre equivale a un 1.84% de su área departamental. Limita por el norte: con los municipios de Morroa y Los Palmitos, por el sur con los municipios de Sampués y El Roble, por el oriente con los municipios de San Juan de Betulia y Sincé y por el occidente con el municipio de Sincelejo (véase la figura 1).

El material parental de los suelos es de origen sedimentario, depositados en el ambiente de transición del terciario y del cuaternario, los materiales son principalmente areniscas grisáceas de grano variable, depositados en bancos irregulares que alternan con rocas conglomeríticas, constituidas por cantos rodados de cuarzo, arenisca de tamaño variable, que reaccionan con el ácido clorhídrico (Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Corozal, año 2000).

En el municipio de Corozal predomina el paisaje de lomerío que corresponde a una vegetación de lomas alargadas separadas por una red hidrográfica moderadamente densa; el ambiente geomorfológico está erosionado. Las zonas poco erosionadas comprenden relieves ligeramente ondulados sobre materiales arcillosos y a veces, materiales con arena, cascajo y gravilla, como igualmente lo referencia el POT del municipio de Corozal para el año 2000. En el lomerío, el ambiente morfogenético fue depositacional, pero actualmente es erosional. Es un pie de monte disectado, donde las lomas y colinas corresponden al material precuaternario. Un monte delgado de gravilla y arena localizada en las cimas de las lomas, lo que hace suponer que inicialmente fue un glacís terraza de gran extensión cuando la montaña estaba más alta.

En cuanto al relieve, la topografía del municipio de Corozal presenta 5100.15 has con pendientes entre el 0-3%, 5113.94 has entre el 3-7%, 2528.45 has entre el 12-25% y 7586.24 has entre el 7-25% (POT de Corozal, año 2000).

Figura 1. Mapa del municipio de Corozal.

Los suelos de aptitud agrícola representan el 11.74% del área, predominan los de clase III. Se presentan texturas pesadas y livianas, fertilidad moderada a baja, son moderadamente profundos a superficiales, susceptibles a la erosión. Del 11.74% del área agrícola se explotan el 0.22% en los cultivos predominantes de la zona y el resto para la ganadería extensiva. La economía del municipio se fundamenta en la producción agrícola, la ganadería y otras actividades de tipo comercial, de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Corozal para el año 2000.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 NATURALEZA DE LOS LODOS RESIDUALES

Los lodos residuales son residuos orgánicos semisólidos turbios que contienen material sólido, su color es negro y tienen un olor desagradable. En lo que se refiere a lo urbano contienen cantidades variables de materiales, sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos proveniente de las actividades cotidianas de los seres humanos.

Los lodos generados por las plantas de sacrificio animal vacuno o porcino contienen, pelo, agua, sangre, sustancias fecales y contenido ruminal.

Estos lodos cambian con el transcurrir del tiempo algunas de sus propiedades, como lo es el color, que cambia gradualmente de negro claro a negro oscuro, el olor se vuelve menos ofensivo, su volumen disminuye, en este estado se le conoce como lodo maduro.

3.2 ORIGEN DE LODOS RESIDUALES

Los lodos residuales resultan de las aguas residuales una vez éstas hayan cumplido con los procesos de tratamiento.

Los lodos que se producen en el proceso de tratamiento de aguas, según Metcalf & Eddy (1991), son los siguientes:

- **LODO PRIMARIO:** Proveniente de la sedimentación de las aguas residuales.
- **LODO SECUNDARIO:** Proveniente del tratamiento biológico de las aguas residuales.
- **LODOS DIRIGIDOS:** Proveniente de los dos anteriores, separados o mezclados.
- **LODOS** provenientes de la coagulación y sedimentación de aguas y aguas residuales.
- **LODOS** provenientes de plantas de ablandamiento.
- **LODOS** provenientes de desarenadores y rejillas.

3.3 TRANSPORTE DE LODOS RESIDUALES

Los lodos residuales son transportados desde su punto de origen (tanque de sedimentación) hasta las instalaciones del sistema de secado. Estos lodos son considerados como fluidos no newtonianos debido a que la viscosidad no es constante, por tal motivo requieren ser impulsados por bombas de tipo émbolo, flujo rotativo y otras para circular a través de las tuberías; donde el diámetro de la tubería va depender de la cantidad de volumen de lodo producido, según Metcalf & Eddy (1991), al igual que Wef Asce (1998).

3.4 COMPOSICIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES

La composición de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales varía ampliamente, dependiendo de la actividad industrial y del grado de tratamiento aplicado; tal vez los constituyentes de mayor interés sean los metales tóxicos y bioacumulativos, así como los nutrientes.

En el cuadro 1 y 2 se presentan valores típicos de caracterización de lodos según Broste (1997) y Sommers (1997).

Cuadro 1. Composición típica de lodos.

Constituyente	Lodo primario		Todos los lodos		Lodo digerido		Lodos tanques sépticos	
	Intervalo	Típico	Intervalo	Típico	Intervalo	Típico	Intervalo	Típico
Sólidos totales (%)	2 – 7	4	-	-	2 – 6	3.5	0.1 -13	3.4
Sólidos volátiles (%)	60-80	65	-	-	35-65	51	-	63
PH	5-8	6	-	-	7.2-7.8	7.9	-	6.9
Alcalinidad, mg/L	500-1500	600	-	-	200-7600	4800	-	970
Base peso seco								
N, total g/Kg	15-40	25	<1-176	33	1.6-4	2.7	-	0.69
Al, g/Kg	-	-	1-135	4	4.1-61	9.6	-	-
As, g/Kg	-	-	1.1-230	10	-	-	-	-
Ca, g/Kg	-	-	1-250	39	26-67	44	-	-
Cd, g/Kg	-	-	3-3410	16	5-260	10	-	-
Cl, g/Kg	-	-	-	-	1.7-190	7.1	-	-
Co, g/Kg	-	-	1-18	4	1-42	9	-	-
Cr, g/Kg	-	-	10-99000	500	200-1280	375	-	-
Cu, g/Kg	-	-	84-10400	850	280-2570	970	-	-
Fe, g/Kg	20-40	25	<1-153	11	14-110	51	-	-
Hg, mg /Kg	-	-	0.2-10600	5	0.43-4.7	2.1	-	-
K, g/Kg	0-0.83	4	0.2-26.4	2	0.04-0.16	0.09	-	-
Mg, g/Kg	-	-	0.3-<19.7	405	3.1-11	6.8	-	-
Mn, mg /Kg	-	-	18-7100	260	170-2090	320	-	-
Mo, mg /Kg	-	-	5-39	30	7-97	12	-	-
Na, g/Kg	-	-	0.1-30.7	2.4	0.07-0.42	0.16	-	-
Ni, mg /Kg	-	-	2-3520	82	23-410	120	-	-
P, g/Kg	3.5-12.2	7	<1-143	23	14-57	24	20-760	210
Pb, mg /Kg	-	-	13-19700	500	200-1280	375	-	-
Sn, mg /Kg	-	-	2.6-329	14	-	-	-	-
Zn, mg /Kg	-	-	101-27800	500	400-5130	1-600	-	-

Cuadro 2. Composición típica de lodos. (datos referidos a materia seca).

Elemento	Intervalo	Mediana	Media
Nitrógeno (%)	0.10 – 17.60	3.30	390
Fósforo (%)	0.10 – 14.30	2.30	250
Potasio (%)	0.02 – 2.64	0.30	0.40
Calcio (%)	0.10 – 25.00	3.90	4.90
Magnesio (%)	0.03 – 1.97	0.45	0.54
Sodio (%)	0.01 – 3.07	0.24	0.57
Hierro (ppm)	1000 – 153000	11000	13000
Zinc (ppm)	101 – 27800	1740	2790
Manganeso (ppm)	18 – 7100	260	380
Cobre (ppm)	84 – 10400	850	1210
Boro (ppm)	4 – 760	33	77

3.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS RESIDUALES

Las características de los lodos residuales varían mucho dependiendo de su origen, de su edad, del tipo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos. Los lodos provenientes de las aguas residuales están compuestos en especial por la materia orgánica removida del agua residual, la cual eventualmente se descompone y causa los mismos efectos indeseables del agua residual cruda. En el cuadro 3 se resumen los valores típicos de las cantidades y características de los lodos, según Bauman (1967).

Cuadro 3. Características de los lodos.

Proceso	% humedad del lodo		Densidad Sólidos (g/cc)	
	Intervalo	Típico	Intervalo	Típico
Sed. primaria	88-96	95	1.4	1.02
Filtro percolador	91-95	93	1.5	1.025
Precipitación química	-	93	1.7	1.03
Lodos activados	90-93	92	1.3	1.005
Tanques sépticos	-	93	1.7	1.03
Tanques imhof	90-95	90	1.6	1.04
Aireación prolongada	88-92	90	1.3	1.015
Lodo primario digerido		93	1.4	1.02
Anaerobiamente	90-95			
Laguna aireada	88-92	90	1.3	1.01
Lodo primario digerido				
Aerobiamente	93-97	96	1.4	1.012

Así mismo los estudios de caracterización de lodos residuales están encaminados a determinar las características físicas, químicas y biológicas del lodo residual, además de las concentraciones de los constituyentes presentes en el mismo, según Babbitt y Bauman (1967).

3.5.1 Características físicas. Dentro de las características físicas evaluadas para los lodos residuales se tienen: temperatura, olor, color, humedad y densidad aparente.

3.5.2 Características químicas. Dentro de éstas se tienen: pH, acidez, conductividad, bases intercambiables, cationes solubles, aniones solubles, fósforo total y disponible, entre otras.

3.5.3 Características biológicas. Dentro de éstas se tienen la cuantificación de macroorganismos y microorganismos.

3.6 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES

Uno de los principales problemas en el tratamiento de agua potable y de las aguas residuales es el relacionado con el procedimiento y disposición del lodo. El procedimiento y disposición eficiente de los lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales requiere conocer las características de los sólidos y del lodo por procesar, así como la aptitud de los diferentes métodos y la facilidad de acceso a las diferentes opciones de disposición final. Entre los sistemas de tratamientos se pueden mencionar los siguientes:

3.6.1 Sistema de disposición de lodo sobre el suelo. La disposición de lodo sobre el suelo es un método practicado desde hace muchos años y constituye una de las alternativas más atractivas ante la dificultad de obtener terrenos

suficientes para hacer rellenos sanitarios, las objeciones ambientales para disposición sobre el mar y los costos altos de la incineración.

Igualmente una de las alternativas adaptadas en diversos países es la aplicación de estos lodos de aguas residuales a suelos agrícolas, aprovechando la función de filtro natural del propio suelo. Este destino, adecuadamente diseñado, no solo permite eliminar un residuo sin contaminar el medio receptor, sino que aprovecha aquellos elementos beneficiosos desde el punto de vista agronómico, como son el alto porcentaje de materia orgánica y el contenido en diversos nutrientes (Loehr *et al*, 1979).

Por su parte la aplicación de lodos al suelo se ha convertido en una fuente de nutrientes agrícolas y de materia orgánica, por lo cual se ha observado un buen comportamiento de lodos como acondicionador del suelo, promueve la aireación y la retención de humedad. Por sus características, estos lodos se hacen más utilizables en cultivos tales como pastizales, cereales, bosques, viñedos, jardines y algunas leguminosas. Además de esto cabe anotar que en el Reino Unido el 33% de los lodos producidos se usan como insumos agrícolas tal y como lo indican Bruce y Davis, (1989), al igual que Castillo y Ortega, (1987).

Abad (1996) y Seoanez Calvo (1998), sostienen que los lodos depuradores están constituidos por materiales orgánicos e inorgánicos, similares a los encontrados en el suelo y en las heces de los animales. Típicamente contienen del 5% al 15% de sustancias que funcionan como nutrimentos para las plantas y trazas de otros metales y compuestos orgánicos, pero su aplicación como abono debe realizarse con precaución, ya que este uso conlleva a riesgos para la salud, el medio ambiente y el suelo. Contienen también cantidades significativas de N, P, materia orgánica, que no sólo pueden ser útiles en su aplicación al suelo como fertilizantes, sino también posibilidades de ser absorbidos o ingeridos por

los seres vivos bajo ciertas condiciones y pueden tener efectos positivos. Así mismo mejora la estructura del suelo y contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes inorgánicos.

La presencia de metales pesados en los lodos de agua residual hace necesario establecer unos criterios de calidad y unas normas de aplicación que deben cumplir estos residuos para poder ser utilizados como abonos orgánicos minerales, sin causar problemas de contaminación en los suelos, cultivos y aguas. En el cuadro 4 se pueden apreciar las normas de control para materiales pesados y compuestos orgánicos tóxicos para uso agrícola, según Ling (1998).

Cuadro 4. Normas de control para metales pesados y compuestos orgánicos para uso agrícola.

Compuesto	Norma
As	50 mg/Kg *
Cd	5 mg/Kg *
Hg	2 mg/Kg *
Hg alquilico	No detectable
Hg	0.005 mg/L
Cd	0.3 mg/L
Pb	3 mg/L
P orgánico	1 mg/L
Cr hexavalente	1.5 mg/L
As	1.5 mg/L
Cn	1 mg/L
Bifenils policlorados (PCB)	0.003 mg/L
Zn	120 mg/Kg *

***** Tasa para sólidos secos.

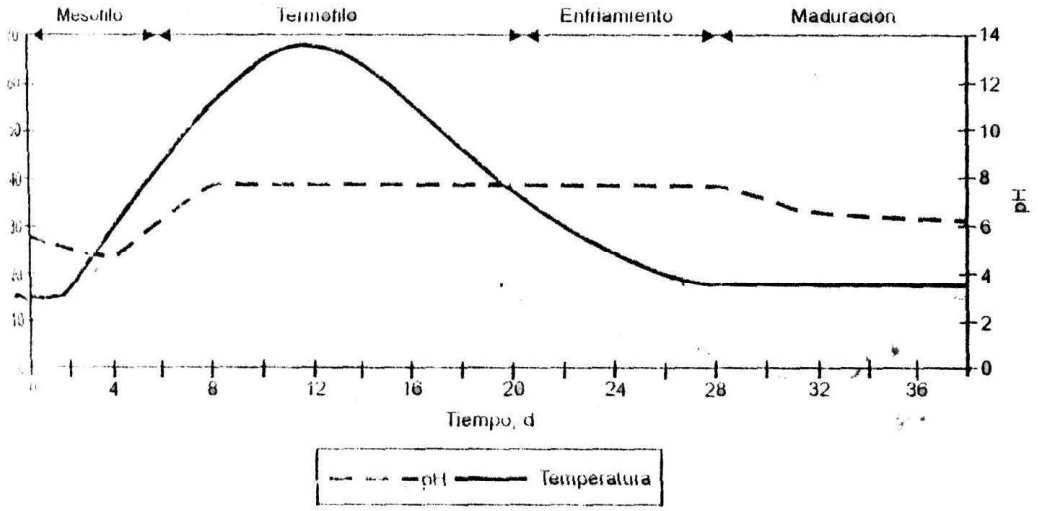
3.6.2 Compostaje de lodos. El compostaje es la degradación biológica de materiales orgánicos, hasta formar un compuesto estable de color oscuro, textura suelta y olor a tierra similar al humus, denominado compost. En el compostaje se dan 2 etapas metabólicas. La primera o de síntesis, convierte la materia orgánica en biomasa celular, y la segunda o de respiración endógena

obliga a los microorganismos a metabolizar su propio protoplasma. Es decir, el agotamiento exhaustivo de las reservas energéticas de los microorganismos, lo cual conduce a formación de compuestos inorgánicos considerado el producto final del composteo o compost.

El proceso puede llevarse a cabo por vía aerobia o anaerobia. El compostaje aerobio acelera el proceso de descomposición del material orgánico y permite obtener altas temperaturas, necesarias para la destrucción de patógenos, mientras que el anaerobio va siempre acompañado de malos olores que no se presentan en el primero, razón por la cual, es poco común hacer compostaje anaerobio. De igual forma el compostaje requiere para su funcionamiento óptimo, el control o seguimiento de algunas condiciones que tienen incidencia directa sobre el proceso, tales como la temperatura, pH, aireación, contenido de humedad, relación carbono-nitrógeno, material llenante e inocuo.

Según Usepa (1974 – 1979), la temperatura alcanzada en un sistema de compostaje, así como el pH, son buenos indicadores del desarrollo del proceso, como se visualiza en la figura 2.

Figura 2. Variación de la temperatura y el pH en el proceso de compostaje.



Así mismo el proceso de compostaje busca 3 objetivos fundamentales que son:

- La conversión biológica del material orgánico putrescible en un compuesto estable.
- La destrucción de patógenos gracias a las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso.
- La reducción másica del material húmedo a través de la remoción de agua y de sólidos totales volátiles.

De igual manera el compostaje ha sido una labor simple y tradicional practicada por agricultores y granjeros del mundo entero durante muchos años, para mejorar las propiedades de los suelos.

Con relación a los diferentes componentes que les son agregados al suelo como son los residuos orgánicos o lodos depuradores, entre otros, que contribuyen a un mejor rendimiento de los cultivos, se pueden observar diferentes teorías expuestas por varios autores como Gómez (1996), quien afirma que los residuos orgánicos sólidos transformados (compost) o en bruto llegan finalmente a un uso edáfico en la agricultura, los cuales a la fecha le son asignados 4 papeles: de acondicionador orgánico como mejorador de las propiedades físicas del suelo, de abono como aportador de nutrientes para el desempeño vegetal, de enmienda como paliador de condiciones químicas del suelo desfavorables y el de sustrato como medio físico de sostén para las plántulas y plantas. De igual forma Costa (1986), afirma que el compostaje es un proceso bioxidativo en el que intervienen numerosos y variados microorganismos que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por etapa termofílica y producción natural de fitotoxinas, dando al final como producto de los procesos de degradación, bióxido de carbono, agua y minerales, así mismo como materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas

y dispuesta para su empleo en la agricultura sin que provoque fenómenos adversos.

En diseños experimentales realizados en Colombia por León Gutiérrez (1998), en el que se emplearon combinaciones de lodo – suelo en dosis de 0, 5, 10, 15 y 20% relación peso/peso (p/p), obtuvo crecimiento de plántulas y aumento significativo en la absorción de macro y micronutrientes en la mezcla de 5%.

Una vez compostado el lodo, se convierte en un compuesto estable, que se puede usar como abono orgánico natural sin consecuencias al medio ambiente y el suelo, según Usepa (1980).

3.6.3 Sistemas de rellenos sanitarios. Definidos según Romero (1999) "como el enterramiento del lodo; el lodo se aplica sobre el suelo y se entierra mediante la colocación de una capa de suelo sobre el mismo". Los rellenos sanitarios de lodos son una alternativa apropiada para la disposición final de los mismos si existe el terreno adecuado para dicho propósito. Los métodos más usados en rellenos de lodo según Usepa (1978) son:

- Relleno en zanja angosta o ancha.
- Relleno de área en capas.
- Relleno con diques de contención.

3.6.4 Sistemas de incineración de lodos. Los procesos de temperatura alta se han empleado para combustión de sólidos de aguas residuales municipales desde 1900, época en que la combustión de dicho sólido era aplicable por su costo bajo y porque las normas de control para emisión de gases no existían.

En la actualidad, estos procesos son considerados una alternativa de procesamiento de lodos cuando no hay terreno suficiente para disposición,

cuando las normas ambientales son muy restrictivas o cuando requiere destrucción de materiales tóxicos

Los lodos procesados por incineración suelen ser lodos crudos desaguados sin estabilizar. La estabilización no es recomendable porque reduce su contenido de sólidos volátiles y su poder calorífico, aumentando así las necesidades de combustibles auxiliares (Usepa, 1979).

En la utilización de estos residuos, Seoanes Calvo (1998), plantea que existe infinidad de actividades industriales que pueden generar residuos sólidos con posibilidad de ser utilizados, en su mayoría en la agricultura, mediante su aplicación al suelo, mediante su uso en la alimentación o a través de su explotación en diversas aplicaciones agrícolas. De esta manera, se recuperan y se revalúan, y además, pueden sustituir a otros productos que de una u otra forma deberían ser fabricados y por lo tanto serían causa de consumo de energía y de producción de contaminantes.

El aprovechamiento de residuos orgánicos debe constituirse en una constante preocupación en todos los países, lo que ha de tener dos objetivos en especial: limitar la degradación y contaminación del medio ambiente y la de utilizar los recursos obtenidos, como es el caso de lodos residuales de aguas negras, en compost y estiércoles (Cegarra, 1993).

Teniendo en cuenta lo anterior, es obligación del hombre como encargado de la utilización y aprovechamiento de los suelos, el manejo adecuado de estos componentes al momento de cultivar como el de mejorar las propiedades físicas, químicas, biológicas y mecánicas de dicho suelo. Por consiguiente Abad (1998), argumenta: "el valor agrícola del lodo procede de su contenido en materia

orgánica y de elementos químicos". Es bien sabida que la fertilidad de un suelo esta estrecha y directamente relacionada con su nivel de materia orgánica, por lo que el lodo residual tiene un importante contenido de ésta última, lo cual constituye un fertilizante orgánico eficaz para los suelos pobremente provistos de humus. Además, si se consideran sus contenidos en macro y micro elementos que son esenciales para la vida vegetal, se puede concluir que el lodo de residuos sólidos industriales resulta ser un material idóneo para incrementar la fertilidad de los suelos agrícolas.

4. METODOLOGÍA

4.1 REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Para realizar este trabajo se optó por la metodología de tipo descriptiva e investigativa, enmarcado dentro de esquemas básicos de campo, laboratorio y oficina; además para cumplir con los objetivos del proyecto se hicieron investigaciones y revisiones de literaturas existentes relacionadas con el mismo en:

- Libros.
- Revistas.
- Folletos.
- Red de Internet.
- Trabajos de grado.

4.2 ACTIVIDADES DE CAMPO

Se discriminan dos fases de campo de la siguiente manera:

4.2.1 Fase 1. Recolección y análisis del lodo residual proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del frigorífico Frigosabanas S.A. en el proceso de compostaje. Mediante visitas preliminares en el sitio donde se encuentra la materia prima (PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL FRIGORÍFICO FRIGOSABANAS S.A.), se tomaron sendas muestras representativas de lodo fresco del lecho de secado (piscina de lodos – véase figura 3); la cual se dividió de la siguiente manera: una para

realizar los respectivos análisis en los distintos laboratorios y la otra para someterla al proceso de compostaje. En esta última el lodo se distribuyó en 4 pilas de dimensiones 0.7 metros de altura con un diámetro aproximado de 1.4 metros a cielo abierto (véase la figura 4).

Figura 3. Planta de tratamiento de aguas residuales del frigorífico Frigosabanas S. A.

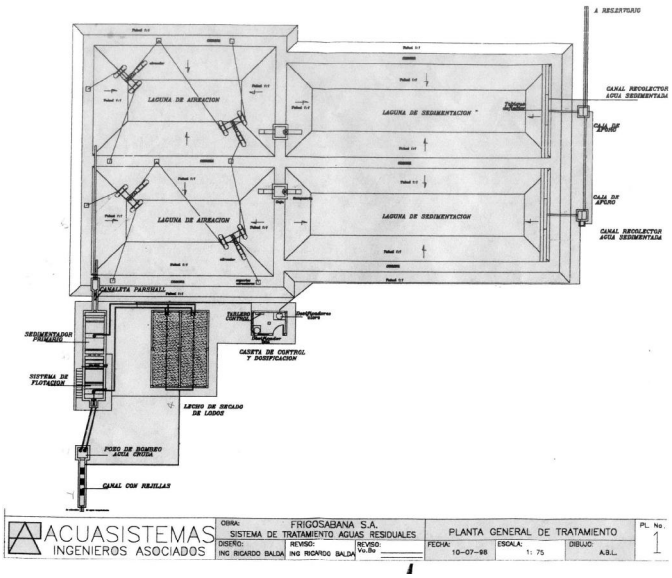


Figura 4. Pila de lodo en el proceso de compostaje.

En el proceso de compostaje se realizó un monitoreo diario "*in situ*" durante sesenta días a la misma hora analizando los siguientes parámetros:

- Temperatura promedio del ambiente
- Temperatura promedio de las pilas

  Y para los parámetros de pH y humedad se analizaron cada 15 días.

Las muestras enviadas a los diferentes laboratorios se empacaron en frascos previamente esterilizados y marcados.

4.2.2 Fase 2. Manejo de los tratamientos del cultivo de maíz ICA V 109.

Después de haber realizado excavaciones en diferentes sitios y de hacer los respectivos análisis por observaciones visuales, fue escogido un suelo de baja fertilidad.

Este suelo se escogió por presentar las siguientes propiedades:

- Bajo desarrollo del perfil.
- Baja reacción al Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2), que indica bajos valores de Materia Orgánica.
- Colores claros.

Posteriormente las muestras se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad de Sucre para realizar los respectivos análisis físicos y químicos, confirmándose la baja fertilidad del suelo. Con dichos resultados se escogió el suelo a utilizar en este proyecto, localizándose en la finca "Las Cruces", municipio de Corozal-Sucre.

Al conocer las características físicas y químicas del suelo y las características físicas, químicas y microbiológicas del lodo compostado, se procedió a tomar al azar muestras de suelos del primer horizonte del perfil para realizar la mezcla lodo compostado + suelo. Para realizar dicha mezcla, previamente el lodo compostado y el suelo fueron tamizados por la malla # 4 con el fin de obtener una buena muestra homogenizada. Terminado el mezclado, se depositaron en bolsas plásticas en las cantidades requeridas por los tratamientos con base en la relación peso a peso, de la siguiente manera:

To = Testigo 10 Kg de suelo
T1 = 10Kg de suelo + 0.5 Kg de lodo compostado (5%)
T2 = 10Kg de suelo + 1.0 Kg de lodo compostado (10%)
T3 = 10Kg de suelo + 1.5 Kg de lodo compostado (15%)
T4 = 10Kg de suelo + 2.0 Kg de lodo compostado (20%)
T5 = 10kg de suelo + 2.5 Kg de lodo compostado (25%)
T6 = 10Kg de suelo + 3.0 Kg de lodo compostado (30%)

Seguidamente estos tratamientos se distribuyeron en el campo siguiendo el diseño experimental de bloques completamente al azar donde se hicieron 7 tratamientos con 3 repeticiones para un total de 21 unidades experimentales como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Diseño experimental del cultivo de maíz híbrido (ICA V109).

T2	T1	T6	T4	T0	T5	T3
T3	T5	T2	T0	T1	T4	T6
T4	T6	T3	T5	T0	T2	T1

Inmediatamente se humedecieron las unidades experimentales para sembrar el maíz ICAV109, localizando cinco semillas por unidad; al cabo de los seis días siguientes a la germinación se realizó un raleo dejando las dos plantas más vigorosas por unidad y se procedió a tomar algunas medidas fisiológicas de la planta según su crecimiento. Estas medidas son:

- Altura de planta
- Diámetro del tallo
- Número de hojas

Además se suministró riegos complementarios cada dos días hasta completar los treinta días.

Al completar los treinta días se realizó un corte foliar a ras del suelo depositando cada muestra en bolsas de papel previamente identificadas para ser llevadas al laboratorio, determinándose el peso de materia seca.

De igual manera se procedió cuidadosamente a tomar las muestras de cada tratamiento para los respectivos análisis físicos y químicos (caracterización-salinidad), como también a lavar las raíces en baldes con abundante agua para determinar la cantidad de biomasa radical.

Obtenidas las muestras en estas dos fases fueron enviadas a los laboratorios para los respectivos análisis.

4.3 ACTIVIDADES DE LABORATORIO

Una vez recolectadas las muestras de lodo fresco, lodo compostado, suelo y de los tratamientos (mezcla lodo compostado + suelo), se procedió a realizar los correspondientes análisis físicos, químicos y microbiológicos según la metodología dispuesta (véase los cuadros 5 y 6).

Cuadro 5. Metodología aplicada para los análisis al lodo fresco y lodo compostado.

Tipo De Análisis	Método
PH	Potenciometria (1:5)
Materia orgánica	Indirecto Walkley Black
Calcio y Magnesio	Complexometría, digestión seca
Sodio y Potasio	Fotometría de llama, digestión seca
Fósforo	Bray II, digestión seca
Humedad	Gravimetría
Conductividad eléctrica	Conductimetría
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio 1N y neutro
Detergentes	Espectrofotometría
Peso unitario	Terrón parafinado
Cloro residual	Vidriería especifica
Cloruros	Clark
Carbonatos y Bicarbonatos	Cooper
Temperatura	Termómetro
Coliformes fecales	Bacteriológico
Microorganismo	Microbiología
Hierro	Digestión base seca (A.A)
Cobre	Digestión base seca (A.A)
Manganeso	Digestión base seca (A.A)
Zinc	Digestión base seca (A.A)
Sulfatos	Sheen
Nitrógeno total y proteínas	Microkjeldall
Extracto etéreo	Soxlet
Fibra	Digestión base seca
Acidez	Titulación
Color	Tabla Munsell
Densidad aparente	Terrón parafinado
Densidad de sólidos	Pignómetro
Porosidad total	Analítico

Cuadro 6. Metodología aplicada para los análisis del suelo y los tratamientos.

Tipo de Análisis	Método
pH	Potenciometría (1:1)
Materia orgánica	Indirecto Walkley Black
Calcio y Magnesio	Complexometría
Sodio y Potasio	Fotometría de Llama
Fósforo	Bray II
Sulfatos	Sheen
Conductividad eléctrica	Conductímetro
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio al 1N y neutro
Carbonatos y Bicarbonatos	Cooper
Textura	Bouyoucos
Cloruros	Clark
Nitrógeno disponible	Indirecto
Densidad aparente	Cilindro
Densidad real	Picnómetro
Porosidad total	A partir de las densidades (indirecto)
Humedad	Gravimétrico

A las muestras de las raíces y del material vegetal, se les realizaron los análisis pertinentes para conocer las propiedades o variables en estudio, como son:

- Peso de materia seca
- Biomasa radical.

Para obtener los resultados de estas propiedades o variables se realizó un procedimiento que consistió en pesar las muestras y se sometió a secado en la estufa con temperatura entre los 55°C – 60°C, hasta obtener pesos constantes en las muestras.

4.4 ACTIVIDADES DE OFICINA

Al recolectar todas las informaciones de campo y resultados de laboratorio de cada muestra, se procedió a la organización, tabulación e interpretación de los datos; para así realizar los análisis, cálculos, gráficas y cuadros respectivos con

la ayuda de programas de computación necesarias para cumplir con los objetivos del proyecto.

Para determinar las diferencias entre los tratamientos se utilizó el paquete estadístico de Duncan con un 5% de significancia, donde las variables independientes son las dosis de lodo aplicadas al suelo y las variables dependientes son:

- Altura de plantas.
- Diámetro axial de las plantas.
- Número de hojas.
- Materia seca a los 30 días.
- Biomasa radical.

4.5 MATERIALES Y EQUIPOS

- Balanza de precisión.
- Reactivos químicos para análisis químicos y físicos de laboratorio.
- Mufla y estufa.
- Panolas.
- Equipo de microscopía.
- Frascos.
- Baldes.
- Palas.
- Guantes.
- Martillo.
- Caretas.
- Pipetas.
- Probetas.
- Cápsulas de humedad
- Termómetro.
- Reloj.
- Beakers.
- Frascos volumétricos.
- Tamices (4mm y 2mm).
- Computador.

- Cámaras.
- Formatos.
- Azafates.
- Papel aluminio.
- Rodillos.
- Tabla Munsell.
- Potenciómetro.
- Espectrofotómetro de llama.
- Flexómetro.
- Papel filtro.
- Oxímetro.
- Bolsas.
- Equipos de titulación.
- Lodos
- Fotocolorímetro.
- Bomba de vacío y campana.
- Hidrómetro.
- Conductímetro
- Semillas de Maíz híbrido ICA V109.
- Suelos.
- Marcadores.
- Barreno y cilindros.
- Vasos higiénicos, parafina.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

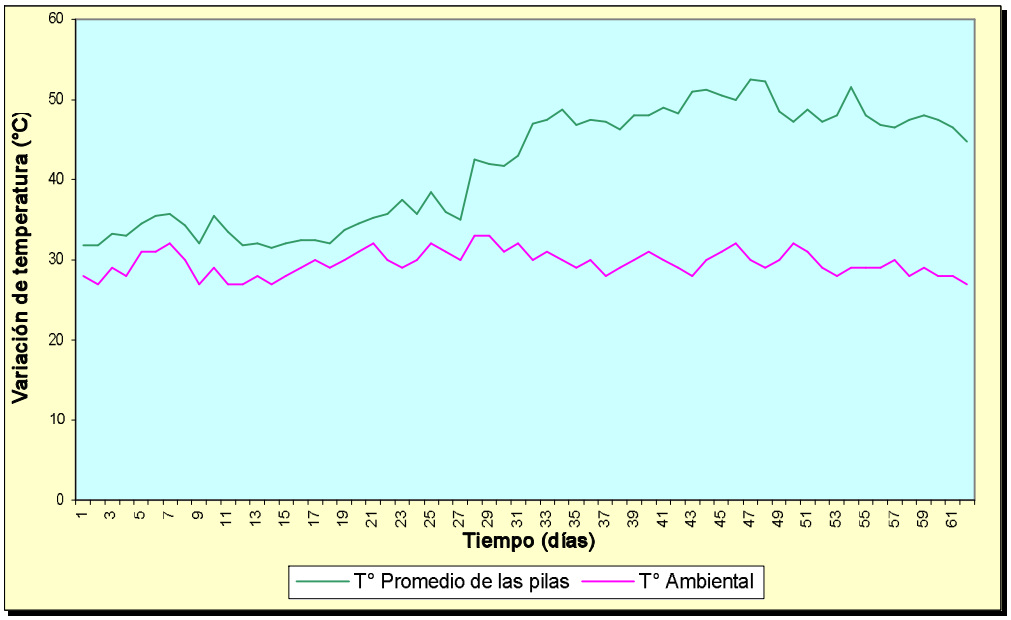
5.1 PROCESO DE COMPOSTAJE DEL LODO

5.1.1 Variación de la temperatura. Según el anexo A y el cuadro 7, se muestra el comportamiento de las temperaturas en el proceso de compostaje durante 60 días (véase la figura 6).

Cuadro 7. Temperatura promedio en el proceso de compostaje.

Tiempo (días)	Temperatura ambiental (ºC)	Temperatura (ºC) pilas
0	28	31.75
15	29	32.50
30	32	43.00
45	34	50.00
60	30	44.75

Figura 6. Comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo en el proceso de compostaje



En la figura 6 se observa que la temperatura se inicia con 31.75ºC y finaliza con 44.75ºC, la temperatura más alta ocurrió a los 45 días del proceso de compostaje con un valor de 50ºC y la temperatura más baja con 31.75ºC.; esto se debe que al tomar las muestras para el proceso de compostaje se cogieron del lecho de secado (piscina de lodos), donde la muestra posee un gran porcentaje de humedad, iniciándose los procesos de óxido-reducción (reacciones anaeróbicas) y fermentación, posteriormente se dan los procesos aeróbicos, elevándose la temperatura suavemente hasta los 15 días hasta llegar a 32.50ºC en una etapa llamada mesófila donde predominan los procesos anaeróbicos y comienza a establecerse la actividad microbiana. Seguidamente comienza a elevarse la temperatura bruscamente hasta los 45 días (50ºC) a la etapa termófila donde predominan los procesos aerobios con una alta actividad microbiana, posteriormente comienza a descender la temperatura en la etapa de enfriamiento y maduración a los 60 días con una temperatura de 44.75ºC. Al comparar la curva de temperatura del proceso de compostaje con la temperatura ambiente, se observa que ésta tiene similar comportamiento con dicha variación.

5.1.2 Variación de la humedad y reacción (pH). Según los resultados de los cuadros 8 y 9 se obtuvo la figura 7.

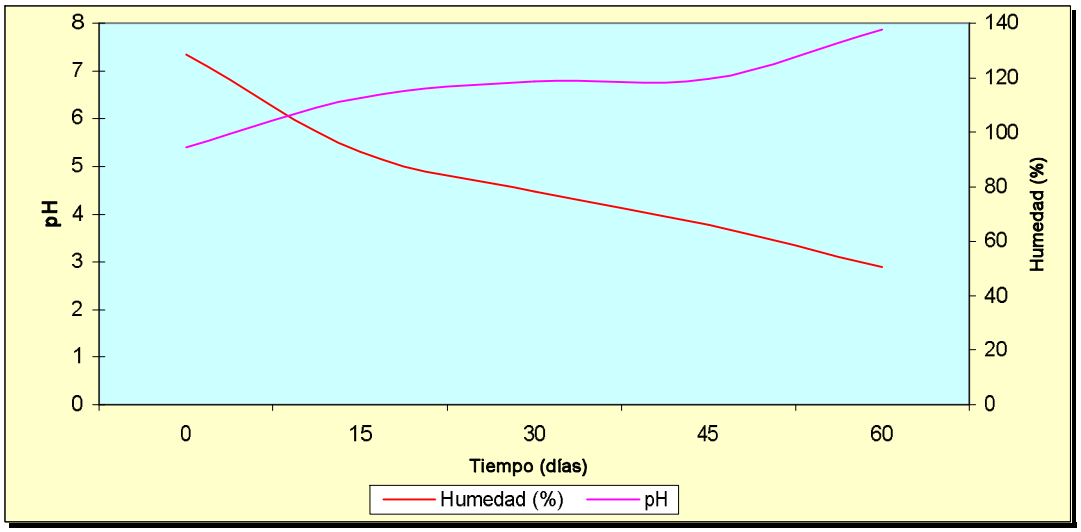
Cuadro 8. pH del proceso de compostaje del lodo.

Tiempo (días)	pH
0	5.40
15	6.43
30	6.77
45	6.83
60	7.87

Cuadro 9. Humedad en el proceso de compostaje del lodo.

Tiempo (días)	Humedad (%)
0	108.5
15	92.80
30	78.40
45	65.90
60	50.50

Figura 7. Comportamiento del % humedad y el pH con respecto al tiempo en el proceso de compostaje.



En la figura 7 se observa la variación del contenido de humedad y el pH con respecto al tiempo, la humedad muestra un comportamiento descendente, obteniéndose un valor máximo de 108.5% al inicio y valor mínimo de 50.5% al pasar los 60 días, este valor inicial se debe a que la muestra proviene del lecho de secado y está fresca. Con el transcurrir del tiempo empieza a descender llegando a los 15 días a un valor de 92.8% donde termina la etapa mesófila, descendiendo hasta llegar a 65.90 % equivalente a los 45 días donde finaliza la etapa termófila y al pasar los 60 días un mínimo del 50.0% de humedad, este descenso del contenido de humedad se debe al proceso de aireación, variaciones térmicas ambientales, actividad biología y la producción de lixiviados durante

el proceso de compostaje. La humedad es otra variable que afecta este proceso, puesto que valores muy bajos retardan la descomposición deshidratando el lodo, al tiempo que valores muy altos superiores al 60% producen lixiviados y degeneran la calidad del compost, aumentando la cantidad másica del material a manejar (Usepa, 1979).

Con respecto a los valores de pH se observa una variación ascendente iniciándose con un valor del 5.4 fuertemente ácido, esto debido que al inicio hay presencia de lixiviados con altos contenidos de ácidos húmicos y fúlvicos, pasando a los 15 días por un valor de 6.43 siendo ligeramente ácido donde finaliza la etapa mesófila, llegando a un valor de 6.83 casi neutro al finalizar la etapa termófila, y de ahí asciende hasta 7.87 básico a los 60 días. Este comportamiento de los valores de pH se debe a la presencia de los bicarbonatos de calcio que se generan por la reacción y solubilidad de la cal agrícola y los ácidos producidos en dicho proceso. La cal agrícola es agregada al lodo en la planta de tratamiento para la disminución de olores y control de patógenos.

Esta diferencia de reacción se encuentra dentro de las variaciones de los valores de pH en los procesos de compostaje que oscilan entre 3.5 y 11, según Usepa (1998), estos valores de pH iniciales se dan por las actividades de las bacterias acidificantes y posteriormente el incremento del pH se da por una combinación de bacterias y hongos que a ayudan a la degradación de los materiales orgánicos presentes.

5.2 CARACTERIZACION FÍSICA DEL LODO RESIDUAL

Después de realizar los distintos análisis de laboratorio y ensayos de campo se obtuvo el cuadro 10 en la cual se resumen las características físicas.

Cuadro 10. Resultados de los análisis físicos del lodo.

Identificación	T°C	Olor	Color Munsell		%Hum Nat.	%H	Da G/cc.	Ds g/cc	%Pt
			Húmedo	Seco					
0 días	31.75	Muy desagra-dable-fétido	5Y 3 / 1 Gris muy pardo	5Y 3 / 2 Pardo gris olivo	108.5	62.57	0.38	1.27	70.08
60 días	44.75	Agradable, a tierra guardada	10YR 2 / 1 Negro	7.5YR 2.5 / 2 café muy pardo	50.5	36.00	0.45	1.36	66.91

%H Porcentaje de Humedad. Ds Densidad de Sólidos.
Da Densidad Aparente. %Pt Porcentaje de Porosidad Total.

5.2.1 Temperatura. Según el cuadro 10, la temperatura promedio al incio fue de 31.75°C hasta llegar a los 60 días a una temperatura de 44.75°C, esto debido a la variación de la descomposición, mineralización, síntesis, deshidratación y la actividad microbiana en el lodo, en estos procesos se generan grandes volúmenes de CO_2 desprendidos por dicha actividad lo que genera las variaciones de calentamiento y evaporación de líquidos.

5.2.2 Olor. Teniendo en cuenta el cuadro 10, el olor presentado a los 0 días fue un olor muy desagradable, con características fétidas, esto es generado por el proceso de descomposición anaeróbica rápida de los materiales proteicos, de las membranas celulares, grasas, celulosa, hemicelulosa y por los procesos de oxido-reducción presentados por la extracción de los materiales en las piscinas, todos estos procesos se desprenden de la actividad microbiana formándose reacciones del amoniaco, dióxido de carbono, de azufre y metano; continuando la actividad microbiana en la mineralización de los otros compuestos como lignina, pigmentos, enzimas, etc., y al llegar a los 60 días se obtuvo un material de olor agradable a tierra húmeda, esto debido que al pasar esta etapa hay una reducción en la actividad microbiana, por las diferentes formas de descomposición, mineralización y síntesis de la mayoría de los compuestos orgánicos y la disminución de la población de los microorganismos, por lo que el desprendimiento de gases y olores es menor.

5.2.3 Color. Según el cuadro 10, el color a los 0 días fue de gris muy pardo (7.5 YR 2.5/2) en húmedo y en seco pardo gris olivo (5Y 3/2), pasando a los 60 días a un color en húmedo de negro (10YR 2/1) y en seco a café muy pardo (7.5 YR 2.5/2) este cambio fue originado por los procesos de descomposición, mineralización y síntesis de los materiales orgánicos; la variación en seco se produjo por procesos de deshidratación del material obtenido y por la presencia y combinación de los ácidos húmicos y fúlvicos.

5.2.4 Humedad. Según el cuadro 10, los valores de humedad a los 0 días fueron de 108.50%, debido a que el material (lodo) estaba recién extraído de la piscina de lodo (lecho de secado) y se encontraba saturado; pasando a los 60 días con un valor de 50.50%, ya que se presentaron pérdidas de líquidos por medio del fenómeno de lixiviación y deshidratación en el proceso de descomposición, mineralización y síntesis de la materia orgánica; y por el sistema utilizado que fue a cielo abierto, quedando sometido a las variaciones del medio ambiente.

5.2.5 Determinación de densidades y espacio poroso. Según el cuadro 10, se observa que las densidades aparente (Da) y de sólidos (Ds) aumentan, pasando la densidad aparente de 0.38 a 0.45 g/cc y la densidad de sólidos de 1.27 a 1.36 g/cc, siendo estos valores bajos comparados con los materiales minerales, pero acorde con los rangos de los materiales orgánicos estudiados. Estas variaciones se deben a la reorganización, distribución y estabilización del tamaño de las partículas y de los poros que ocurren en el proceso de descomposición, mineralización y síntesis de los materiales orgánicos.

En lo concerniente a la porosidad total se observa que disminuye pasando de 70.08% a 66.91%, estando estos valores en los rangos de los materiales orgánicos estudiados. Esta variación se debe a la cantidad de poros (porosidad

intraparticular e interparticular), al tamaño de las partículas iniciales, y a los procesos de descomposición, mineralización y síntesis de los materiales orgánicos.

5.3 CARACTERIZACION QUIMICA DEL LODO RESIDUAL

Según el anexo B se obtienen los resultados para llegar a los cuadros 11 y 12 donde se resumen las propiedades estudiadas.

Cuadro 11. Resultados de los análisis químicos en forma aprovechables del lodo (bases intercambiables).

Propiedad química	Lodo 0 días	Interpretación	Lodo 60 días	Interpretación
pH (1:5)	6.63	Muy lig. ácido	7.17	Neutro
% M. O.	22.12	Alta	70.32	Alta
P (ppm)	6112.70	Muy alto	4576.50	Muy alto
C.I.C. meq /100 g s	28.60	Alta	50.60	Muy alta
Ca meq /100 g s	6.91	Alto	5.81	Alto
Mg meq /100 g s	1.33	Bajo	2.25	Medio
K meq /100 g s	0.36	Medio	0.41	Medio
Na meq /100 g s	14.96	Muy alto	20.74	Muy alto
Ca % saturación.	24.16	Bajo	11.48	Muy bajo
Mg % saturación.	4.65	Muy bajo	4.42	Muy bajo
K % saturación.	1.26	Alto	0.81	Medio
Na % saturación.	52.31	Muy alto	40.99	Muy alto
Cu (ppm)	0.40	Muy bajo	0.40	Muy bajo
Fe (ppm)	19.60	Muy bajo	16.80	Muy bajo
Zn (ppm)	24.80	Muy bajo	187.20	Muy bajo
Mn (ppm)	88.00	Muy bajo	117.60	Muy bajo

Cuadro 12. Resultados de los análisis químicos en forma aprovechables del lodo (forma soluble).

Propiedad química	Lodo 0 días	Interpretación	Lodo 60 días	Interpretación
pH (1:5)	6.63	Muy lig. ácido	7.17	Neutro
pH extracto	5.40	Fuertemente ácido	7.87	Medianamente alcalino
C.E. uS / cm	2300	Alto	1200	Medio
Salinidad ^{c} / ^{oo}	1.30	Medio	0.70	Bajo
C.I.C meq / 100 g s	28.60	Muy alta	50.60	Muy alta
Ca meq / L	50.00	Muy alto	11.00	Muy alto
Mg meq / L	12.50	Muy alto	3.00	Bajo
K meq / L	0.17	Bajo	0.17	Bajo
Na meq / L	2.50	Alto	1.98	Alto
Cl^- meq /L	2.70	Medio	2.50	Medio
CO_3 meq /L	0.00	Nulo	0.00	Nulo
HCO_3 meq /L	4.24	Bajo	5.60	Medio
SO_4 meq /L	18.75	Alto	7.50	Bajo

Cuadro 13. Resultados de los análisis químicos del lodo (Forma total). Universidad Popular del César.

Parámetro	0 días	Interpretación	60 días	Interpretación
PH	5.50	Fuertemente ácido	7.00	Neutro
Acidez (meq / g)	0.057	Bajo	0.023	Bajo
C (%)	52.5	Alto	71.10	Alto
P (ppm)	122.5	Alto	426.30	Alto
Ca (%)	9.44	Alto	8.00	Alto
Mg (%)	0.75	Alto	0.75	Alto
Na (%)	6.092	Alto	5.363	Alto
K (%)	0.52	Alto	0.48	Alto
Ceniza (%)	16.17	Bajo	17.17	Bajo
Humedad (%)	53.50	Normal	41.40	Normal
Proteínas (g/100g)	12.03	Alto	13.60	Alto
Extracto etéreo(g/100g)	4.50	-	4.00	-
Fibra (g/100g)	6.50	Bajo	8.80	Bajo
Fe (%)	1.32	Bajo	1.36	Bajo
Cu (%)	0.002	Bajo	0.002	Bajo
Mg (%)	0.02	Bajo	0.02	Bajo
Zn (%)	0.035	Bajo	0.035	Bajo

La interpretación se tomó de acuerdo a la revisión de literatura encontrada.

Según el cuadro 14 extraída del anexo D, muestra que los análisis de tensoactivos y cloro residual arrojaron los siguientes valores:

Cuadro 14. Parámetros químicos.

Parámetro	O días	Interpretación	60 días	Interpretación
Tensoactivos (mg / kg)	4.45	Muy bajo	4.84	Muy bajo
Cloro residual(mg/Kg.)	< 0.1	No detectable	<0.1	No detectable

La interpretación se toma de acuerdo al código del RAS 2000.

5.4 CARACTERIZACION MICROBIOLOGICA

En el cuadro 15 se discriminan los diferentes microorganismos encontrados en las distintas etapas durante el proceso de compostaje del lodo residual. Esta gran presencia de especies actúa en diferentes sitios y etapas del material a compostarlo, generando una alta actividad biológica en dicho proceso, proporcionando un material de óptimas características para usarlo en la mayoría de los suelos degradados.

Para la identificación de hongos en el lodo compostado se aislaron grupos de hongos, determinándose algunos géneros y bacterias como los expuestos en el cuadro 15, al igual que se realizó conteo de esporas encontrándose 2 esporas por gramo de lodo, lo que confirma la presencia de hongos micorrízicos arbusculares que facilitan la solubilidad y disponibilidad de ciertos elementos principalmente de fósforo, además ayudan a la estructuración, retención de humedad y permeabilidad de los suelos.

Cuadro 15. Identificación de organismos y microorganismos en el lodo residual durante el proceso de compostaje.

Especie	PHylum	Clase	Orden
Diplópodos	Artrópoda	Miriápodo	Polixénidos
SympHylidos	Artrópoda	Miriápodo	Simfílidas
Paurópodos	Artrópoda	Miriápodo	Paurópodas
Chilópodos	Artrópoda	Miriápodo	Litobiomorfos
Ácaros	Artrópoda	Arácnido	Acarí
Arañas	Artrópoda	Arácnido	Araneae
Colembolos	Artrópoda	Insecto	Collembola
Avispas, Abejas y Hormigas	Artrópoda	Insecto	Hymenoptera
Coleópteros	Artrópoda	Insecto	Coleóptera
Larvas	Artrópoda	Insecto	Díptera
Termitas	Artrópoda	Insecto	Isóptera
Isópodos	Artrópoda	Crustáceo	Isópoda
Hongos			
Fusarium sp	Deuteromycota	Deuteromycetes	Moniliales
Geotrichum sp	Deuteromycota	Deuteromycetes	Moniliales
Hongos eficientes	Zygomycota	Zygomycetes	Glomales
Bacterias			
Coliformes fecales*			

* Para Coliformes fecales ver anexo E.

5.5 PROPIEDADES FÍSICO-QUIMICAS DEL SUELO

5.5.1 Descripción del perfil.

Figura 8. Descripción del perfil estratigráfico.

Horizonte	Perfil	Prof (m)	Observaciones y características
Ap		0.00 0.10	Franco Arenoso, color en seco café grisáceo muy pardo (10YR3/2), estructura en Bloques angulares, finos y medios, débil, consistencia dura en seco, friable en húmedo y baja plasticidad. Media reacción al agua oxigenada y al HCl al 10%. Escasa presencia de microorganismos y actividad biológica, límites entre horizontes difuso, alta densidad.
B1		0.18	Franco Arcillo-arenoso, café verdoso claro (2.5Y5/4), estructura en bloques angulares, finos débil, consistencia dura en seco, friable en húmeda y plástico y ligeramente pegajoso, media reacción al HCl al 10%. Alta densidad, baja retención de humedad.
B2		0.43	Arcilla limosa pardo amarillenta claro (2.5Y6/4), estructura en bloques angulares medios y finos, débil, consistencia en seco muy dura, friable en húmedo y plástica y muy pegajosa en mojado. Presenta alta reacción al HCl al 10% por la presencia de concreciones de $CaCO_3$,
C		0.54	Arena grisácea (5Y6/1), sin estructura (roca fragmentada), muy dura en seco, dura en húmedo, no plástica en mojado, muy alta reacción al HCl al 10% por la presencia de concreciones de $CaCO_3$.
R		X	Arena gris claro (5Y7/1), roca consolidada formada de areniscas calcáreas, muy dura en seco y húmedo, no plástica, alta reacción al HCl al 10%.

1.00 ... Fin de la excavación

1.10 ... Fin de la perforación

Nivel freático profundo si interferir en el perfil.

Describió: Jaime Carballo M. y José Oviedo R.

En general, este suelo presenta topografía ondulada con drenaje natural bien drenado, con profundidad efectiva media (50 cm), suelo derivado de areniscas calcáreas donde predominan los procesos de ganancias de materiales orgánicos, de la vegetación existente, pérdidas de humedad debido a las temperaturas presentes, erosión hídrica debido a la topografía y mal manejo.

Presenta translocación de materia orgánica (humus), arcillas y carbonatos hacia los horizontes inferiores y transformaciones principalmente de materia orgánica por procesos de humificación y de oxido-reducción del hierro, lo que incide en la presencia de los colores de los horizontes subsuperficiales. El límite entre horizontes es difuso debido a que en el suelo no hay estabilización de los procesos formadores de suelo. El uso principal que se le da a este suelo es de pastoreo extensivo con pastos naturales, lo que conlleva a la alta densidad de los horizontes superiores, escasa presencia de microorganismo y a la formación de grietas y cárcavas.

Según el cuadro 16 extraído del anexo F, se puede observar que los resultados de análisis del suelo utilizado en este estudio, corresponden a un Inceptisol de textura franco-arenoso con propiedades de alta permeabilidad, ligeramente alcalino, baja fertilidad, alto valor de densidad aparente y altos contenidos en fósforo (P) y sodio (Na).

El alto valor de densidad aparente se debe a las características texturales, el bajo contenido de materia orgánica y al uso del suelo (ganadería extensiva), la alta disponibilidad de fósforo (P) se debe a los minerales presentes en la fase sólida, y el alto contenido de sodio (Na) se debe a la precipitación que ocurre en la zona que es insuficiente para satisfacer las necesidades de evapotranspiración del suelo y plantas favoreciendo la concentración superficial de sales.

Cuadro 16. Características físico-químicas del suelo.

Propiedad	Resultado
Textura	Franco-Arenosa F-A
PH	7.48
M.O. (%)	1.18
P (ppm)	46.70
C.I.C. (meq / 100 g s)	16.30
Ca (meq / 100 g s)	1.32
Mg (meq / 100 g s)	0.52
K (meq / 100 g s)	0.35
Na (meq / 100 g s)	0.84
Fe (g / Kg-m)	2.80
Cu (g / Kg-m)	0.20
Mn (g / Kg-m)	27.5
Zn (g / Kg-m)	0.80
Da (g / cc)	1.65
Dr (g / cc)	2.65
Pt (%)	37.97
CO_3	0.00
HCO_3	1.20
Cl^-	2.50
SO_4	1.67

La interpretación se tomó de las tablas del IGAC – ICA.

5.6 CARACTERIZACION FÍSICO – QUÍMICA DE LOS TRATAMIENTOS

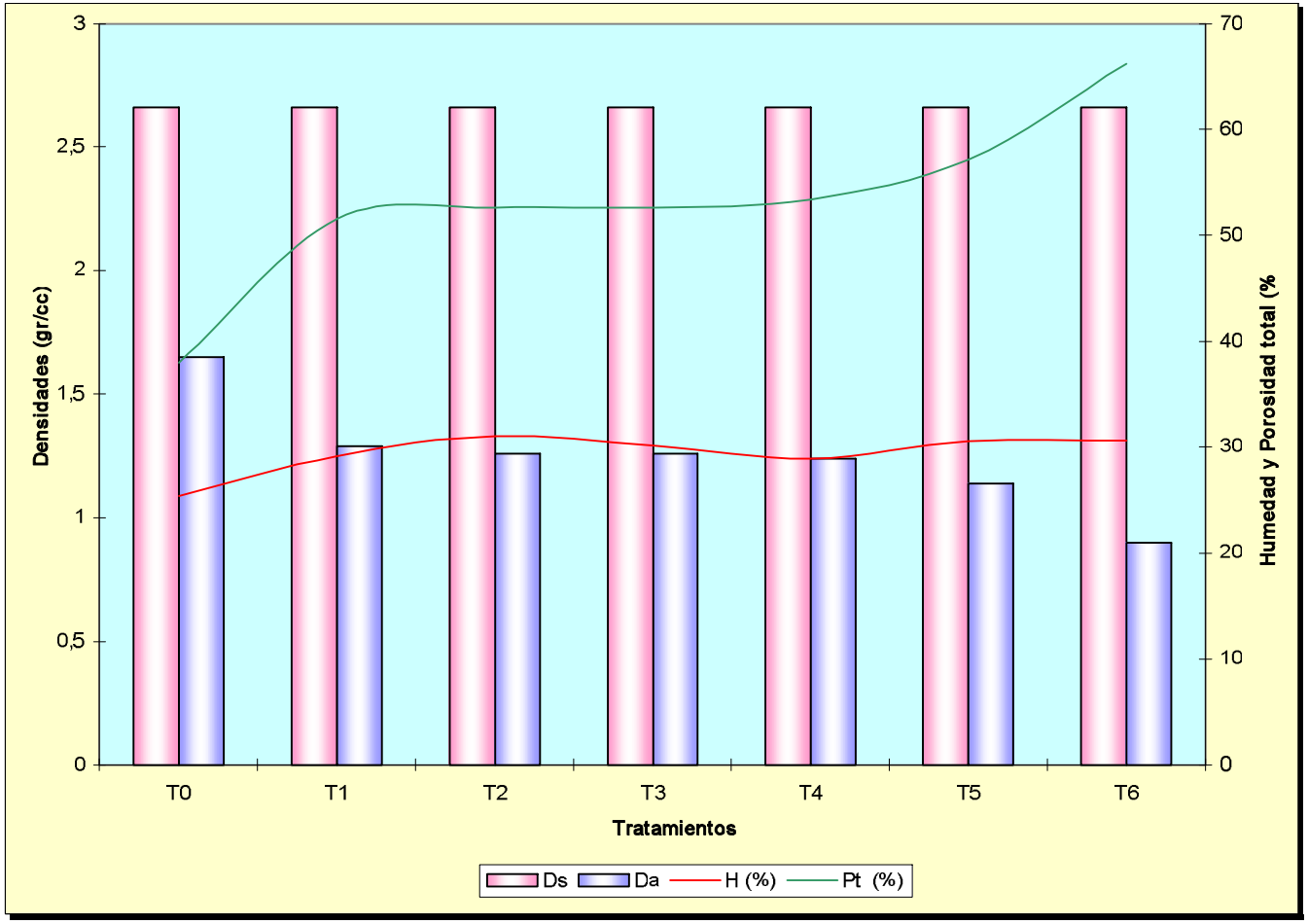
Mediante los análisis realizados en el laboratorio de la Universidad de Sucre se obtuvieron los siguientes resultados presentados en el cuadro 17 y como se observa en la figura 9; y según los anexos F se realizaron los cuadros 18 y 19.

Cuadro 17. Densidades y espacio poroso de los tratamientos.

Tratamientos	Ds (g/cc)	Da (g/cc)	H (%)	Pt (%)
T0	2.66	1.65	25.41	37.97
T1	2.66	1.29	29.17	51.50
T2	2.66	1.26	31.03	52.63
T3	2.66	1.26	30.16	52.63
T4	2.66	1.24	28.96	53.38
T5	2.66	1.14	30.55	57.14
T6	2.66	0.90	30.61	66.17

Ds Densidad de los sólidos Da Densidad Aparente
H % Porcentaje de Humedad Pt % Porcentaje Porosidad Total

Figura 9. Comportamiento de las propiedades físicas de los tratamientos.



Cuadro 18. Resultados de los análisis químicos en forma aprovechable de los tratamientos (forma soluble).

Tratamiento	pH (1:5)	pH Ext.	CE uS/cm	SAL ° / ∞	C.I.C	Ca	Mg	K	Na	CO_3	HCO_3	Cl^-	SO_4	PSI
					meq / Litro									
T0	7.48	7.40	0.14	0.00	14.85	0.75	1.58	0.13	0.92	0	1.20	2.50	1.67	49.23
T1	7.27	7.58	1.40	1.00	17.88	8.25	3.08	0.23	3.08	0	5.28	10.75	2.29	32.66
T2	7.40	7.82	2.48	1.50	17.05	12.50	9.00	0.32	4.62	0	6.40	18.25	6.88	46.22
T3	7.38	7.84	2.05	1.20	15.95	11.50	8.17	0.26	6.16	0	6.40	17.50	6.67	61.50
T4	7.26	7.84	2.10	1.50	16.50	13.38	5.79	0.29	7.70	0	6.80	22.75	9.58	46.66
T5	7.28	7.88	2.00	1.50	17.88	9.50	7.17	0.21	9.24	0	6.56	13.00	6.67	56.88
T6	7.51	7.89	2.30	1.80	18.70	12.25	6.08	0.29	10.78	0	7.60	18.25	14.58	42.14

Cuadro 19. Resultados de los análisis químicos en forma aprovechable de los tratamientos (Intercambiable).

Tratamiento	pH	M.O. %	P ppm	C.I.C.	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na
				meq / 100 g de Suelo					% de saturación			
T0	7.50	1.02	47.17	14.85	3.75	2.08	0.86	7.31	25.25	14.01	5.79	49.23
T1	7.27	2.08	68.57	17.88	7.22	2.22	1.04	5.84	40.38	12.42	5.82	32.66
T2	7.40	2.36	71.26	17.05	4.72	3.06	1.30	7.88	27.68	17.95	7.62	46.22
T3	7.38	2.89	71.26	15.95	2.98	1.57	0.82	9.81	18.68	9.84	5.14	61.50
T4	7.26	3.85	78.13	16.50	3.89	1.09	1.13	7.43	23.58	6.61	6.85	45.03
T5	7.28	5.54	343.74	17.88	3.51	1.94	1.42	10.17	19.63	10.85	7.94	56.88
T6	7.51	14.78	528.58	18.70	4.71	2.60	1.10	7.88	25.19	13.90	5.88	42.14

Teniendo en cuenta los resultados de los cuadros 17, 18 y 19 se observa que el lodo compostado aplicado al suelo tiene influencia directa sobre las propiedades físicas y químicas estudiadas.

En cuanto a las propiedades físicas se observa que a medida que se aplica el lodo compostado al suelo éstas mejoran gradualmente, mostrando que la densidad aparente disminuye mientras que la retención de humedad y porosidad total aumentan; confirmando las características que este material posee como acondicionador físico de suelos. De igual manera ocurre con las propiedades químicas, donde se observa que hay un incremento de los contenidos de nutrientes cuando se suministra lodo compostado al suelo, cabe destacar la importancia que tiene el incremento de materia orgánica, fósforo y potasio al aplicar este compost a suelos degradados de zonas tropicales, estos valores se deben al origen y a la composición del material estudiado.

Además, se observan valores altos de sodio intercambiable y soluble, esto debido a la alta presencia de cargas negativas de los materiales orgánicos, al uso de detergente líquido (hipoclorito de sodio) y al uso de aguas tratadas en las labores de lavado en Frigosabanas S.A.

5.7 ANALISIS ESTADÍSTICO

5.7.1 Análisis de las características de crecimiento. Al realizar los análisis de varianza y comparación de medias para las características de crecimiento (altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas), del maíz ICA V 109 se realizó el siguiente cuadro del anexo H.

Cuadro 20. Resultado del análisis estadístico (crecimiento).

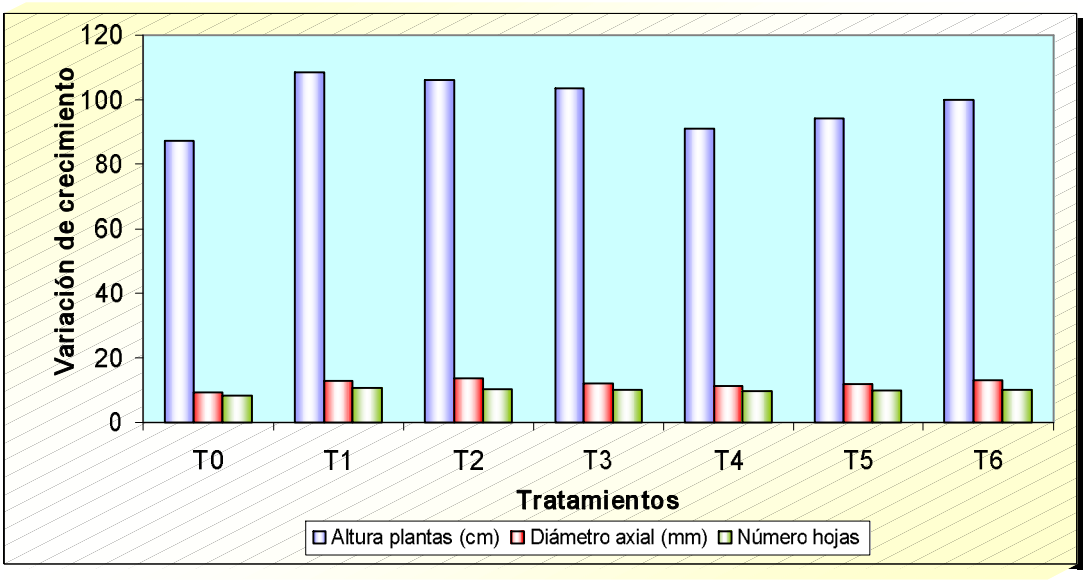
Tratamiento	Dosis de lodos (%)	Medias alt. planta	Medias diámetro axial	Medias número de hojas
0	0	87.18 a	9.27 a	8.33 a
1	5	108.50 a	12.68 a	10.67 a
2	10	106.17 a	13.50 a	10.33 a
3	15	103.33 a	12.00 a	10.00 a
4	20	91.00 a	11.17 a	9.67 a
5	25	94.17 a	11.83 a	9.83 a
6	30	100.00 a	13.00 a	10.00 a
Cv (%)		9.06	6.8	10.74

Nota: Las letras al lado de los valores indican la prueba de Duncan.
Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente al 5%.

Se observa que la altura de planta, diámetro axial y el número de hojas, de acuerdo al análisis de varianza para los parámetros antes en mención en la etapa de crecimiento, no existe diferencia estadísticamente significativa entre ellos.

Significando esto que las dosis aplicadas no influyeron directamente en la variación de estos parámetros. Sin embargo, agronómicamente el mayor valor promedio para la altura de planta se presentó en el tratamiento 1 (T1) con valor de 108.50 cm y el menor valor de 87.18 cm en el T0, con relación al diámetro del tallo el mayor valor fue de 13.50 mm en el T2 y el menor valor en el T0 de 9.27mm y con el número de hojas el mayor valor ocurrió en el T1 con 10.67 cm y el menor valor en el T0 con 8.33 cm (véase la figura 10).

Figura 10. Variación de las características de crecimiento.



5.7.2 Análisis de materia seca. Según el anexo I y después de realizar los análisis de varianza y comparación de medias para el contenido de materia seca se obtuvo el cuadro 21.

Cuadro 21. Resultado del análisis estadístico (materia seca).

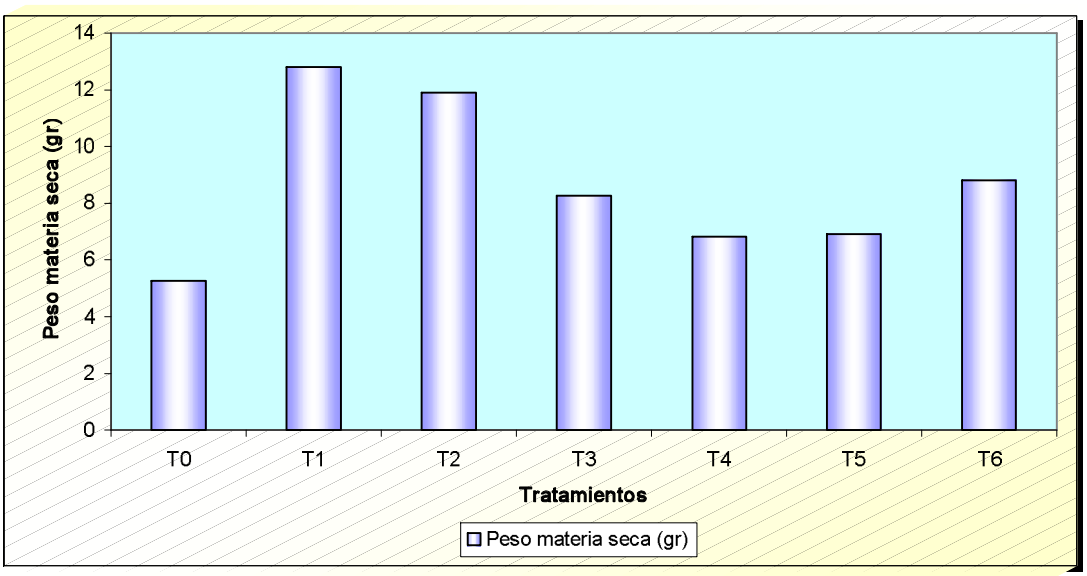
Tratamiento	Dosis de lodos (%)	Medias (g)
0	0	5.27 c
1	5	12.79 a
2	10	11.90 ab
3	15	8.27 bc
4	20	6.82 c
5	25	6.91 c
6	30	8.82 abc
Cv (%)		26.52

Nota: Las letras al lado de los valores indican la prueba de Duncan.
Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente al 5%.

De acuerdo con el análisis de varianza se observó que estadística y agronómicamente existe diferencia significativa entre los tratamientos, significando esto que las dosis de aplicación de lodo influyeron en las

variaciones entre los tratamientos de la producción de materia seca. Por lo tanto los tratamientos T1 y T2 son estadísticamente iguales y diferentes de los otros tratamientos, donde el mayor valor se obtuvo en el T1 con 12.79 g y el menor valor fue de 5.27 g correspondiente al T0 (véase la figura 11).

Figura 11. Variación del peso de materia seca.



5.7.3 Análisis de biomasa radical. Según el anexo J se obtienen los valores para llegar al cuadro 22.

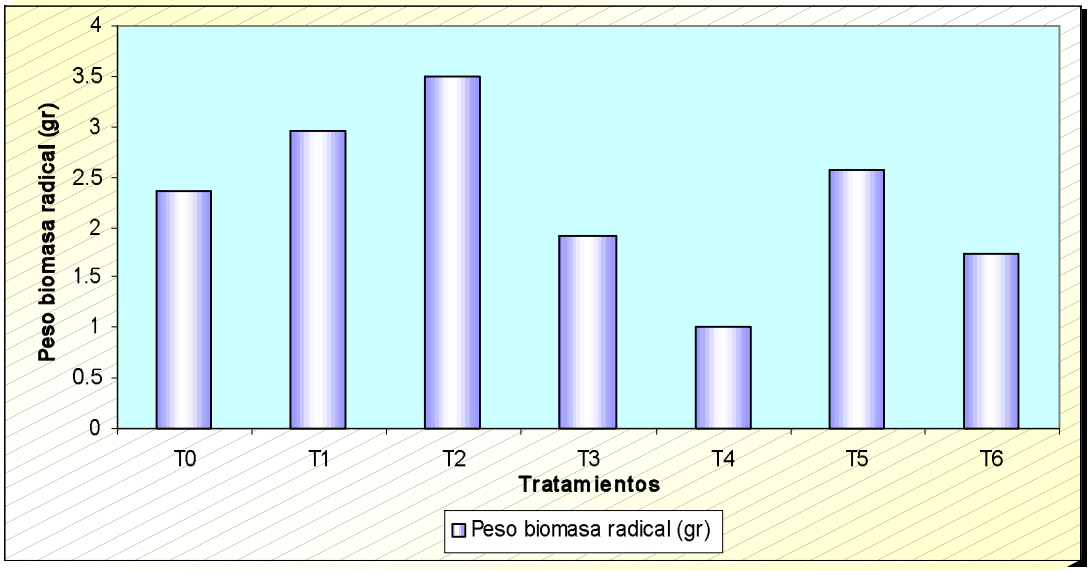
Cuadro 22. Resultado del análisis estadístico (biomasa radical).

Tratamiento	Dosis de lodos (%)	Medias (g)
0	0	2.35 abc
1	5	2.95 ab
2	10	3.50 a
3	15	1.92 bc
4	20	1.00 c
5	25	2.57 ab
6	30	1.73 bc
Cv (%)		36.80

Nota: Las letras al lado de los valores indican la prueba de Duncan.
Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente al 5%.

De acuerdo con el análisis de varianza se observó que estadística y agronómicamente existe diferencia significativa entre los tratamientos, significando esto que las dosis de aplicación del lodo compostado influyeron en los tratamientos en la producción de biomasa radical. Donde los tratamientos T1, T2 y T5 son estadísticamente iguales y diferentes de los demás, presentándose el mayor valor en el T2 con un valor de 3.50 g y el menor valor en el T4 de 1.00 g (véase la figura 12).

Figura 12. Variación del peso de biomasa radical.



Como los tratamientos T1 y T2 de peso de materia seca y peso de biomasa radical presentan similares resultados, después de aplicar el paquete estadístico para los diferentes tratamientos por la prueba de rangos múltiples de Duncan se escogió el tratamiento 2 (T2) como el mejor tratamiento, biológicamente, de esta investigación, ya que presenta mayor valor de biomasa radical, por lo que éste es de gran importancia en la absorción de nutrientes para el buen desarrollo y crecimiento vegetal.

CONCLUSIONES

Después de evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas se demuestra que el lodo compostado procedente del Frigorífico Frigosabanas S.A. corresponde a un material ligeramente alcalino, con altos contenidos de materia orgánica, fósforo, calcio, potasio y sodio, y bajos en hierro, cobre, manganeso y zinc.

La aplicación de lodo compostado demuestra que mejora las propiedades físico-químicas estudiadas del suelo, incrementando el contenido de materia orgánica del mismo, aumentando consecuentemente la capacidad de retención de agua y aporte de nutrientes.

Analizando la posibilidad de uso agrícola del lodo compostado como bioabono, la dosis del 10% en relación peso a peso (p/p) presentó el mejor resultado para los componentes de rendimiento en materia seca y biomasa radical.

De acuerdo con la prueba de Duncan se demuestra que el mejor tratamiento se obtuvo cuando se aplicó al suelo el 10% de lodo compostado, correspondiente al T2, confirmado esto con los valores obtenidos en el cálculo de la biomasa radical para estas condiciones agroecológicas.

Después de realizar los estudios pertinentes al lodo residual proveniente del Frigosabanas S.A. se demuestran las bondades físicas, químicas y biológicas que posee este material, el cual puede ser utilizado como abono orgánico en la agricultura en la mayoría de los suelos degradados.

RECOMENDACIONES

Se deben seguir realizando las prácticas necesarias al lodo compostado (bioabono) para disminuir los altos contenidos de fósforo y sodio antes de ser suministrado al suelo.

Se recomienda usar este bioabono en suelos de alta permeabilidad.

Al compostar el lodo se debe agregar un material aireante como la cascarilla de arroz para facilitar su manejo y uniformidad de descomposición.

Al aplicar el lodo compostado al suelo se debe dejar un lapso de tiempo aproximado de 1 a 2 meses antes de establecer el cultivo, para facilitar la unión orgánica-mineral, estabilización y el equilibrio del sistema

Destinar el lodo compostado (bioabono) a suelos agrícolamente degradados, generalmente pobres en materia orgánica, ya que este es un material principalmente orgánico y rico en elementos nutritivos para las plantas, como también mejorador de las propiedades físicas y biológicas del suelo.

Es necesario que se siga investigando a nivel campo la aplicación de este lodo en el tiempo y con otros cultivos.

Es recomendable mantener una buena aireación y mezcla durante el proceso de compostaje para obtener un bioabono de óptima calidad.

Para lograr una mayor calidad nutricional y mejor manejo de este bioabono se debe dejar un tiempo de descomposición de 60 a 90 días.

Se recomienda especialmente la utilización del bioabono en suelos bajo producción de pastos, sistemas silvopastoriles y forestería para mantener la sostenibilidad de dichos sistemas.

Realizar este tipo de estudio con los otros recursos orgánicos existentes en grandes cantidades en la región para caracterizarlos, adecuarlos y utilizarlos como bioabonos.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, M. Influencia de las aplicaciones de compost de residuos sólidos urbanos sobre las propiedades físico-químicas de los suelos cultivados y aprovechamiento del compost de residuos sólidos urbanos en la agricultura. En residuos orgánicos-aprovechamiento agrícola como abono y sustrato. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Impresos del Caribe Ltda. Medellín, Colombia, 1998. 53 – 75 p.

BABBITT, H. E. y BAUMAN, E. R. Sewerage and Sewage Treatment. 8ª Edition. Wiley, 1967.

BROSTE, R. L. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, Wiley, 1997.

BRUCE y DAVIS. Evaluación de lodos en el suelo. En: Residuos orgánicos-aprovechamiento agrícola como abono y sustrato. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Impresos del Caribe Ltda. Medellín-Colombia, 1989. 108 p.

CASTILLO Y ORTEGA.. Residuos orgánicos- aprovechamiento agrícola como abono y sustrato. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Impresos del Caribe Ltda. Medellín, Colombia, 1987. 108 p.

CASTRO S. y PULGARIN, O. Aplicación de tres residuos orgánicos usados como enmiendas físicas en un andisol cultivado con flores. En: Residuos orgánicos–aprovechamiento agrícola como abono y sustrato. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Impresos del Caribe Ltda. Medellín, Colombia, 1998. 129–136 p.

CEGARRA P., J. Compostaje y lombricompostaje-Características de los compost. En: Residuos orgánicos-aprovechamiento agrícola como abono y sustrato. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Impresos del Caribe Ltda. Medellín, Colombia, 1998. 39-52 p.

COSTA, *et al.* Características del compostaje. En: papel de los biosólidos en la agricultura. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 1991. 3 – 15 p.

GEORGE N, Agrios. Plant Pathology. Edition fourth. Academic Press. California, 1997. 363 p.

GOMEZ, Z., J. Uso edáfico de los residuos orgánicos sólidos. En: Papel de los biosólidos en la agricultura. Universidad Nacional. Colombia, 1996. 2 p.

LEON G. F. *et al.* Evaluación de la eficiencia agronómica de un lodo residual en un ultisol. En: Residuos orgánicos-aprovechamiento como abono y sustrato. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, impresos del caribe Ltda., Medellín-Colombia, 1998. 105 – 116 p.

LING, C.L. *et al.* Municipal Sewage Sludge Management, Technomic Pub. Co., 1998.

MENDEZ A, H. Tratamiento y empleo de aguas negras residuales en la agricultura. En: Revista de suelos ecuatoriales. Vol. 25. 1995. 101 – 105 p.

METCALF & EDDY Inc. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse, 3ª Edition. Mc Graw Hill, 1991.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT). Municipio de Corozal, Sucre. Año 2000.

ROMERO R, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales. 1999. 864 p.

SEOANEZ. Ecología industrial. En: Ingeniería medio-ambiental aplicada a la industria y a la empresa. 2ª. Edición. Mundi prensa: España, 1998. 302-305 p.

SOMMERS. En: Aplicación de tres residuos orgánicos usados como enmiendas físicas en un andisol cultivado con flores. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo y la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Impresos del Caribe Ltda. Medellín, Colombia, 1997.149p.

USEPA. "Sludge Treatment and Disposal", Process Design Manual, 1974, 1979.

USEPA. Process Design Manual For Municipal Sludge Londfills, EPA – 625/1-78-010, 1978.

USEPA. "Onsite Wastewater Treatment and Ddisposal Systems", Design Manual, 1980.

WEF, Asce. Design of municipal wastewater treatment plants, 4ª Edition. 1998.

ANEXOS

Anexo A. Temperaturas promedios ambientales y del lodo

Fecha	Pila 1°C	Pila 2 °C	Pila 3 °C	Pila 4 °C	T° Promedio °C	T° Ambiente °C
Abr-06	32	31	32	32	31,75	28
7	31	32	32	32	31,75	27
8	33	33	33	34	33,25	29
9	33	32	33	34	33	28
10	34	35	34	35	34,5	31
11	35	35	35	37	35,5	31
12	36	35	36	36	35,75	32
13	34	35	33	35	34,25	30
14	32	31	32	33	32	27
15	35	36	35	36	35,5	29
16	34	32	33	35	33,5	27
17	31	32	32	32	31,75	27
18	32	32	32	32	32	28
19	31	32	31	32	31,5	27
20	31	33	32	32	32	28
21	34	33	32	31	32,5	29
22	33	34	33	30	32,5	30
23	31	33	30	34	32	29
24	30	34	35	36	33,75	30
25	33	35	36	34	34,5	31
26	34	36	35	36	35,25	32
27	35	38	36	34	35,75	30
28	38	37	39	36	37,5	29
29	36	38	35	34	35,75	30
30	38	39	38	39	38,5	32
May-01	39	37	35	33	36	31
2	38	33	35	34	35	30
3	41	42	43	44	42,5	33
4	44	43	41	40	42	33
5	44	41	42	40	41,75	31
6	43	40	45	44	43	32

Fecha	Pila 1°C	Pila 2 °C	Pila 3 °C	Pila 4 °C	T° Promedio °C	T° Ambiente °C
7	45	46	48	49	47	30
8	47	48	46	49	47,5	31
9	49	48	49	49	48,75	30
10	48	46	45	48	46,75	29
11	46	47	48	49	47,5	30
12	46	48	47	48	47,25	28
13	45	45	46	49	46,25	29
14	48	49	48	47	48	30
15	49	48	47	48	48	31
16	49	49	50	48	49	30
17	48	47	49	49	48,25	29
18	49	54	50	51	51	28
19	50	54	51	50	51,25	30
20	50	51	51	50	50,5	31
21	50	51	49	50	50	34
22	51	52	53	54	52,5	30
23	50	51	54	54	52,25	29
24	48	49	50	47	48,5	30
25	48	46	47	48	47,25	32
26	49	48	49	49	48,75	31
27	47	48	46	48	47,25	29
28	49	46	48	49	48	28
29	50	51	52	53	51,5	29
Ene-00	48	47	48	49	48	29
31	48	48	46	45	46,75	29
Jun-01	47	48	45	46	46,5	30
2	48	49	46	47	47,5	28
3	47	48	49	48	48	29
4	46	47	48	49	47,5	28
5	45	46	47	48	46,5	28
6	44	45	44	46	44,75	30

Anexo B. Resultado de análisis de lodo

Anexo C. Resultados de los análisis de caracterización del lodo
Universidad Popular del Cesar

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE CONSUSLTAS INDUSTRIALES
LABORATORIO DE CALIDAD DE PRODUCTOS AGROINDUSTRIALES

DATOS DE LA MUESTRA	
SOLICITANTE: JAIME DARÍO CARBALLO PROCEDENCIA: SINCELEJO NOMBRE FINCA: TIPO DE MUESTRA: LODO	TIPO DE ANÁLISIS: FISICO-QUÍMICO LODOS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL FRIGORÍFICO FRIGOSABANAS S. A.
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	No. DE LABORATORIO: 042-043

RESULTADOS			
PARÁMETRO	**MÉTODO**	**0 DÍAS**	**60 DÍAS**
pH	Potenciometría	5,5	7,0
Acidez (meq/g)	Titulación	0,057	0,023
Carbono (%)	Walkley – Black	52,5	71,1
Fósforo (ppm)	Digestión seca (A. M.)	122,5	426,3
Calcio (%)	Digestión seca (A. A.)	9,44	8,0
Magnesio (%)	Digestión seca (A. A.)	0,75	0,75
Potasio (%)	Digestión seca (A. A.)	0,52	0,8
Cenizas (%) Base fresca	Calcinación 550°C	16,17	17,17
Humedad (%)	Gravimetría	53,5	41,40
Proteína (g/100 g) Base fresca	Microkjeldall	12,03	13,60
Extracto etéreo (g/100 g) (b. s.)	Soxlet	4,5	4,0
Fibra (g/100g) (base seca)	Digestión ácido base	6,5	8,8
Hierro (%)	Digestión seca (A. A.)	1,32	1,36
Cobre (%)	Digestión seca (A. A.)	0,002	0,002
Manganeso (%)	Digestión seca (A. A.)	0,02	0,02
Zinc (%)	Digestión seca (A. A.)	0,035	0,035

OBSERVACIONES

La muestra fue colectada y transportada por el usuario.
Los valores obtenidos obedecen a triplicados o duplicados realizados por el laboratorio.

FECHA ENTREGA DE RESULTADOS: NOV/2001

Ing. RICARDO DURÁN BARÓN
DIRECTOR

DIRECCIÓN: SEDE CAMPUS UNIVERSITARIO. EDIFICIO DE LABORATORIOS. SEGUNDO PISO
TELÉFONO: 5745542 – 5735753 – CONMUTADOR: 5736203. CELULAR: 7247875

Anexo D. Resultados de los análisis de tensoactivos y cloro residual Ecoquimia S. A.

Anexo E. Resultados de los análisis coliformes fecales

DASSSALUD

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE SEGURIDAD SOCIAL EN SALUD DE SUCRE
DASSSALUD – SUCRE

LABORATORIO DE REFERENCIA-ÁREA DE ALIMENTOS

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LODO

CIUDAD Y FECHA: Sincelejo, mayo 10 de 2001

MUESTREO NÚMERO: 1 **RADICACIÓN:** 0444 **PROPIETARIO:** UNIVERSIDAD DE SUCRE

FECHA Y HORA DE TOMA DE LA MUESTRA: Abril 6/2001 H:9
FECHA Y HORA DE RECIBIDO DE LA MUESTRA: Abril 30/2001 H:4:30 P.M.
PUNTO Y TOMA DE LA MUESTRA: S.T.A.R. **DIRECCIÓN:** BREME (Entre Corozal y Sincelejo)
NOMBRE Y CARGO DEL RECOLECTOR: JAIME CARBALLO – JOSÉ OVIEDO ESTUDIANTES U. DE SUCRE.

ROTULACIÓN:

NOMBRE COMERCIAL:
EMPRESA FABRICANTE:
OBSERVACIONES: Muestra de lodo residual tomada del sistema de tratamiento de aguas residuales FRIGOSABANAS.

RESULTADOS

MICROORGANISMOS INDICADORES	EXPRESADOS EN	VALOR
NÚMERO TOTAL DE MICROORGANISMOS VIABLES	MICROORGANISMOS /ml	11 90 X 10
NÚMERO MÁS PROBABLE DE BACILOS COLIFORMES TOTAL	MICROORGANISMOS / 100 ml	Mayor 48.839
COLIFORMES FECALES	MICROORGANISMOS /ml	Mayor 48.839

LA MUESTRA DEL DPRODUCTO ANALIZADO ES:	
RECHAZADO POR EL ALTO CONTENIDO DE MICOORGANISMOS VIABLES	
RECHAZADO POR EL ALTO CONTENIDO DE BACILOS COLIFORMES TOTALES	
RECHAZADO POR LA PRESENCIA DE COLIFORMES FECALES	
SATISFACTORIA	

EDITH MONTES ROTELA
Bacterióloga

Anexo F. Resultado de los análisis caracterización de suelos Universidad de Sucre

Anexo G. Resultado de los análisis de caracterización de los tratamientos

Universidad de Sucre

Anexo H. Datos para el análisis estadístico de varianza para la variable de crecimiento

Fuente de varianza	GL	30 días	30 días	30 días
Bloque	2			
Duncan	6	N.S.	N.S.	N.S.
Tratamientos		**Medias altura planta**	**Medias Diámetro axial**	**Medias Número de hojas**
0		87.18 a	9.27 a	8.33 a
1		108.50 a	12.68 a	10.67 a
2		106.17 a	13.50 a	10.33 a
3		103.33 a	12.00 a	10.00 a
4		91.00 a	11.17 a	9.67 a
5		94.17 a	11.83 a	9.83 a
6		100.00 a	13.00 a	10.00 a
Cv (%)		9.06	6.8	10.74

Nota: Las letras al lado de los valores indican la prueba de Duncan.

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente al 5%.

* Significativo al 5%
** Significativo al 1%
N.S. No significativo

Anexo I. Datos para el análisis estadístico de varianza para la variable materia seca

Fuente de varianza	GL	30 días
Bloque	2	
Duncan	6	*
Tratamientos		Medias (gr)
0		5.27 c
1		12.79 a
2		11.90 ab
3		8.27 bc
4		6.82 c
5		6.91 c
6		8.82 abc
Cv (%)		26.52

Nota: Las letras al lado de los valores indican la prueba de Duncan.

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente al 5%.

* Significativo al 5%
** Significativo al 1%
N.S. No significativo

Anexo J. Datos para el análisis estadístico de varianza para la variable de biomasa radical

Fuente de varianza	GL	30 días
Bloque	2	
Duncan	6	*
Tratamientos		Medias (gr)
0		2.35 abc
1		2.95 ab
2		3.50 a
3		1.92 bc
4		1.00 c
5		2.57 ab
6		1.73 bc
Cv (%)		36.80

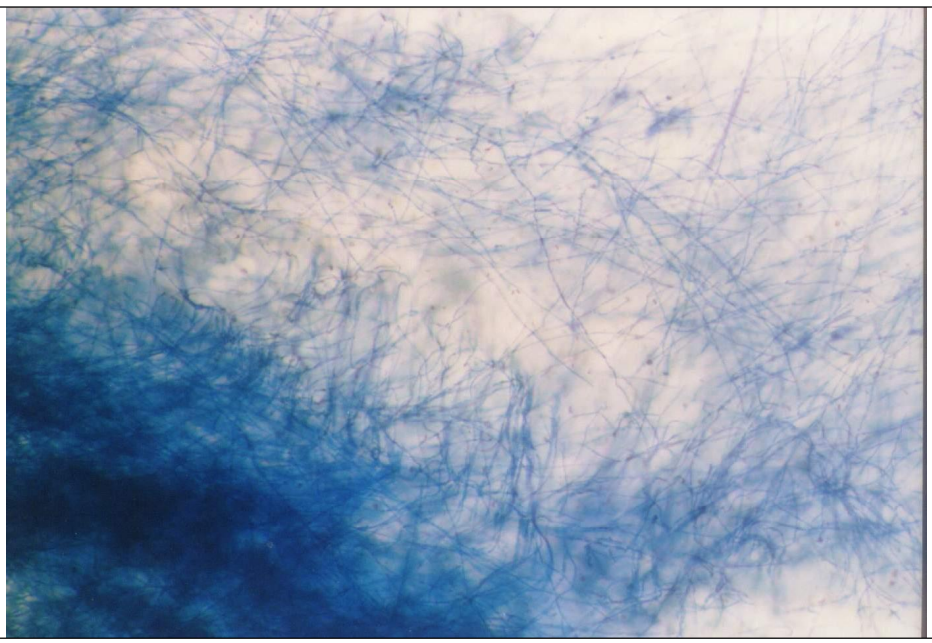
Nota: Las letras al lado de los valores indican la prueba de Duncan.

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente al 5%.

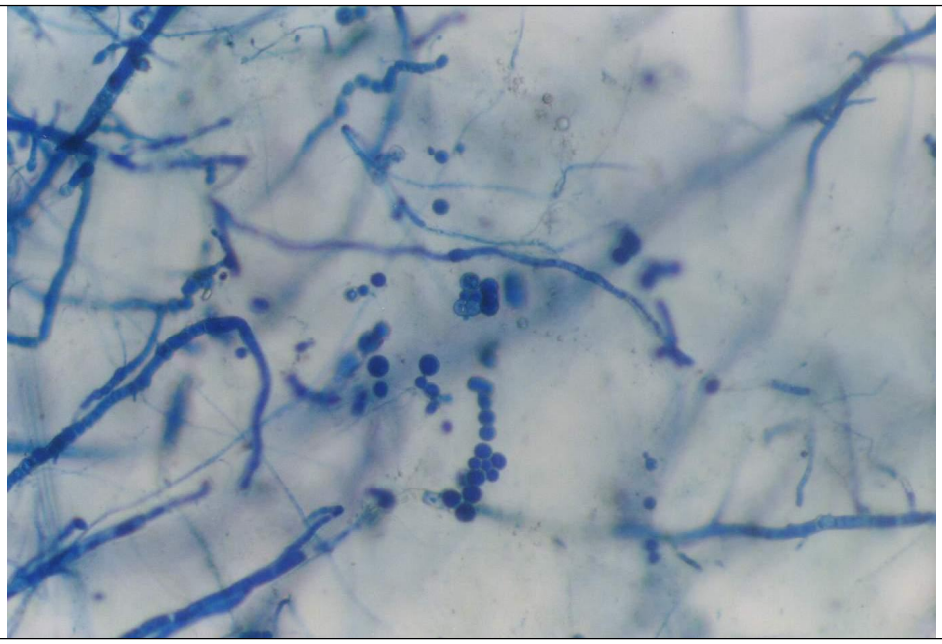
* Significativo al 5%
** Significativo al 1%
N.S. No significativo

Anexo K. Identificación de hongos

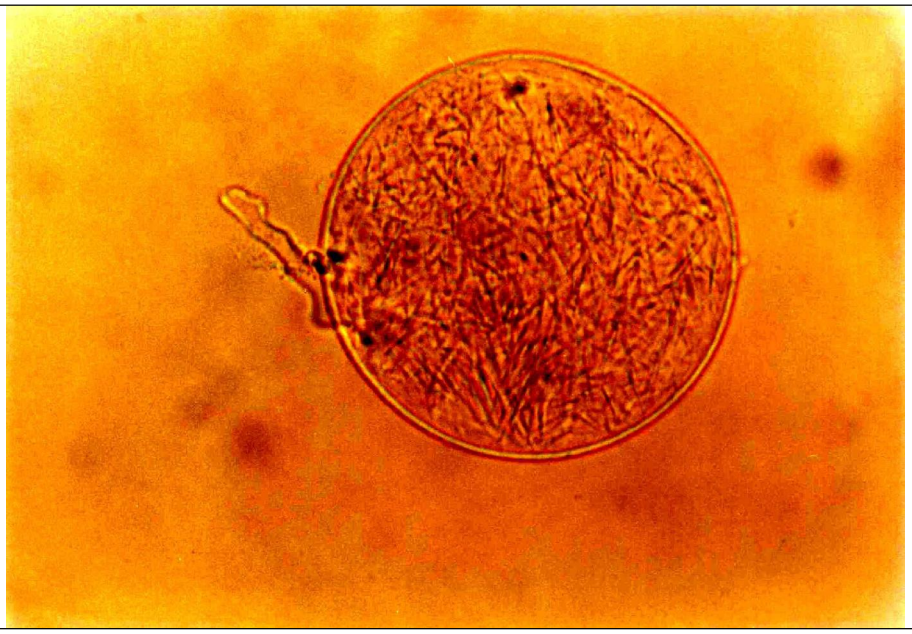
Micellium



Fusarium sp.



Geotrichum sp.



Micorrizas

Anexo L. Tratamientos

Tratamientos

Diferencia entre tratamientos