

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA, Y VIABILIDAD  
DE SU USO EN LA AGRICULTURA DE UN LODO RESIDUAL PROVENIENTE  
DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DEL CORREGIMIENTO DE GRANADA.  
MUNICIPIO DE SINCÉ – SUCRE**

**ARNOLD ISAAC MARTÍNEZ PÉREZ  
ISABEL MEJÍA BURGOS**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
SINCELEJO  
2005**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BACTERIOLÓGICA, Y VIABILIDAD  
DE SU USO EN LA AGRICULTURA DE UN LODO RESIDUAL PROVENIENTE  
DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DEL CORREGIMIENTO DE GRANADA.  
MUNICIPIO DE SINCÉ – SUCRE**

**ARNOLD ISAAC MARTÍNEZ PÉREZ  
ISABEL MEJÍA BURGOS**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de  
Ingeniero agrícola**

**Director**

**HERALDO ALVIZ SANTOS  
Ingeniero Agrícola  
Especialista en Manejo de Suelos y Aguas**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
SINCELEJO  
2005**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Sincelejo, agosto de 2005

## DEDICATORIA

A Dios, por la fortaleza para vencer los obstáculos, por darme la esperanza, la fe, el amor y la sabiduría.

A mi madre Eufemia, quien siempre ha creído en mí y me ha apoyado en la realización de mis sueños.

A mi hermana Beybis, por la comprensión y ayuda en todo momento, por compartir las alegrías y tristezas en nuestras vidas.

A mi hijo Andrés, quien con su ternura y dulzura se convierte en mi principal motivación y en el foco de mi superación.

Arnold

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y apoyo en los momentos que sentí desfallecer y por ser para mí el Dios que hace mis sueños realidad y que me lleva siempre de triunfo en triunfo y de victoria en victoria.

A mi padre Eduardo Mejía Sáez, aunque no podrá presenciar este escalón más en mi vida, su recuerdo y lucha insaciable siempre marcarán mi vida. Gracias.

A mi madre Ismenia Burgos y a mis hermanos Mario, Diana, Olivia, Ignacio, Flor y mi cuñada Martha, por creer en mí, por darme la oportunidad de realizar este sueño y por tener la paciencia de esperar que se hiciera una realidad.

A mis sobrinos Carlos Mario y Jimena Andrea Mejía, por su inmenso amor.

A todas las personas que de una u otra manera me impulsaron para que hoy pueda gozarme con este gran triunfo y que sé que también se gozan conmigo.

Isabel

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios, con su omnipotencia divina

Heraldo Álviz Santos, Ingeniero Agrícola, Docente de la Universidad de Sucre, por su apoyo, amistad y acertada orientación en la realización del trabajo de grado.

Antonio Tovar Ortega, Ingeniero Agrícola, Profesional universitario de la Universidad de Sucre, adscrito al Laboratorio de Suelos y Aguas.

José Gregorio Arrieta, Tecnólogo en Producción Agropecuaria, Asistente del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Sucre.

Melba Vertel M., Estadística, Docente de la Universidad de Sucre.

Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del trabajo.

## CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>1. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>15</b>
1.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS LODOS RESIDUALES.....	15
1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DE LOS LODOS RESIDUALES Y SU COMPARACIÓN CON ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO .....	18
1.3 TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES .....	23
1.3.1 <i>Secado</i> .....	23
1.3.2 <i>Tratamiento con cal</i> .....	25
1.4 ESTUDIOS SOBRE VIABILIDAD DE USO DE LODOS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA .....	25
<b>2. MODELO METODOLÓGICO</b> .....	<b>28</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
2.1.1 <i>Localización</i> .....	28
2.1.2 <i>Relieve</i> .....	28
2.1.3 <i>Clima</i> .....	28
2.1.4 <i>Suelos</i> .....	28
2.1.5 <i>Actividad económica e infraestructura</i> .....	30
2.2 TRABAJO DE CAMPO.....	30
2.2.1 <i>Reconocimiento del área de estudio</i> .....	30
2.2.2 <i>Ejecución de actividades de muestreo y tratamiento de los lodos</i> ....	30
2.2.3 <i>Muestreo del lodo para análisis y ensayos</i> .....	30
2.2.4 <i>Ensayo de invernadero</i> .....	31
2.3 TRABAJO DE LABORATORIO .....	32
2.3.1 <i>Ejecución de ensayos físicos para lodos, suelos y planta</i> .....	32
2.3.2 <i>Análisis bacteriológico</i> .....	33
2.4 TRABAJO DE OFICINA.....	34
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	<b>35</b>
3.1 MUESTREO, PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL LODO .....	35
3.1.1 <i>Muestreo del lodo</i> .....	35
3.1.2 <i>Proceso de habilitación</i> .....	35
3.1.3 <i>Propiedades físicas del lodo</i> .....	42
3.1.4 <i>Propiedades químicas del lodo</i> .....	44

3.1.5 <i>Propiedades químicas asociadas con el extracto de saturación del iodo. ...</i>	48
3.1.6 <i>Características bacteriológicas del iodo.....</i>	49
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO USADO EN EL DISEÑO	
EXPERIMENTAL .....	51
3.2.1 <i>Descripción del perfil.....</i>	51
3.2.2 <i>Taxonomía.....</i>	53
3.2.3 <i>Propiedades físicas del suelo.....</i>	53
3.2.4 <i>Propiedades químicas del suelo.....</i>	55
3.2.5 <i>Características químicas del suelo utilizado con los diferentes tratamientos .....</i>	58
3.3 ANÁLISIS EXPERIMENTAL.....	63
3.3.1 <i>Aspectos fundamentales del diseño.....</i>	63
3.3.2 <i>Análisis biométrico del maíz y propiedades químicas del suelo....</i>	63
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>76</b>

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Datos típicos sobre la composición química de fangos crudos y digeridos. ....	17
Cuadro 2. Contenido de macro elementos en los lodos residuales y en el suelo. ....	18
Cuadro 3. Contenido total de micro nutrientes en lodos residuales y del suelo. ....	19
Cuadro 4. Valores limite para elementos potencialmente tóxicos. ....	19
Cuadro 5. Composición química de los lodos residuales. ....	20
Cuadro 6. Normas de control para metales pesados y compuestos orgánicos para uso agrícola. ....	21
Cuadro 7. Producción de materia verde de maíz con la aplicación de lodos residuales. ....	26
Cuadro 8. Ensayos físicos para lodos. ....	32
Cuadro 9. Ensayos físicos para suelo. ....	32
Cuadro 10. Análisis químicos para suelo. ....	32
Cuadro 11. Análisis químico para lodos. ....	33
Cuadro 12. Ensayos para tejido vegetal. ....	33
Cuadro 13. Análisis bacteriológico de lodos. ....	34
Cuadro 14. Temperaturas ambientales y de la pila tomadas al inicio, 15 días, 30 días, 45 días y 60 días del proceso. ....	38
Cuadro 15. Características físicas del lodo antes y después del compostaje. ....	42
Cuadro 16. Análisis de caracterización química del lodo habilitado. ....	44
Cuadro 17. Análisis de elementos menores del lodo habilitado. ....	44

Cuadro 18. Análisis químico de metales pesados del lodo habilitado.....	45
Cuadro 19. Análisis de salinidad del lodo habilitado.....	45
Cuadro 20. Coliformes totales y fecales, hongos y levaduras en el lodo sin tratamiento con cal.....	51
Cuadro 21. Mesófilos anaeróbios, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras en el lodo después del tratamiento con cal.....	51
Cuadro 22. Propiedades físicas del horizonte Ap del suelo.....	53
Cuadro 23. Análisis de caracterización química más elementos menores. Suelo Granada.....	56
Cuadro 24. Resultados de análisis de caracterización promedio de suelos, testigo y tratamientos.....	60
Cuadro 25. Análisis de salinidad del suelo sin abonar (testigo) y abonado (tratamientos).....	62
Cuadro 26. Prueba de hipótesis según ANAVA y contraste ortogonal de parámetros del maíz.....	64
Cuadro 27. Prueba de hipótesis según ANAVA y contraste ortogonal de contenido de humedad tisular y parámetros químicos del suelo.....	65

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Localización del área de estudio.....	29
Figura 2. Diseño experimental de invernadero. Cultivo de maíz V – 109.....	31
Figura 3. Muestreo del lodo residual en sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos. ....	36
Figura 4. Disposición del compostaje en sitio adecuado. ....	37
Figura 5. Variaciones diarias de las temperaturas ambiental y del lodo, durante el proceso de compostaje .....	39
Figura 6. Lodo a los 60 días en la etapa de maduración, con plántulas de sandía. ....	41
Figura 7. Tratamiento del lodo madurado con cal.....	50
Figura 8. Aspectos externos del perfil .....	52
Figura 9. Variaciones promedias del peso de la materia seca foliar y radicular en testigo y tratamientos. ....	66
Figura 10. Variaciones promedias de algunos parámetros del crecimiento del maíz ( <i>Zea mays</i> ) en testigo y tratamientos. ....	67

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Lista de los propietarios de las viviendas seleccionadas para el muestreo del lodo en pozas sépticas.....	77
Anexo B. Registro de temperaturas del lodo y ambientales durante el proceso de compostaje del lodo. ....	78
Anexo C. Humedad gravimétrica del lodo al inicio y final del compostaje .....	80
Anexo D. Análisis de caracterización, elementos menores y salinidad del lodo sin habilitar .....	81
Anexo E. Valores límites del contenido de los metales pesados y ratas máximas de aplicación de lodo de depuradora.....	82
Anexo F. Colifomes totales y fecales, hongos y levaduras en el lodo sin tratamientos con cal.....	83
Anexo G. Mesófilos aerobios, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras en el lodo después del tratamiento con cal.....	84
Anexo H. Descripción del perfil del suelo.....	85
Anexo I. Análisis de caracterización química y física del suelo natural y tratado con lodo habilitado.....	87
Anexo J. Análisis de caracterización del suelo natural y tratado con lodo habilitado.....	88
Análisis K. Resultados de análisis de suelos salinidad y sodificación.....	112
Anexo L. Análisis de varianza y comparación ortogonal de parámetros biológicos del cultivo y propiedades químicas del suelo .....	113
Anexo M. Materia seca de hojas y raíces. ....	117
Anexo N. Crecimiento fisiológico de las plantas. ....	121
Anexo Ñ. Análisis de elementos pesados.....	123
Anexo O. Tablas para interpretar análisis químicos de suelos .....	124
Anexo P. Tablas para interpretar niveles de elementos en lodos .....	127

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en el corregimiento de Granada (Sincé – Sucre – Colombia). Tuvo como objetivo general caracterizar física, química y biológicamente un lodo proveniente del sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos de dicha localidad, así como la de estudiar la viabilidad de uso como abono no convencional en actividades agrícolas y pecuarias. El lodo se habilitó, se le determinaron algunas propiedades físicas, químicas y biológicas. También a través de un diseño experimental en bloques completamente al azar, se le adicionó a un suelo en un total de siete tratamientos, evaluándose parámetros del crecimiento del maíz ICA V – 109, biomasa, así como algunas propiedades químicas del suelo.

Los resultados indicaron que el material (bioabono), tiene de baja a media fertilidad y propiedades físicas muy similares a las presentadas por otros abonos orgánicos. El efecto del lodo aplicado al suelo mostró, según el análisis estadístico, mayor incremento de biomasa foliar y radicular que los testigos, igualmente su efecto se reflejó en la altura de las plantas, grosor del tallo, longitud de la raíz principal y hojas. El análisis estadístico indicó que la aplicación del abono incrementó los contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio en el suelo.

## SUMMARY

The following research was made in the town of Granada (Sincé – Sucre – Colombia). The general objective was to characterize physical, chemical and biologically a mud from the sewers system without dragging solids from that place, as well as, study the viability to use as a not conventional organic fertilizer in agricultural and livestock raising. The mud was in treatment, was determine some physical, chemical and biological properties. Also through the experimental design in masse completely at random, to add to the ground seven treatments to evaluate the corn ICA V – 109 growth parameters, biomass, as well as, some chemical ground properties of soil.

The results showed the material (biomass) from low to media fertility and physical properties very similar to another organic fertilizer. The mud effect over the ground showed, according the statistic analysis, a increase of radicular and foliar biomass that the witness, in the same way, their effect is showed in the height plant's, stem thickness, the length of the principal root and the leafs. The statistics analysis showed that the fertilizer application increase the organic mass contents, phosphorus and potassium in the ground.

## INTRODUCCIÓN

En el corregimiento de Granada, perteneciente a la jurisdicción municipal de Sincé, departamento de Sucre, se construyó un sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos, tipo A.S.A.S. Los usuarios comprenden 456 familias, siendo el promedio de seis (6) personas por vivienda. El servicio sanitario cuenta con cuatro (4) lagunas de oxidación, de las cuales dos están en funcionamiento.

La evacuación y aprovechamiento de los remanentes orgánicos se constituye en una preocupación, ya que están contaminando y degradando el medio ambiente, especialmente en lo atinente al suelo, agua, aire y los organismos, entre los cuales se cuenta el hombre.

En la actualidad, se pueden plantear alternativas que tienen como perspectiva la evacuación de los lodos residuales existentes en el fondo de las pozas sépticas, secarlos, caracterizarlos física, química y bacteriológicamente, adecuarlos y estudiar su viabilidad como fuente de abono no convencional en los cultivos que se siembran en predios de las comunidades campesinas, así como en el medio productivo pecuario, por lo cual se disminuirán costos de producción y se entrará a la actividad de manejo de recursos naturales con criterios sostenibles, lo cual se consideró como objetivo general del proyecto.

La Universidad de Sucre y el municipio de Sincé, conscientes en lo que corresponde a su misión y visión, de la preservación de los recursos naturales renovables y el saneamiento ambiental, emprendieron acciones que conllevaron al uso de los residuos orgánicos para la agricultura, especialmente lodos, previa caracterización de los mismos.

El trabajo de campo de la presente investigación se llevó a cabo durante los meses de junio y julio del 2004.

## **1. MARCO CONCEPTUAL**

Los siguientes conceptos son parte del conocimiento y del estado de arte necesarios para la obtención de los objetivos propuestos.

### **1.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS LODOS RESIDUALES**

Según Méndez (1995), entre los diferentes procesos para el tratamiento de aguas negras se encuentran los biológicos; éstos se utilizan para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente diluida y disuelta en el agua residual, en sólidos sedimentables de gran estabilidad, los cuales constituyen los lodos. Se debe tener en cuenta que de acuerdo con los resultados, los lodos residuales de aguas negras son una fuente de nutrientes no convencionales para la agricultura en gran proporción y que la utilización de éstos es una alternativa para conservar y recuperar algunas propiedades químicas y físicas del suelo y para preservar el medio ambiente.

En opinión de Crités (2000), las características de los lodos residuales de los tanques sépticos contienen concentraciones altas de sólidos, grasas y nutrientes, así como metales, dependiendo de las sustancias químicas de uso doméstico y del lixiviado de los materiales de las instalaciones domésticas.

Para Romero (1999), todos los lodos crudos tienen un contenido bajo de sólidos (del 1 al 6%), por ello, la disposición de su pequeño contenido de sólidos requiere el manejo de un gran volumen de lodo, por lo tanto el problema principal es concentrar los sólidos mediante la máxima remoción posible de agua. El volumen de lodo que se produce en un tanque de sedimentación debe conocerse para identificar los diferentes componentes del sistema de tratamiento y disposición de lodos, dicho volumen depende principalmente de las características del agua

residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos. El volumen de lodo depende principalmente de su contenido de agua y muy poco del carácter del material sólido.

Según Hilleboe (1983), un tanque séptico está diseñado para mantener las aguas negras a una velocidad muy baja en condiciones anaerobias por un período de 12 a 24 horas, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Estos sólidos se descomponen en el fondo del tanque, produciendo gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo con una nata o capa hasta que escape el gas y vuelven a sedimentarse. Esta continua flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos los lleva con la corriente de aguas negras hasta la salida, por lo que eventualmente salen algunos sólidos con el efluente, mostrando así, parcialmente, el propósito del tanque. Debido a los largos períodos de retención y a la mezcla de los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario.

Unda (2000), indica que uno de los problemas más importantes en relación con el pozo es su duración, en otros términos, el tiempo que tarda en llenarse, lo cual depende de su capacidad, número de personas a que sirve y eficiencia del proceso de digestión. La descomposición anaerobia comienza en el momento en que las heces caen al pozo, con la consiguiente reducción del volumen (transformación química, gasificación, licuefacción). En otros términos, el volumen acumulado no es directamente proporcional a la cantidad de excretas depositadas por año, de acuerdo con datos proporcionados por el informe del seminario de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se puede concluir que la cantidad de lodo digerido por persona y año en la letrina con pozo húmedo es de 36.5 litros.

Según las observaciones efectuadas en letrinas de pozos húmedos en Bengala Occidental (India), la cantidad de lodo por persona y año es de 25 litros.

Según Castells (2000), los propósitos de la digestión del lodo son los siguientes:

- Transformar la materia orgánica inestable, destruir la mayor parte de los organismos patógenos y reducir el contenido de humedad.
- Producir humus estable fácilmente drenable y aprovechar los gases generados.
- Obtener un material residual que pueda ser dispuesto por métodos convenientes.

Según Metcalf y Eddy (1981), el fango de fosas sépticas es negro y, a menos que haya sido bien digerido por un prolongado almacenamiento, es desagradable, debido al sulfuro de hidrógeno y a otros gases que despiden.

En el cuadro 1 se observan algunos datos típicos sobre la composición química de fangos crudos y digeridos.

**Cuadro 1. Datos típicos sobre la composición química de fangos crudos y digeridos.**

Concepto	Fango primario típico (Intervalo típico)			Fango digerido (Intervalo típico)				
Sólidos secos totales (ST)	2.0	-	7.0	4.0	6.0	-	12	10
Sólidos volátiles (% de ST)	60	-	80	65	30	-	60	40
Nitrógeno, % de ST	1.5	-	4.0	2.5	1.6	-	6.0	3.0
Fósforo, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % de ST	0.8	-	2.8	1.6	1.5	-	4.0	2.5
Sílice, SiO <sub>2</sub> , % de ST	15	-	20	-	10	-	20	-
Potasa, K <sub>2</sub> O, % de ST	0	-	1	0.4	0	-	3	1

Fuente: Metcalf y Eddy, 1981.

El valor del fango como fertilizante, cuando vaya a usarse como acondicionador del suelo, se basa principalmente en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasa.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DE LOS LODOS RESIDUALES Y SU COMPARACIÓN CON ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO

Según Méndez (1995), en el Cuadro 2 se presenta el contenido total de N, P, K, Ca y Mg de los lodos residuales y los rangos generales encontrados para los suelos. De acuerdo con estos datos, los lodos son un potencial de fertilizante muy importante, al considerar que las concentraciones de nitrógeno, fósforo, calcio, potasio y magnesio, son significativamente mayores que los del suelo. Esta misma tendencia se observa en el Cuadro 3 con el contenido de los elementos menores Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn), los cuales superan el nivel bajo de los rangos generados encontrados para estos micronutrientes en el suelo.

Los contenidos de Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Cromo (Cr) son más bajos que el promedio hallado para estos mismos micronutrientes en lodos de diferentes procedimientos; estos resultados son de gran trascendencia en la agricultura, ya que se espera que sus concentraciones actuales no se conviertan en un riesgo para la salud humana.

**Cuadro 2. Contenido de macro elementos en los lodos residuales y en el suelo.**

<b>Macro nutrientes</b>	<b>Lodos (Valor Promedio (%))</b>	<b>Suelo (rango)</b>		
Nitrógeno	1.92	0.14		
Fósforo	1.56	0.046	-	0.183
Potasio	0.34	0.2	-	2.0
Calcio	1.16	0.1	-	2.0
Magnesio	0.35	0.1	-	5.0

Fuente: Méndez y Sanabria (1993) citado por Méndez (1995)

**Cuadro 3. Contenido total de micro nutrientes en lodos residuales y del suelo.**

Micronutrientes	Lodos Valor* (ppm)	Lodos** (ppm)			Suelo		
Manganeso	162	18	-	7.100	20	-	3000
Cobre	353	84	-	10.400	10	-	80
Zinc	1,202	100	-	27.600	10	-	300
Plomo	81,4	13	-	19.730			
Cadmio	4,8	3	-	3.410			
Mercurio	5,0	1	-	10.600			
Cromo	214,0	10	-	9.900			

\* Lodos PTAR Bucaramanga.

\*\* Valores de múltiples orígenes

Fuente: Cegarra (1995); Sanabria y Méndez (1993), citados por Méndez (1995)

Por otro lado, el Consejo de las Comunidades Europeas - C.E.C (1986), expresa (Véase Cuadro 4) que la información científica disponible apoya la conclusión de que es improbable que se produzcan efectos perjudiciales para la salud humana derivados de la utilización de lodos en la agricultura. Los principales metales pesados que pueden ser peligrosos son Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Mercurio (Hg).

El Plomo (Pb) y Mercurio (Hg), no se absorben en absoluto en los cultivos y, por tanto, no plantean riesgos en la ingestión de productos alimenticios cultivados en suelos a los que se ha aplicado lodo. Por su parte el Cadmio (Cd) atraviesa la barrera suelo – planta y puede acumularse en los cultivos en concentraciones que podrían ser potencialmente peligrosas.

**Cuadro 4. Valores límite para elementos potencialmente tóxicos.**

Parámetro	Valores límite en lodos residuales (mg/Kg de sólidos secos)
Cadmio	20 – 40
Cobre	1000 – 1750
Níquel	300 – 400
Plomo	750 – 1200
Zinc	2500 – 4000
Manganeso	16 – 25

Fuente: Consejo de las Comunidades Europeas (1986), citado por Méndez (1995)

Méndez (1995), caracterizó químicamente lodos proveniente de residuos (Véase Cuadro 5). Encontró valores de pH ligeramente ácidos, muy altos porcentajes de materia orgánica, altas concentraciones de fósforo, calcio, magnesio y potasio; elementos menores como el boro, cobre, manganeso y zinc, se destacaron por sus altos contenidos.

**Cuadro 5. Composición química de los lodos residuales.**

Lodos	meq/100gr						ppm				
	pH	%M.O	P (ppm)	Ca	Mg	K	Fe	B	Cu	Mn	Zn
	5.9	37.2	210	62	3	0.98	480	0.61	19	49	121

Fuente: Méndez, 1995

En opinión de "<http://www.jrc.es>", hay que tener cuidado de los contaminantes químicos o patógenos presentes en los lodos, los cuales no producen efectos adversos.

Por ejemplo, la concentraciones de metales pesados en los lodos suelen ser mayores que las que existen en el suelo y estos elementos pueden quedar retenidos indefinidamente en las capas de los suelos cultivados. Por lo tanto, la aplicación repetida de los lodos aumentará gradualmente el contenido en el elemento traza del suelo. Según la tasa de aplicación de los lodos, las concentraciones de los metales, Zn, Cu y Hg son los principales elementos que limitan el reciclado de lodos en las tierras de cultivo, mientras que el Cd suscita problemas específicos debido a su toxicidad y a su movilidad variable.

La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) es la principal propiedad del suelo que controla la retención. En consecuencia, la normatividad sobre aplicación de lodos a tierras de cultivos debe establecer límites diferentes para los metales tóxicos. La C.I.C. depende del pH, del contenido de materia orgánica y de la textura del suelo. Sin embargo, la capacidad de absorción de las plantas depende de las propiedades del suelo y de las prácticas agrícolas.

Según Seoanes Calvo (1998), la presencia de metales pesados en los lodos de aguas residuales hacen 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 6 se pueden apreciar las normas de control para metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos para uso agrícola, según el Consejo de las Comunidades Europeas (1986), citado por Ling (1998).

**Cuadro 6. Normas de control para metales pesados y compuestos orgánicos para uso agrícola.**

Compuesto	Norma
Arsénico (As)	50 mg/kg
Cadmio (Cd)	5 mg/kg
Mercurio (Hg)	2 mg/kg
Mercurio (Hg)	0.005 mg/l
Cadmio (Cd)	0.3 mg/l
Plomo (Pb)	3 mg/l
Fósforo orgánico	1 mg/l
Cromo hexavalente	1.5 mg/l
Arsénico (As)	1.5 mg/l
Cn	1 mg/l
Zinc (Zn)	120 mg/kg

Fuente: Consejo de las Comunidades Europeas (C.E.C.), 1986, citado por Ling (1998), citado por Seoanes Calvo (1998)

La materia orgánica juega un papel importante en la movilización y adsorción de diferentes elementos en los suelos (Schnitzer, 1991, citado por Seoanes Calvo, 1998).

Por lo tanto, el análisis de las distintas fracciones orgánicas suministrarán información sobre la mineralización de los lodos y la formación de humus (Genevini *et al.*, 1986, citado por Seoanes Calvo, 1998).

También diversos metales pesados y micro contaminantes orgánicos pueden estar presentes en lodos, llegando a afectar a la cadena alimentaria a través de los cultivos y contaminar las aguas freáticas (Legret *et al.*, 1988; Gennaro *et al.*, 1991, citados por Seoanes Calvo, 1998).

El Consejo de las Comunidades Europeas - CEE (1986), ha establecido límites obligatorios para las concentraciones en los lodos residuales que se apliquen a los suelos, para prevenir riesgos de contaminación. Dichos límites han sido fijados para suelos con pH comprendido entre 6.0 y 7.0. Si los lodos se añaden a suelos con pH menor de 6.0, debe tenerse en cuenta un posible aumento de la asimilabilidad de dichos metales por la planta.

Según "<http://www.jrc.es>" [www.jrc.es](http://www.jrc.es)., los agentes patógenos más importantes que se han encontrado en los lodos son las bacterias (como la *Salmonella*), los virus (sobre todo, enterovirus), los protozoos, los tremátodos, los cestodos y los nematodos. Como resultado, para que cualquier vertido de los lodos sea seguro, se precisa la eliminación, o al menos una inactivación suficiente de estos agentes patógenos. A este fin, se puede aplicar a los lodos una serie de tratamientos como la pasteurización, la digestión aerobia o anaerobia, el composting, la estabilización con cal, el almacenamiento en estado líquido y la desecación y el almacenamiento en seco.

Con frecuencia, la aplicación de lodos residuales en tierras de cultivos, es posiblemente el método de eliminación más barato; se puede comparar con lo que se hace tradicionalmente con una amplia gama de residuos orgánicos que se esparcen en la tierra de cultivo, como el estiércol o residuo de ganadería. Ofrece una oportunidad para reciclar nutrientes de las plantas y materia orgánica, beneficiosos para la cosecha, además parece que, en muchos casos, la aplicación de los lodos al suelo puede mejorar las propiedades físicas de éste, aumentando la productividad de la cosecha.

En opinión de Méndez (1995), debido a que los lodos de aguas residuales contienen una gran cantidad de organismos patógenos, se realizó un estudio con el fin de conocer la población de algunos de ellos. La investigación mostró los siguientes resultados: bacterias aerobias 325.000 unidades formadoras de

colonias (UFC) por gramo; coliformes fecales 1.100 UFC/gr.; clostridium 42.500 UFC/gr; hongos y levaduras 136.000 UFC/gr. Estos niveles de población son muy altos, sin embargo se pueden reducir mezclando el lodo con cal agrícola.

Según Metcalf y Eddy (1985), el tracto intestinal del ser humano contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillos, conocidos como organismos coliformes. Cada persona evacúa de 100.000 a 400.000 millones de organismos coliformes por día, además de otras clases de bacterias. Los organismos coliformes no son dañinos al hombre y de hecho son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales.

Según los investigadores anteriormente mencionados, las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El uso de los coliformes como organismos indicadores es problemático, debido a que la *Aerobacter* y ciertas *Escherichias* pueden crecer en el suelo. Por tanto, la presencia de coliformes no siempre significa contaminación con residuos humanos. Parece ser que los *Escherichia coli* son totalmente de origen fecal. Es difícil determinar la *E. coli* sin incluir los coliformes del suelo. Como resultado de ello todo el grupo coliforme se utiliza como indicador de la contaminación fecal.

### 1.3 TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

Comprende las siguientes etapas:

**1.3.1 Secado.** Según Romero (1999), el proceso de secado de lodos se refiere generalmente a los sistemas de desaguado que buscan reducir el contenido de agua del lodo a menos de 85%. En la selección del método de secado hay que tener en cuenta la naturaleza del lodo, los procesos subsecuentes de tratamiento y el método de disposición final. Los objetivos del secado del lodo son los siguientes:

- Reducir los costos de transporte del lodo para facilitar su incineración.
- Facilitar el manejo del lodo.
- Aumentar el valor calórico del lodo para facilitar su incineración.
- Minimizar la producción de lixiviado al disponer el lodo en un relleno sanitario.

En general, reducir la humedad para disminuir el volumen de lodo, facilitar su manejo y hacer más económico su tratamiento posterior y su disposición final.

Según Romero (1999), la facilidad con que un lodo se seca varía ampliamente, pues la magnitud del secado es función de la forma como se encuentra el agua. En general, se considera que el agua en los lodos existe en cuatro formas diferentes: agua libre, agua intersticial, agua vecinal y agua de hidratación. En el secado de lodos, el agua fácil de remover, es decir, el agua libre se elimina por drenaje, espesamiento o secado mecánico. Sin embargo, el agua vecinal no puede removerse mecánicamente y constituye una de las fracciones de mayor importancia en el límite obtenible de secado de lodos.

En opinión de Metcalf y Eddy (1981), la deshidratación y el secado son operaciones unitarias físicas utilizadas para reducir el contenido de humedad del fango de forma que pueda manipularse y procesarse como un semisólido en vez de como un líquido. Existe un método comúnmente utilizado para deshidratar el fango, el cual es mediante eras de secado. Esta práctica resulta económica solamente en comunidades pequeñas o de tamaño medio (menores de 20.000 habitantes). Las eras descubiertas se utilizan cuando se dispone una superficie suficientemente aislada que evite las posibles quejas por malos olores ocasionales. Las cubiertas y cerradas de forma similar a los invernaderos, se usan cuando hay que deshidratar fango en forma continua, independientemente de las condiciones climatológicas y cuando no haya suficiente aislamiento en la instalación de eras descubiertas. El fango bien digerido dispuesto en eras de

secado no deberá presentar olor alguno, pero a fin de evitar las molestias que puedan derivarse de un fango mal digerido, las eras deberán situarse a 60 m, como mínimo, de las viviendas más próximas.

**1.3.2 Tratamiento con cal.** Según investigación realizada por Méndez (1995), 60 días después de aplicados los tratamientos, el comportamiento de población de bacterias mesófilas fue de 330.000 unidades formadoras de colonias (UFC/gr) por gramo, tendió a disminuir hasta tener un valor de 5 UFC/gr con la aplicación de 50 gr de cal. La población de coliformes fecales sin aplicación de cal, en promedio fue de 1.100 por gramo; la población de estos patógenos no se detectó con la aplicación de 12.5 gramos de cal, en igual forma con 25, 37 y 50 gramos de cal. La población de clostridium sulfito reductores disminuyó significativamente con la aplicación de 12.5 y 25 gramos de cal; con estos tratamientos los niveles fueron de 17.000 y 5.000 unidades formadoras de colonia por gramo. Con la aplicación de 37.5 gramos de cal, la población fue menor de 100 UFC/gr, lo cual es aceptable para un manejo confiable de los lodos en la agricultura.

Según el investigador inmediatamente mencionado, la presencia de hongos y levaduras prácticamente desaparece a los 60 días después de mezclar la muestra de lodo (50 g) con 27 gramos de cal agrícola. Se estima que la relación de lodo-cal 1:0.75 y 1:0.5 puede ser la ideal para manejar con cierto grado de seguridad los lodos residuales de aguas negras.

#### **1.4 ESTUDIOS SOBRE VIABILIDAD DE USO DE LODOS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA**

Méndez (1995), realizó un estudio asociado. En la fase de invernadero, se utilizaron los lodos residuales obtenidos en una planta de tratamiento de aguas negras. Se emplearon materas de arcilla con capacidad de 1 kilogramo, en los que

se sembraron cinco semillas de maíz metropolitano. Después de 45 días de germinados se cortaron las plantas a nivel del suelo. El análisis químico de los lodos empleados en esta fase mostró los siguientes resultados: pH de 5.3, materia orgánica de 15.8%, fósforo de 12 ppm, potasio de 0.12 meq/100 g de suelo, calcio de 2.2 meq/100 g de suelo y magnesio de 1.3 meq/100 g de suelo.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Cuadro 7), las dosis crecientes de lodos incrementaron significativamente la producción de materia verde; con la aplicación de lodo equivalente a 200 toneladas por hectárea se obtuvieron 90.5 gramos de biomasa/matera, y con el tratamiento testigo (suelo) 29 gramos de biomasa.

**Cuadro 7. Producción de materia verde de maíz con la aplicación de lodos residuales.**

Dosis lodos (Ton/Ha)	0	6.25	12.5	25	50	100	150	200
Materia verde (gr/matera)	29	37	38	45	59	70.5	75	90.5

CV: 10.36%

Fuente: Méndez, 1995.

Estos resultados señalan que los lodos residuales de aguas negras son una fuente no convencional de nutrientes, muy importante para la agricultura y la silvicultura.

La respuesta del cultivo se debe, al menos en parte, a sus requerimientos nutricionales, como también a que el suelo no los aportan en las cantidades adecuadas; así como lo muestran los resultados, los nutrientes que aportan los lodos residuales equilibran las deficiencias del suelo con las necesidades del cultivo para obtener óptimas producciones.

Según Castell (2000), la aplicación de lodos en tierras de cultivo es el sistema más económico y permite la reutilización de los fangos activados como abono para la agricultura por la cantidad de nutrientes importantes para las plantas (N y P), pero

existe un peligro por su potencial de eutrofización para las aguas superficiales y subterráneas, ya que favorecen la proliferación de algas. La Directiva Europea especifica un tercer proceso de eliminación para los nutrientes, no obstante hay muchos imponderables que no facilitan su aplicación. El contenido de metales pesados (Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Hg, Cr, etc.) de los fangos aumenta el nivel de estos contaminantes a una concentración mayor que en estado natural, lo cual supone que los suelos agrícolas queden impregnados de estos elementos con carácter permanente y cambien su pH de manera irremediable. La consecuencia final es un campo no apto para la agricultura. Se prevé que con la concentración traza actual del suelo, con el uso de los fangos de depuradora se puede alargar unos 70 a 80 años hasta que éste alcance la cuota permisible de metales pesados.

Según Carballo y Oviedo (2003), el lodo compostado aplicado al suelo tiene influencia directa sobre las propiedades físicas y químicas.

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 aumenta, confirmando las características que este material posee como acondicionador físico del suelo.

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 compost a un suelo degradado de la zona tropical.

## 2. MODELO METODOLÓGICO

Para cumplir con los objetivos propuestos, la investigación se desarrolló en las siguientes etapas:

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se destacan los siguientes aspectos:

**2.1.1 Localización.** El presente proyecto se realizó en el corregimiento de Granada, jurisdicción del municipio de Sincé, en el departamento de Sucre, localizado aproximadamente a 8 kilómetros de la cabecera municipal y posicionado geográficamente a 9° 15' de latitud norte y 75° 4' de longitud oeste de Greenwich (Oficina de Planeación, Sincé, 2001). (Véase la Figura 1).

**2.1.2 Relieve.** El relieve donde está situado el corregimiento es de plano a ondulado con algunas colinas.

**2.1.3 Clima.** La temperatura promedio anual es de 26° C, precipitaciones promedio anual oscilando entre 920 y 1660 mm (Morelo, 1983). La zona de vida imperante, según Holdridge, es de bosque seco tropical (bs-T).

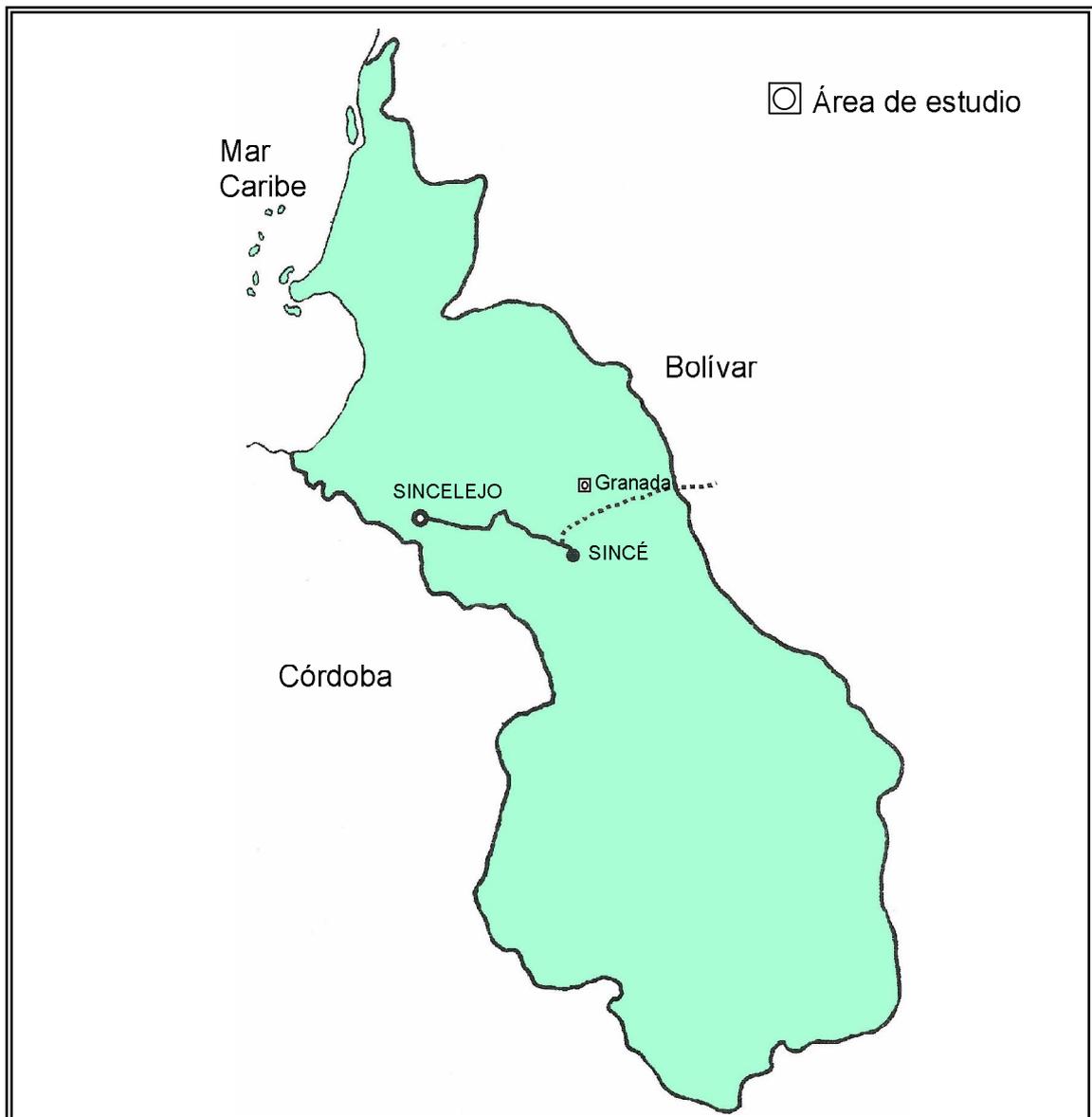
**2.1.4 Suelos.** Según Rivillas (1976), los suelos de Sincé presentan aptitud para los cultivos, por tener texturas medias y finas en las capas superficiales y porque los materiales semicompactos están a profundidades mayores de 90 cm.

Olarte (1976), indica que un suelo estudiado en el municipio de Sincé presenta un perfil netamente pesado, con juego de horizontes A – B – C, drenaje natural moderado y pendientes de 7 – 11 – 25%. Presenta propiedades químicas con pH entre 6.1 y 7.8; C.I.C. mayor de 40 me/100 gr. de suelo y concentraciones de bases de acuerdo a la secuencia  $Ca > Mg > K > Na$ ; la materia orgánica alcanza

valores de 2.35% y el fósforo se encuentra en concentraciones (ppm) muy altas en el horizonte A; se presenta concentración de carbonatos en los horizontes superficiales.

Faivre y Villota (1976), indican para el mismo suelo una clasificación taxonómica a nivel de subgrupo como Entic chromudert.

**Figura 1. Localización del área de estudio.**



**2.1.5 Actividad económica e infraestructura.** Según la Oficina de Planeación de Sincé (2001), los habitantes se dedican a las actividades de agricultura y ganadería, con cultivos de subsistencia y pancoger como yuca, ñame, maíz, hortalizas y algunos frutales. Los mismos autores indican que el corregimiento cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario sin arrastres de sólidos (tipo ASAS), el cual entró en funcionamiento en el año de 1995; el sistema se compone de tuberías PVC con diámetro que van desde 2 a 10 pulgadas, registros de limpieza, pozas sépticas y lagunas de oxidación.

## **2.2 TRABAJO DE CAMPO**

Constó de las siguientes fases:

**2.2.1 Reconocimiento del área de estudio.** Específicamente del sistema de alcantarillado, inspeccionando el estado o condición de las lagunas de oxidación, tuberías de conducción y algunas pozas sépticas. Para esto se contó con la ayuda de los planos de diseños suministrados por la Oficina de Planeación de Sincé.

**2.2.2 Ejecución de actividades de muestreo y tratamiento de los lodos.** Con base en la cartografía anterior se seleccionaron, al azar, 20 pozas sépticas donde existen lodos estabilizados en el fondo de las pozas. Se evacuaron de cada una de las anteriores, cuidadosamente, los lodos estabilizados, los cuales fueron compostados y secados al aire libre en un ambiente especial recomendado a no menos de 60 metros de la vivienda más próxima.

**2.2.3 Muestreo del lodo para análisis y ensayos.** Seguidamente, y una vez secado, se extrajo una muestra representativa para realizar ensayos de laboratorio e invernadero. Para esta última actividad los lodos se trataron con cal para

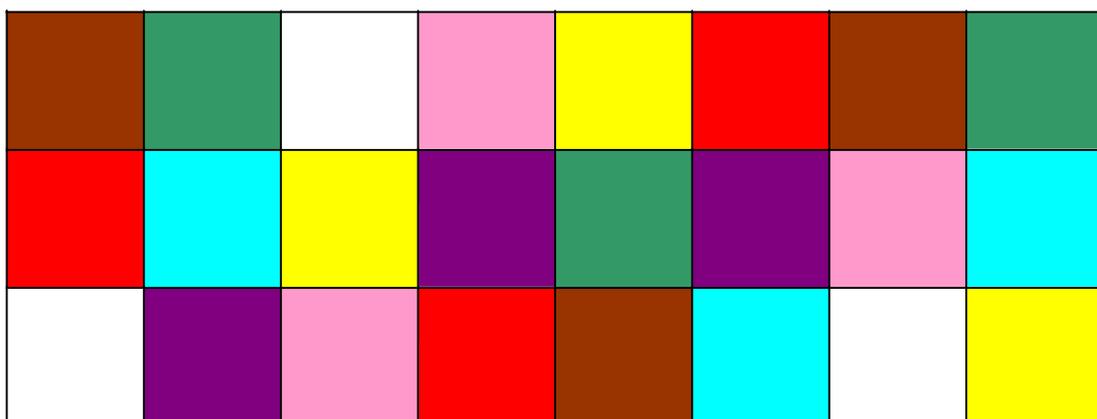
disminuir la población de macro y microorganismos abundantes, realizando análisis antes y después del tratamiento.

**2.2.4 Ensayo de invernadero.** La experiencia bajo invernadero se llevó a cabo para estudiar la aptitud del lodo para agricultura. Se montó un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones, tal como se muestra en la Figura 2.

Se utilizó un suelo típico de la región, el cual se muestreó, describió y caracterizó química y físicamente.

Para el ensayo en invernadero se usaron macetas y cultivo de maíz, variedad ICA V – 109, el cual se evaluó, con corte a ras del suelo, los contenidos de materia seca presentes y otros parámetros de la planta.

**Figura 2. Diseño experimental de invernadero. Cultivo de maíz ICA V – 109.**



Convenciones:

Testigo	: 1.500 Kg. de Suelo sin dosis de lodo	(Blanco)
Tratamiento 1	: 1.500 Kg. de Suelo + 5 gr. de lodo	(Rojo)
Tratamiento 2	: 1.500 Kg. de Suelo + 8.5 gr. de lodo	(Verde)
Tratamiento 3	: 1.500 Kg. de Suelo + 17.1 gr. de lodo	(Amarillo)
Tratamiento 4	: 1.500 Kg. de Suelo + 34.1 gr. de lodo	(Azul)
Tratamiento 5	: 1.500 Kg. de Suelo + 68.2 gr. de lodo	(Café)
Tratamiento 6	: 1.500 Kg. de Suelo + 102 gr. de lodo	(Rosado)
Tratamiento 7	: 1.500 Kg. de Suelo + 136 gr. de lodo	(Morado)

## 2.3 TRABAJO DE LABORATORIO

En esta actividad de la investigación se tuvo en cuenta lo siguiente:

### 2.3.1 Ejecución de ensayos físicos para lodos, suelos y planta.

En los cuadros siguientes se relacionan y también su metodología:

**Cuadro 8. Ensayos físicos para lodos.**

Ensayo	Método
Color	Organoléptico
Olor	Organoléptico
Densidad aparente	Terrón, cilindro

**Cuadro 9. Ensayos físicos para suelo.**

Ensayo	Método
Textura	Bouyoucos
Densidad aparente	Terrón parafinado
Densidad real	Picnómetro
Porosidad	Indirecto

**Cuadro 10. Análisis químicos para suelo.**

Análisis	Método
pH	Potenciométrico (1:1)
Carbón orgánico	Walkley Black
Azufre	Fusión con peróxido de sodio
Fósforo asimilable	Bray II
C. I. C.	Acetato de amonio 1 N, pH 7
Calcio y Magnesio	Complexométrico
Potasio y Sodio	Fotometría de llama
Textura	Bouyoucos

**Cuadro 11. Análisis químico para lodos.**

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>
pH	Potenciométrico
Carbón orgánico	Walkley Black
Materia orgánica	Indirecto (carbón orgánico)
Azufre	Fusión con peróxido de sodio
Fósforo asimilable	Bray II
C. I. C.	Acetato de amonio 1 N, pH 7
Calcio y Magnesio	Complexométrico
Potasio y Sodio	Fotometría de llama
Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre	Absorción atómica
Cationes solubles:	
Calcio	Titulación de Versenato
Magnesio	Titulación de Versenato
Sodio	Fotometría de llama
Potasio	Fotometría de llama
Manganeso	Absorción atómica
Cobre	Absorción atómica
Zinc	Absorción atómica
Hierro	Absorción atómica
Metales	Lectura directa
Aniones solubles:	
Sulfatos	Sulfato de Bario
Cloruros	Titulación con AgNO <sub>3</sub>
Nitratos	Harper
Carbonatos	Titulación
Bicarbonatos	Titulación
Conductividad eléctrica	Puente de Wheatstone

**Cuadro 12. Ensayos para tejido vegetal.**

<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>
Porcentaje de materia seca	Gravimétrico

**2.3.2 Análisis bacteriológico.** Debido a que los lodos de aguas residuales tienen una gran cantidad de organismos patógenos, se realizaron los siguientes análisis consignados en el Cuadro 13.

**Cuadro 13. Análisis bacteriológico de lodos.**

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>
Coliformes totales	Biológico
Coliformes fecales	Biológico
Hongos y Levaduras	Biológico

## **2.4 TRABAJO DE OFICINA**

El trabajo de oficina se efectuó según los requerimientos, antes, durante y después de las actividades de campo y laboratorio. Abarcó las siguientes actividades:

Obtención y análisis de la información gráfica del sistema de alcantarillado del corregimiento de Granada (mapas con ubicación de letrinas, lagunas de oxidación y tuberías de conducción).

Con la ayuda de la anterior documentación se procedió a la selección aleatoria de los sitios de muestreo.

Todos los resultados de los análisis de lodos, suelos y plantas fueron detalladamente estudiados e interpretados, con el fin de efectuar una amplia discusión que conllevó al planteamiento de conclusiones y a la expedición de recomendaciones.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

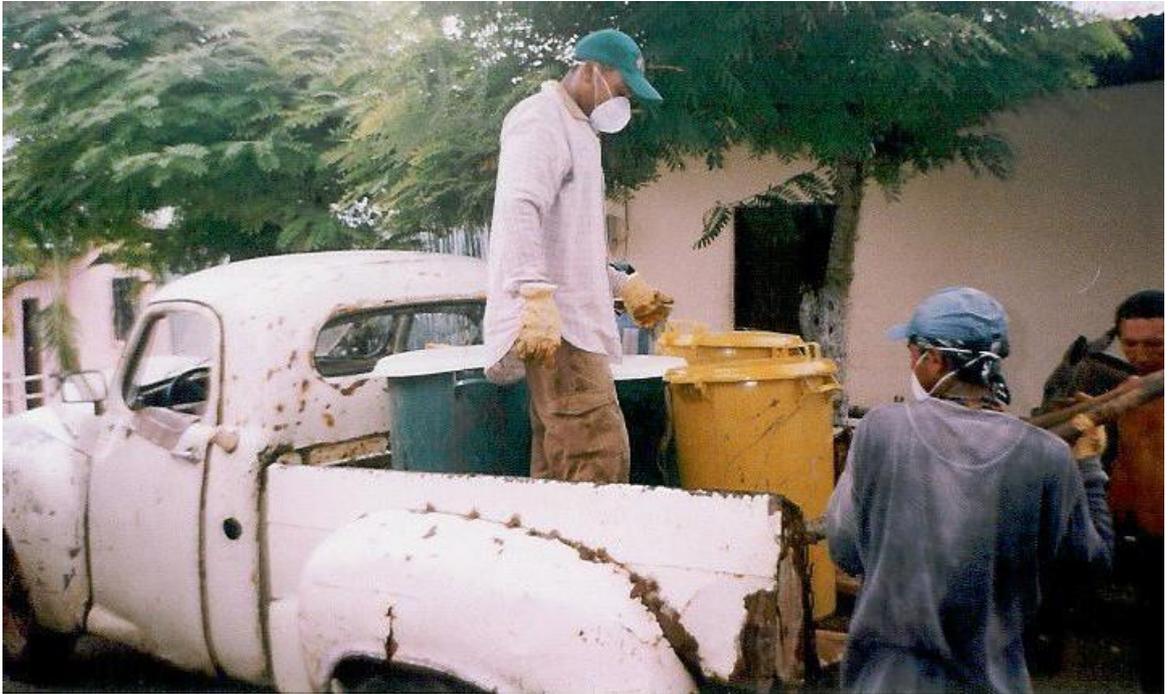
#### 3.1 MUESTREO, PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL LODO

**3.1.1 Muestreo del lodo.** La Secretaría de Planeación del municipio de Sincé, suministró copia de las memorias del proyecto de alcantarillado sin arrastre de sólidos del corregimiento de Granada, de donde se extrajo una lista de usuarios de la cual se seleccionaron aleatoriamente veinte usuarios de cuyas pozas sépticas se extrajo una submuestra. Estas, posteriormente se mezclaron, teniéndose, entonces, una muestra que sirvió para cumplir con los objetivos. En el Anexo A se da la nómina de los propietarios de las viviendas seleccionadas y en la Figura 3, se da un testimonio fotográfico del proceso de extracción de las pozas sépticas y su posterior disposición en recipientes plásticos, en donde se transportó hacia el sitio de su proceso de habilitación.

**3.1.2 Proceso de habilitación.** Dando como un hecho que el lodo extraído tiene restricciones para su uso seguro en agricultura, es razonable eliminar dichas limitantes mediante procesos de transformación química, física y bioquímica. El proceso se llevó a cabo a través de la técnica denominada compostaje.

Al proceso entró el lodo como residuo compostable, el cual fue dispuesto en un sitio apropiado (Véase figura 4) en una pila (sistema abierto) que no sobrepasó el metro de altura y con sección basal trapezoidal, con un adecuado volumen para conseguir un equilibrio acorde entre humedad y aireación. Como el lodo resultó estar bastante saturado de agua, se debió mezclar con cascarilla de arroz y aserrín, materiales llamados “bulking agents” o de relleno, de naturaleza ligno – celulósica, los cuales reciben en proceso de imbibición a los hidrosolubles del lodo y sirven para darle mayor porosidad.

**Figura 3. Muestreo del lodo residual en sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos.**



**Figura 4. Disposición del compostaje en sitio adecuado.**



También se tuvo en cuenta las condiciones climáticas del lugar, invierno, protegiéndolo con techumbre, en un sitio con cierta pendiente para evitar el encharcamiento.

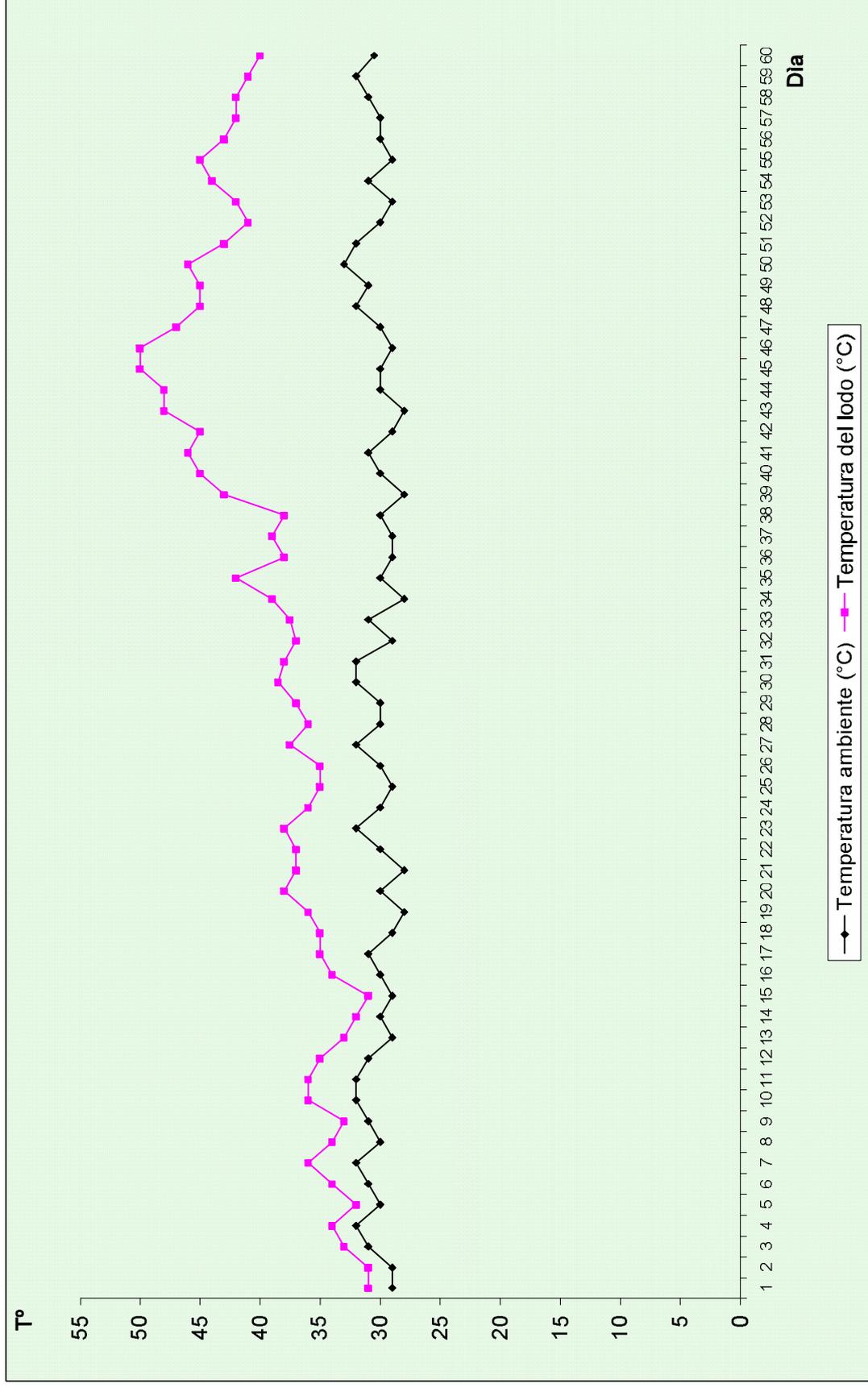
Dentro de los factores de control del proceso de habilitación se destaca la temperatura.

La temperatura del montón, función de la actividad microbiana, se tomó para un lapso de 60 días a partir del inicio del proceso; al mismo tiempo se tomó la temperatura ambiental como base para evaluar las diferentes etapas térmicas del proceso (Véase Anexo B), de donde se elaboró el Cuadro 14 y la Figura 5.

**Cuadro 14. Temperaturas ambientales y de la pila tomadas al inicio, 15 días, 30 días, 45 días y 60 días del proceso.**

<b>Días a partir de inicio</b>	<b>Temperatura ambiental (°C)</b>	<b>Temperatura de la pila (°C)</b>
0	29	31
15	29	31
30	32	38.5
45	30	50
60	30.5	40

Figura 5. Variaciones diarias de las temperaturas ambiental y del lodo, durante el proceso de compostaje



Se observa, en primera instancia, que las temperaturas ambientales registradas son típicas de la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T), los valores y sus variaciones también dependen de la hora en que fueron medidas y de la época invernal imperante en la zona.

El cuadro y la figura anteriores, indican el predominio de las temperaturas del proceso de compostaje con respecto a las temperaturas ambientales.

La temperatura inicial de la masa de compostables es ligeramente superior a la temperatura ambiental. Los primeros 20 días del proceso de compostaje, la temperatura asciende 5°C, lentamente, debido a que la actividad bioquímica del sistema se encuentra gobernada por los altos contenidos de humedad imperantes, desarrollándose mayoritariamente la acción de bacterias a través de procesos biooxidativos (fermentación). Durante los siguientes 15 días, el compostaje ya culmina su etapa mesófila (o arranque mesofílico), donde los componentes solubles son atacados por bacterias y hongos, con grandes rendimientos de calor; la elevación de la temperatura refleja una actividad microbiana óptima y un equilibrio entre aireación, humedad y composición de la masa.

A los 45 días ya el proceso de habilitación de la pila se encontró con una temperatura máxima de 50°C, función de la máxima actividad microbiana, en una etapa denominada termófila o termofílica, con abundante presencia de bacterias y actinomicetos que atacan a los compuestos poliméricos. Pasada la etapa anterior, la pila descendió su temperatura hasta los 40°C, después de transcurridos 60 días del proceso, evidenciándose una etapa de enfriamiento y maduración con buena liberación de CO<sub>2</sub>, agua, minerales y materia orgánica estabilizada, rica en poblaciones microbianas útiles y en bioactivadores de la fisiología vegetal (Véase Figura 6).

**Figura 6. Lodo a los 60 días en la etapa de maduración, con plántulas de sandía.**



Por localización del proyecto no fue posible evaluar el pH y la humedad como factores que influyen en la evolución del proceso.

**3.1.3 Propiedades físicas del lodo.** Uno de los métodos índices para evaluar el estado inicial y la madurez del compost, lo constituye algunas propiedades físicas como son el color, olor, aspecto, estado según contenido de humedad, densidad aparente y temperatura, elaborado con base en Anexos B y C y el Cuadro 15.

**Cuadro 15. Características físicas del lodo antes y después del compostaje.**

Material	Tiempo de Descripción	Aspecto	Color	Olor	Estado según contenido de humedad	W (%)	Da (gr/cm <sup>3</sup> )	T° (°C)
Lodo	Extracción de pozas	Fibroso algo plástico	Gris azul claro	Anómalo (azufrado)	Saturado	132	1.03	31
	Compostaje (maduración)	Fibroso y esponjoso	Pardo oscuro	Agradable (suelo de bosque)	Seco	27.16	-	40

- **Aspecto.** A primera vista, por el aspecto externo, el lodo, al momento de su extracción, está constituido por materiales finos, algunos fibrosos, que con altos contenidos de humedad, es algo plástico y fluido; tal apariencia se debe a la constitución de los materiales residuales que llegan a las pozas. Cuando el proceso de compostaje finaliza, el material adquiere un aspecto fibroso fino y esponjoso, típico de la materia orgánica degradada y algo sintetizada.
- **Color.** Durante el proceso de extracción de las pozas sépticas, el material presentó, globalmente, tonos de color gris azul claro, evidencia de los procesos químicos de reducción a que estuvo sometido en su confinamiento bajo la acción de un mal drenaje y presencia de bacterias anaerobias. En contraposición, al final del proceso de compostaje, etapa de maduración, presenta tonalidades marrón o pardo oscuro que dependen de los materiales de partida; en un proceso biooxidativo que tiene como productos finales la presencia de óxidos de hierro, ácidos orgánicos y síntesis de humus.

- **Olor.** El olor del material, una vez extraído de los pozos, se registró organolépticamente con fetidez debido al confinamiento sin drenaje, donde se están dando actividades químicas y bioquímicas con baja presencia de aire sobre los materiales carbohidratados, proteicos y lipóideos, etc.

En condiciones anaerobias, el carbono se libera como metano ( $\text{CH}_4$ ) o como ácidos orgánicos (láctico, acético y butírico); el azufre se libera como ácido sulfhídrico y el nitrógeno como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

A los 60 días, el material presentó un olor agradable como a suelo de bosque, éste se debe a que en el compostaje se presenta un proceso biooxidativo, o sea, de simplificación de sustancias, con reducción de las reacciones bioquímicas y, por ende, de los microorganismos que se reflejan en la etapa de madurez del lodo, siendo el olor un parámetro índice de madurez.

- **Temperatura.** Como se mencionó anteriormente, la temperatura que presentó el lodo al inicio del proceso de compostaje fue de  $31^\circ\text{C}$  y al final dicho parámetro se registró en  $40^\circ\text{C}$ . Dichos registros son muy similares a la temperatura ambiental y se espera que la temperatura final de  $40^\circ\text{C}$  descienda aún más cuando los procesos biooxidativos, generadores de reacciones exotérmicas, cesen.
- **Humedad gravimétrica.** Se presentó al inicio del proceso de compostaje un lodo con 132% de humedad con base en peso seco, lo que está indicando que en este momento el peso del agua es supremamente mayor que el peso de los sólidos imperantes, lo cual se explica por la saturación de agua y la capacidad de la materia orgánica de absorber agua. Con el tiempo, el contenido de humedad se evaluó en 27.16%, en la etapa de maduración, guarismo que no pertenece a la condición del lodo en estado seco.

- **Densidad aparente.** Tomando una muestra indisturbada del lodo, se registró que éste presenta un peso unitario seco de  $1.03 \text{ gr/cm}^3$ , guarismo que no está muy distante de los presentados por materiales que registran alto contenido de materia orgánica en diferentes estados de descomposición, desde materiales fibrosos hasta materiales orgánicos muy descompuestos y sintetizados, como en el caso del humus.

**3.1.4 Propiedades químicas del lodo.** Se determinaron algunos parámetros químicos del lodo usando técnicas especiales y de análisis de suelos. En los Cuadros 16, 17, 18 y 19 se resumen los resultados extraídos del informe de laboratorio (anexos D y Ñ) del lodo después del compostaje.

**Cuadro 16. Análisis de caracterización química del lodo habilitado.**

Propiedad o determinación química	Resultado
pH (1:1)	7.07
Materia Orgánica (%)	16.40
Fósforo (ppm)	25.7
Azufre (ppm)	1900
Calcio (meq./100 gr.suelo)	25.5
Magnesio (meq./100 gr suelo)	8.00
Sodio (meq/100 gr suelo)	6.75
Potasio (meq./100 gr suelo)	2.53
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	42.7

**Cuadro 17. Análisis de elementos menores del lodo habilitado.**

Propiedad	Resultados (p.p.m.)
Cobre (Cu)	0.4
Hierro (Fe)	3.2
Zinc (Zn)	1.6
Manganeso (Mn)	26.0

**Cuadro 18. Análisis químico de metales pesados del lodo habilitado.**

Parámetro	Valor obtenido – unidades
Cromo total	9.15 mg/lit
Cromo (VI)	3.66 mg Cr g/lit
Mercurio	< 0.023 mg/lit
Cadmio	4.7 mg/lit
Plomo	6.9 mg/lit
Nitratos	197.62 mg/lit

**Cuadro 19. Análisis de salinidad del lodo habilitado.**

Parámetro	Resultados (unidades)	Resultados (unidades)
Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ )	27.70 me/lit	554.00 mg/lit
Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ )	11.10 me/lit	133.20 mg/lit
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	0.83 me/lit	19.07 mg/lit
Potasio ( $\text{K}^+$ )	0.13 me/lit	5.08 mg/lit
Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )	7.55 me/lit	460.55 mg/lit
Sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ )	11.41 me/lit	547.68 mg/lit
Cloruros (Cl)	20.80 me/lit	728.00 mg/lit
Conductividad eléctrica	73.00 ds/m	-

- **pH.** El lodo compostado presentó un pH considerado como casi neutro. Teniendo en cuenta la asimilabilidad de los nutrientes por las plantas, el lodo posee un pH comprendido entre 6 y 7 que es el rango óptimo y la condición adecuada para la mayoría de los cultivos. Significa, además, que el material tiene buena disponibilidad de calcio y magnesio, moderada disponibilidad de fósforo y hay baja disponibilidad de micronutrientes con excepción del molibdeno.
- **Bases intercambiables y porcentaje de saturación de bases.** En el lodo, el catión predominante es el calcio, seguido por magnesio, sodio y potasio, lo que refleja un ligero desvío de la secuencia normal ( $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$ ) que tienen los suelos y debe tener el lodo compostado para que no cause traumatismos químicos en aquel.

Las cantidades presentes de calcio y magnesio se aprecian como altos y medios respectivamente. El potasio y el sodio tienen niveles medios, indicándose para el caso del sodio que sus concentraciones pueden presentar problemas para el crecimiento de las plantas y más si el suelo que se va a abonar con el lodo presenta niveles críticos. Se indica la procedencia de estas bases de alimentos ricos en ellos y algunos químicos como la sal.

Las saturaciones, tanto parciales como del total de bases se calcularon con base en la capacidad catiónica efectiva. El calcio y el sodio presentan saturaciones muy altas (59.60% y 15.78%, respectivamente), estando los niveles de sodio con características de peligrosidad. El magnesio y el potasio saturan al complejo de cambio orgánico de manera alta, de forma que el material se convierte como fuente de suministro básica importante.

Se destaca, además, una relación Ca/Mg de 3.18, amplia.

- **Capacidad de intercambio catiónico efectiva.** El valor de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) es muy alta (42.7 me/100 gr.). Toda la CIC del humus depende del pH, para un valor de este de 7, se espera que la contribución a la CIC total del suelo, por parte del humus sea del 4.5% (Helling y Chester, 1964, Citado por Bohn, 1993).

En este sentido, el manejo de suelos de baja fertilidad y de textura con minerales pobres en CIC, se ve favorecida con los aportes a realizar por el lodo compostado.

- **Materia orgánica.** El contenido de materia orgánica del lodo es del 16.4%, considerado como alto, como resultado de los aportes de las excretas humanas en un gran porcentaje. Como el nitrógeno total se estima con base en los contenidos de materia orgánica y todos los factores que afectan el contenido de

ésta inciden directamente en los de aquel, se puede anotar que el lodo como fuente alterna de abonamiento es rico en la parte nitrogenada.

La aplicación del lodo también traerá la generación de un complejo orgánico – mineral que favorecerá positivamente al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

- **Fósforo aprovechable.** Este elemento se encuentra disponible en el lodo con minerales que se pueden considerar como altos. El origen del mismo es netamente orgánico y, junto con el nitrógeno y potasio que se encuentran en concentraciones altas en el lodo, están indicando que el lodo compostado es fuente rica en alimentos primarios que la planta necesita.
- **Azufre.** El lodo estudiado es rico en este elemento, con concentraciones de 1900 ppm. Esto se debe a su origen mayoritariamente orgánico. Este es un elemento muy poco estudiado, especialmente en Colombia, debido a su buen contenido en el suelo. Según Guerrero, 1988, citado por García, 1990, el nivel crítico oscila entre 6 y 12 ppm, por lo tanto el lodo se convierte en una fuente de abastecimiento rico en azufre.
- **Elementos menores.** En términos generales, el lodo no es rico en elementos menores, por lo tanto no es una fuente de abonamiento de dichos oligoelementos. El cobre y el hierro tiene niveles muy bajos, el zinc y el manganeso presentan guarismos bajos. El hecho de que el lodo presente esta condición de microelementos le favorece porque el manejo de estos elementos en la fertilización es muy compleja, ya que son muy pequeños los requerimientos nutricionales por las plantas, no se cuenta con un profundo conocimiento de la dinámica de cada uno, el rango entre toxicidad y deficiencia es muy pequeño y no se ha establecido claramente entre el método de extracción de los microelementos y su respuesta.

### 3.1.5 Propiedades químicas asociadas con el extracto de saturación del lodo.

En los cuadros 18 y 19 se compendia la información sustraída de los resultados de laboratorio que tienen las concentraciones de especies químicas solubles. Para realizar el análisis se utilizó el anexo (D), anteriormente mencionado.

- **Conductividad eléctrica, bases solubles y afección del lodo por sales.** El diagnóstico de los problemas potenciales de salinidad del lodo se hizo analizando su extracto de saturación. Dentro de los principales parámetros se analizó la conductividad eléctrica, la cual arrojó guarismos mayores que 16 ds/m, calificado como muy fuertemente salino, donde, si se utiliza el material como sustrato vegetal, poquísimos cultivos rendirían satisfactoriamente, dada la concentración total de sales en la solución del lodo.

Sin embargo, como el material tiene un porcentaje de saturación de sodio intercambiable (P.S.I.) de 15.78% y una relación de adsorción de sodio (R.A.S.) de 0.18 y utilizando los criterios edafológicos inherentes, se puede calificar al lodo como de salinidad normal (Garavito, 1979).

En el material imperan sales altamente solubles como el carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ); solubles de sodio como el sulfato de sodio ( $\text{NaSO}_4$ ), bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) y cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ).

Esta condición del lodo, cuando se aplica en grandes cantidades, puede disminuir el rendimiento de las plantas.

- **Contenido de algunos metales pesados y nitratos solubles.** Los niveles de algunos metales pesados solubles en el extracto que se encontraron en el lodo habilitado están, en su mayoría, por debajo de la máxima concentración y máxima aplicación en Kg./ha que reporta Mallius y Mitchell (1995), citados por Gómez (2000), para tierras agrícolas y forestales (Véase el Anexo E).

Logan *et al.* (1999) citado por Gómez (2000), estudiando la bioacumulación en los cultivos de frijol, maíz, lechuga, papa, tomate y pasturas, concluyen que para ellos no ocurre la bioacumulación del cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc, tratando con ello de dar alguna seguridad en el uso de compost de residuos sólidos urbanos, al menos para tales cultivos.

**3.1.6 Características bacteriológicas del lodo.** En los cuadros 20 y 21 se indica un resumen de los resultados emitidos por el laboratorio, insertos en el Anexo F y G.

Se anota que se realizó un análisis del lodo una vez estabilizado y otro análisis después de la adición de cal.

En primera instancia se da que los coliformes totales y fecales presentan guarismos de  $3.4 \times 10^5$  NPM/100 ml y  $1.4 \times 10^5$  NPM/100 ml, respectivamente, valores muy altos si los comparamos con los valores críticos de 5000 NPM/100 ml y 1000 NPM/100 ml respectivo, establecidos por la norma colombiana (Romero, 1999) cuando se criteria sobre la destinación de aguas residuales para uso agrícola, igualmente se puede decir de los hongos y levaduras. Sin embargo, el uso de cal agrícola reduce la población de patógenos (Véase la Figura 7).

Se aplicó una relación de 0.5 : 1 respectivamente de cal por cada Kg. de lodo y 60 días después de aplicado el tratamiento, el comportamiento de las bacterias mesófilas fue de 18000 UFC/gr. Las poblaciones de coliformes totales y fecales prácticamente se reducen a menos de 10 UFC/gr., y la población de hongos y levaduras tendió a desaparecer, con 160 UFC/gr.

Figura 7. Tratamiento del lodo mezclado con cascarilla de arroz y aserrín.



El descenso de la población de patógenos del lodo se debe al aumento del pH del mismo, creándose un ambiente químico desfavorable para la proliferación de las especies biológicas mencionadas.

**Cuadro 20. Coliformes totales y fecales, hongos y levaduras en el lodo sin tratamiento con cal.**

Parámetro	Resultados	Unidades
Coliformes totales	$3.4 \times 10^5$	NMP/100 ml
Coliformes fecales	$1.4 \times 10^5$	NMP/100 ml
Hongos y levaduras	$1.65 \times 10^5$	UFC/gr.

**Cuadro 21. Mesófilos anaeróbios, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras en el lodo después del tratamiento con cal.**

Parámetro	Resultados	Unidades
Mesófilos anaeróbios	18000	UFC/gr.
Coliformes totales	< 10	UFC/gr.
Coliformes fecales	< 10	UFC/gr.
Mohos y levaduras	160	UFC/gr.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO USADO EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL

Con el fin de precisar mejor la interacción suelo – abono – planta necesaria para estudiar la viabilidad del lodo para la agricultura, se plantea el siguiente análisis basado en las características del suelo.

**3.2.1 Descripción del perfil.** El suelo considerado (Véase el Anexo H y la Figura 8), presenta un horizonte superficial Ap hasta los 18 cm de profundidad, de color pardo a pardo oscuro manchado en 1% con moteados pardo amarillo, estructura en bloques subangulares, finos a medios, moderados; muy duro en seco, friable en húmedo y adherente y plástico en mojado; ligeramente calcáreo, con efervescencia visible al  $H_2O_2$ .

Figura 8. Aspectos externos e internos del perfil.



Subyace, hasta los 27 cm de profundidad un horizonte transicional AC de textura franco arcillo limosa, color en húmedo amarillo pardo oscuro con manchas, en 1%, parda amarilla; presenta estructura poco desarrollada en bloques subangulares medios y gruesos; su consistencia es muy dura en seco, friable en húmedo y adherente y plástico en mojado; tiene reacción ligera al HCl (10%) y materia orgánica caracterizada por efervescencia visible al peróxido de hidrógeno. Hasta los 50 cm impera un horizonte C de textura franco arcillo limosa; de color oliva en húmedo con manchas en 1% rojo amarillentas; el horizonte presenta estructura de roca; consistencia muy dura en seco, ligeramente friable en húmedo ligeramente pegajoso y plástico en mojado; fuertemente calcáreo y reacción visible al peróxido de hidrógeno. A más de 50 cm de profundidad apareció la roca, arenisca gravilosa; de color gris oliva manchada con color pardo claro; con estructura de roca; firme, ligeramente adherente y ligeramente plástica; al igual que el horizonte C, tiene abundantes concreciones de CaCO<sub>3</sub>.

**3.2.2 Taxonomía.** El suelo experimentado presenta un horizonte superficial ócrico y subsuperficial cámbico que lo clasifica dentro del orden Inceptisol. Su régimen de humedad es ústico y de temperatura es isohipertérmico que lo clasifica dentro del suborden tropept. A nivel de subgrupo el suelo se clasificó como Typic Ustropept, por tener otras características diferentes a los que tienen otros suelos, según el sistema de clasificación taxonómico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos – USDA (1994).

**3.2.3 Propiedades físicas del suelo.** Las principales propiedades físicas del horizonte superficial, extraídas de los Anexos H y J (Véase el Cuadro 22), son las siguientes:

**Cuadro 22. Propiedades físicas del horizonte Ap del suelo.**

Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	% fracciones			Textura	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	densidad real (gr/cm <sup>3</sup> )	Porosidad total (%)
			Ar	L	A				
P-1	Ap	0-18	27.95	28.73	43.32	FAr	1.62	2.5	36

- **Textura.** A nivel textural, el suelo presenta porcentajes de arcilla del 27.95%, arena del 43.32% y limo de 28.73%, que lo identifican dentro de la clase franco arcillosa. El perfil del suelo se apreció como liviano por tener textura moderadamente fina. La textura imperante permite que el suelo tenga capacidad de retención de humedad, con fácil manejo y que pueda retener una buena cantidad de nutrientes minerales y orgánicos. Además este suelo puede mantener por mucho tiempo una alta fertilidad, manejándolo con prácticas culturales adecuadas.
- **Color.** El suelo usado en la experimentación presenta color en húmedo pardo a pardo oscuro, 10 YR 3.5/3, con manchas de color pardo amarillo (10 YR 5.5/6); el color matricial está asociado con la presencia de materia orgánica humificada que está formando complejos orgánicos – minerales con la fracción arcilla presente. Dado que es un suelo joven, se tiene en este horizonte óxidos de hierro que bajo aireación y humedad generan las manchas citadas.
- **Estructura.** El suelo superficial tiene una estructura en bloques subangulares, derivada de la presencia de arcilla, el tipo se califica dentro del rango de tamaño de finos a medios supeditado por la materia orgánica imperante, la actividad biológica y los períodos de secado y expansión de la arcilla. Dicha estructura favorece la gran mayoría de las otras propiedades físicas fundamentales y derivadas.
- **Densidad aparente.** Se presentó una densidad aparente de 1.62 gr/cm<sup>3</sup>, valor muy alto si lo comparamos con la textura imperante. Es decir, que en este sector del suelo se presenta cierta compactación asociada posiblemente a los carbonatos de calcio y óxidos hidratados de hierro.

- **Densidad real.** La densidad de los sólidos o real presentó un valor de 2.5 gr/cm<sup>3</sup>, el cual está asociado con la presencia en el suelo de minerales tales como el cuarzo, feldespatos y arcilla. Aunque se debió registrar un valor de 2.65, los carbonatos de calcio (CaCO<sub>3</sub>) imperantes, hacen decrecer éste parámetro.
- **Porosidad.** Estimativos de la porosidad total del suelo, se tuvieron con datos de 36%, distribuida en macro y microporosidad, se puede decir, referenciados en las otras propiedades físicas, que la relación entre las porosidades es aceptable. El porcentaje de porosidad total está dentro del rango establecido para suelos (30-60%) y dentro del rango fijado para suelos que tienen textura de mediana a liviana.
- **Consistencia.** El horizonte Ap del suelo presenta medianos contenidos de arcilla y limo, fracciones que hacen que tenga una resistencia en seco dura, sea adherente y plástico en mojado. La cuota de arena y limo presente le confiere friabilidad en húmedo. Se espera que con el incremento de materia orgánica (lodo), las características de plasticidad mejoren para manejarlos más fácilmente.
- **Profundidad efectiva.** El suelo presenta una profundidad efectiva dentro del rango de 25 a 50 cm, considerada como superficial. Los limitantes están asociados con la presencia de la roca madre que restringe la penetración radicular.

**3.2.4 Propiedades químicas del suelo.** Los resultados se extrajeron del Anexo I y aparecen sintetizados en el Cuadro 23. Para presentar y analizar los datos se tuvo en cuenta lo siguiente:

**Cuadro 23. Análisis de caracterización química más elementos menores. Suelo Granada**

Determinación	Resultado
pH (1:1)	6.98
Materia Orgánica (%)	1.37
Azufre (ppm)	65.70
Fósforo (ppm)	9.50
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	40.70
Calcio (meq./100 gr.suelo)	34.50
Magnesio (meq./100 gr suelo)	5.50
Sodio (meq/100 gr suelo)	0.50
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.26
Cobre (p.p.m.)	0.80
Hierro (p.p.m.)	14.00
Zinc (p.p.m.)	0.40
Manganeso (p.p.m.)	50.40

- **Reacción del suelo.** Este parámetro orgánico se considera como casi neutro e indica una condición química del suelo, con manifestaciones de disponibilidad de la mayoría de los elementos que la planta necesita para su nutrición. El valor de pH está asociado con los porcentajes de bases existentes, especialmente calcio, quien se encuentra presente derivado del material parental rico en carbonatos.
- **Materia orgánica.** Determinada a partir del carbón orgánico, presenta un guarismo de 1.37% considerado como bajo, debido a los pocos aportes de restos vegetales que recibe el suelo en el sitio. Igual condición se plantea para el nitrógeno total y disponible. Para mejorar dicho estado el lodo residual compostado entra a jugar un papel muy importante.
- **Azufre.** Este elemento se encuentra en el suelo con valores de 65.7 p.p.m. que está muy por encima de 12 p.p.m., nivel crítico establecido, utilizando como extractante al fosfato monocálcico. Estas cantidades del elemento están, posiblemente asociados, con los aportes de compuestos azufrados por parte

del hombre, teniendo en cuenta el perfil, se encontraba situado en una zona de transición entre viviendas y cultivos.

- **Fósforo disponible.** Presenta cantidades bajas, del orden de 9.50 p.p.m. La explicación de su escasa presencia en el horizonte Ap del suelo está asociada con los bajos porcentajes de materia orgánica presentes, ya que los mayores aportes del elemento los suministra aquella. También, en este caso, el suelo requiere fertilización fosfórica procedente de una fuente preferentemente no convencional como lo es el lodo habilitado.
- **Capacidad de intercambio catiónico.** El dato arrojado por el laboratorio es de 40.7 me/100 gr. de suelo, interpretado como muy alto y dependiente en un gran porcentaje de la arcilla existente, poco de la materia orgánica y algo de las cargas dependientes del pH. Esta característica química del suelo refleja la muy alta capacidad de adsorción de cationes del suelo, aceptando formas catiónicas nutritivas procedentes de la fertilización.
- **Bases intercambiables y porcentajes de saturación de bases.** Los resultados arrojados por el análisis indica que las concentraciones de bases presentes en el suelo siguen la secuencia decreciente  $Ca > Mg > Na > K$ , un poco desviada de la ideal en cuanto a que el contenido de sodio es mayor que el de potasio. Se pueden interpretar las cantidades presentes como muy altas de calcio, altas de magnesio, bajas las de potasio y medianas las de sodio.

Las bases saturan la doble capa difusa muy altamente, referenciadas a la capacidad de intercambio catiónico efectiva. El catión calcio satura el 84.76%, el magnesio el 13.51%, el potasio el 0.63% y el sodio el 1.22%, no presentando este último elemento ninguna peligrosidad al suelo ni por ende a las plantas. La relación calcio : magnesio es normal.

- **Elementos menores.** Las tablas utilizadas para interpretar los oligoelementos indispensables para la vida óptima vegetal indica que el cobre y el zinc presentan cantidades muy bajas, de 0.8 ppm y 0.4 ppm, respectivamente; el hierro se encuentra en cantidades disponibles bajas y el manganeso es el microelemento que domina, con valores muy altos (50.4 ppm), la explicación de éste posiblemente se deba a la riqueza en el elemento del material parental y a la disponibilidad que presenta ante una condición química expresada por el pH.
- **Fertilidad del suelo.** Determinada a partir del pH, CIC, bases totales, porcentaje de saturación de bases, porcentaje de carbón orgánico, porcentaje de nitrógeno total y  $P_2O_5$  (Kg/Ha). El suelo presenta una fertilidad de baja a moderada, indicándose, con esto, que no presenta capacidad de suministrar algunos materiales que la planta necesita.

**3.2.5 Características químicas del suelo utilizado con los diferentes tratamientos.** Con el fin de observar las variaciones de las características químicas del suelo después de los tratamientos, se realizaron sendos análisis químicos de caracterización (Véase el Anexo J); además se evaluaron las propiedades químicas del extracto de saturación, para lo cual se seleccionó una muestra de suelo por cada tratamiento y el testigo (Véase el Anexo K). Para comprensión en la identificación de los análisis de caracterización, se indica, por ejemplo que la muestra numerada en el Anexo J) como 136 T<sub>1</sub> corresponde a una de las tres muestras de suelo a las cuales se le aplicaron 136 partes por peso del lodo. Igualmente, el laboratorio de suelos reportó, en el caso del análisis de salinidad, que la muestra, por ejemplo, con número 3 corresponde a la 136 T<sub>3</sub>.

El cuadro 24 extraído del Anexo J mencionado indica los valores promedios de los parámetros químicos correspondientes al testigo y a los siete tratamientos con lodo. Aquí cabe destacar que la reacción del suelo se mantuvo en el rango de

moderadamente alcalina, presentándose el caso en que algunos tratamientos sobrepasaron el guarismo del testigo; el incremento se debe a la aplicación de cal realizada al lodo para moderar la existencia de flora y biota patógena, así como también a los contenidos altos de bases que presentó el lodo compostado. Se observó también un incremento progresivo de los porcentajes de materia orgánica de los tratamientos acorde con la dosis de lodo aplicado, pasando los niveles de valores bajos, caso del testigo, a medios en el caso de lo experimentado con las mejores aplicaciones de fertilizante no convencional. El fósforo aprovechable mostró siempre niveles altos y se notó la influencia creciente del abono en la medida en que la dosis de éste se fueron incrementando. Los aportes del abono también subieron la capacidad de intercambio catiónico de los suelos debido a los porcentajes de materia orgánica humificada aportada y también por el ascenso de cargas dependientes del pH.

El análisis de la concentración en me/100 gr. de suelo y en porcentaje, de cada base y de bases totales indica la discordancia de la forma como se deben presentar estos elementos en el suelo,  $Ca > Mg > K > Na$ ; tal situación es consecuencia de los niveles de concentración de estos elementos básicos en el lodo compostado y también en el suelo sin fertilizar, por lo que incidirá en la disponibilidad de algunos nutrientes que la planta necesita; y las concentraciones (%) de Ca, Mg y Na fueron muy altas, altas a muy altas y altas a muy altas, respectivamente, no hubo una diferencia significativa en cuanto a lo que el testigo presentó; sin embargo las concentraciones (%) de potasio presentaron niveles medianos (testigo) a muy altos (tratamientos) observándose una diferencia, en cuanto a la aplicación progresiva del abono se refiere; también es de anotar que las concentraciones de sodio, tanto en el testigo como en los tratamientos, son preocupantes para el desarrollo óptimo de los cultivos y para la conservación y mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

**Cuadro 24. Resultados de análisis de caracterización promedio de suelos, testigo y tratamientos.**

Tratamiento y testigo	pH	M.O. (%)	P (p.p.m.)	C.I.C.	C.I.C.E.	m.e./100 gr. de suelo					% saturación con base en la C.I.C.E.				
						Ca	Mg	K	Na	C.I.C.	C.I.C.E.	Ca	Mg	K	Na
Testigo	7.67	1.34	59.21	18.52	10.78	5.28	1.59	0.11	3.38	48.98	14.75	1.02	31.35		
5 $\bar{T}$ *	7.75	1.44	59.33	17.60	11.96	6.21	2.18	0.26	3.31	51.92	18.22	2.17	27.67		
8.5 $\bar{T}$	7.65	1.46	71.25	17.32	11.25	5.56	2.04	0.32	3.33	49.42	18.13	2.84	29.6		
17.1 $\bar{T}$	7.73	1.52	74.75	24.11	10.21	5.43	1.49	0.28	3.01	53.18	14.59	2.74	29.48		
34.1 $\bar{T}$	7.80	1.62	104.94	20.17	13.63	7.24	3.17	0.38	2.84	53.11	23.25	2.78	20.83		
68.2 $\bar{T}$	7.64	1.88	94.32	19.98	12.86	6.21	2.39	0.96	3.30	48.30	18.58	7.46	25.66		
102 $\bar{T}$	7.59	2.18	101.77	16.22	18.97	11.72	3.80	0.72	2.73	61.78	20.03	3.79	14.39		
136 $\bar{T}$	7.59	2.41	113.96	21.27	13.95	9.03	2.78	0.26	1.88	64.73	19.92	1.86	13.47		

\* Media de tratamientos de suelos con cinco partes de lodo.

El Cuadro 25 se elaboró con base en el Anexo K anteriormente citado, detalla el estado de salinidad y/o sodificación del testigo y tratamiento como consecuencia de los altos niveles de bases, especialmente sodio, que se presentan en forma intercambiable. Tanto el pH del suelo como el de su extracto de saturación se interpretan como moderadamente alcalinos, hecho que en primera instancia evidencia que el suelo se encuentra afectado por exceso de bases. De los valores de salinidad expresada como conductividad eléctrica (entre 0.40 y 0.60 mmhos/cm), se infiere que los suelos son no salinos y no presentan problemas aún en plantas muy sensibles. La relación de adsorción de sodio (R.A.S.) calculada a partir de las concentraciones de Na, Ca y Mg del extracto varió entre 1.17 y 4.93, valores muy bajos en comparación con el valor crítico de 15 para la caracterización de la sodicidad. Igualmente los porcentajes de sodio intercambiable (P.S.I.) calculados a partir de la concentración de sodio y la C.I.C. (dados en m.e/100 gr. de suelo) para el testigo y tratamiento especificados está dentro del rango comprendido entre 9.3% y 27.2%, lo que indica que algunos tratamientos e inclusive el mismo testigo presentan condiciones sódicas con P.S.I. mayor que 15%. Sin embargo, según el laboratorio de salinidad del U.S.D.A. (Citado por Garavito, 1979), la mayoría de las muestras de suelos tratados son normales, ya que aunque algunos tienen un P.S.I. mayor que 15%, tienen la R.A.S. menor que 13 y un pH que no rebasa la cifra de 8.5.

Con relación a los aniones solubles, se observó que su concentración en la fase acuosa de suelos no salinos es menor que la concentración de cationes. La concentración de iones de carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ) para la condición química que presenta el suelo es mala y solamente se encuentran presentes en cantidades apreciables sólo en suelos con pH mayor que 9. Por otro lado, las sales de sulfato, cloruro y bicarbonato se acumulan en suelos salinos y una distribución característica es  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ , que es la que se entrevé para los suelos debido a que las cantidades relativas de dichos aniones varían con la aplicación de fertilizante no convencional utilizado.

**Cuadro 25. Análisis de salinidad del suelo sin abonar (testigo) y abonado (tratamientos).**

Propiedad	No. 24 (Testigo T <sub>3</sub> )	No. 19 (5 T <sub>1</sub> )	No. 14 (8.5 T <sub>2</sub> )	No. 18 (17.1 T <sub>3</sub> )	No. 11 (34.1 T <sub>2</sub> )	No. 7 (68 T <sub>1</sub> )	No. 4 (102 T <sub>1</sub> )	No. 3 (136 T <sub>3</sub> )
Suelo								
pH (Agua 1:1)	7.59	7.76	7.59	7.75	7.75	7.59	7.51	7.62
pH (Extracto)	7.90	7.81	7.75	7.88	7.85	7.92	8.05	7.70
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0.44	0.55	0.60	0.65	0.65	0.45	0.62	0.40
Salinidad (ppm) partes por mil	0.00	0.10	0.00	0.30	0.20	0.00	0.20	0.00
Ca <sup>++</sup> (me/lt)	1.20	1.20	1.32	1.16	1.28	1.60	2.00	1.36
Mg <sup>++</sup> (me/lt)	0.33	0.93	0.68	0.51	0.32	0.40	1.07	0.51
K <sup>+</sup> (me/lt)	0.09	0.02	0.03	0.10	0.17	0.03	0.07	0.03
Na <sup>+</sup> (me/lt)	4.32	1.70	1.91	2.93	3.36	1.17	10.26	1.76
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (me/lt)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (me/lt)	2.00	2.00	2.10	2.00	1.70	1.90	2.36	2.00
Cl <sup>-</sup> (me/lt)	2.30	2.00	2.70	2.00	2.50	2.10	2.00	2.50
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (me/lt)	1.93	1.98	2.50	1.67	1.88	2.19	1.88	2.60
Na (me/100 gr. S)	3.79	4.49	2.21	3.76	3.20	2.16	2.00	1.94
C.I.C. (me/100 gr. S)	16.50	16.50	16.50	23.10	17.33	21.45	16.50	20.9
R.A.S.	4.93	1.64	1.90	3.20	3.70	1.17	8.28	1.82
P.S.I. (%)	23.00	27.20	13.40	16.30	18.50	10.10	12.10	9.30

### **3.3 ANÁLISIS EXPERIMENTAL**

A partir del diseño experimental (DBCA) llevado a cabo, se obtuvo la siguiente información estadística, (Véase Cuadros 26 y 27), que fue sustraída de los Anexos L, M y N, asociado con los análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple por contrastes ortogonales.

#### **3.3.1 Aspectos fundamentales del diseño.**

- Factor: Aplicación de lodo
- Niveles: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
- Tratamientos: Aplicación de lodo
- Variables de respuestas: Producción de materia seca en las hojas. Humedad en las hojas. Producción de materia seca en las raíces. Humedad en las raíces, etc.

#### **3.3.2 Análisis biométrico del maíz y propiedades químicas del suelo.**

El análisis de varianza refleja que para un intervalo de confianza del 95% por lo menos hay tratamientos que tienen mayor cantidad de materia seca en las hojas, materia seca en las raíces. Igualmente al mismo nivel del 5%, hay respuestas significativas de las aplicaciones del lodo en cuanto a las características de crecimiento del maíz, como son el grosor del tallo, la longitud de las hojas, la altura de las plantas, longitud de raíz principal, número de hojas secas; se exceptúa el número de raíces secundarias.

En la figuras 9 y 10 se observan las variaciones de las medias del testigo y tratamientos asociados con biomasa foliar y radicular, como también de algunas características del crecimiento del maíz, donde se ve que el tratamiento T7 es el que muestra los mejores resultados.

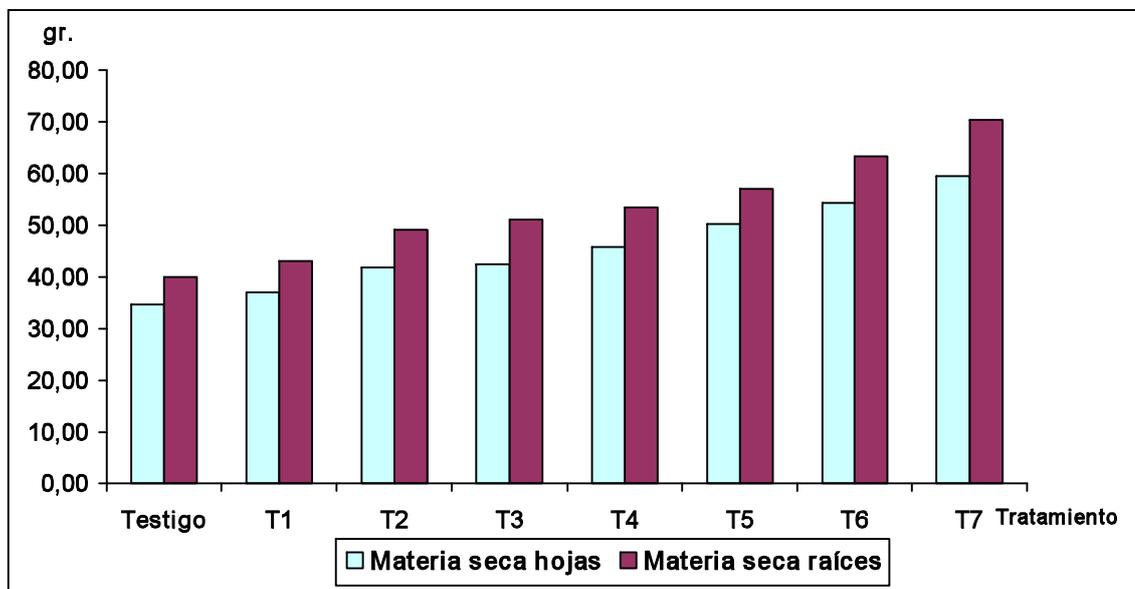
**Cuadro 26. Prueba de hipótesis según ANAVA y contraste ortogonal de parámetros del maíz.**

Variable dependiente	Prueba de hipótesis			C.V.	Contraste ortogonal			
	Pr	$\alpha$	Consideración de Ho		Contraste	Pr	$\alpha$	Consideración de Ho
Materia seca en hojas	0.0001	0.05	Se rechaza	6.48	Testigo Vs demás	0.0034	0.05	Se rechaza
Materia seca en raíces	0.0001	0.05	Se rechaza	5.99	Testigo Vs demás	0.0056	0.05	Se rechaza
Grosor del tallo	0.0001	0.05	Se rechaza	14.03	Testigo Vs demás	0.0251	0.05	Se rechaza
Longitud de hojas	0.0366	0.05	Se rechaza	12.57	Testigo Vs demás	0.3333	0.05	Se acepta
Altura de plantas	0.0021	0.05	Se rechaza		Testigo Vs demás	0.0158	0.05	Se rechaza
Longitud de raíz principal	0.0206	0.05	Se rechaza	24.02	Testigo Vs demás	0.2799	0.05	Se acepta
Número de raíces secundarias	0.2208	0.05	Se rechaza	16.39	Testigo Vs demás	0.5411	0.05	Se acepta
Número de hojas secas	0.0057	0.05	Se rechaza	26.90	Testigo Vs demás	0.1765	0.05	Se acepta

**Cuadro 27. Prueba de hipótesis según ANAVA y contraste ortogonal de contenido de humedad tisular y parámetros químicos del suelo.**

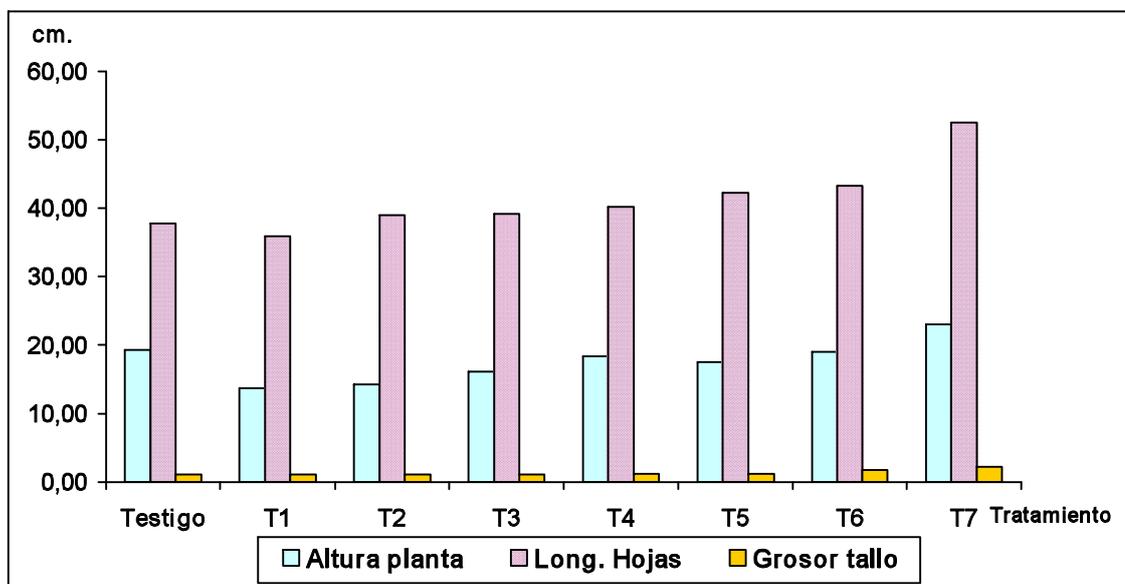
Variable dependiente	Estadísticos de prueba ANAVA			C.V.	Contraste ortogonal			
	Pr	$\alpha$	Consideración de Ho		Contraste	Pr	$\alpha$	Consideración de Ho
Humedad en hojas	0.0001	0.05	Se rechaza	5.82	Testigo Vs demás	0.025	0.05	Se rechaza
Humedad en raíces	0.0001	0.05	Se rechaza	9.14	Testigo Vs demás	0.444	0.05	Se rechaza
pH	0.0009	0.05	Se rechaza	6.74	Testigo Vs demás	0.5726	0.05	Se acepta
Materia orgánica	0.0001	0.05	Se rechaza	6.37	Testigo Vs demás	0.0001	0.05	Se rechaza
Fósforo	0.0058	0.05	Se rechaza	20.52	Testigo Vs demás	0.0808	0.05	Se acepta
C.I.C.	0.0205	0.05	Se rechaza	13.34	Testigo Vs demás	0.0269	0.05	Se rechaza
Ca	0.1750	0.05	Se acepta	41.94	Testigo Vs demás	0.2808	0.05	Se acepta
Mg	0.1186	0.05	Se acepta	39.72	Testigo Vs demás	0.3383	0.05	Se acepta
K	0.0001	0.05	Se rechaza	20.07	Testigo Vs demás	0.0099	0.05	Se rechaza
Na	0.7794	0.05	Se acepta	39.80	Testigo Vs demás	0.5260	0.05	Se acepta

**Figura 9. Variaciones promedias del peso de la materia seca foliar y radicular en testigo y tratamientos.**



Tratamiento	Materia seca hojas (gr.) (Promedio)	Materia seca raíces (gr.) (promedio)
Testigo	34.7	39.96
T1 = 5	37.0	43.1
T2 = 8.5	41.8	49.2
T3 = 17.1	42.5	51.1
T4 = 34	45.8	53.5
T5 = 68.2	50.2	57.02
T6 = 102	54.31	63.4
T7 = 136	59.5	70.4

Figura 10. Variaciones promedio de algunos parámetros del crecimiento del maíz (*Zea mays*) en testigo y tratamientos.



Tratamiento	Altura planta (cm)	Longitud hojas (cm)	Grosor tallo (cm)
Testigo	19.33	37.8	1.08
T1 = 5	13.75	35.92	1.07
T2 = 8.5	14.25	39.0	1.15
T3 = 17.1	16.08	39.17	1.12
T4 = 34	18.33	40.16	1.22
T5 = 68.2	17.5	42.25	1.25
T6 = 102	19.0	43.33	1.75
T7 = 136	23.0	52.5	2.17

También, el análisis de varianza indica que al 5% de significancia, por lo menos hay tratamientos que tienen mayor porcentaje de humedad en las hojas y raíces. Igual situación se presenta con algunos parámetros químicos del suelo: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y potasio; en

contraposición con el calcio y el magnesio, parámetros que no mostraron respuestas significativas.

El coeficiente de variación se considera excelente e indica la confiabilidad de la producción de materia seca en hojas y raíces, así como presencia de contenido de agua en estas partes de la planta; además fue bueno el coeficiente de variación asociado con el grosor del tallo, longitud de hojas y altura de plantas; las otras variables de respuesta del cultivo del maíz arrojaron un coeficiente de variación de regular a pésimo. En cuanto a las propiedades químicas del suelo, se considera excelente para el pH y la materia orgánica, bueno para la C.I.C. y de medio a pésimo para los restantes parámetros.

La prueba de comparación por contraste ortogonal realizado, confrontando el testigo versus todos los tratamientos, refleja que las aplicaciones de dosis de lodo en el suelo dan mejores resultados que si se usa el suelo sin tratar, lo anterior en lo referente a materia seca y contenido de agua en hojas y raíces, y altura de plantas. También se desprende que algunas características químicas del suelo como el porcentaje de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y las concentraciones de potasio presentan mejores niveles que el testigo (suelo sin tratar).

## CONCLUSIONES

Los objetivos planteados, la metodología utilizada y el análisis de los resultados permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- El lodo extraído de pozas sépticas de sistemas de alcantarillado sin arrastre de sólidos, se puede someter a procesos de habilitación durante un período no menor de 60 días, a partir del cual se obtiene un producto estabilizado inocuo y libre de fitotoxinas.
- La población de organismos patógenos del lodo se pudo controlar con cal, disminuyendo significativamente la población de bacterias coliformes fecales, hongos y levaduras, de forma que cuando se usa como bioabono no incide en la salud del suelo y de la planta. La utilización del lodo en la agricultura es una alternativa para conservar y recuperar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y por ende para preservar el medio ambiente.
- De acuerdo con los resultados, el lodo residual habilitado proveniente de pozas sépticas del sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos del corregimiento de Granada (Sincé), es una fuente de nutrientes no convencional para uso en actividades agrícolas y pecuarias.
- Dicho material es rico en nutrientes primarios, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); elementos secundarios, calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), y no es una fuente importante de elementos menores (Fe, Mn, Zn y Cu).
- El lodo investigado, debido a su origen, presenta concentraciones de metales pesados como mercurio (Hg), cromo total (Cr), cromo VI (Cr<sup>+6</sup>), cadmio (Cd) y

plomo (Pb) que según algunos investigadores están por debajo del valor límite establecido para tierras agrícolas, así como de su máxima aplicación, en Kg./ha, a los suelos.

- Las características físicas del lodo habilitado son generalmente aceptables y similares a las que muestran otros abonos orgánicos sólidos utilizados frecuentemente.
- El suelo utilizado en el diseño experimental es un Typic Ustropept que presenta una fertilidad de baja a moderada. La textura franco arcillosa, estructura en bloques subangulares moderada y su densidad aparente de  $1.62 \text{ gr/cm}^3$ , hacen que la aplicación del lodo compostado mejore su sostenibilidad biofísica y química.
- El análisis de varianza indica que para un intervalo de confianza del 95%, por lo menos hay tratamientos que tienen mayor los siguientes parámetros: materia seca en las hojas y raíces; características de crecimiento del maíz como son grosor del tallo, longitud de las hojas, altura de plantas, longitud de raíz principal y número de hojas secas; por lo menos hay tratamientos que tienen mayor porcentaje de humedad en las hojas y raíces.
- La estadística también mostró que entre el testigo edáfico y los tratamientos, al menos, alguno de estos últimos presentan mayor los siguientes parámetros químicos: pH, materia orgánica, C.I.C. y potasio.
- La prueba de comparación por contraste ortogonal realizado entre el testigo versus todos los tratamientos, refleja que las aplicaciones del bioabono dan mejor resultado que si se usa el suelo sin tratar, en cuanto a materia seca y contenido de agua en hojas y raíces, y altura de plantas. También algunas

propiedades químicas del suelo mostraron el mismo comportamiento: materia orgánica, C.I.C. y K.

- El diseño experimental realizado indica, a un nivel del 5%, que a la luz de los parámetros de crecimiento de la planta estudiados y de la biomasa seca foliar y radicular, que el mejor tratamiento fue aquel cuando se le aplicaron 136 partes del lodo por peso seco del suelo seleccionado.
- Que en términos generales se concluye que el lodo compostado tiene viabilidad en el uso agrícola y pecuario, convirtiéndose en una fuente importante de abono no convencional que contribuirá en el incremento de las actividades asociadas con la agricultura orgánica.

## RECOMENDACIONES

- Los lodos provenientes de sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos, de naturaleza muy húmeda, es de mandato, cuando se habilitan, mezclados con materiales de relleno de naturaleza ligno-celulósica para facilitar su aireación, drenaje, transferencia de calor e imbibición de materiales hidrosolubles.
- Se debe seguir realizando investigaciones con el mismo lodo utilizado, con el mismo suelo u otro suelo diferente, dosis mayores del bioabono, con el fin de determinar las cantidades máximas a utilizar dentro del contexto de una producción del cultivo óptima y una mejora de la fertilidad y productividad del suelo.
- Se debe detallar el estudio de los elementos pesados en lo referente a su contenido en el lodo y la capacidad de algunas especies vegetales para tomarlas del suelo.
- A los suelos que se les aplique el bioabono investigado se les debe manejar cuidadosamente en cuanto a los metales pesados existentes se refiere, ya que dichos elementos son fijados por la materia orgánica del suelo, entonces se debe evitar la aceleración de la mineralización de la materia orgánica para evitar la liberación de dichos metales y que llegue a las plantas de cultivo y aguas subterráneas.
- Sabiendo del empuje actual que ha tenido la agricultura orgánica, se sugiere realizar investigaciones de este tipo, en otras fuentes potenciales de bioabono como los lodos provenientes de aguas residuales, que comprenden su caracterización, habilitación y estudios de campo y de invernadero que decidan sobre su viabilidad de uso agrícola y pecuario.

- El lodo habilitado no se puede utilizar en grandes cantidades, debido a las sales solubles presentes en él, así como también a los altos porcentajes de sodio intercambiable, por lo que debe disponerse sólo en suelos de textura franco arenosa, arenosa, franca. El material presenta limitantes para disponerlos en suelos salinos o salino-sódicos.
- Este abono es muy útil para mejorar suelos degradados, con ciertas características, texturas livianas y alta precipitación para evitar problemas de salinización.
- Para dar un uso más eficiente al lodo compostado, se debe aplicar en producciones de pastos extensivo e intensivo, producción de maderables, ornamentales y bosques protectores.

## BIBLIOGRAFÍA

BOHN, Hinrich L. 1993. Química del suelo. Limusa. Grupo Noriega Editores. México. 370 p.

CARBALLO, Jaime y OVIEDO, José. 2003. evaluación de la eficiencia de un lodo residual usado como bioabono en un inceptisol del municipio de Corozal, Sucre – Colombia.

CASTELLS, Elías Xavier. 2000. Reciclaje de Residuos Industriales. Editorial Díaz de Santos S.A.

CRITERS, Ron. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeña Población. Editorial Mc Graw Hill. Colombia. 776 p.

FAIVRE, Preme y VILLOTA, Hugo. 1976. Génesis y clasificación. En: Estudio general de suelos de los municipios de Buenavista, Sincé, Galeras, San Pedro, Los Palmitos, San Juan de Betulia y Magangué. IGAC. Bogotá.

GARAVITO, Fabio. 1979. Propiedades químicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá.

GÓMEZ, Jairo. 2000. Abonos orgánicos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

HILLEBOE, Herman E. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Editorial Limusa. 7ª. Reimpresión. México. 303 p.

"<http://www.jrc.es>" [www.jrc.es](http://www.jrc.es).

MENDEZ, Hernando. 1995. Tratamiento y Empleo de Lodos de Aguas Negras Residuales en la Agricultura. En: Revista Suelos Ecuatoriales. Volumen 25.

METCALF y EDDY. 1981. Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales. Editorial Labor S.A. 2ª. Edición. Barcelona. 837 P.

\_\_\_\_\_. 1985. Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales. Editorial Labor. 2ª. Edición. Barcelona. 446 P.

MORELO, J. 1983. El Medio Natural. En: Estudio General de Suelo de la Región Noroccidental del Departamento de Sucre. I.G.A.C. Bogotá.

OLARTE, Luis. 1976. Propiedades físicas y químicas. En: Estudio general de suelos de los municipios de Buenavista, Sincé, Galeras, San Pedro, Los Palmitos, San Juan de Betulia y Magangué. IGAC. Bogotá.

RIVILLAS, Julio. 1976. Uso y manejo de los suelos. En: Estudio general de suelos de los municipios de Buenavista, Sincé, Galeras, San Pedro, Los Palmitos, San Juan de Betulia y Magangué. IGAC. Bogotá.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. 1999. Tratamiento de Aguas Residuales y Principios de Diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1ª. Edición. Enero 2000. Colombia. 1232 P.

UNDA OPAZO, Francisco. 2000. Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública. Editorial Limusa S. A.

ANEXOS

**Anexo A. Lista de los propietarios de las viviendas seleccionadas para el muestreo del lodo en pozas sépticas. Corregimiento de Granada (Sincé)**

1. Rogelio Meza
2. Lenis Robles
3. Rafael Herazo Pineda
4. Querubín José Acosta
5. Edith Acosta
6. Martina Inés Acosta
7. Mary Herazo
8. Gustavo Meza Herazo
9. Susana Dolores Acosta Romero
10. Escilda Herazo
11. Enith Cárcamo
12. Rebeca Herazo
13. Ismael Payares
14. Raúl Herazo
15. Carmen Alides Meza Pérez
16. Virginia Guazo
17. Apolinar Navarro
18. Graciela Gómez Pérez
19. Octavio Herazo
20. Natalia Guazo

**Anexo B. Registro de temperaturas del lodo y ambientales durante el proceso de compostaje.**

<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	<b>Temperatura del lodo (°C)</b>
1	Sep. 23	4:20 p.m.	29	31
2	Sep. 24	5:00 p.m.	29	31
3	Sep. 25	1:40 p.m.	31	33
4	Sep. 26	2:10 p.m.	32	34
5	Sep. 27	2:58 p.m.	30	32
6	Sep. 28	4:25 p.m.	31	34
7	Sep. 29	5:40 p.m.	32	36
8	Sep. 30	3:35 p.m.	30	34
9	Oct. 1	2:40 p.m.	31	33
10	Oct. 2	3:35 p.m.	32	36
11	Oct. 3	1:55 p.m.	32	36
12	Oct. 4	11:25 a.m.	31	35
13	Oct. 7	5:22 p.m.	29	33
14	Oct. 8	3:40 p.m.	30	32
15	Oct. 9	2:35 p.m.	29	31
16	Oct. 10	5:30 p.m.	30	34
17	Oct. 11	4:50 p.m.	31	35
18	Oct. 12	6:00 p.m.	29	35
19	Oct. 13	5:40 p.m.	28	36
20	Oct. 14	5:30 p.m.	30	38
21	Oct. 15	5:50 p.m.	28	37
22	Oct. 16	3:45 p.m.	30	37
23	Oct. 17	2:50 p.m.	32	38
24	Oct. 19	11:30 a.m.	30	36
25	Oct. 20	12:05 p.m.	29	35
26	Oct. 21	12:20 p.m.	30	35
27	Oct. 22	3:40 p.m.	32	37,5
28	Oct. 23	2:35 p.m.	30	36
29	Oct. 24	4:40 p.m.	30	37

30	Oct. 25	3:20 p.m.	32	38,5
31	Oct. 26	2:50 p.m.	32	38
32	Oct. 27	10:00 a.m.	29	37
33	Oct. 28	2:20 p.m.	31	37,5
34	Oct. 29	2:40 p.m.	28	39
35	Oct. 30	5:10 p.m.	30	42
36	Oct. 31	10:00 a.m.	29	38
37	Nov. 1	5:40 p.m.	29	39
38	Nov. 2	8:10 a.m.	30	38
39	Nov. 3	2:40 p.m.	28	43
40	Nov. 4	2:50 p.m.	30	45
41	Nov. 5	10:20 a.m.	31	46
42	Nov. 6	2:00 p.m.	29	45
43	Nov. 7	1:30 p.m.	28	48
44	Nov. 8	9:00 a.m.	30	48
45	Nov. 9	11:00 a.m.	30	50
46	Nov. 10	12:30 p.m.	29	50
47	Nov. 11	3:00 p.m.	30	47
48	Nov. 12	2:00 p.m.	32	45
49	Nov. 13	10:00 a.m.	31	45
50	Nov. 14	8:40 a.m.	33	46
51	Nov. 15	9:30 a.m.	32	43
52	Nov. 16	9:30 a.m.	30	41
53	Nov. 17	4:00 p.m.	29	42
54	Nov. 18	1:30 p.m.	31	44
55	Nov. 19	2:30 p.m.	29	45
56	Nov. 20	3:30 p.m.	30	43
57	Nov. 21	2:00 p.m.	30	42
58	Nov. 22	10:00 a.m.	31	42
59	Nov. 23	11:00 a.m.	32	41
60	Nov. 24	11:00 a.m.	30,5	40



**UNIVERSIDAD DE SUCRE**  
CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

**Anexo C. Humedad gravimétrica del lodo al inicio y final del compostaje**

**PROYECTO:** Estudio de la viabilidad del empleo de lodos de aguas negras residuales en agricultura del sistema de alcantarillado sin arrastre de sólidos del corregimiento de Granada, municipio de Sincé – Sucre.

**LOCALIZACIÓN:** Sincé, Corregimiento de Granada.

**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Lodo orgánico gris azuloso en húmedo y pardo oscuro en seco.

<b>Fecha</b>	<b>Octubre 27/04</b>	<b>Octubre 27/04</b>	<b>Noviembre 21/04</b>
Perforación No.	1	1	1
Lata No.	17	37	52
Peso lata + suelo húmedo (g)	141.30	186.90	137.30
Peso lata + suelo seco (g)	90.30	108.52	118.50
Peso lata (g)	50.30	51.10	49.30
Peso suelo seco (g)	40.00	57.42	69.20
Peso agua (g)	51.00	78.38	18.80
Contenido de humedad (%)	127.50	136.50	27.16
Contenido de humedad promedio (%)	132		

\_\_\_\_\_  
Coordinador de laboratorio

## Anexo D. Análisis de caracterización, elementos menores y salinidad del suelo sin habilitar



**UNIVERSIDAD DE CORDOBA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLAS**  
**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS**

Propietario: **ARNOLD MARTINEZ**  
 Finca: \_\_\_\_\_  
 Vereda: \_\_\_\_\_ Corregimiento: \_\_\_\_\_  
 Municipio: **SINCE** Dpto.: **SUCRE**  
 Recibo de pago No. \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Fecha de ingreso muestra \_\_\_\_\_ Valor \$ \_\_\_\_\_  
 Muestra No. \_\_\_\_\_

Muestra	pH	M.O. %	S ppm	P ppm	Ca meq/100 g de suelo	Mg meq/100 g de suelo	Na meq/100 g de suelo	K meq/100 g de suelo	Al	CIC	Cu	Fe	Zn ppm	Mn ppm	S.D.A.		TEXTURA	
															g/cm <sup>3</sup>	%A	%L	%A
No. Identificación	1.1																	
MUESTRA DE LODOS	7.07	16.4	1800	257	25.6	8.0	6.75	2.53	-	42.7	0.4	3.2	1.6	28.0				

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**  
 A: Contenido Abundante o valor alto pero no excesivo.  
 B: Contenido Suficiente o valor adecuado (bueno).  
 C: Contenido Moderado o valor medio (regular).  
 D: Contenido Deficiente o valor bajo (pobre).  
 E: Contenido Excesivo o valor muy alto, puede ser perjudicial.  
 F: Contenido ínfimo o valor muy bajo (muy pobre).  
**RESERVACIONES:**  
 Consulte a un Ingeniero Agrónomo o profesional de la  
 área de suelos

**ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOLUBLES O SALINIDAD**

No. Identificación	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PS %	CE dis/m
MUESTRA	27.7	11.1	0.83	0.13	-	7.55	11.41	20.8	-	7.3

  
**ENRIQUE CONTRERAS**  
 Director del Laboratorio

**Anexo E. Valores límites del contenido de los metales pesados y ratas  
máximas de aplicación de lodo de depuradora**

<b>Metal</b>	<b>Tierras agrícolas y forestales, sitios de concurrencia pública, recuperación de suelos</b>		<b>Jardines y patios</b>	
	<b>Máxima concentración (mg/Kg.)</b>	<b>Máxima aplicación (Kg./Ha)</b>	<b>Máxima concentración (mg/Kg.)</b>	<b>Máxima aplicación (Kg./Ha)</b>
Arsénico	75	41	41	2
Cadmio	85	39	39	1.9
Cromo	3000	3000	1200	150
Cobre	4300	1500	1500	75
Plomo	840	300	30	15
Mercurio	57	17	17	0.85
Molibdeno	75	18	18	0.90
Níquel	420	420	420	21
Selenio	100	100	36	5.0
Zinc	7000	2800	2800	140

Fuente: Gómez, 2000.

**Anexo F. Coliformes totales y fecales, hongos y levaduras en el lodo sin  
tratamientos con cal**



FECHA		
DIA	MES	AÑO
27	10	2003

NIT 812,004,917-2

CLASE DE MUESTRA: **LODOS - POZO SÉPTICO** ANÁLISIS N° = 281003-37-PS-L  
 Recolectada por: Arnold Martínez  
 Sitio de Recolección: Pozo Séptico - Vivienda  
 Examen Solicitado: Bacteriológico  
 Ordenado por: Arnold Martínez  
 Fecha de Recolección: 17/10/2003 Fecha Recibo: 17/10/2003

PARÁMETROS	MÉTODO DE ANÁLISIS	RESULTADOS	UNIDADES
Coliformes Totales	Tubos Múltiples	$3,4 \times 10^5$	NMP/100ml
Coliformes Fecales	Tubos Múltiples	$1,4 \times 10^5$	NMP/100ml
Hongos y Levaduras	Filtración x Memb	$1,65 \times 10^5$	UFC/g

**OBSERVACIONES**

RESULTADOS VALIDO PARA ESTA MUESTRA ÚNICAMENTE

NR- No Realizado

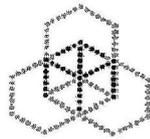
Se utilizaron diluciones de  $10^{-4}$

Las muestras fueron suministradas por el Cliente.

*C. Jareva*  
 MICROBIOLOGÍA

*V. B. Victoria Coronel*

**Anexo G. Mesófilos aerobios, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras en el lodo después del tratamiento con cal.**



LABORATORIO BACTERIOLOGICO Y FISICOQUIMICO  
DE AGUAS Y ALIMENTOS

**MIGUEL TORRES BENEDETTI**

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - SANTA FE DE BOGOTA

Calle 1ª de Badillo N° 35-50 3 Piso Teléfono 6647047

E mail: emtorresbe@hotmail.com. A. A. 3302 Cartagena-Colombia

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO  
DE LODOS**

FECHA DEL MUESTREO	23-IV-04
FECHA DE ANÁLISIS	23-IV-04
EMPRESA	ARNOLD MARTINEZ
TIPO DE MUESTRA	Lodos
ANÁLISIS	Microbiológicos
RECOLECTOR	Personal de la Empresa

**RESULTADOS**

Análisis: 3927

PRODUCTOS	Mesófilos Aerobios ufc/g	Coliformes Totales ufc/g	Coliformes Fecales ufc/g	Mohos y Levaduras ufc/g
Lodos	18.000 ufc/g	< 10 ufc/g	< 10 ufc/g	160 ufc/g

OBSERVACIONES: Técnicas microbiológicas del Invima y Ministerio de Salud de Colombia

Atentamente  
  
 LABORATORIO  
**MIGUEL TORRES BENEDETTI**  
 UNIVERSIDAD DE LOS ANDES - SANTA FE DE BOGOTA

**Miguel Torres Benedetti**  
Microbiólogo

## Anexo H. Descripción del perfil del suelo

- Perfil: P-1 Asociación: Granada Serie: Granada de los Typic Ustropept
- Localización: Corregimiento de Granada (Sincé) a 100 m margen derecha de la vía que va hacia el municipio de Buenavista.
- Describieron: Isabel Mejía, Arnold Martínez y Heraldo Álviz.
- Fecha de descripción: Octubre 7 de 2003
- Posición geomorfológica: Colina, parte alta
- Altura sobre el nivel del mar: 200 m
- Profundidad efectiva: Superficial
- Nivel freático: Profundo
- Límite de profundidad: Arenisca
- Pendientes: Del 0 – 5%
- Relieve: Ligeramente ondulado
- Drenaje: Interno: lento; externo: moderado; natural: imperfecto
- Vegetación natural: Árboles típicos de la región como totumo, laurel, ñipi – ñipi, campano, roble, matarratón, pastos naturales: coquito, kikuyo.
- Uso actual: Cultivos de pancoger: habichuela, frijol, maíz, yuca, ajonjolí, ñame, etc. Construcción de viviendas rústicas.
- Material parental: Arenisca fina con óxidos de hierro y fiable.
- Horizontes diagnósticos: Epípedon ocrico, endopedón cámbico incipiente.

Ap (0 – 18 cm)	Horizonte franco arcilloso (FAR), de color en húmedo pardo a pardo oscuro (10YR 3.5/3) con manchas en 1% de color pardo amarillas (10YR 5.5/6). Estructura en bloques subangulares, finos a medios, moderados. Consistencia en seco muy dura, friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Abundantes macroorganismos (termitas y lombrices), abundantes raíces finas y muy finas, ligeramente calcáreo
-------------------	--

	y efervescencia visible al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . su límite con el horizonte subyacente es plano y gradual.
AC (18 – 27 cm)	Textura FArL. Color en húmedo amarillo pardo oscuro (10 YR 4.5/4) con 1% de manchas pequeñas y difusas de color pardo amarillo (10 YR 6/8). Estructura en bloques subangulares de medios a gruesos poco desarrollada. Consistencia muy dura en seco, friable en húmedo, adherente y plástico en mojado. Poca presencia de microorganismos. Pocas raíces finas y muy finas. Liger a reacción al HCl (10%), efervescencia visible al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . límite gradual y ondulado con horizonte C.
C (27 – 50 cm)	Horizonte con textura FArL. Color en húmedo oliva (5Y 5/3) con manchas en un 1% de color rojo amarillento (7.5YR 5.5/8) pequeñas y difusas. Estructura en roca. Consistencia muy dura en seco, ligeramente friable en húmedo, ligeramente pegajoso y plástico en mojado. Poca presencia de macroorganismos. Pocas raíces finas y muy finas. Fuertemente calcáreo. Reacción visible al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . límite plano y gradual con la capa R.
R (50 – X)	Capa con textura franco arenosa (FA) gravillosa. De color gris oliva (5Y 5/2), con manchas de color pardo claro (7.5 YR 4.5/6). Estructura de roca, consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente adherente y ligeramente plástico. Reacción ligeramente calcárea.

#### OBSERVACIONES:

- Época de descripción del perfil: invierno
- Temperatura: 29°C
- Número de días que permanece el suelo saturado con agua:
  - Consecutivos: Ninguno
  - Acumulativos: Ninguno
- El horizonte C y la capa R presentan abundantes concreciones de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).

## Anexo I. Análisis de caracterización química y física del suelo natural y tratado con lodo habilitado.



**UNIVERSIDAD DE CORDOBA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLAS**  
**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS**

Propietario: ARNOLD MARTINEZ  
 Finca: CASA FINCA      Corregimiento: GRANADA  
 Vereda:                      Dpto.: SUCRE  
 Municipio: SINCE  
 Recibo de pago No.      Fecha: \_\_\_\_\_  
 Fecha de ingreso muestra      Valor \$ \_\_\_\_\_  
 Muestra No. \_\_\_\_\_

Muestra	pH	M.O.	S	P	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC	Cu	Fe	Zn	Mn	B	D	A	TEXTURA	
																		%A	%L
No identificación	6.98	1.37	85.7	9.5	34.5	5.5	0.50	0.28	-	40.7	0.8	14.0	0.4	50.4					
		D	A	D	A	C	B	B			D	D	D	A					

**INTERPRETACION DE RESULTADOS**  
 A: Contenido Abundante o valor alto pero no excesivo.  
 B: Contenido Suficiente, valor adecuado (bueno).  
 C: Contenido Moderado o valor medio (regular).  
 D: Contenido Deficiente o valor bajo (pobre).  
 E: Contenido Excesivo o valor muy alto, puede ser perjudicial.  
 F: Contenido ínfimo o valor muy bajo (muy pobre).

**ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOLUBLES O SALINIDAD**

MUESTRA	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	PS	CE
No identificación										

RESERVACIONES:

Consulte a un Ingeniero Agrónomo o Profesional del área de Suelos  
  
**ENRIQUE COMETTI**  
 Director del Laboratorio



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## Anexo J. Análisis de caracterización del suelo natural y tratado con lodo habilitado.

### RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004                      Análisis N°: 1 (136 T1)  
Departamento: Sucre                      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada                      Finca:  
Propietario:                                      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.63
Materia Orgánica (%)	2.32
Fósforo (ppm)	129.87
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	21.73
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.63
Magnesio (meq./100 gr suelo)	2.50
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.23
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.05
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	25.90
Saturación de magnesio (%)	11.50
Saturación de sodio (%)	9.43
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.25
Densidad aparente del suelo (g/cm <sup>3</sup> )	1.625
Densidad aparente del lodo (g/cm <sup>3</sup> )	1.03
Densidad real del suelo (g/cm <sup>3</sup> )	2.5

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 2 (136 T2)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.53
Materia Orgánica (%)	2.44
Fósforo (ppm)	93.37
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	21.18
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.22
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.26
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.36
Sodio (meq/100 gr suelo)	1.65
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	24.6
Saturación de magnesio (%)	5.95
Saturación de sodio (%)	7.79
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	4.13

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 3 (136 T3)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.62
Materia Orgánica (%)	2.47
Fósforo (ppm)	118.64
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	22.97
Calcio (meq./100 gr.suelo)	16.25
Magnesio (meq./100 gr suelo)	4.58
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.2
Sodio (meq/100 gr suelo)	1.94
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	70.7
Saturación de magnesio (%)	19.9
Saturación de sodio (%)	8.4
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	3.5

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 4 (102 T1)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.51
Materia Orgánica (%)	2.01
Fósforo (ppm)	115.13
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	20.39
Calcio (meq./100 gr.suelo)	13.25
Magnesio (meq./100 gr suelo)	4.46
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.68
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.0
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	64.9
Saturación de magnesio (%)	21.9
Saturación de sodio (%)	9.8
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.96

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 5 (102 T2)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.69
Materia Orgánica (%)	2.26
Fósforo (ppm)	94.07
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	25.04
Calcio (meq./100 gr.suelo)	15.87
Magnesio (meq./100 gr suelo)	4.13
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.78
Sodio (meq/100 gr suelo)	4.26
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	63.4
Saturación de magnesio (%)	16.5
Saturación de sodio (%)	17
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	3.8

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004                      Análisis N°: 6 (102 T3)  
Departamento: Sucre                      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada                      Finca:  
Propietario:                                      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.59
Materia Orgánica (%)	2.29
Fósforo (ppm)	46.11
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	15.68
Calcio (meq./100 gr.suelo)	6.06
Magnesio (meq./100 gr suelo)	2.83
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.7
Sodio (meq/100 gr suelo)	1.94
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	38.6
Saturación de magnesio (%)	18
Saturación de sodio (%)	12.4
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.14

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 7 (68 – T1)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.59
Materia Orgánica (%)	1.9
Fósforo (ppm)	90.73
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	21.45
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.88
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.57
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.79
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.16
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	27.4
Saturación de magnesio (%)	7.32
Saturación de sodio (%)	10.1
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	3.7

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 8 (68 – T2)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.63
Materia Orgánica (%)	1.94
Fósforo (ppm)	96.67
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	17.01
Calcio (meq./100 gr.suelo)	6.79
Magnesio (meq./100 gr suelo)	3.45
Potasio (meq./100 gr suelo)	1.04
Sodio (meq/100 gr suelo)	5.73
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	39.9
Saturación de magnesio (%)	20.3
Saturación de sodio (%)	33.7
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	1.96

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 9 (68 – T3)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.7
Materia Orgánica (%)	1.8
Fósforo (ppm)	95.56
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	22.0
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.71
Magnesio (meq./100 gr suelo)	2.15
Potasio (meq./100 gr suelo)	1.04
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.16
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	25.9
Saturación de magnesio (%)	9.8
Saturación de sodio (%)	9.82
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.6

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 10 (34.1 T1)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.84
Materia Orgánica (%)	1.59
Fósforo (ppm)	91.78
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	21.18
Calcio (meq./100 gr.suelo)	7.93
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.89
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.35
Sodio (meq/100 gr suelo)	3.03
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	37.44
Saturación de magnesio (%)	8.92
Saturación de sodio (%)	14.31
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	4.20

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 11 (34.1 – T2)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.75
Materia Orgánica (%)	1.57
Fósforo (ppm)	96.11
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	17.33
Calcio (meq./100 gr.suelo)	8.0
Magnesio (meq./100 gr suelo)	4.0
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.44
Sodio (meq/100 gr suelo)	3.2
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	46.2
Saturación de magnesio (%)	23.1
Saturación de sodio (%)	18.5
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.0

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 12 (34.1 – T3)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.81
Materia Orgánica (%)	1.72
Fósforo (ppm)	126.95
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	22
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.91
Magnesio (meq./100 gr suelo)	3.64
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.36
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.31
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	26.9
Saturación de magnesio (%)	16.5
Saturación de sodio (%)	10.5
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	1.6

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 13 (8.5 T1)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.65
Materia Orgánica (%)	1.52
Fósforo (ppm)	83.34
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	13.75
Calcio (meq./100 gr.suelo)	6.44
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.99
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.29
Sodio (meq/100 gr suelo)	4.6
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	46.8
Saturación de magnesio (%)	14.5
Saturación de sodio (%)	33.5
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	3.22

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 14 (8.5 T2)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.59
Materia Orgánica (%)	1.4
Fósforo (ppm)	57.92
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	16.5
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.0
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.47
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.22
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.21
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	30.3
Saturación de magnesio (%)	8.9
Saturación de sodio (%)	13.4
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	3.40

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 15 (8.5 T3)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.73
Materia Orgánica (%)	1.48
Fósforo (ppm)	72.5
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	21.73
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.25
Magnesio (meq./100 gr suelo)	2.67
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.47
Sodio (meq/100 gr suelo)	3.2
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	24.2
Saturación de magnesio (%)	12.3
Saturación de sodio (%)	14.7
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	1.96

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 16 (17.1 T1)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.73
Materia Orgánica (%)	1.52
Fósforo (ppm)	88.19
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	26.4
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.25
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.42
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.27
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.96
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	19.9
Saturación de magnesio (%)	5.4
Saturación de sodio (%)	11.2
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	3.6

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 17 (17.1 T2)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.72
Materia Orgánica (%)	1.55
Fósforo (ppm)	80.59
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	22.83
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.06
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.02
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.23
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.32
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	22.2
Saturación de magnesio (%)	4.47
Saturación de sodio (%)	10.2
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	4.96

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 18 (17.1 T3)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.75
Materia Orgánica (%)	1.49
Fósforo (ppm)	55.49
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	23.1
Calcio (meq./100 gr.suelo)	6.0
Magnesio (meq./100 gr suelo)	2.04
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.35
Sodio (meq/100 gr suelo)	3.76
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	25.97
Saturación de magnesio (%)	8.8
Saturación de sodio (%)	16.3
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.95

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 19 (5 T1)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.76
Materia Orgánica (%)	1.45
Fósforo (ppm)	53.91
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	16.5
Calcio (meq./100 gr.suelo)	5.18
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.09
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.29
Sodio (meq/100 gr suelo)	4.49
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	31.4
Saturación de magnesio (%)	6.6
Saturación de sodio (%)	27.2
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	4.75

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 20 (5 T2)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.81
Materia Orgánica (%)	1.41
Fósforo (ppm)	72.49
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	17.05
Calcio (meq./100 gr.suelo)	7.33
Magnesio (meq./100 gr suelo)	2.76
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.23
Sodio (meq/100 gr suelo)	2.21
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	42.99
Saturación de magnesio (%)	16.2
Saturación de sodio (%)	12.96
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.6

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 21 (5 T3)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.69
Materia Orgánica (%)	1.47
Fósforo (ppm)	51.61
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	19.25
Calcio (meq./100 gr.suelo)	6.12
Magnesio (meq./100 gr suelo)	2.7
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.26
Sodio (meq/100 gr suelo)	3.25
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	37.66
Saturación de magnesio (%)	14
Saturación de sodio (%)	16.88
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.27

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 22 (Testigo 1)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.74
Materia Orgánica (%)	1.12
Fósforo (ppm)	47.49
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	17.88
Calcio (meq./100 gr.suelo)	6.11
Magnesio (meq./100 gr suelo)	2.04
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.12
Sodio (meq/100 gr suelo)	4.46
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	34.2
Saturación de magnesio (%)	11.4
Saturación de sodio (%)	24.9
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	3.0

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 23 (Testigo 2)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.69
Materia Orgánica (%)	1.57
Fósforo (ppm)	94.73
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	21.18
Calcio (meq./100 gr.suelo)	3.68
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.58
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.11
Sodio (meq/100 gr suelo)	1.91
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	17.4
Saturación de magnesio (%)	7.5
Saturación de sodio (%)	9.02
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	2.32

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELOS CARACTERIZACIÓN

Fecha: Nov. de 2004      Análisis N°: 24 (Testigo 3)  
Departamento: Sucre      Municipio: Sincé  
Corregimiento: Granada      Finca:  
Propietario:      Cultivo: Maíz (ICA V-109)

DETERMINACIÓN	VALOR
pH	7.69
Materia Orgánica (%)	1.35
Fósforo (ppm)	35.41
C.I.C. (meq./100 gr .suelo)	16.5
Calcio (meq./100 gr.suelo)	6.06
Magnesio (meq./100 gr suelo)	1.16
Potasio (meq./100 gr suelo)	0.12
Sodio (meq/100 gr suelo)	3.79
Aluminio intercambiable	-
Textura	FAr
Arena (%)	43.32
Arcilla (%)	27.95
Limo (%)	28.73
Saturación de calcio (%)	36.7
Saturación de magnesio (%)	7.03
Saturación de sodio (%)	22.97
Saturación de aluminio (%)	-
Relación Calcio/Magnesio	5.22

ANTONIO TOVAR ORTEGA  
Analizó



# UNIVERSIDAD DE SUCRE

CENTRO DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

## Análisis K. Resultados de análisis de suelos salinidad y sodificación.

**Fecha:** Enero 14 de 2005    **Análisis No.:** 3, 4, 7, 11, 14, 18, 19, 24  
**Departamento:** Sucre    **Municipio:** Sincé  
**Corregimiento:** Granada    **Finca:**  
**Propietario:** Alcaldía de Sincé    **Cultivo:** Maíz

Análisis	Muestras							
	3 (136 T3)	4 (102 T1)	7 (68 T1)	11 (34.1 T2)	14 (8.5 T2)	18 (17.1 T3)	19 (5 T1)	24 (TestigoT3)
pH (Agua 1:1)	7.62	7.51	7.59	7.75	7.59	7.75	7.76	7.59
pH (Extracto de saturación)	7.70	8.05	7.92	7.85	7.75	7.88	7.81	7.90
C.E. x 10 <sup>6</sup> a 25°C (micromhos/cm)	400	620	450	650	600	650	550	440
Salinidad (ppm)	0.0	0.20	0.0	0.20	0.0	0.30	0.10	0.0
C.I.C. (me/lt)	20.9	16.5	21.45	17.33	16.5	23.1	16.5	16.5
Calcio (me/lt)	1.36	2.0	1.60	1.28	1.32	1.16	1.20	1.20
Magnesio (me/lt)	0.51	1.07	0.40	0.32	0.68	0.51	0.93	0.33
Potasio (me/lt)	0.03	0.07	0.03	0.17	0.03	0.10	0.02	0.09
Sodio (me/lt)	1.76	10.26	1.17	3.36	1.91	2.93	1.70	4.32
Carbonatos (me/lt)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bicarbonatos (me/lt)	2.0	2.36	1.90	1.70	2.1	2.0	2.0	2.0
Cloruros (me/lt)	2.5	2.0	2.1	2.5	2.70	2.0	2.0	2.3
Sulfatos (me/lt)	2.60	1.88	2.19	1.88	2.50	1.67	1.98	1.93

\_\_\_\_\_  
 Coordinador de laboratorio

## Anexo L. Análisis de varianza y comparación ortogonal de parámetros biológicos del cultivo y propiedades químicas del suelo

Dependent Variable: MASEHO

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	1518.41672917	216.91667560	24.64	0.0001
Error	16	140.87846667	8.80490417		
Corrected Total	23	1659.29519583			
	R-Square	C.V.	Root MSE		MASEHO Mean
	0.915097	6.488101	2.96730588		45.73458333

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	1518.41672917	216.91667560	24.64	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	103.86793651	103.86793651	11.80	0.0034

Dependent Variable: HUMHO

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	1489.65209583	212.80744226	21.43	0.0001
Error	16	158.91760000	9.93235000		
Corrected Total	23	1648.56969583			
	R-Square	C.V.	Root MSE		HUMHO Mean
	0.903603	5.827550	3.15156310		54.08041667

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	1489.65209583	212.80744226	21.43	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	60.75000079	60.75000079	6.12	0.0250

Dependent Variable: MATERA

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	1893.39166250	270.48452321	27.02	0.0001
Error	16	160.19620000	10.01226250		
Corrected Total	23	2053.58786250			
	R-Square	C.V.	Root MSE		MATERA Mean
	0.921992	5.991840	3.16421594		52.80875000

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	1893.39166250	270.48452321	27.02	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	102.45638413	102.45638413	10.23	0.0056

Dependent Variable: HUMRA

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	1574.32426250	224.90346607	11.86	0.0001
Error	16	303.44740000	18.96546250		
Corrected Total	23	1877.77166250			
	R-Square	C.V.	Root MSE		HUMRA Mean
	0.838400	9.143021	4.35493542		47.63125000

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	1574.32426250	224.90346607	11.86	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	90.25467937	90.25467937	4.76	0.0444

Dependent Variable: PH					
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	0.15218333	0.02174048	6.64	0.0009
Error	16	0.05240000	0.00327500		
Corrected Total	23	0.20458333			
	R-Square	C.V.	Root MSE		PH Mean
	0.743870	0.745718	0.05722762		7.67416667

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	0.15218333	0.02174048	6.64	0.0009
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	0.00108651	0.00108651	0.33	0.5726

Dependent Variable: MO					
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	3.13946667	0.44849524	36.62	0.0001
Error	16	0.19593333	0.01224583		
Corrected Total	23	3.33540000			
	R-Square	C.V.	Root MSE		MO Mean
	0.941256	6.378149	0.11066089		1.73500000

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	3.13946667	0.44849524	36.62	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. Demás	1	0.36698413	0.36698413	29.97	0.0001

Dependent Variable: P					
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	9666.95069583	1380.99295655	4.54	0.0058
Error	16	4862.80306667	303.92519167		
Corrected Total	23	14529.75376250			
	R-Square	C.V.	Root MSE		P Mean
	0.665321	20.52352	17.43345037		84.94375000

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	9666.95069583	1380.99295655	4.54	0.0058
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	1055.60388889	1055.60388889	3.47	0.0880

Dependent Variable: CIC					
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	156.25198333	22.32171190	3.39	0.0205
Error	16	105.43960000	6.58997500		
Corrected Total	23	261.69158333			
	R-Square	C.V.	Root MSE		CIC Mean
	0.597084	13.34653	2.56709466		19.23416667

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	156.25198333	22.32171190	3.39	0.0205
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	39.11142857	39.11142857	5.93	0.0269

Dependent Variable: Ca					
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	105.98806667	15.14115238	1.72	0.1750
Error	16	141.03106667	8.81444167		
Corrected Total	23	247.01913333			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Ca Mean
	0.4290268	41.94367	2.96891254		7.07833333

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	105.98806667	15.14115238	1.72	0.1750
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	10.98285714	10.98285714	1.25	0.2808

Dependent Variable: Mg

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	13.09333333	1.87047619	2.00	0.1186
Error	16	14.95060000	0.93441250		
Corrected Total	23	28.04393333			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Mg Mean
	0.466886	39.72535	0.96665014		2.43333333

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	13.09333333	1.87047619	2.00	0.1186
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	0.91035000	0.91035000	0.97	0.3383

Dependent Variable: K

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	1.66507450	0.23786779	34.70	0.0001
Error	16	0.10966933	0.00685433		
Corrected Total	23	1.77474383			
	R-Square	C.V.	Root MSE		K Mean
	0.938206	20.07458	0.08279090		0.41241667

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	1.66507450	0.23786779	34.70	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	0.05871746	0.05871746	8.57	0.0099

Dependent Variable: Na

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	5.49749583	0.78535655	0.56	0.7794
Error	16	22.55260000	1.40953750		
Corrected Total	23	28.05009583			
	R-Square	C.V.	Root MSE		Na Mean
	0.195988	39.80129	1.18723945		2.98291667

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	5.49749583	0.78535655	0.56	0.7794
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	0.59245714	0.59245714	0.42	0.5260

Dependent Variable: GROTA

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	3.33958333	0.47708333	12.58	0.0001
Error	16	0.60666667	0.03791667		
Corrected Total	23	3.94625000			
	R-Square	C.V.	Root MSE		GROTA Mean
	0.846268	14.03402	0.19472202		1.3875000

Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value	Pr > F
TRAT	7	3.33958333	0.47708333	12.58	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Testigo vs. demás	1	0.23142857	0.23142857	6.10	0.0251

Dependent Variable: LOGHOJ

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value	Pr > F
Model	7	547.34500000	78.19214286	2.90	0.0366
Error	16	430.72000000	26.92000000		

Corrected Total	23	978.06500000				
	R-Square	C.V.	Root MSE			LOGHOJ Mean
	0.559620	12.57044	5.18844871			41.27500000
Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value		Pr > F
TRAT	7	547.34500000	78.19214286	2.90		0.0366
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value		Pr > F
Testigo vs. demás	1	26.79055556	26.79055556	1.00		0.3333
Dependent Variable: ALTPLA						
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value		Pr > F
Model	7	188.08958333	26.86994048	5.62		0.0021
Error	16	76.54666667	4.78416667			
Corrected Total	23	264.63625000				
	R-Square	C.V.	Root MSE			ALTPLA Mean
	0.710748	12.38372	2.18727380			17.66250000
Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value		Pr > F
TRAT	7	188.08958333	26.86994048	5.62		0.0021
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value		Pr > F
Testigo vs. demás	1	34.88642857	34.88642857	7.29		0.0158
Dependent Variable: LONRAPRI						
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value		Pr > F
Model	7	1355.66666667	193.66666667	3.38		0.0206
Error	16	916.33333333	57.27083333			
Corrected Total	23	2272.00000000				
	R-Square	C.V.	Root MSE			LONRAPRI Mean
	0.596684	24.02460	7.56774956			31.50000000
Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value		Pr > F
TRAT	7	1355.66666667	193.66666667	3.38		0.0206
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value		Pr > F
Testigo vs. demás	1	71.62698413	71.62698413	1.25		0.2799
Dependent Variable: NURASE						
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value		Pr > F
Model	7	14.12500000	2.01785714	1.55		0.2208
Error	16	20.83333333	1.30208333			
Corrected Total	23	34.95833333				
	R-Square	C.V.	Root MSE			NURASE Mean
	0.404052	16.39888	1.14108866			6.95833333
Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value		Pr > F
TRAT	7	14.12500000	2.01785714	1.55		0.2208
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value		Pr > F
Testigo vs. demás	1	0.50793651	0.50793651	0.39		0.5411
Dependent Variable: NUHOSE						
Source	DF	Sum of squares	Mean square	F Value		Pr > F
Model	7	13.95833333	1.99404762	4.56		0.0057
Error	16	7.00000000	0.43750000			
Corrected Total	23	20.95833333				
	R-Square	C.V.	Root MSE			NUHOSE Mean
	0.666004	26.90595	0.66143783			2.45833333
Source	DF	Type III SS	Mean square	F Value		Pr > F
TRAT	7	13.95833333	1.99404762	4.56		0.0057
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value		Pr > F
Testigo vs. demás	1	0.87500000	0.87500000	2.00		0.1765

### Anexo M. Materia seca de hojas y raíces.

#### % Materia seca de las raíces

Tratamientos	MS (%)	H (%)
136 T1 P1	67.2	32.8
136 T1 P2	66	34
136 T2 P1	80	20
136 T2 P2	65.38	34.62
136 T3 P1	73	27
136 T3 P2	70.8	29.2
<b>Promedio</b>	<b>70.4</b>	
102 T1 P1	91.4	8.6
102 T1 P2	67.45	32.55
102 T2 P1	53.85	46.15
102 T2 P2	52	48
102 T3 P1	54.1	45.9
102 T3 P2	61.3	38.7
<b>Promedio</b>	<b>63.4</b>	
68.2 T1 P1	55.38	44.62
68.2 T1 P2	54.84	45.16
68.2 T2 P1	53.1	46.9
68.2 T2 P2	60	40
68.2 T3 P1	63.6	36.4
68.2 T3 P2	55.2	44.8
<b>Promedio</b>	<b>57.02</b>	
34.1 T1 P1	61.3	38.7
34.1 T1 P2	53.3	46.7
34.1 T2 P1	56.82	43.18
34.1 T2 P2	47	53
34.1 T3 P1	51.4	48.6
34.1 T3 P2	51	49
<b>Promedio</b>	<b>53.5</b>	
17.1 T1 P1	53.3	46.7
17.1 T1 P2	53.89	46.11

17.1 T2 P1	55.3	44.7
17.1 T2 P2	50.8	49.2
17.1 T3 P1	40.8	59.2
17.1 T3 P2	52.4	47.6
<b>Promedio</b>	<b>51.1</b>	
8.5 T1 P1	48.9	52.1
8.5 T1 P2	48.65	51.35
8.5 T2 P1	49.84	50.16
8.5 T2 P2	49.5	50.5
8.5 T3 P1	48.5	51.5
8.5 T3 P2	50	50
<b>Promedio</b>	<b>49.2</b>	
5 T1 P1	34.89	65.11
5 T1 P2	46.4	53.6
5 T2 P1	42.2	57.8
5 T2 P2	48.4	51.6
5 T3 P1	38.5	61.5
5 T3 P2	48.3	51.7
<b>Promedio</b>	<b>43.1</b>	
Testigo 1 P1	39.5	60.5
Testigo 1 P2	40	60
Testigo 2 P1	39.83	60.17
Testigo 2 P2	37.5	62.5
Testigo 3 P1	42.94	57.06
Testigo 3 P2	40	60
<b>Promedio</b>	<b>39.96</b>	

**% materia seca de las hojas**

<b>Tratamientos</b>	<b>MS (%)</b>	<b>H (%)</b>
136 T1 P1	50.7	49.3
136 T1 P2	62.3	37.7
136 T2 P1	75.6	24.4
136 T2 P2	50.8	49.2
136 T3 P1	60	40
136 T3 P2	57.4	42.6
<b>Promedio</b>	<b>59.5</b>	
102 T1 P1	56.87	43.13
102 T1 P2	49.25	50.75
102 T2 P1	48.48	51.52
102 T2 P2	51.67	48.33
102 T3 P1	57.1	42.9
102 T3 P2	62.5	37.5
<b>Promedio</b>	<b>54.31</b>	
68.2 T1 P1	49.2	50.8
68.2 T1 P2	51.6	48.4
68.2 T2 P1	50.77	49.23
68.2 T2 P2	54.1	45.9
68.2 T3 P1	45	55
68.2 T3 P2	50.8	49.2
<b>Promedio</b>	<b>50.2</b>	
34.1 T1 P1	41.1	58.9
34.1 T1 P2	44.62	55.38
34.1 T2 P1	55.1	44.9
34.1 T2 P2	43.7	56.3
34.1 T3 P1	41.7	58.3
34.1 T3 P2	48.3	51.7
<b>Promedio</b>	<b>45.8</b>	

17.1 T1 P1	35.28	64.72
17.1 T1 P2	43.1	56.9
17.1 T2 P1	46.87	53.13
17.1 T2 P2	38.27	61.73
17.1 T3 P1	49.1	50.9
17.1 T3 P2	42.67	57.33
<b>Promedio</b>	<b>42.5</b>	
8.5 T1 P1	38.6	61.4
8.5 T1 P2	44.62	55.38
8.5 T2 P1	41.31	58.69
8.5 T2 P2	41.9	58.1
8.5 T3 P1	44.55	55.45
8.5 T3 P2	40.2	50.8
<b>Promedio</b>	<b>41.8</b>	
5 T1 P1	38.26	61.74
5 T1 P2	39.86	60.14
5 T2 P1	39.7	60.3
5 T2 P2	35.3	64.7
5 T3 P1	34.7	65.3
5 T3 P2	34.2	65.8
<b>Promedio</b>	<b>37</b>	
Testigo 1 P1	31.9	68.1
Testigo 1 P2	36.2	63.8
Testigo 2 P1	32.55	67.45
Testigo 2 P2	38.8	61.2
Testigo 3 P1	35	65
Testigo 3 P2	33.6	66.4
<b>Promedio</b>	<b>34.7</b>	

### Anexo N. Crecimiento fisiológico de las plantas.

Tratamientos	N° de plantas	Grosor del tallo (cm)	Longitud hoja (cm)	Altura de planta (cm)	Longitud raíz principal (cm)	N° de raíces secundarias	N de hojas secas
136 T1	Planta 1	2.0	54	22	46	6	3
	Planta 2	2.0	57	24	46	5	4
136 T2	Planta 1	2.1	49	23	49	10	4
	Planta 2	2.2	55	22	50	7	5
136 T3	Planta 1	2.2	51	25	50	7	4
	Planta 2	2.5	49	22	45	8	5
102 T1	Planta 1	2.0	37	25	37	7	1
	Planta 2	2.1	40	18	33	9	3
102 T2	Planta 1	1.9	41	16	50	9	0
	Planta 2	2.0	47	18	49	9	3
102 T3	Planta 1	1.2	43	17	29	7	0
	Planta 2	1.3	52	20	30	9	3
68.2 T1	Planta 1	1.5	48	22	32	7	4
	Planta 2	1.2	38	18	28	8	0
68.2 T2	Planta 1	1.3	47	18	20	8	3
	Planta 2	1.2	44	17	23	8	2
68.2 T3	Planta 1	1.0	38	14	43	7	1
	Planta 2	1.3	38.5	16	41	8	3
34.1 T1	Planta 1	1.3	45	23	29	7	1
	Planta 2	1.2	49	20	30	6	4
34.1 T2	Planta 1	1.0	27	14	20	7	2
	Planta 2	1.3	38	17	26	7	3
34.1 T3	Planta 1	1.3	43	19	30	9	0
	Planta 2	1.2	39	17	31	7	4
17.1 T1	Planta 1	1.1	39	16	16	6	2
	Planta 2	1.1	37	15.5	15	8	3

Tratamientos	N° de plantas	Grosor del tallo (cm)	Longitud hoja (cm)	Altura de planta (cm)	Longitud raíz principal (cm)	N° de raíces secundarias	N de hojas secas
17.1 T2	planta 1	1.0	39	18	28	5	1
	Planta 2	1.3	38	16	24	6	6
17.1 T3	Planta 1	1.2	40	18	25	8	3
	planta 2	1.4	42	13	33	7	4
8.5 T1	Planta 1	1.2	50	19	30	9	1
	planta 2	0.8	33	14	33	8	3
8.5 T2	Planta 1	1.1	32	7	24	5	1
	Planta 2	1.1	37	15.5	20	5	2
8.5 T3	Planta 1	1.3	43	16	26	6	4
	Planta 2	1.1	49	14	28	7	1
5 T1	Planta 1	1.2	37.5	13	15	7	2
	Planta 2	1.1	35	14.5	18	7	4
5 T2	Planta 1	1.0	41	14	46	8	3
	Planta 2	1.0	23	17	31	4	2
5 T3	Planta 1	1.0	38	11	20	2	1
	Planta 2	1.0	41	13	18	6	0
Testigo T1	Planta 1	1.1	41	18	34	6	2
	Planta 2	1.3	39	15	36	5	4
Testigo T2	Planta 1	1.0	35	20	36	7	1
	Planta 2	1.0	28	20	30	7	3
Testigo T3	Planta 1	1.1	40	25	28	5	0
	Planta 2	1.0	44	18	21	8	2

## **Anexo Ñ. Análisis de elementos pesados.**

## Anexo O. Tablas para interpretar análisis químicos de suelos

pH	
Valor	Interpretación
4.0 – 5.0	Muy ácido
5.0 – 5.5	Ácido
5.5 – 6.5	Ligeramente ácido
6.5 – 7.5	Casi neutro
7.5 – 8.5	Moderadamente alcalino
> 8.5	Fuertemente alcalino

Fuente: Cortés y Malagón, 1984

C.I.C. (meq/100 gr. suelo)	
Valor	Interpretación
0 – 5	Muy baja
5 – 10	Baja
10 – 20	Mediana
20 – 30	Alta
> 30	Muy alta

Fuente: Cortés y Malagón, 1984

C.O (%)		N. Total (%)		C/N	
Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
0 – 1	Muy bajo	0 – 0.1	Muy bajo	< 7	Muy baja
1 – 1.5	Bajo	0.1 – 0.15	Bajo	7 – 9	Baja
1.5 – 2.5	Medio	0.15 – 0.25	Medio	9 – 12	Media
2.5 – 4.0	Alto	0.25 – 0.30	Alto	12 – 19	Alta
> 4.0	Muy alto	> 0.30	Muy alto	> 20	Muy alta

Fuente: Cortés y Malagón, 1984

Cationes de intercambio (m.e./100 gr. de suelo)

Ca	Mg	K	Na	Apreciación
> 20	> 8	> 2	> 2	Muy alto
10 – 20	3 – 8	0.7 – 2.0	0.7 – 2.0	Alto
5 – 10	1 – 3	0.3 – 0.7	0.3 – 0.7	Mediano
2 – 5	0.3 – 1	0.1 – 0.3	0.1 – 0.3	Bajo
< 2	< 0.3	< 0.2	< 0.1	Muy bajo

Fuente: Cortés y Malagón, 1984

Cationes de intercambio (saturación, %)

Ca	Mg	K	Na	Apreciación
> 40	> 20	> 5	> 15	Muy alto
20 - 40	10 - 20	3 - 5	10 – 15	Alto
10 - 20	5 - 10	1 - 3	1 – 10	Mediano
5 - 10	1 - 5	0.5 – 1.0	< 1.0	Bajo
0 - 5	0 – 1	0 – 0.5		Muy bajo

Fuente: Cortés y Malagón, 1984

<b>Bases totales (m.e./100 gr. de s)</b>	
<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
> 30	Muy Alta
10 – 30	Alta
5 – 10	Mediana
1 – 5	Baja
0 - 1	Muy baja

Fuente: Cortés y Malagón, 1984

<b>Ca/Mg</b>	
<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
> 2	Normal
< 2	Estrecha
1	Igual
< 1	Invertida

Fuente: IGAC, 1963

<b>Fósforo (p.p.m.)</b>	
<b>Valor</b>	<b>Interpretación</b>
> 30	Alto
15 – 30	Mediano
0 – 15	Bajo

Fuente: Cortés y Malagón, 1984

<b>Salinidad (C.E. x 10<sup>3</sup>/25°C)</b>	
<b>Valor</b>	<b>interpretación</b>
< 2	No existen problemas de salinidad
2 – 4	Se afectan cultivos sensibles
4 – 8	El rendimiento desciende en la mayoría de los cultivos
8 – 16	Sólo subsisten cultivos resistentes
> 16	Muy pocas plantas se desarrollan

Fuente: Cortés y Malagón, 1984

Tabla para interpretar concentración de elementos menores en el suelo (p.p.m.)

<b>Elemento</b>	<b>Interpretación</b>				
	<b>Muy bajo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>
Boro	< 0.3	0.4 – 0.7	0.8 – 1.2	1.3 – 2.0	> 2.1
Molibdeno	< 0.05	0.05 – 0.10	0.1 – 0.2	0.2 – 0.4	> 0.4
Hierro	< 10	10 – 20	20 – 30	30 – 50	> 50
Manganeso	< 10	10 – 25	25 – 40	40 – 50	> 50
Zinc	< 1.0	1 – 3	3 – 5	5 – 8	> 8
Cobre	< 1.0	1.0 – 1.50	1.5 – 2.5	2.5 – 3.0	> 3.0

Fuente: García, 1990.

Niveles críticos de azufre en el suelo

<b>Elemento</b>	<b>Niveles críticos (p.p.m.)</b>
S	6 - 12

Fuente: García, 1990.

Niveles críticos de algunos elementos pertenecientes tóxicos para el suelo

<b>Elemento</b>	<b>Valor (mg elemento/Kg. Suelo)</b>
Ni	100
Cr	75 – 10
Cu	25 – 60
Cd	3 – 8
Co	25 – 50
V	50 – 100

Fuente: Who, 1976. Citado por Matamoros y Vargas, 1999.

## Anexo P. Tablas para interpretar niveles de elementos en lodos

Valores medios del componente mineral de lodos de depuradora

Elemento	Composición media (%)	Intervalo (%)
N	3.55	0.44 – 6.00
P	2.75	0.13 – 6.32
K <sub>2</sub> O	0.30	0.05 – 1.10
Ca	7.77	3.10 – 20.12
Mg	0.43	0.10 – 1.06
Na	0.27	0.09 – 1.01

Fuente: Felipó y Seña (1978), citado por Labrador (1996).

Valores medios del componente mineral de lodos de depuradora

Elemento	Composición media (%)	Intervalo (%)
Fe	0.73	0.17- 3.36
Cd	4.10	3.00 – 7.00
Cr	161.90	11.00 – 1954
Cu	258.20	22 – 13.7
Mn	258.40	16 – 103
Ni	42.50	63 – 299
Pb	212.00	64 – 1750
Zn	955.30	8 - 12
Co	10.00	
Hg	10.00	
Mo	28.00	
B	48.00	

Fuente: Felipó y Seña (1978), citado por Labrador (1996).

Normativa legal española sobre el contenido de elementos potencialmente tóxicos de algunos tipos de abonos orgánicos

Tipo de abono	Niveles máximos permitidos (mg elemento/Kg. abono seco)						
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Cr
Abonos orgánicos en general	30	1.500	350	1.000	3.000	20	750
Compost	40	1.750	400	1.200	4.000	25	750
Fangos de depuradora	20*	1.000	300	750	2.500	16	1.000
	40**	1.750	400	1.200	4.000	25	1.500

\* Aplicado a suelos de pH < 7

\*\* Aplicado a suelos de pH > 7

Fuente: Labrador (1996)

Contenido total de micronutrientes en lodos residuales

<b>Micronutrientes</b>	<b>Valor (p.p.m.)*</b>	<b>Valor (p.p.m.)**</b>
Mn	162	18 – 7100
Cu	353	84 – 10400
Zn	1202	100 – 27600
Pb	81.4	13 – 19730
Cd	4.80	3 – 3410
Hg	5.00	1 – 10600
Cr	214	10 - 9900

\* Lodos PTAR, Bucaramanga

\*\* Valores de múltiples orígenes

Fuente: Méndez (1995)

Contenido de macronutrientes, en lodos residuales y del suelo

<b>Macronutrientes</b>	<b>Lodos (promedio en %)</b>	<b>Suelo (Rango en %)</b>
N	1.92	0.14
P	1.56	0.046 – 0.183
K	0.34	0.2 – 2.0
Ca	1.16	0.1 – 2.0
Mg	0.35	0.1 – 5.0

Fuente: