

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN FÍSICO – QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE CUATRO NIVELES DE  
LODOS ORDINARIOS EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST.

**POR:**

MANUEL VICENTE MENDOZA  
JAIRO AARÓN VIGÍL SANCHEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2012



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



EVALUACIÓN FÍSICO – QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE CUATRO NIVELES DE  
LADOS ORDINARIOS EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST.

**POR:**

MANUEL VICENTE MENDOZA  
JAIRO AARÓN VIGÍL SANCHEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2012.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



EVALUACIÓN FÍSICO – QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE CUATRO NIVELES DE  
Lodos ORDINARIOS EN LA ELABORACIÓN DE COMPOST.

**POR:**

MANUEL VICENTE MENDOZA  
JAIRO AARÓN VIGÍL SANCHEZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2012



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO.

**SECRETARIA GENERAL:**

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA.

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

ING. AGR. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA.

**SECRETARIO:**

ING. AGR. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO.

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE.**

---

ING. AGR. ANTONIO SALOMÓN RIVAS MARTÍNEZ.

**DOCENTES DIRECTORES.**

---

ING. AGR. M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO.

---

LICDA. CLAUDIA MARÍA ARRIAZA ALFARO.

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN.**

---

ING. AGR. Y LIC. SABAS ALBERTO ARGUETA PALACIOS.

## RESUMEN

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) genera un aproximado de 60 m<sup>3</sup> de lodos ordinarios por año, y son el resultado del proceso de tratamiento de aguas vertidas al alcantarillado del municipio de San Juan Talpa, departamento de La Paz. La generación creciente de lodos constituye preocupación para ANDA, al tiempo que existe un potencial orgánico para poder ser utilizados en mejoramiento de suelos siendo un insumo de importancia para la agricultura de El Salvador.

La investigación se realizó de Noviembre 2011 a Agosto de 2012, con el objetivo de realizar una evaluación físico – química y microbiológica del compost obtenido a partir de cuatro niveles de lodos ordinarios(L) adicionando material vegetal(V) y estopa de coco como estructurante(E) quedando los tratamientos de la siguiente manera: **T<sub>1</sub>**=L=70%; E=30%; V=0%; **T<sub>2</sub>**=L=60%; E=30%; V=10%; **T<sub>3</sub>**=L=50%; E=30%; V=20%; **T<sub>4</sub>**=L=40%; E=30%; V=30%; realizando cuatro repeticiones por tratamiento con un total de 16 unidades experimentales en un diseño estadístico Completamente al Azar.

Los parámetros físicos evaluados fueron; % de granulometría menor a 16 mm y % de humedad, parámetros químicos evaluados fueron; pH, conductividad eléctrica, % de salinidad, % de nitrógeno total, % de fósforo como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, % de potasio disponible, % de materia orgánica, carbono orgánico, relación C/N. En lo microbiológico los parámetros evaluados fueron; coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, helmintos y protozoarios.

La metodología desarrollada se basó en fases; la primera se le llamo de campo, en la cual se hizo todo el trabajo necesario para llevar a cabo el montaje del experimento, a la segunda fase se le llamo de laboratorio, y se llevo a cabo en el Laboratorio de Química Agrícola de dicho Departamento de la Facultad de Ciencia Agronómicas, en esta se realizaron los análisis físicos – químicos y los microbiológicos se realizaron en un laboratorio privado; los parámetros físico – químicos fueron analizados

estadística y gráficamente, y se utilizó un programa estadístico informático StatGraphic 5.0, con el cual se realizó el ANVA y se aplicó la prueba de rango múltiple Duncan, mediante el contraste de medias de los tratamientos y los parámetros microbiológicos se analizaron realizando una comparación con la Norma Chilena NCH2880 – 2003, ya que el país no cuenta con una Norma establecida, se tomó de referencia dicha Norma, posteriormente se realizó una fase denominada de análisis y discusión de resultados, y se determinó cual de los tratamientos en estudio producía una diferencia significativa.

En cuanto a calidad Físico – Química y Microbiológica de compost, el tratamiento que muestra los mejores resultados es el T3, el cual utilizó 50% de lodo, 30% de estructurante (estopa de coco) y 20% de material vegetal, recomendado este para ser utilizado en agricultura ya sea como abono orgánico o como un mejorador de suelos, se recomienda que ANDA continúe realizando dicho tratamiento en posteriores compostajes y se concluye que si se puede utilizar lodo para elaborar compostaje.

Palabras clave: Lodos ordinarios, compost, estopa de coco, material vegetal, aguas residuales, biosólido.

## AGRADECIMIENTOS

**A nuestra Alma Mater Universidad de El Salvador:** Por permitir nuestra formación como profesionales, y así contribuir al desarrollo de la sociedad salvadoreña.

**A nuestros Asesores:** Ing. Agr. M. Sc. José Mauricio Tejada Asencio y Lic. Claudia María Arriaza Alfaro, por haber aceptado ser nuestros asesores y por permitirnos desarrollar un trabajo de investigación de gran aporte Científico Teórico.

**ANDA:** por darnos el apoyo durante la fase de campo y permitirnos realizar esta investigación, ya que sin su ayuda no hubiera sido posible el desarrollo de esta investigación.

**Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente:** por aceptarnos para realizar dicha investigación, ya que sin sus gestiones pertinentes no hubiese sido posible.

**Departamento de Química Agrícola:** por permitirnos realizar los Análisis de Laboratorio Físicos y Químicos necesarios para la investigación.

**Al Personal Docente y Administrativo:** que alguna u otra manera son parte importante de nuestra formación como profesionales.

**A todos mis compañeros de estudio:** por permitirme compartir buenos y no tan buenos momentos a lo largo de toda la carrera.

**A mis amigos:** Carlos Cuchilla, Carlos Blanco, César Echevoyén, Tania Barillas, Noé Linares, Eddie Vaquerano, Jairo Sánchez, Ronald Martínez y Marcelo Henríquez; que siempre estuvieron ahí.

**A mi compañero de Tesis:** Jairo Sánchez, por hacer el trabajo de investigación conmigo.

**A mis primos:** Rafael, Mauricio, Carolina, César, que siempre creían en mí.

**A mis tías y tíos:** Esperanza, Eulalia, Bernarda, Brígida, María, Celso e Isidro Delgado (Q.D.D.G.), que siempre estaban ahí cuando tenía una duda.

**A toda mi familia:** por apoyarme siempre.

Manuel V. Mendoza.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente a IAHWEH (יְהוָה) mi creador; a mi familia: mi madre Dra. Milagro de la Cruz Sánchez, que con su apoyo incondicional, amor y ejemplo me ha enseñado a salir adelante en la vida, creyendo en mi en cada momento, A mi abuelita: María Teresa Sánchez Flores, que a pesar de ya no estar desde hace 11 años en la dimensión terrenal, creyó en mi y apoyo a mi madre en mi formación desde temprana edad. A mis hermanos: Dr. Carlos Alexander, Ing. Marlon Ebiezer, Lic. Ariel Osmín. Por su apoyo incondicional. A mis tíos: Ana Gladis Rodríguez, Domingo Jesús Sánchez, Pablo Sánchez, Nohemí Sánchez, A Mis sobrinitas: Naara Isabella y Victoria Hadara, a mi sobrino: Enrique Agreda. Y mi cuñada: Marielos Agreda.

Quiero agradecer de manera muy especial a las personas, y a las instituciones que han contribuido para la realización de este trabajo de graduación:

A la **Universidad de El Salvador** a través de la Facultad de Ciencia Agronómicas, por permitirnos formarnos como profesionales con las herramientas necesarias para enfrentar la realidad nacional y ser agentes de cambio para un mejor futuro, Quiero agradecer de igual manera la **Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)**, a través de la Unidad de Gestión Ambiental Región Central, por brindarnos su apoyo logístico.

En especial quiero agradecer al Ing. M. Sc. José Mauricio Tejada Asencio por su apoyo incondicional en toda la realización del proyecto de investigación, sus consejos y asesorías, a Lic. Claudia María Arriaza por su apoyo logístico y asesoramiento técnico a nuestra investigación.

A mis amigos José Roberto Rafaelano y Celia Carolina Yanes que son como hermanos para mí, por su apoyo incondicional y su amistad brinda a lo largo de muchos años, a mis amigos que durante la carrera compartí buenos y malos momentos: César Echevoyen, Tania Barillas, Noé Linares, Manuel Vicente, Carlos Blanco y José María González.

A mis amigos de infancia que siempre han creído en mi con los cuales aun comparto gratos momentos: Oscar Morales, Christopher Cañas, Ricardo Beltranena, Enrique Martínez, José Chicas, Stanley Silva, Sandra Meléndez, Yudira Castellanos, Maira Erroa, y así todos mis amigos que compartieron conmigo educación básica.

A mi compañero de tesis Manuel Vicente Mendoza, por conformar un equipo de trabajo para el desarrollo de esta investigación.

A todos mis profesores de Universidad, Facultad de Ciencias Agronómicas por impartir sus conocimientos que son pilares en el grado obtenido. Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Agronómicas por contribuir a nuestro desarrollo profesional.

Agradezco al Laboratorio de Química Agrícola, los cuales nos brindaron su apoyo en la realización de los análisis de laboratorio.

Al personal de ANDA en especial al Sr. Mónico y su equipo de trabajo los cuales nos apoyaron en el proceso de construcción de la maquina desmenuzadora de coco que sirvió en el montaje de la fase de campo de la investigación, a Lic. Sandra Gudiel por colaborar con la logística de la fase de campo.

Son muchas personas a las que debo agradecimientos, aún aquellas que en el camino fueron como piedras en el camino, sabiendo hoy en día que era para cumplir un propósito; sirva el presente trabajo un beneficio para todos ellos y para las futuras generaciones.

**JAVS ®**

**Jairo Aarón Vigil Sánchez**



## DEDICATORIA

**A DIOS:** Todo poderoso, por darme esta oportunidad de vida y permitirme llegar hasta este momento.

**A MI MADRE:** Guadalupe Mendoza por enseñarme que es lo bueno y lo no tan bueno, por animarme a siempre seguir adelante y no dejarme vencer en las adversidades ya que con la formación que me dio me ayudo a ser mejor persona y aprender a valorar lo que se tiene, gracias por esos consejos que siempre me diste gracias por creer en mí.

**MI HERMANO:** por ayudarme en los momentos que los necesite, por estar siempre en esos momentos de mis alegrías y sobre todo en mis penas, gracias por brindarme apoyo.

**A MIS TÍAS Y TÍOS:** Esperanza, Eulalia, Bernarda, Brígida, María, Celso e Isidro Delgado (Q.D.D.G.), por apoyarme y cuidarme siempre.

**A MI FAMILIA:** porque de una u otra manera me han brindado su apoyo.

Manuel V. Mendoza.

## DEDICATORIA

אֲמוֹנָתְךָ רַבָּה. בְּחַמְלָה נִשְׁמַתִּי בִּי שְׁהַחֲזִירְתָּ. וְקַיִים חַי מְלֻךְ לְפָנֶיךָ אֲנִי (מוֹדָה) מוֹדָה

*Doy gracias ante ti, Oh Rey Vivo y Eterno, por haberme devuelto bondadosamente el alma; Grande es Tu fidelidad*

Quiero dedicar este logro primeramente a IAHWEH (יְהוָה) la razón de mi existir, La Fuente de Luz, El Origen de Todo. Por ayudarme a encontrar en esta vida una razón, un propósito para compartir las capacidades y habilidades que has depositado en mí. Por guiarme en el camino de la vida, y estar pendiente de mi caminar. Es quien me ha sostenido, me ha sustentado y me ha permitido llegar a culminar esta meta.

A mi madre Milagro de la Cruz Sánchez y mi padre por haberme concebido

A mi Madre: Milagro de la Cruz Sánchez de Vigíl, por ser bastión en mi vida, porque aparte de ser el medio para venir a este mundo, es mi compañera, amiga y la mejor madre del mundo al darme de su amor. Te convertiste en madre y padre a la vez para sobrellevar la responsabilidad del hogar y siempre inculcaste en mí y mis hermanos valores y principios para vivir en una sociedad justa, solidaria y más humana, además de los valores espirituales, para ser personas de bien y saber la importancia de la consecuencia de nuestros hechos. Gracias porque en todos estos años has sido un motor para la consecución de este grado académico, es uno de los mayores regalos que has podido darme; gracias por estar pendiente del trabajo desarrollado por las pláticas de días y altas horas de la noche, por tu confianza y porque no me defraudaste nunca. Porque desde muy pequeños nos hiciste partícipes de estudiar en la Alma Máter del cual también tú te graduaste, como una excelente Doctora, por todo lo que has hecho por mí y mis hermanos ¡Te Amo!

A mí estimada y recordada Abuelita: María Teresa Sánchez Flores. Han transcurrido ya 11 años y sigo extrañando su presencia; su ejemplo en integridad, dedicación, cariño y amor queda grabado en nuestros corazones, ha sido un gran privilegio el habernos dedicado su tiempo y enseñanzas. Sé que usted está gozando en la

dimensión que se encuentra e intercede también a favor nuestro. Espero que algún día nos reunamos y celebremos la vida ¡Te Amo Abuelita Tere!

A mis hermanos: Carlos Alexander Vigil Sánchez y familia, por tus sabios consejos, apoyo y amistad. Marlon Ebiezer Vigil Sánchez, por tu amistad, apoyo, Ariel Osmín Vigil Sánchez, por tu amistad, apoyo y por la hermosa sobrina. Hermanos los amo mucho y les deseo lo mejor, les agradezco por estar presentes en mi vida, son parte esencial e importante en el transcurrir de mi vida, vaya pues por ustedes también este logro alcanzado.

A mis tíos que han estado pendientes de nosotros y aún en la distancia han sido como padres. Gracias Tía Gladys y Fabio Rodríguez. Tío Domingo Jesús Sánchez y Jesús Sánchez. Tío Pablo Sánchez y Beatriz Sánchez. Tía Noemí Sánchez de Clara y familia.

A las hermosas princesitas, mis sobrinitas: Naara Isabella Vigil y Victoria Hadara Vigil Agreda y mi sobrino Enrique Agreda, al verlos dan ganas de vivir para verlos crecer y sobre todo de trabajar para que encuentren un mundo mucho mejor del que estamos. A mi cuñada Marielos Agreda de Vigil

A mis amigos José Roberto Rafaelano Colocho, y Celia Carolina Yanes Vilorio, que han sido como hermanos durante el desarrollo de mi carrera, con los cuales hemos compartido muchos momentos gratos.

A mis amigos de infancia: Oscar Morales, Christopher cañas, Ricardo Beltranena, Enrique Martínez, José Chicas, Stanley Silva, Sandra Meléndez, Yudira Castellanos, Maira Erroa, y así todos mis amigos que compartieron conmigo educación básica.

Amigos de la familia que a través de todos estos años han compartido su compañerismo y amistad.

Y al final dedico este trabajo a todas aquellas personas que luchan día a día con aprender, aquellas personas desfavorecidas de nuestra sociedad; espero que algún día no muy lejano puedan ser partícipes de los beneficios de este trabajo.

*Todo tiene un propósito, las buenas oportunidades vienen disfrazadas de malas ocurrencias.  
Todo es para bien.*

☆ ללהיים! Le jaim!

JAVS®

Jairo Aarón Vigíl Sánchez

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>VI</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>X</b>
<b>I. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>2</b>
2.1 ABONOS ORGÁNICOS.....	2
2.2 COMPOST.....	3
2.3 LODOS O BIOSÓLIDOS RESIDUALES.....	4
2.3.1 Composición de los lodos o biosólidos.....	5
2.3.2 Tratamiento de lodos o biosólidos.....	6
2.3.3 Razones para el tratamiento de los lodos.....	7
2.3.4 Manejo de lodos o biosólidos.....	8
2.3.5 Manejo ambientalmente de lodos.....	8
2.3.6 Posible destino de los lodos.....	9
2.4 EL COMPOSTAJE DE LODOS.....	10
2.4.1 Materias primas del compost.....	11
2.4.2 Sistema de compostaje.....	13
2.4.3 Descripción del proceso de compostaje.....	15
2.4.4 Manejo del proceso de compostaje.....	18
2.4.5 Factores que condicionan el proceso de compostaje.....	19
2.4.6 Monitoreo de la pila de compost.....	21
2.5 CALIDAD DEL COMPOST.....	22
2.6 CRITERIOS DE CALIDAD QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA AL VALORAR EL COMPOST PRODUCIDO POR UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	26
2.6.1. Humedad.....	26
2.6.2. Granulometría.....	27
2.6.3. Cuantificación de los contaminantes físicos y tamaño.....	27
2.6.4. Test de Auto – calentamiento.....	27
2.6.5. pH y Conductividad eléctrica (CE).....	28
2.6.6. Materia orgánica total y resistente.....	28
2.6.7. Nitrógeno por método de Kjeldhal.....	28
2.6.8. Nitrógeno No Hidrolizable.....	29
2.6.9. Relación C/N.....	29
2.6.10. Presencia de posibles contaminantes (Inorgánicos y Orgánicos).....	30

2.6.11. Control de patógenos .....	30
2.7 NORMAS DE CALIDAD Y SU CLASIFICACIÓN. ....	31
2.7.1 Clasificación de calidad del compost. ....	31
a) Compost Clase A .....	31
b) Compost Clase B .....	32
c) Compost inmaduro o subestándar .....	32
2.8 REQUISITOS SEGÚN LA NORMA NCH2880 – 2003. ....	32
2.8.1 Requisitos de la materia prima .....	32
2.8.2 Requisitos del producto compostado. ....	33
2.8.2.1 Requisitos sanitarios .....	33
2.8.2.2 Requisitos físico – químicos.....	34
2.8.2.2.1. Olores.....	34
2.8.2.2.2. Humedad.....	34
2.8.2.2.3. Capacidad de rehidratación.....	34
2.8.2.2.4. Metales pesados.....	35
2.8.2.2.5. Conductividad eléctrica.....	35
2.8.2.2.6. Relación (C/N).....	35
2.8.2.2.7. pH.....	36
2.8.2.2.8. Materia Orgánica.....	36
2.8.2.2.9. Tamaño de partículas.....	36
2.8.2.2.10. Impurezas .....	36
2.8.3. Requisitos específicos para compost orgánico. ....	37
2.9 CARACTERÍSTICAS DEL COMPOST. ....	37
2.9.1 Compost maduro. ....	37
2.9.2. Compost joven.....	38
2.10 ESTRUCTURANTE UTILIZADO (ESTOPA DE COCO). ....	38
<b>III MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>40</b>
3.1 METODOLOGÍA DE CAMPO. ....	40
3.1.1. Lugar de Estudio.....	40
3.1.2 Construcción y montaje de maquina procesadora de fibra de coco.....	40
3.1.3 Procesamiento de estructurante (fibra de coco).....	41
3.1.4 Recolección de materias primas para compost (lodo, estructurante, vegetal). ....	41
3.1.5 Montaje de pilas de compost.....	41
3.1.6 Toma de temperatura y volteo del compost.....	43
3.1.7 Toma de muestras de compost para análisis finales.....	44
3.2 METODOLOGÍA DE LABORATORIO.....	44
3.2.1 Preparación de la muestra .....	45

3.2.2 Análisis Físicos .....	45
3.2.3 Análisis Químicos .....	45
3.2.4 Análisis Microbiológicos .....	46
3.3 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA .....	46
3.3.1 Unidades experimentales .....	46
3.3.2 Variables en estudio .....	47
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.. .....</b>	<b>48</b>
4.1 FASE DE CAMPO .....	48
4.2 FASE DE LABORATORIO .....	50
4.2.3 Análisis de Plomo .....	51
4.2.4. Factores Microbiológicos.....	52
4.3 FASE ESTADÍSTICA. ....	53
4.3.1. Factores físicos.....	53
4.3.1.1. Granulometría.....	53
4.3.1.2. % de Humedad.....	55
4.3.2 Factores Químicos.....	57
4.3.2.1 pH.....	57
4.3.2.2. Conductividad eléctrica.....	59
4.3.2.3. Salinidad.....	62
4.3.2.4. Nitrógeno.....	64
4.3.2.5. Fósforo.....	66
4.3.2.6. Potasio.....	68
4.3.2.7. Materia Orgánica.....	71
4.3.2.8. Carbono orgánico.....	73
4.3.2.9. Relación C/N.....	75
4.3.3. Factores Microbiológicos.....	77
4.3.4. Metales Pesados.....	83
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>92</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Propiedades del material resultante (estructurante fibra de coco).....	39
Cuadro 2: Resultados en sacos de 75 lb de compostaje obtenido por unidad experimental.....	48
Cuadro 3: Resultados obtenidos en laboratorio del factor físico por unidad experimental.....	50
Cuadro 4: Resultados obtenidos en laboratorio del factor químico por unidad experimental.....	51
Cuadro 5: Resultados obtenidos en laboratorio análisis de plomo.....	51
Cuadro 6: Resultados obtenidos en laboratorio factor microbiológico por unidad experimental.....	52
Cuadro 7: Resultados de granulometría y ANVA. ....	53
Cuadro 8: Prueba de rango múltiple (Duncan) para % de granulometría menor a 16 mm por tratamientos. ....	54
Cuadro 9: Resultados de humedad y ANVA. ....	55
Cuadro 10: Prueba de rango múltiple (Duncan) para % de humedad por tratamientos. ....	56
Cuadro 11: Resultados de pH y ANVA.....	57
Cuadro 12: Prueba de rango múltiple (Duncan) para pH por tratamientos. ....	59
Cuadro 13: Resultados de conductividad eléctrica y ANVA. ....	59
Cuadro 14: Prueba de rango múltiple (Duncan) para conductividad eléctrica por tratamientos.....	61
Cuadro 15: Resultados de salinidad y ANVA. ....	62
Cuadro 16: Prueba de rango múltiple (Duncan) para salinidad por tratamientos. ....	63
Cuadro 17: Resultados de % de nitrógeno total y ANVA. ....	64
Cuadro 18: Prueba de rango múltiple (Duncan) para % de nitrógeno total por tratamientos.....	66
Cuadro 19: Resultados de % de fósforo y ANVA. ....	66
Cuadro 20: Prueba de rango múltiple (Duncan) para fósforo por tratamientos. ....	68
Cuadro 21: Resultados de potasio disponible y ANVA.....	68



Cuadro 22: Prueba de rango múltiple (Duncan) para potasio disponible por tratamientos.....	70
Cuadro 23: Resultados de % de N, P, y K por tratamiento .....	70
Cuadro 24: Resultados de % de materia orgánica y ANVA. ....	71
Cuadro 25: Prueba de rango múltiple (Duncan) para % de materia orgánica por tratamientos.....	73
Cuadro 26: Resultados de carbono orgánico y ANVA.....	73
Cuadro 27: Prueba de rango múltiple (Duncan) para carbono orgánico por tratamientos.....	75
Cuadro 28: Resultados de relación C/N y ANVA.....	75
Cuadro 29: Prueba de rango múltiple (Duncan) para relación C/N por tratamientos.	77
Cuadro 30: Resultados obtenidos en laboratorio de coliformes totales por tratamiento. ....	78
Cuadro 31: Resultados obtenidos en laboratorio de coliformes fecales por tratamiento: .....	79
Cuadro 32: Resultados obtenidos en laboratorio de <i>Escherichia coli</i> por tratamiento. ....	80
Cuadro 33: Resultados obtenidos en laboratorio de <i>Salmonella</i> por tratamiento.....	81
Cuadro 34: Resultados obtenidos en laboratorio de <i>Shigella</i> por tratamiento.....	81
Cuadro 35: Resultados obtenidos en laboratorio de helmintos por tratamiento. ....	82
Cuadro 36: Resultados obtenidos en laboratorio de protozoarios por tratamiento....	82
Cuadro 37: Resultados obtenidos en laboratorio análisis de plomo.....	83
Cuadro 38: Clasificación de tratamiento 1 del compost elaborado según Nch2880..	84
Cuadro 39: Clasificación de tratamiento 2 del compost elaborado según Nch2880..	85
Cuadro 40: Clasificación de tratamiento 3 del compost elaborado según Nch2880..	86
Cuadro 41: Clasificación de tratamiento 4 del compost elaborado según Nch2880..	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Promedios de temperatura por tratamientos .....	48
Figura 2: Gráfico de valores promedios de granulometría menor a 16 mm .....	54
Figura 3: Gráfico de valores promedio de % de humedad por tratamientos .....	56
Figura 4: Gráfico de valores promedio de pH por tratamientos.....	58
Figura 5: Gráfico de valores promedio de conductividad eléct por tratamientos ..	61
Figura 6: Gráfico de valores promedio de salinidad por tratamientos .....	63
Figura 7: Gráfico de valores promedio de % de nitrógeno total por tratamientos.	65
Figura 8: Gráfico de valores promedio de % de fósforo por tratamientos .....	67
Figura 9: Gráfico de valores promedio de % de potasio por tratamientos.....	69
Figura 10: Gráfico de valores promedio de materia orgánica por tratamientos ....	72
Figura 11: Gráfico de valores promedio de carbono orgánico por tratamientos. ...	74
Figura 12: Gráfico de valores promedio de relación C/N por tratamientos .....	76

## ÍNDICE DE ANEXOS

### Anexos de Contenido.

A – 1. Análisis microbiológicos previos a lodos residuales planta de tratamiento de San Juan Talpa ANDA.....	98
A – 2. Método de análisis de humedad.....	101
A – 3. Método de análisis de pH.....	103
A – 4. Método de análisis de conductividad eléctrica .....	105
A – 5. Método de análisis de nitrógeno .....	107
A – 6. Método de análisis de fósforo.....	110
A – 7. Método de análisis de potasio.....	113
A – 8. Método de análisis de materia orgánica.....	114
A – 9. Método de análisis de carbono orgánico.....	116
A – 10. Método de análisis relación C/N.....	117
A – 11. Materiales, equipo y reactivos utilizados.....	118
A – 12. Resultado de análisis físico – químicos del compost elaborado.....	122
A – 13. Resultado de análisis microbiológico de un tratamiento.....	123
A – 14. Resultado de análisis microbiológico de un tratamiento.....	124

### Anexos de Cuadros.

Cuadro A – 1. Criterios de calidad para el compost.....	125
Cuadro A – 2. Uso del compost para hortalizas.....	125
Cuadro A – 3. Tabla de contenido máximo de elementos traza en materias prima para compostaje. ....	126
Cuadro A – 4. Tabla de requisitos sanitarios de compostaje.....	126
Cuadro A – 5. Tabla de contenido de nutrientes de compost.....	127
Cuadro A – 6. Tabla de concentración máxima de metales pesados en compostaje. ....	127
Cuadro A – 7. Tabla de concentración máxima de metales pesados en compostaje producidos en base a lodo.....	128

Cuadro A – 8. Tabla de concentraciones máximas de metales pesados en compost para agricultura orgánica. ....	128
Cuadro A – 9. Tabla de contenido máximo de impurezas de tamaño $\leq$ a 16 mm. ....	129

### **Anexos de Figuras.**

Figura A – 1. Planta de tratamiento de aguas residuales ANDA. ....	129
Figura A – 2. Máquina desmenuzadora de estopa de coco. ....	129
Figura A – 3. Recolección de estopa de coco. ....	130
Figura A – 4. Procesamiento de estopa de coco. ....	130
Figura A – 5. Elaboracion de compost tecnica del montón. ....	131
Figura A – 6. Volteo de las pilas de compost. ....	131
Figura A – 7. Toma de muestras de compost por tratamiento para análisis físico - químicos y microbiológicos. ....	132
Figura A – 8. Preparación de la muestra para analisis de compost. ....	132
Figura A – 9. Esquema de la planta de tratamiento San Juan Talpa. ....	133

## I. INTRODUCCION

En la actualidad el uso de abonos orgánicos se ha vuelto necesidad entre los agricultores, debido al costo de fertilizantes químicos que afectan su bolsillo.

Los lodos resultantes de los procesos de depuración de aguas residuales en las plantas de tratamiento, representan dificultad para su deposición. Es por ello que se propone la elaboración de compost a base de dichos lodos, ya que en el país no existe un proceso específico para la correcta deposición de estos.

Para conocer la composición del compostaje se decidió realizar análisis de los parámetros físicos: % de granulometría y % de humedad, los parámetros químicos; pH, conductividad eléctrica, % de salinidad, % de nitrógeno total, % de fósforo como  $P_2O_5$ , % de potasio disponible, % de materia orgánica, carbono orgánico, relación C/N. En lo microbiológico los parámetros de: coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Shiguella sp.*, helmintos y protozoarios estos parámetros sirven de referencia para determinar la calidad del mismo.

Este estudio beneficiaría al medio ambiente y ANDA que busca crear una planta de compostaje y con ello ayudar a solucionar así el problema de acumulación de los lodos no utilizados, previendo una posible contaminación, al determinar su composición y características físico – químicas y microbiológicas del compost se tendrá la información técnico-científica que pudieran para ser utilizado en los suelos agrícolas, y con ello beneficiar cooperativas o agricultores de bajos recursos de las zonas aledañas, ayudando en buena medida a reducir la dependencia de uso de fertilizantes químicos y disminuir así los costos de producción.

Los resultados de esta investigación marcan un precedente y generan información básica para futuras investigaciones, ya que en El Salvador actualmente no cuenta con una reglamentación para el manejo, deposición o uso de dichos lodos.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

### 2.1 Abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos; el suelo, con la composición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas (Trinidad 2010).

Antes de que aparecieran los fertilizantes químicos en sus diferentes formas, la única manera de abastecer de nutrimentos a las plantas y reponer aquellos extraídos del suelo por los cultivos, era mediante la utilización de abonos orgánicos. Entre los abonos orgánicos se incluyen compostas, vermicompostas, abonos verdes, residuos de cosechas, residuos orgánicos industriales, de aguas negras y sedimentos orgánicos. Los abonos orgánicos son muy variables en sus características físicas y en su composición química principalmente en el contenido de nutrimentos; la aplicación constante de ellos, con el tiempo mejora las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias del suelo (Trinidad 2010).

La agricultura orgánica se basa en el cultivo de plantas sanas con el empleo de productos naturales o biológicos, y se define como el sistema de producción que excluye el uso de compuestos químicos, sustituyéndolos hasta donde sea posible; este es un sistema de producción muy variable, por lo que no existe un paquete tecnológico establecido para utilizar en el campo. De esta manera el agricultor puede explorar un método original en su finca; además que permite aprovechar al máximo los recursos de la zona y producir bajo conceptos de sostenibilidad, productividad y equilibrio ecológico (Santillán citado por Méndez Torres y Vásquez Alvarenga 2007).

La agricultura orgánica es la mejor alternativa para optimizar la salud de las personas, ya que esta se basa en el no uso de productos químicos los cuales son perjudiciales para la salud humana. Basándose dicha alternativa en la imaginación de los agricultores para nutrir las plantas; no existen recetas específicas, estas

pueden variar de país a país y de continente a continente. Esta forma de producir está basada en el equilibrio natural de sostenibilidad, productividad y ecológico.

La materia orgánica constituye un depósito de nutrientes aun no liberados, pero potencialmente capaz de suministrar sustancias alimenticias a las plantas a medida que se descompone, la materia orgánica retiene nutrientes en contra de la lixiviación. Cuando la materia orgánica se suma a la parte mineral del suelo, se mejora la condición total de la masa del suelo, aumentando la absorción del agua y se mejora la aireación, drenaje y penetración de raíces (Santillán citado por Méndez Torres y Vásquez Alvarenga 2007).

Los residuos orgánicos de las plantas y animales son un reservorio de nutrientes que al ser descompuestos por los microorganismos degradadores, estos los ponen a disposición de las plantas mejorando las características nutricionales, estructurales y de retención de agua en el suelo.

## **2.2 Compost.**

Se define como la descomposición biológica de material orgánico voluminoso en condiciones controladas. El mayor número de microorganismos que participan en el compostaje son las bacterias, hongos y actinomicetos. Estos tres grupos de organismos tienen especies mesófilas y termófilas (Cristales 1990).

Un compost es el producto de la descomposición de material orgánico animal y vegetal en condiciones aeróbicas y en un medio controlado (Cristales 1990).

El compost es un abono orgánico sólido, que se obtienen cuando los microorganismos degradan los residuos orgánicos vegetales o animales en condiciones aeróbicas (con aire), y anaeróbicas (en ausencia de aire). Es un producto asimilable por plantas (INIA 2008).

Existen diversos tipos de compostaje y uno de ellos es en el que se transforma el nitrógeno contenido en el estiércol, en una forma orgánica más estable. Esto trae

como resultado pérdidas muy pequeñas de nitrógeno y el restante es menos susceptible a la pérdida en forma de lixiviación de gases de amonio (Méndez Torres; Vásquez Alvarenga 2007).

Al compostar se logra descomponer el nitrógeno contenido en los residuos orgánicos en formas más fáciles de adsorber para las plantas, como los nitritos y los nitratos.

En el compostaje se pueden utilizar materiales como: hojas secas y verdes, tallos, ramas, estiércol de bovino, papel y lodo de plantas de tratamiento de aguas.

### **2.3 Lodos o biosólidos residuales.**

Los lodos o fangos son aquellos subproductos resultantes de los procesos de tratamiento de las estaciones depuradoras de aguas residuales. Son de gran importancia ya sea por el volumen obtenido y que se incrementa con el aumento de la población, así como por ser una fuente potencial de la materia orgánica, energía, pero si no se le da el adecuado manejo será un grave problema (Torres 2000).

Los lodos provienen ya sea de las lagunas o de las plantas depuradoras, siendo el volumen mayor de producción de lodos en las plantas, debido principalmente al tiempo de retención (Torres 2000).

Salvo en los procesos de aireación prolongada, tanto los lodos del tratamiento primario como los del secundario requieren de un posterior tratamiento (digestión) para su reúso. Con este tratamiento se logra: disminución de materias volátiles, mineralización de la materia orgánica y concentración de lodos (Torres 2000).

Los dos principales problemas que se pueden presentar en los lodos provenientes de las depuradoras de aguas residuales son los metales pesados y la presencia de microorganismos patógenos (Torres 2000).

Los biosólidos son principalmente materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales, también llamados lodos los cuales pueden ser



utilizados en diversos usos beneficiosos. Un ejemplo de tales usos es la incorporación de biosólidos al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno. Esta actividad se conoce como aplicación al terreno. Los biosólidos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación (EPA 2000).

Según Acosta Y. *et al* (s. f.) la aplicación de lodo residual sobre suelo de tipo franco arenoso favorece las condiciones óptimas de materia orgánica, pH, entre otros garantizando el buen funcionamiento de la acción bacteriológica del suelo. De tal forma que puede decirse que el lodo podría cubrir requerimientos mínimos de nutrientes para las plantas.

### **2.3.1 Composición de los lodos o biosólidos.**

La cantidad y composición de los lodos varía según las características de las aguas negras de donde hayan sido retirados y depende, sobre todo del proceso de tratamiento por medio del cual hayan sido obtenidos.

Los lodos obtenidos de un tanque de sedimentación simple son esencialmente los sólidos sedimentables del agua negra cruda y consecuentemente se llaman lodos crudos. Estos lodos suelen ser de color gris, de apariencia desagradable y contienen fragmentos de desperdicios, sólidos fecales y otros desechos, y además tienen un olor nauseabundo.

Los lodos del tanque de sedimentación secundaria de un filtro goteador, consisten de materia orgánica parcialmente descompuesta. Son usualmente de color café oscuro, floculentos de aspecto más homogéneo y tienen menos olor que los lodos crudos.

Usualmente los lodos son tratados con diferentes procesos en la planta ya sean, filtros primarios, secundarios, digestores, sedimentadores, patios de secado entre otros, pasando por estos procesos, lodos sedimentan y se vuelven lodos más concentrados y de mejor aspecto que el normal (Hilleboe 1962).

Los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas son buenos candidatos para el compostaje debido a que su contenido de materia orgánica oscila entre 50% y 70% del total del contenido de sólidos (Banegas *et al* 2007).

### **2.3.2 Tratamiento de lodos o biosólidos**

Los lodos o biosólidos son una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentados. Por su origen reciben el nombre de primarios y secundarios. Por su estado o tratamiento recibido pueden denominarse crudos o frescos, digeridos, elutriados, húmedos o secos. Como con la porción líquida de las aguas negras, debe disponerse de los sólidos contenidos en los lodos, estos deben someterse en general, a algún tratamiento que sea capaz de modificar las características para que pueda disponerse de ellos sin poner en peligro la salud o causar molestias.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales tratan los lodos para modificar las características de estos extrayéndoles el agua y volviéndolos sólidos para poder depositarlos en algún lugar previamente definido.

El tratamiento de lodos constituye una parte fundamental de las plantas de tratamiento y supone un 50% del costo de inversión, además de los costos de mantenimiento y control (Hilleboe 1962).

La tecnología de tratamiento para lodos residuales generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, en Estados Unidos y Europa se realiza utilizando alguno de los siguientes cuatro procesos:

**Digestión anaerobia:** Comprende dos fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>).

**Digestión aerobia:** Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O<sub>2</sub>) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de

síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto – oxidación, reduciendo así el material celular.

Tratamiento químico: Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza.

Incineración: Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo (Oropeza 2006).

### **2.3.3 Razones para el tratamiento de los lodos.**

Los lodos se tratan para facilitar su disposición. Los diversos procesos de tratamiento tienen dos objetivos:

a) Reducción de volumen: pueden obtenerse por un simple espesamiento (con el que la sequedad del producto podrá alcanzar en algunos casos el 10 o muy excepcionalmente, el 20% sin que por ello, pueda manejarse con pala), deshidratación por drenaje natural, escurrido mecánico, secado térmico, o también y como continuación de una deshidratación, por una incineración.

b) Reducción del poder de fermentación o estabilización: Consiste en reducir su actividad biológica (tendencia a la putrefacción) y su contenido de microorganismos causantes de enfermedades. La estabilización puede obtenerse mediante procesos tales como: digestión anaerobia o aerobia, estabilización química, pasteurización, cocción (Oropeza 2006). La estabilización con cal de un lodo líquido se lleva a cabo mediante adición de cal hasta incrementar el pH por encima de 12.0, asegurando que este valor mínimo se mantenga al menos durante un periodo de 2 horas. El lodo puede entonces ser utilizado directamente (Mahamud 1996).

### **2.3.4 Manejo de lodos o biosólidos.**

En muchos países, la utilización del lodo requiere de una infraestructura costosa pero con fines justificados, ya que soluciona problemas de contaminación e incorpora nutrientes reciclando elementos vitales en los ciclos biológicos naturales; además de convertir un residuo peligroso en un recurso aprovechable y no peligroso. Así, la denominada gestión de excelencia destina cada residuo a su tratamiento: reciclaje, composteo, incineración y vertedero (Oropeza 2006).

### **2.3.5 Manejo ambiental de lodos.**

Con lo planteado, la estrategia general que guíe el manejo correcto de lodos debe contener acciones de: prevención, reuso o revalorización y disposición ambiental adecuada de los mismos. La prevención consiste en reducir potencialmente la generación de lodos al reducir la contaminación y uso del agua. El reuso o revalorización del agua y/o contaminantes como de los lodos generados se puede lograr reciclando el agua, metales u otros materiales residuales generados en los procesos de producción, sin embargo; lo que no pueda ser revalorizado debe ser dispuesto finalmente de manera ambiental adecuada y segura (Oropeza 2006).

Dependiendo de los diferentes procesos, pueden presentarse las siguientes alternativas generales:

*a) Lodo peligroso* por la presencia de contaminantes tóxicos de acuerdo a lo establecido en México por la norma NOM – 052 – ECOL – 1993.

*b) Lodo no peligroso*, porque las concentraciones de sus componentes son inferiores a los valores establecidos por la NOM – 052 – ECOL – 1993 o bien por lo que establece la NOM – 004 – SEMARNAT – 2002 en la que se definen la clasificación de los biosólidos como excelente o bueno en función de su contenido de metales pesados, en clase A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos y por último el aprovechamiento de los mismos (Oropeza 2006).

En la Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental, Estándares para la Aplicación y Disposición de Lodos de Aguas Residuales (*40 CFR Part 503 Rule: Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge*), se requiere que los lodos de las aguas residuales sean procesados antes de ser aplicados o incorporados al terreno. Este proceso, denominado “estabilización”, ayuda a minimizar la generación de olores, destruir los agentes patógenos (organismos causantes de diversas enfermedades), y reducir las probabilidades de atracción de vectores. Existen diversos métodos para la estabilización de los sólidos de las aguas residuales, incluyendo, el ajuste del pH, o la estabilización alcalina, la digestión, el compostaje y el secado térmico.

### **2.3.6 Posible destino de los lodos.**

Los lodos procedentes de plantas depuradoras de aguas residuales, Pueden ser utilizados en la recuperación de energía eléctrica, mecánica y calorífica, esto dependerá del poder calorífico que estos posean.

Los lodos también pueden ser destinados al mar debiendo cumplir con estrictas normas de calidad para poder ser vertidos a dicho cuerpo receptor. (Oropeza 2006).

Una de las formas más sustentables de disposición de lodos residuales es la aplicación sobre el suelo, lo cual constituye un método practicado desde hace años y representa una de las alternativas más atractivas ante la dificultad de obtener terrenos suficientes para hacer rellenos sanitarios, las objeciones ambientales que existen para su disposición en el mar y los altos costos que requiere la incineración (Romero 2000).

El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Estos mejoran las características del suelo, tales como la estructura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. La aplicación de biosólidos también provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos o lodos pueden servir también como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos.

Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos, debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales. Existen diversos métodos para la aplicación de biosólidos al terreno. La selección del método depende del tipo de terreno y de la consistencia de los biosólidos (EPA 2000).

El lodo residual, además de actuar sobre el suelo como un fertilizante órgano – mineral, se comporta como un material encalador; por la cantidad de calcio que contiene; lo que contribuye a aumentar el pH del suelo (Acosta Y. *et al* s.f.).

Y finalmente el compostaje es otro destino de los lodos, estos pueden ser utilizados para compostaje sin una digestión previa (Oropeza 2006).

#### **2.4 El compostaje de lodos.**

El compostaje es la descomposición biológica de materia orgánica en condiciones aeróbicas. Los objetivos de compostaje son reducir los agentes patógenos por debajo de los niveles permisibles, degradar los sólidos volátiles, y elaborar un producto útil; la reducción de patógenos es una función del tiempo y la temperatura. El compost de lodos es una manera de cumplir el reglamento de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América que se basan en la reducción de patógenos (EPA 2003).

El compost obtenido a partir de los lodos resultantes de la depuración de aguas residuales son una enmienda orgánica idónea para los cultivos agrícolas y la jardinería. Aporta materia orgánica y macronutrientes y es un mejorante de las propiedades físicas de los suelos, favoreciendo la retención de agua y dando porosidad, cualidades muy interesantes para evitar la desertización del suelo y mantener la riqueza y capacidad de producción agrícola.

Para poder utilizarse en compostaje los fangos de depuradoras y aprovecharse posteriormente deben cumplir con una serie de parámetros de calidad definidos legalmente, fijándose unos límites en cuanto a concentración en metales pesados. Como material soporte para el proceso de compostaje, se utiliza una mezcla de serrines o aserrines procedentes de las industrias de transformación de la madera. Además se han realizado ensayos satisfactorios con otros estructurantes como la cascarilla de arroz y restos de poda de jardines molturada.

Uno de los tratamientos que desde siempre se ha aplicado para estabilizar la materia orgánica es el compostaje. Es un sistema de fundamento sencillo, versátil y puede aplicarse a diferentes tipos de materiales; se le considera económico y ecológico. Se ha comprobado que existe el peligro de confundir sencillez con descontrol o improvisación. El compostaje exige unas condiciones de trabajo que deben cuidarse y unas señales de alerta que tienen que saberse interpretar; en caso contrario deja de ser económico y ambientalmente aceptable aunque la mayoría de materiales orgánicos se puedan compostar, frecuentemente no se aplica el proceso adecuadamente, o no se hace sobre los materiales convenientes para el producto que se pretende obtener. En otras ocasiones, cuando una prueba de compostaje o un tratamiento realizado durante cierto tiempo funciona, se decide variar la escala de trabajo (trabajar con cantidades mucho mayores) sin tomar precauciones ni variar los controles, provocando una disminución de la calidad del producto (Noticias 2011).

#### **2.4.1 Materias primas del compost.**

Cualquier material biodegradable podría transformarse en compostaje una vez transcurrido el tiempo suficiente. No todos los materiales son apropiados para el proceso de compostaje tradicional a pequeña escala. El principal problema es que si no se alcanza una temperatura suficientemente alta los patógenos no mueren y pueden proliferar plagas. Por ello, el estiércol, las basuras y restos animales deben ser tratados en plantas específicas de alto rendimiento y sistemas termofílicos. Estas plantas utilizan sistemas complejos que permiten hacer del compostaje un medio

eficiente, competitivo en coste y ambientalmente correcto para reciclar estiércoles, subproductos y grasas alimentarias, lodos de depuración.

También es necesaria la presencia de celulosa (fuente de carbono) que las bacterias transforman en azúcares y energía, así como las proteínas (fuente de nitrógeno) que permiten el desarrollo de las bacterias. Los restos de comida grasienta, carnes, lácteos y huevos no deben usarse para compostar porque tienden a atraer insectos y otros animales indeseados. La cáscara de huevo, sin embargo, es una buena fuente de nutrientes inorgánicos (sobre todo carbonato cálcico) para el suelo a pesar de que si no está previamente cocida tarda más de un año en descomponerse (Wikipedia 2012).

Para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada. Generalmente estas materias primas proceden de:

Restos de cosechas. Pueden emplearse para hacer compost o como acolchado. Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, son menos ricos en nitrógeno. Abonos verdes, siegas de césped, malas hierbas.

Las ramas de poda de los frutales. Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.

Hojas. Pueden tardar de 6 meses a dos años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales.

Restos urbanos. Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes de las cocinas como pueden ser restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos.

Estiércol animal. Destaca el estiércol de bovino, aunque otros de gran interés son la gallinaza, conejina, estiércol de caballo, o de oveja.

Complementos minerales. Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo (Canovas 1993).



Los materiales tales como virutas de madera, aserrín y estiércol vegetal reciclado se agregan generalmente como "agentes de carga" o "modificaciones" a la mezcla de compost, para proporcionar una fuente adicional de carbono y para controlar el contenido de humedad de la mezcla. Otros agentes de carga utilizados incluyen los residuos de madera, hojas, maleza, estiércol, pasto, paja y papel (Goldstein 1994).

Aunque el aserrín se utiliza con frecuencia para el compostaje en los contenedores, los materiales más gruesos como las virutas de madera, se prefieren a menudo porque permiten una mejor penetración de aire y son más fáciles de eliminar. El compost reciclado se utiliza a menudo como un agente que proporciona volumen, sobre todo si los agentes de carga deben ser comprados. Sin embargo, su uso es limitado debido a que la porosidad disminuye a medida que aumenta la edad del reciclado (Goldstein 1994).

La cantidad de biosólidos y agente de carga que deben combinarse para hacer una compostaje con éxito se basa en un proceso de balance de masas, teniendo en cuenta el contenido de humedad, relación C/N y el contenido de sólidos volátiles.

#### **2.4.2 Sistema de compostaje.**

En los procesos de compostaje existen dos maneras principales para elaborar el proceso de compostaje:

Confinados (en contenedor) de compostaje: Este proceso se lleva a cabo dentro de un contenedor cerrado, lo que minimiza los olores y el tiempo de elaboración al proporcionar un mejor control sobre las variables del proceso. El compostaje en contenedor ha sido eficaz para las operaciones pequeñas.

Compostaje no confinado: Este proceso se realiza en pilas de largo (hileras) o en pilas estáticas. Las actividades que se realizan en los métodos de compostaje no confinado pueden proporcionar oxígeno al abono de las pilas girando a mano o con maquinaria, ya sea el uso de sopladores de aire que puede ser operado en un modo positivo (soplar) o negativo (succión). Para hileras sin aireación mecánica, es típico

voltear el material dos o tres veces por semana, utilizando un cargador frontal en caso de grandes proporciones. Pilas correctamente aireadas, no requieren de volteo (EPA 2000).

El compostaje en pilas es el sistema más antiguo y más sencillo. La operación de este sistema es muy fácil. Después de haber separado todo material foráneo (materiales no biodegradables) de la basura biodegradable que llega al relleno, el material se coloca en pilas triangulares. El tamaño de las pilas es muy importante para el proceso de compostaje. No debe superar en cierto máximo, y tampoco debe quedarse bajo un volumen mínimo. Para asegurar la proliferación de los microorganismos que realizan el compostaje, se necesita una "masa crítica" mínima de 50 - 100 kg de masa biodegradable. Con esa masa ya se puede prender y mantener durante un tiempo suficiente la reacción exotérmica del proceso aeróbico que asegura las temperaturas necesarias para la higienización del material. Esta "masa crítica mínima" es especialmente importante para el compostaje individual. Para la aplicación por municipios es más importante no superar el tamaño máximo de una pila. Las pilas de material biodegradable se deben cubrir con pasto, hojas de planta de banano o material similar para evitar el problema de olor y no atraer las moscas. Una vez por semana se deben mezclar las pilas para airear y homogenizar el material. La mezcla / revuelta del material se puede hacer manualmente con palas. Se debe remover el material de cobertura para la mezcla / revuelta. La biodegradación principal ocurre durante los primeros 3 meses del proceso. Es importantísimo que se haga regularmente la mezcla / revuelta del material y que se controle la humedad. Se puede medir la humedad con un método muy simple, sin instrumentos. Se toma una pequeña cantidad del material en la mano y se aprieta el material. Si salen 2 - 5 gotas de agua, la humedad es buena. Si sale menos agua, se necesita regar; si sale más, el riego debe ser interrumpido o si es por causa de demasiada lluvia, se debe construir un techo para la planta de compostaje. Como el volumen del material disminuye con el progreso de la biodegradación, se pueden combinar dos pilas para hacer una con el fin de economizar el espacio. Si se

combinan pilas, es importante que sean pilas que tengan aproximadamente la misma edad, para no mezclar compost maduro con compost inmaduro (Röben 2002).

En general, suponiendo una aireación adecuada, entre más grande sea la pila es mejor. Una pila más grande tiene menos área de superficie por metro cúbico de contenidos y por lo tanto retiene más el calor que se genera y es menos influenciada por las condiciones ambientales. Pilas más grandes tienden a retener la humedad por más tiempo. La superficie en proporción al volumen tiene un efecto sobre la temperatura de la pila. Suponiendo que otros factores son constantes (por ejemplo, la humedad, la composición, aireación), grandes pilas (con su superficie inferior a la proporción de volumen), retienen más calor que los pequeños montones. La temperatura ambiente tiene un impacto significativo en las operaciones de compostaje (Goldstein 1994).

Una pila típica para una gran operación podría ser de forma triangular en la sección transversal de aproximadamente 3 metros (9 a 10 pies) de alto por 4.5 a 7.5 m de ancho (15 a 25 pies) en la base de 12 a 15 m de largo (39 a 50 pies).

En el compostaje en hileras, la mezcla de compost se apila en largas filas paralelas. En sección transversal, las hileras pueden variar de forma rectangular a trapezoidal con forma triangular, dependiendo del material y el equipo de volteo. Hileras atípicas trapezoidales podrían ser de 1.2 m (4 pies) de alto por 4.0 m (13 pies) en su base y 1.0 m (3 pies) en la parte superior (Haug 1980).

#### **2.4.3 Descripción del proceso de compostaje.**

La adición de un agente de carga a lodos de plantas depuradora proporciona las condiciones óptimas para el proceso de compostaje, que por lo general dura de 3 a 4 semanas. Un agente de carga actúa como una fuente de carbono para el proceso biológico, aumenta la porosidad, y reduce el nivel de humedad. El proceso de compostaje tiene varias fases, incluyendo la fase activa, la fase de curación, y la fase de secado (EPA 2003).

**Fase activa:** Durante la fase activa o de estabilización, los lodos de plantas depuradoras se airean y dichos lodos de aguas residuales se descomponen debido a la actividad biológica acelerada. El proceso biológico implicado en el compostaje puede elevar la temperatura hasta 60°C o más. En estas altas temperaturas, todos los patógenos que causan enfermedades son destruidos. Los sistemas de compostaje en hileras deben cumplir esta condición mediante el logro de 55°C durante un mínimo de 15 días consecutivos durante los cuales la hilera se removió en cinco ocasiones.

El requisito fundamental es que el material en el núcleo de la pila de compost se mantendrá a la temperatura requerida (55°C) durante el tiempo necesario (3 días). Por lo tanto, la primera fase suele durar 21 días. La aireación se realiza en una de dos maneras: 1) por medios mecánicos girando la mezcla de manera que los lodos de depuradora se exponen al oxígeno en el aire, o 2) mediante el uso de sopladores de fuerza o tirar de aire a través de la mezcla (EPA 2003).

**La fase de curado:** Después de la fase activa, el material resultante se cura durante 30 días a 180 días. En este momento, la descomposición adicional, la estabilización, la destrucción de patógenos, y desgasificación se lleva a cabo. El compostaje se considera completo cuando la temperatura del compost retorna a los niveles ambientales. Dependiendo del grado de biodegradación durante la fase activa y la aplicación final del producto terminado, la fase de curado no puede llevarse a cabo como un proceso independiente (EPA 2003).

**Fase de secado:** Después de la fase de curación, puede existir un paso más llamado la fase de secado, que puede variar desde pocos días hasta meses. Esta etapa es necesaria si el material va a ser proyectado de acuerdo con la recuperación o el agente de carga utilizado para el reciclaje o para un producto acabado adicional. Si el producto va a ser comercial, el compost final debe ser de 50% a 60% de sólidos (EPA 2003).

Así mismo otros autores plantean que el proceso de compostaje puede dividirse en cuatro períodos, atendiendo siempre a la evolución de la temperatura:

**Mesofílico.** La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.

**Termofílico.** Cuando se alcanza una temperatura de 40°C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60°C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

**De enfriamiento.** Cuando la temperatura es menor de 60°C, reaparecen los hongos termófilos que re invaden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40°C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

**De maduración.** Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus (Guiberteau y Labrador 1991).

Pérez *et al* (2011), señalan que cuando las temperaturas del sustrato descienden a valores próximos a la temperatura ambiente es porque el material se acerca a la madurez, aunque es necesario considerar otros factores, tales como pH, CIC, relación C/N.

La madurez del compost está relacionado, por un lado, con el nivel de sustancias húmicas mayoritariamente producidas en la última etapa del proceso, y por otro lado con el grado de descomposición de sustancias orgánicas fitotóxicas producidas durante la fase activa del proceso compostaje. Si bien, la madurez del compost se ve afectada por la relativa estabilidad del material, describe el impacto de otras propiedades químicas del compost sobre el desarrollo de las plantas. Un compost maduro, presenta una total ausencia de compuestos potencialmente fitotóxicos. Por lo tanto, un compost inmaduro, pueden presentar altos contenidos de amonio, ácidos orgánicos u otros compuestos hidrosolubles que pueden tener efectos

inhibidores sobre la germinación y el desarrollo radicular de las plantas. Por esta razón la madurez del compost puede ser evaluada a través la relación amonio-nitrato, concentración de amonio, concentración de ácidos grasos, compuestos volátiles y algunos bioensayos a través de plantas o semillas (Callejas 2008).

#### **2.4.4 Manejo del proceso de compostaje.**

Los factores más importantes para el compostaje pueden ser representados de la siguiente manera:

**Mezcla / Revuelta y Movimiento:** Al inicio del proceso de compostaje, el cuerpo de desechos tiene poros de varias dimensiones que son dispersadas de forma heterogénea. El aire (venido de aireación natural o artificial) pasa por las aperturas más grandes. Por consecuencia pueden ocurrir condiciones anaeróbicas en lugares con alta densidad y poros pequeños. La biodegradación anaeróbica no es deseable en una planta de compostaje, por causa de olores fuertes y de impedimento del proceso de biodegradación aeróbico.

Se necesita mezclar/ voltear y mover los desechos frecuentemente y con regularidad para evitar la putrefacción anaeróbica. En plantas semi- mecanizadas, la mezcla o revuelta y el movimiento del material se realiza con ayuda de cargadores; en plantas operadas completamente a mano, ese trabajo se realiza con palas. Una circulación suficiente del aire puede asegurarse solamente si está garantizada una dispersión homogénea.

**Aireación:** Para asegurar una buena aireación, hay que agregar un cierto porcentaje de material grueso. Los materiales gruesos deben agregarse especialmente para estructurar la pila, en general, el suministro de material grueso se puede realizar con la fracción gruesa que había sido separada antes o con la fracción gruesa del compost listo.

La aireación del material puede hacerse con presión o succión. En el caso que se haga un compostaje en pilas, la tubería para la aireación se integra generalmente en el suelo del área de fermentación. Para plantas abiertas es mejor la aireación con succión para impedir una dispersión de emisiones olfatorias. En plantas donde no

hay aireación artificial, el tamaño de las pilas o de las celdas de compostaje está limitado. Para evitar que ocurran condiciones anaeróbicas, se recomienda no formar pilas más altas de 1.5 m, con un corte de triángulo simétrico.

**Humedecimiento o Riego:** Se necesita una humedad entre 40 - 60% (contenido de agua del material) para asegurar una biodegradación óptima. Si es demasiado seco el material, se para el proceso de biodegradación; si es demasiado húmedo, se transforma el proceso en putrefacción anaeróbica incontrolada. Se necesita una humedad entre 40 - 60% (contenido de agua del material) para asegurar una biodegradación óptima. Si es demasiado seco el material, se para el proceso de biodegradación; si es demasiado húmedo, se transforma el proceso en putrefacción anaeróbica incontrolada (Röben 2002).

#### **2.4.5 Factores que condicionan el proceso de compostaje.**

Como se ha comentado, el proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación. Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son:

**Temperatura.** Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35 – 55°C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados.

**Humedad.** En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40 – 60%. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se

produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75 – 85% mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50 – 60% (Cerisola 1989).

El control de la humedad es un factor importante para un efectivo proceso de compostaje. El contenido de agua debe ser controlada para la estabilización efectiva, la inactivación de patógenos, control de olores y la calidad del compost (Benedict 1988).

**pH.** Influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5 – 8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6 – 7,5) (Cerisola 1989).

**Oxígeno.** El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada. (Cerisola 1989). Para una óptima actividad biológica aeróbica, el aire dentro de la pila debe tener los niveles de oxígeno de entre un 5% y 15%. Los niveles más bajos de oxígeno crearán olores y reducirán la eficiencia del compostaje. Una aireación excesiva enfriará la pila, retardará el proceso de compostaje, y no proporcionará los patógenos deseados para la reducción de vectores (Benedict 1988).

**Sólidos Volátiles:** El contenido de sólidos volátiles de los biosólidos debe ser superior al 50% para el compostaje éxito. Este parámetro es un indicador de la energía disponible para la actividad biológica y por lo tanto su compostabilidad (EPA 2002).

**Relación C/N equilibrada.** El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad



es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25 – 35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero (Cerisola 1989).

**Población microbiana.** El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos (Cerisola 1989).

**Tipo de biosólidos.** El tipo de biosólidos usados pueden tener un efecto sobre el proceso de compostaje. El compostaje se puede lograr con biosólidos estabilizados, así como los biosólidos digeridos aeróbicamente y anaeróbicamente. Lodos crudos o no estabilizados tiene un mayor potencial de causar olores porque tienden a tener más energía disponible y por lo tanto, se degradan más fácilmente. Esto puede causar que la pila de compost alcance temperaturas más altas a menos tiempo existiendo un exceso de oxígeno que puede causar malos olores (EPA 2002).

#### **2.4.6 Monitoreo de la pila de compost.**

La masa de compostaje está sujeta a las temperaturas que ayudan a la reducción de patógenos, de no ser así los microorganismos pueden sobrevivir y repoblar la masa una vez las pilas o hileras se enfrían. Por lo tanto, es crucial que las temperaturas se alcancen en la pila completa. Para pilas estáticas aireadas o sistemas en contenedores utilizando procedimientos estáticos, como túneles o en los silos, el control de la temperatura debe representar los puntos a lo largo de la pila, incluidas las zonas que normalmente son las más frías. Como en pilas estáticas aireadas esto

es por lo general las partes bajas del pie de la pila. La temperatura debe ser tomada en muchos lugares y en diferentes profundidades para estar seguro de que el núcleo de la pila mantiene la temperatura requerida. Los registros de la temperatura, fecha y hora deben ser mantenidos y revisados en forma permanente. Los análisis microbianos debe como mínimo tener presente representar a toda la pila de compost, así como los parámetros operacionales tales como la humedad, oxígeno y los demás a considerar, los cuales deben ser monitorizados con una frecuencia necesaria para asegurar que el proceso de compost se está operando dentro de rangos aceptables (Haug 1980).

Para el compostaje, la reducción vectores se logra a través de la degradación de los sólidos volátiles a medida en que los sólidos volátiles son degradados se refleja a menudo la estabilidad de compost. La estabilización requiere tiempo suficiente para que los compuestos orgánicos putrescibles y otras fuentes de alimento potencial para los vectores se descompongan. En esta opción de reducción de vectores, la regulación de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos en la parte 503 exige que los biosólidos se mantengan en condiciones aeróbicas por lo menos 14 días, tiempo durante el cual las temperaturas son superiores a 40°C (104°F), y la temperatura promedio es de más de 45°C (113°F) (Según el artículo 503.33 literal b 5). Estos criterios se basan en estudios que han demostrado que la mayoría de los compuestos altamente putrescibles se descomponen durante los primeros 14 días de compostaje (EPA 2000).

## **2.5 Calidad del compost.**

El concepto de calidad es difícil de definir ya que ha de tener en cuenta múltiples aspectos y además, puede ser siempre muy subjetivo.

Siempre debería considerarse la calidad del compost a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto destinado para su uso en el suelo o como sustrato.

Dentro de los niveles de calidad deben o pueden establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general del compost (de acuerdo con los usuarios potenciales) y además establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino (Soliva 2004).

La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. Los criterios relevantes en la evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno, requerimientos del mercado.

Los productores de compost encuentran ciertas normas innecesariamente restrictivas y los usuarios puede ser que innecesariamente permisivas; no siempre tienen que coincidir la exigencia de los usuarios del compost con las de la sociedad y del entorno.

Un compost de calidad tendrá salida, podrá aplicarse aunque deberá en muchos casos competir con otros materiales (de mejor o peor calidad) debido a la gran variedad de productos compostables y de mezclas posibles se puede obtener compost con calidades y posibilidades de uso muy diversos.

El hecho de que en innumerables casos se haya usado incorrectamente el significado de la palabra compost ha llevado al desprestigio de este producto y a que su uso y su comercialización encuentren serias dificultades. Puede obtenerse por un proceso de compostaje, directamente, o después de estabilizar (también por compostaje) el material generado en un proceso anaerobio.

La estrategia para conseguir una determinada calidad no puede separarse de un planteamiento global de la gestión de los residuos. Debe desarrollarse el mercado del compost a la vez que la conciencia de calidad (Soliva 2004).

Si se quiere potenciar el uso del compostaje y del compost, las plantas de tratamiento han de tener como uno de los objetivos primordiales la obtención del compost, no sólo el tratamiento de residuos. No obstante, en la realidad, no se compostan para obtener un determinado producto si no que se gestionan los residuos con la intención de evitar problemas ambientales y, secundariamente, obtener un producto final (compost); además, esto se lleva a cabo, muchas veces, ignorando los fundamentos biológicos del proceso y obviando la relación entre control del proceso y calidad del producto obtenido. Probablemente esto es debido a falta de: divulgación de la información existente, trabajo coordinado, falta de motivación de especialización de ciertas empresas (Soliva 2004).

Es siempre difícil y muy subjetivo definir la calidad de un producto porque está relacionada con la aptitud del mismo para ser utilizado. ¿Qué aplicaciones va a tener el compost?

Los requerimientos de calidad deberían ir dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables, higienización correcta, muy bajo nivel de impurezas y contaminantes, nivel bueno de componentes agrónomicamente útiles (materia orgánica estabilizada y fitonutrientes) y una cierta constancia de características y todo ello, procurando aprovechar al máximo la potencialidad de los materiales iniciales, evitando todas las posibles vías de contaminación durante el proceso, la generación excesiva de rechazo, así como el consumo superfluo de energía (Soliva 2004).

Al plantear las características finales óptimas para un compost es difícil establecer niveles para el contenido en materia orgánica y los nutrientes ya que dependen mucho de los materiales tratados. En la mayoría de normativas o legislaciones, frecuentemente, sólo se fijan los contenidos en metales pesados, siendo poco exigentes en los parámetros más agrónomicos. La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. En cualquier caso debe hablarse de:

Calidad física: granulometría, capacidad de retención de agua, humedad, presencia de partículas extrañas, olor. Calidad química, en la que aparecen tres vertientes: contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido y velocidad de mineralización de los nutrientes vegetales que contenga y presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos. Calidad biológica: presencia de semillas de malas hierbas y patógenos primarios y secundarios.

Podría también valorarse otros aspectos como calidad ambiental en las plantas, seguridad de los trabajadores y de los futuros usuarios.

También debe controlarse el funcionamiento y los rendimientos de las plantas de compostaje, así como la adecuación de la maquinaria. En la actualidad algunas plantas de compostaje siguen no funcionando bien y otras se están construyendo por considerarse políticamente correcto, pero no por un real convencimiento y preocupación por conseguir que sean rentables (ambiental y económicamente).

Dentro de los niveles de calidad también deberán establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general del compost y, además, establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino. (Cuadro A – 1) (Cuadro A – 2).

En general, se considera necesario establecer los contenidos máximos permitidos de contaminantes para proteger el suelo *de una excesiva contaminación*. Como resultado de esta consideración, todas las legislaciones contemplan y fijan unos niveles de metales pesados permitidos, que varían ampliamente (Soliva 2004).

Consideramos que la finalidad de una normativa sobre calidad del compost debe ir mucho más allá que evitar una *excesiva* contaminación del suelo. El concepto de "excesiva" es subjetivo, y por lo tanto peligroso, y no toma en consideración la

característica principal del compost, a saber: el compost como un producto que aporta una serie de efectos beneficiosos al suelo y los cultivos. Hay normativas como la austríaca que se preocupa de que el compost produzca beneficios a los cultivos; otras que pretenden proteger al suelo de una aplicación excesiva de nutrientes (danesa) y otras como la española actual que se ciñe simplemente a evitar la "contaminación excesiva" por metales. (Cuadro A – 2) (Soliva 2004).

## **2.6 Criterios de calidad que se deben tener en cuenta al valorar el compost producido por una planta de tratamiento.**

Puede hacerse un listado amplio de parámetros a determinar en muestras de compost, puede indicarse cuales se consideran más importantes y por qué, pero no para todos se puede dar un intervalo de valores adecuados o unos contenidos máximos o mínimos. El compost no es como un fertilizante mineral en que se pueden dar valores concretos para contenidos de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o K<sub>2</sub>O. En cualquier caso, al escoger los parámetros que pueden interesar o dar más información ha de hacerse teniendo en cuenta la viabilidad de la aplicación y no olvidando que cualquier interpretación de la composición de un compost precisa unos conocimientos del tratamiento a partir del que se ha obtenido el producto. Debemos preguntarnos si al controlar el producto final también estamos controlando el proceso. A continuación se presentan ciertos criterios de calidad que deben ser tomados en cuenta al valorar la calidad del compost.

### **2.6.1. Humedad.**

Contenidos bajos favorecen el transporte, pero dificultan el manejo y la aplicación por el polvo que se origina, a la vez que puede esconder una baja estabilidad del compost. Además, probablemente una humedad muy baja puede haber provocado un incompleto desarrollo del proceso.

### **2.6.2. Granulometría.**

Está muy relacionada con el aspecto y la facilidad de manejo y puede condicionar su uso. Este parámetro es particularmente importante cuando el destino del material vaya a ser el de substrato. En ciertos casos una granulometría muy fina, además de dar problemas en la utilización (exceso de polvo), puede ser debida a un tratamiento de molturación final para “esconder” cierto tipo de impurezas.

### **2.6.3. Cuantificación de los contaminantes físicos y tamaño.**

Al realizar la granulometría es importante ver y cuantificar las impurezas (plásticos, vidrios, partículas metálicas) que aparecen en las distintas fracciones. Informa de la mala calidad de los materiales iniciales (en el caso de restos municipales y restos vegetales) indica una incorrecta recogida selectiva en origen o una mala separación en planta). Afecta al aspecto y a la aceptación. También una gran cantidad de impropios en los materiales de entrada, provoca que las distintas zonas de la planta de tratamiento estén "sobrecapadas" por materiales sin ninguna utilidad. El contenido en determinados contaminantes físicos entraña peligros en su utilización.

### **2.6.4. Test de Auto – calentamiento.**

El seguimiento de la temperatura a lo largo del compostaje es una de las mejores maneras de controlar el proceso, siempre que se sepan interpretar los cambios. Cuando finaliza la fase de maduración, se espera que la temperatura del material alcance niveles cercanos a los ambientales; si el material no está madurado completamente puede ser que no presente temperaturas elevadas, por distintas razones: humedad muy baja, poca cantidad de material. Si una pequeña cantidad de este material, no suficientemente estabilizado, se mantiene en condiciones de humedad adecuadas en un espacio aislado, como puede ser un vaso DEWAR, puede alcanzar cierta temperatura por autocalentamiento en un determinado intervalo de tiempo. Es un parámetro muy utilizado para medir el grado de estabilidad aunque está sometido a muchos errores debido a las distintas maneras de preparar y manejar las muestras; debe tenerse en cuenta la cantidad de muestra, su humedad y

porosidad entre otros aspectos. Cuando se aplica a muestras inmaduras puede dar resultados muy erróneos ya que puede que la temperatura no aumente debido a que aparecen rápidamente condiciones anaeróbicas dentro del termo.

#### **2.6.5. pH y Conductividad eléctrica (CE).**

Comúnmente, estos parámetros reciben poca atención desde el punto de vista de aplicación, pero es importante tenerlos en cuenta observando el proceso a lo largo del cual sufren variaciones. Por ejemplo pH's ácidos indicarán condiciones anaerobias y pH muy altos están relacionados con el contenido en nitrógeno amoniacal y carbonatos solubles. La conductividad eléctrica es elevada en general en materiales compostados excepto en el caso de haber compostado restos vegetales solos, pero también valores excesivamente elevados pueden relacionarse con un mal control del proceso, con materiales contaminados o con riegos excesivos con lixiviados o con aguas salinas.

#### **2.6.6. Materia orgánica total y resistente.**

Tiene sentido aplicar el compostaje a materiales con proporciones elevadas de materia orgánica. El contenido final será la consecuencia del valor inicial de materia orgánica, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento. Resulta fundamental examinar, en un compostaje, los contenidos inicial y final de materia orgánica para tener idea de la transformación sufrida por el material. Es un parámetro importante en caso de aplicación en el suelo ya que: 1) incidirá, de forma global, sobre todas las propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas); y 2) favorecerá, al mismo tiempo, los ciclos geoquímicos. En caso de ser utilizado como substrato, la materia orgánica influirá así mismo sobre sus propiedades físicas; indispensables conocer además su estabilidad.

#### **2.6.7. Nitrógeno por método de Kjeldhal.**

Existe la posibilidad de determinarlo sobre muestra húmeda o seca, con lo que la información que facilita es distinta. Determinado sobre muestra húmeda indica, a la vez, el contenido en nitrógeno en forma orgánica y amoniacal; en el caso de ser en



muestra seca se obtiene mayoritariamente el contenido en nitrógeno orgánico. Es un parámetro que se valora mucho al aplicar el compost en agricultura, desde diferentes puntos de vista: el económico, el energético y el ecológico. Es discutible si es un parámetro al que se le deba exigir un contenido mínimo ya que depende del tipo de materiales que se composten; pero si se están compostando materiales ricos en nitrógeno deberá controlarse a lo largo del proceso porque su pérdida indica un mal manejo del compostaje.

#### **2.6.8. Nitrógeno No Hidrolizable.**

La determinación de la materia orgánica permite determinar paralelamente el llamado nitrógeno orgánico resistente a la hidrólisis que será difícilmente mineralizable. Se puede considerar un buen índice de la calidad del compost y además aporta información importante de cara a su aplicación. En un buen proceso de compostaje, sus niveles deben incrementarse. Puede expresarse como porcentaje del nitrógeno orgánico total.

#### **2.6.9. Relación C/N.**

El valor numérico de esta relación se halla al dividir el contenido de materia orgánica total dividida entre dos por el contenido en nitrógeno orgánico. Es un parámetro ampliamente usado, pero debe ponderarse correctamente, teniendo siempre presentes otros aspectos del compost analizado. Equivocadamente se considera que el compost está maduro si el cociente C/N se acerca a 10; este valor es el que presenta la materia orgánica estabilizada de un suelo que no tiene por qué corresponder al que presente la materia orgánica estabilizada de un compost. Es necesario conocer la relación C/N inicial en los residuos a compostar puesto que nos dará una idea de la velocidad del proceso y de la posibilidad de pérdidas de nitrógeno.

#### **2.6.10. Presencia de posibles contaminantes (Inorgánicos y Orgánicos).**

Respecto a los contaminantes inorgánicos (metales pesados), existe mucha información bibliográfica (origen, citotoxicidad, acumulación) y, además, resultan más fáciles de determinar que los orgánicos.

La recogida conjunta de todos los componentes de la basura incrementa el contenido final de los metales pesados por dos vías: la directa por mezcla de pequeñas partículas que no son separadas durante la selección y el afinado realizados en las plantas; y la "disolución" provocada por las condiciones ácidas que se crean en determinadas condiciones de almacenaje, debido a las características de la fracción orgánica, como el contenido en metales del compost de restos municipales disminuye al aplicar la recogida selectiva consideramos que la mejor manera de evitar este tipo de contaminación, es fabricar compost de restos municipales solamente en el caso de establecer y realizarse en condiciones correctas la recogida selectiva en origen.

En el caso de compostar lodos de depuradora sólo deberán aceptarse aquellos que contengan niveles muy bajos de metales (no olvidar que a lo largo del proceso se concentran relativamente). Es importante ser estricto en estos aspectos para obtener productos de mejor calidad y proteger el suelo, pero también para obligar a los generadores de aguas residuales, a controlar mucho los vertidos.

Si un compost contiene metales pesados, aunque una buena parte no sea asimilable por la planta rápidamente, quedarán en el suelo acumulados y cuando varíen las condiciones (pH, presencia de sustancias complejantes) pueden pasar a disposición de las plantas.

#### **2.6.11. Control de patógenos.**

El compost debe ser también examinado en los aspectos relacionados con la salud de las personas, animales y vegetales.

Durante el compostaje se alcanzan temperaturas elevadas que prácticamente pueden asegurar la desaparición de patógenos animales y vegetales, siempre que se asegure que toda la masa ha alcanzado estas temperaturas. En la bibliografía y en las normativas se hallan referencias a la necesidad de que se hayan alcanzado temperaturas de 55°C durante un cierto tiempo.

Aunque prácticamente se tenga la seguridad de la higienización es muy aconsejable realizar determinaciones de organismos indicadores como pueden ser la *Salmonella* y *Escherichia coli*.

El mayor riesgo detectado en plantas de compostaje está relacionado con la aspiración de “polvo orgánico” que afecta principalmente a personas con problemas respiratorios o bajas de defensas para controlarlo es importante mantener siempre la humedad adecuada en el material que se voltea, criba o aplica, y tomar las precauciones adecuadas (US Composting Council 2002).

## **2.7 Normas de calidad y su clasificación.**

Existen diferentes normas de calidad según sea el país y al legislación de este incluso pueden variar entre ciudades del mismo a continuación se presenta un resumen de los principales parámetros que establece la Norma Chilena NCH 2880 – 2003 del Instituto Nacional de Normalización sobre el compostaje de lodos o biosólidos generados a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales.

### **2.7.1 Clasificación de calidad del compost.**

De acuerdo a su nivel de calidad el compost se clasifica en las clases siguientes:

#### **a) Compost Clase A**

Producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase A. Este producto no presenta restricciones de uso, debido a que ha sido sometido a un proceso de humificación. Puede ser aplicado a macetas directamente y sin necesidad que sea previamente mezclado con otros materiales.

### **b) Compost Clase B**

Producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para compost Clase B. Este producto presenta algunas restricciones de uso. Para ser aplicado a macetas, requiere ser mezclado con otros elementos adecuados.

### **c) Compost inmaduro o subestándar**

Materia orgánica que ha pasado por las etapas mesofílica y termofílica del proceso de compostaje, donde ha sufrido una descomposición inicial, pero no ha alcanzado las etapas de enfriamiento y maduración necesarias para obtener un compost Clase A o Clase B. Es un producto que se debe mezclar para ser aplicado para no producir hambre de nitrógeno.

## **2.8 Requisitos según la Norma NCH2880 – 2003.**

### **2.8.1 Requisitos de la materia prima**

Las materias primas para el compostaje deben provenir de residuos vegetales y animales que aporten materia orgánica no contaminada para ser procesada.

Se consideran fuentes hábiles de materias primas para compostaje, aquellas que producen, *in situ*, los materiales compostables siguientes:

Residuos orgánicos de la producción agrícola de frutas, hortalizas, legumbres, cereales, fibras, aceites comestibles, tabaco y otros similares.

Residuos orgánicos de industrias de conservas, deshidratados, congelados, envases, industrias de tabaco e industrias de levaduras.

Residuos orgánicos de producción pecuaria primaria.

Residuos orgánicos de industrias de preparación y transformación de carnes, pescado y otros de origen animal.

Residuos orgánicos de la industria azucarera.

Residuos orgánicos de la industria lechera.

Residuos orgánicos de la industria panadera, pastelera y confitera.

Residuos orgánicos de la industria de bebidas alcohólicas y analcohólicas (es la que no supera un grado alcohólico volumétrico adquirido del 1,2% vol., como las bebidas refrescantes de extractos, de zumos de fruta, carbonatadas, aromatizadas). Se excluye residuos de té, café y cacao.

Residuos de industria de reciclaje de papel.

Residuos producto de selección en procesos de la industria de fibras naturales.

Residuos de la industria del cuero que no contengan cromo.

Residuos orgánicos domiciliarios.

Otras que establezca la autoridad competente.

**No se deben incluir como materia prima para compostaje los productos siguientes:**

Residuos de plantas impregnadoras de maderas.

Residuos de baños anti manchas.

Especies utilizadas para la remediación de silos contaminados. d) Otros que establezca la autoridad competente.

Las materias primas para compostaje deben presentar un nivel de elementos traza, no mayor a los valores establecidos. (Cuadro A – 3).

## **2.8.2 Requisitos del producto compostado.**

### **2.8.2.1 Requisitos sanitarios.**

Todas las clases de compost deben cumplir con los requisitos de presencia de patógenos como se establece en la norma. (Cuadro A – 4).

Para los requisitos señalados de Helmintos y virus MS-2 se debe entender que éstos se cumplen si se verifican las condiciones de operación siguientes:

Si se aplica el método de compostaje de apilamiento estático con aireación forzada, la temperatura del compost se debe mantener a un nivel mayor o igual a 55°C, por a lo menos tres días consecutivos. Este nivel de temperatura - tiempo debe

necesariamente alcanzar a toda la masa en compostaje, cuidando que se logre mantener también en la periferia.

Si se aplica el método de compostaje de apilamiento con volteos, la temperatura del compost se debe mantener mayor o igual a 55°C por un período de al menos, tres días consecutivos conseguidos antes de un volteo. Durante el período de compostaje, las pilas deben ser volteadas un mínimo de cinco veces. Como alternativa se puede utilizar temperaturas de 45°C a 50°C por 12 días consecutivos.

La metodología de verificación de cumplimiento de estos requisitos sanitarios es establecida por la Autoridad Competente.

#### **2.8.2.2 Requisitos físico – químicos.**

Todas las clases de compost deben tener contenidos de nutrientes de acuerdo a la norma establecida. (Cuadro A – 5).

##### **2.8.2.2.1. Olores.**

Todas las clases de compost deben presentar olores normales para el producto, debiendo someterse, según la cercanía de las instalaciones de producción a áreas pobladas, a las restricciones que establezca la Autoridad Competente respecto a las emanaciones.

##### **2.8.2.2.2. Humedad.**

Todas las clases de compost elaborado deben presentar un determinado contenido de humedad, y este debe ser mayor o igual al 25% de la masa del producto y menor o igual al contenido de materia orgánica +6, si este contenido es mayor de 40% de la masa del producto si el contenido de materia orgánica es menor de 40% de la masa del producto será +10.

##### **2.8.2.2.3. Capacidad de rehidratación.**

Todas las clases de compost deben presentar una adecuada capacidad de absorción de agua.

#### **2.8.2.2.4. Metales pesados.**

Todas las clases de compost, a excepción de aquellos producidos a partir de lodos, deben cumplir con los requisitos de concentración máxima permitida de metales pesados. (Cuadro A – 6).

Todas las clases de compost producido en base a lodos deben cumplir con los requisitos de concentración máxima permitida de metales pesados. (Cuadro A – 7).

Para la aplicación de compost producido en base a lodos, se debe cumplir asimismo, con los requisitos de aplicación establecidos en el Reglamento para el Manejo de Lodos No Peligrosos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas, para así evitar la acumulación de metales pesados en los suelos.

Todo compost producido para la agricultura orgánica, debe cumplir con los requisitos para productos orgánicos establecidos en la Norma Chilena (NCH2880 – 2003). (Cuadro A – 8).

#### **2.8.2.2.5. Conductividad eléctrica.**

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de conductividad eléctrica siguientes:

Para el compost Clase A, la conductividad eléctrica debe ser menor o igual a 5 mmho/cm.

Para el compost Clase B, la conductividad eléctrica debe ser entre 5 mmho/cm y 12 mmho/cm.

Este requisito no se aplica para los compost inmaduros o subestándar

#### **2.8.2.2.6. Relación (C/N).**

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de relación C/N siguientes:

Para el compost Clase A, la relación C/N debe ser entre 10 y 25.

Para el compost Clase B, la relación C/N debe ser entre 10 y 40.

Para el compost inmaduro o subestándar, la relación C/N debe ser como máximo 50.

NOTA: La relación C/N está expresada como el cociente entre carbono orgánico total y nitrógeno total.

#### **2.8.2.2.7. pH.**

El pH normal del compost debe estar comprendido entre 5,0 y 7,5.

No obstante, si el pH está entre 7,5 y 8,5, la relación de adsorción de sodio (RAS) debe ser menor a 7. Un compost se considera maduro si después de una incubación de 24 h en condiciones anaeróbicas, a una temperatura de 55°C, el pH del producto es mayor a 6. Si el pH es mayor a 7,5 se debe informar en el rótulo el contenido de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).

#### **2.8.2.2.8. Materia Orgánica.**

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de materia orgánica siguientes:

Para el compost Clase A, el contenido de materia orgánica debe ser mayor o igual a 45%.

Para el compost Clase B, el contenido de materia orgánica debe ser mayor o igual a 25%.

Este requisito no se aplica para los compost inmaduros o sub – estándar.

#### **2.8.2.2.9. Tamaño de partículas.**

Para todas las clases de compost, el tamaño máximo de las partículas que lo integran debe ser menor o igual a 15 mm, determinado en su mayor dimensión.

#### **2.8.2.2.10. Impurezas.**

No se permiten impurezas de un tamaño mayor a 15 mm, determinado en su mayor dimensión, en ninguna de las clases de compost.



Para las Clases A y B de compost, la tolerancia de impurezas de tamaño menor o igual a 15 mm no debe superar los valores. (Cuadro A – 9).

Para compost inmaduro o subestándar la tolerancia de impurezas de tamaño menor o igual a 15 mm, no debe superar el 15% de la masa total del producto, sobre base seca. (NCH2880 – 2003) (INN 2003).

### **2.8.3. Requisitos específicos para compost orgánico.**

El compost orgánico debe cumplir con todas las especificaciones que tiene relación con lo establecido por NCH2880 – 2003.

El origen de la materia prima vegetal y animal utilizada para elaborar el compost orgánico debe provenir de cultivos orgánicos y planteles orgánicos extensivos, respectivamente. Se puede ocupar basura domiciliaria siempre y cuando se establezca un sistema de separación de elementos potencialmente contaminantes.

En los lugares de acumulación del residuo animal, se debe evitar la contaminación de las napas freáticas.

Se permiten como aditivos, los insumos autorizados en NCH2880 – 2003.

La relación C/N inicial debe ser entre 25:1 y 40:1 (NCH2880 – 2003).

## **2.9 Características del compost.**

El compost producido en una planta de compostaje o individualmente en el jardín domiciliario, se puede utilizar como abono o como tierra humus. Según la época en la que se aporta a la tierra y el cultivo, pueden encontrarse dos tipos de compost:

### **2.9.1 Compost maduro.**

Es aquel que está muy descompuesto y puede utilizarse para cualquier tipo de cultivo pero para cantidades iguales tiene un valor fertilizante menos elevado que el

compost joven. Se emplea en aquellos cultivos que no soportan materia orgánica fresca o poco descompuesta y como cobertura en los semilleros (INN 2003).

### **2.9.2. Compost joven.**

Está poco descompuesto y se emplea en el abonado de plantas que soportan bien este tipo de compost (patata, maíz, tomate, pepino o calabaza).

La elaboración de mantillo o compost está indicada en los casos en que la transformación de restos de cosechas en el mismo lugar es complicada, debido a que: Existe una cantidad muy elevada de restos de la cosecha anterior, que dificultan la implantación del cultivo siguiente.

Se trata muchas veces de residuos muy celulósicos, con una relación C/N alta, lo que se traduce en un bloqueo provisional del nitrógeno del suelo. Se trata de suelos con escasa actividad biológica y en los que el proceso de humificación va a resultar lento (Guiberteau y Labrador 1991).

Muchas veces hay necesidad de hacer análisis al compost elaborado y también hacer comparaciones con otros análisis realizados y ver el comportamiento de los valores de cada parámetro evaluado.

### **2.10 Estructurante utilizado (estopa de coco).**

El sustrato conocido como "fibra de coco", es un producto natural derivado del fruto de la palmácea o cocotero (*Cocos nucifera*). El fruto del coco está compuesto por: cascara (Mesocarpio y exocarpio), casco o hueso (Endocarpio), albumen o carne (Endospermo)

El mesocarpio o fibra se utiliza en tapicería, fabricación de colchones, cuerdas, etc. Como subproducto o producto residual de la obtención y tratamiento de la fibra de coco, se obtienen unas fibras cortas (2 mm o menores) y el polvo del tejido medular. Por tanto lo que se conoce en horticultura como sustrato de fibra de coco, es una mezcla de fibras cortas y polvo de coco.

La fibra de coco resulta un sustrato ideal para mezclar con cualquier tipo de tierra o bien para utilizar sola en cultivos hidropónico o mezclada como estructurante para compostaje (Rojas 2012).

Cuadro 1. Propiedades del material resultante (estructurante fibra de coco).

<b>Producto final</b>	<b>Características</b>
pH	5.5 – 6.5
Aireación	15 – 35%
Retención de agua	25 – 45%
Capacidad de Intercambio Catiónico	70 – 100 meq/100 gr
Materia Orgánica	94 – 98%
Carbono orgánico	45 – 50%
Relación C/N	80:1

Fuente: Rojas 2012.

El alto contenido de humedad de los lodos nos indica que no pueden ser compostados solos y necesitan ser mezclados con materiales secos (tales como aserrín, desechos vegetales, paja u otros) que actúen como agente estructurante, absorbiendo la humedad y proporcionando a la masa compostada un adecuado grado de esponjamiento y aireación (Banegas *et al* 2007).

### **III MATERIALES Y METODOS.**

Esta investigación se realizó trabajando en conjunto dos instituciones las cuales son Universidad de El Salvador, UES; y Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA; el desarrollo del proyecto se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA; ubicada geográficamente en Latitud Norte 13° 00.00' y Longitud Oeste 89° 12.00', a 200 m.s.n.m. y políticamente en el Caserío y Cantón Veracruz, municipio de San Juan Talpa, departamento de La Paz, la precipitación media anual es de 1744 mm y tiene una temperatura media anual es de 28° C, y una velocidad el viento de 9 km/h (ANDA 1997). Durante el periodo que comprende entre octubre de 2011 y abril de 2012.

#### **3.1 METODOLOGÍA DE CAMPO.**

##### **3.1.1. Lugar de Estudio**

El desarrollo de la fase de campo del proyecto se llevo a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicada en el Municipio de San Juan Talpa; propiedad de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA(Figura A – 1); la fase de laboratorio se realizo en el laboratorio de Química Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador; y el laboratorio Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V. dicha investigación se realizo trabajando en conjunto dos instituciones las cuales son Universidad de El Salvador, UES; y Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, ANDA, durante el período que comprende entre octubre de 2011 a abril de 2012.

##### **3.1.2 Construcción y montaje de maquina procesadora de fibra de coco.**

Al cotizar en el mercado una máquina que desmenuzara la estopa de coco en partículas más pequeñas se elevaban los costos, y al buscar comprar dicha fibra ya desmenuzada también, por esa razón al hablar con el encargado del área de estructuras metálicas de ANDA, el vio factible la posibilidad de construir una máquina que desmenuzara dicha estopa, y solamente se compraron materiales que se

encontraban en cualquier ferretería y que al mismo tiempo reducían los costos, y al cabo de un mes ya estaba construida la desmenuzadora (Figura A – 2), y se hicieron las pruebas para ver el tamaño de las partículas sobre como quedaba la fibra de coco, y al ver que eran de un tamaño aceptable; se procedió a iniciar con la recolección (Figura A – 3) de la estopa de coco para su posterior procesamiento.

### **3.1.3 Procesamiento de estructurante (fibra de coco).**

La máquina fue trasladada a la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de San Luis Talpa, ya que solamente este lugar posee el voltaje que el motor de dicha maquina demanda, y así mismo por la cercanía del lugar al área de montaje. Después se traslado toda la estopa de coco que se pudo encontrar en las ventas de coco cercanas a la carretera y se inicio su procesamiento con el fin de obtener la fibra de coco, así contar con el estructurante necesario para realizar el montaje de las unidades experimentales. (Figura A – 4).

### **3.1.4 Recolección de materias primas para compost (lodo, estructurante, vegetal).**

Para la elaboración del compost, toda la materia prima fue seleccionada y recolectada de lugares aledaños a la zona de montaje de tal manera que los lodos fueron recogidos de los patios de secado y se guardaron para que estuviesen disponibles al momento del montaje. El estructurante fue trasladado de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis Talpa a la planta de tratamiento de aguas residuales de San Juan Talpa, que es el lugar donde se monto el proyecto de investigación, así mismo el material vegetativo fue recolectado de los residuos de podas de zonas verdes de las mismas plantas de tratamiento y de promontorios de hojas secas que dentro de las instalaciones existían.

### **3.1.5 Montaje de pilas de compost.**

Para la realización de este proyecto se tomo la decisión de realizar cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, a dichos tratamientos quedaron así L.E.V. L = lodo, E = estructurante y V = material vegetal, el lodo a utilizar fue proporcionado del que había en la planta obtenido de los patios de secado, dicho lodo se le habían realizado análisis químicos y microbiológicos previos, en los cuales

no presentaba componentes químicos relacionado a metales pesados (CIAN 2011), ni mucho menos microorganismos patógenos que fueran nocivos a la salud humana (A – 1).

El estructurante utilizado fue estopa de coco desmenuzada en partículas de menor tamaño aproximadamente de ½ cm, el material vegetal fueron residuos de grama y hojas verdes picadas. Los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

**T<sub>1</sub>** = L = 70%; E = 30%; V = 0%;

**T<sub>2</sub>** = L = 60%; E = 30%; V = 10%;

**T<sub>3</sub>** = L = 50%; E = 30%; V = 20%;

**T<sub>4</sub>** = L = 40%; E = 30%; V = 30%;

La elaboración del compost se hizo mediante la técnica del montón (Figura A – 5); utilizando los materiales siguientes: estopa de coco desmenuzada en partículas de tamaño pequeño como un estructurante; lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales; material verde como residuos de podas; material seco como hojarascas; colocando primero una capa de estructurante de aproximadamente 5 cm de espesor , posteriormente se colocaron el material vegetal mezclado aproximadamente de 5 centímetros de espesor y por último una capa de lodos del mismo espesor que las anteriores, así sucesivamente hasta lograr una altura de aproximadamente un metro, y formando un trapecio de aproximadamente de 1.20 metros de base inferior y 0.80 metros de base superior, el compostaje se obtuvo en un periodo de 4 meses.

El agente estructurante permanecerá en el producto final ya que sus velocidades de degradación son muy lentas. Por consiguiente, la naturaleza del lodo, y además, el tipo y proporción del agente estructurante usado para el compostaje influencio la velocidad de reacción del proceso y la calidad del producto final, por eso resulta fundamental la caracterización de los materiales a utilizar (Banegas *et al* 2007).

Cada compostera tenía un volumen de 1 m<sup>3</sup> equivalente a 52 cubetas de 5 galones, en cada tratamiento el porcentaje definido representa determinado número de cubetas de la siguiente manera:

T1 = Lodo: 36 cubetas; Estructurante; 16 cubetas; Material Vegetativo: 0 cubetas.

T2 = Lodo: 31 cubetas; Estructurante; 16 cubetas; Material Vegetativo: 6 cubetas.

T3 = Lodo: 26 cubetas; Estructurante; 16 cubetas; Material Vegetativo: 10 cubetas.

T4 = Lodo: 20 cubetas; Estructurante; 16 cubetas; Material Vegetativo: 16 cubetas

Una vez terminada la compostera se cubrió con plástico negro para acelerar su descomposición y evitar también un exceso de humedad por las lluvias. Las 16 unidades experimentales tenían una altura no mayor de 1.0 m y 1.0 m de ancho, para favorecer su manejo. Y para que las unidades experimentales no se vean afectado si hubiesen lluvias y este pueda elevar su temperatura interna y eliminara algunos microorganismos patógenos que pudieran existir en el compost todo el tiempo estuvieron cubiertas solamente se descubrían al momento de darle su volteo.

### **3.1.6 Toma de temperatura y volteo del compost.**

La toma temperatura de las unidades experimentales se inicio a los 3 días del montaje de las mismas, mediante la introducción de un termómetro a una profundidad de 45 cm. en el compost en formación, y se hacía en las 16 unidades experimentales y se sacaba un promedio por tratamiento, estas eran revisadas y se tomaba la temperatura 3 veces por semana lunes, miércoles y viernes.

A partir de los 30 días de iniciado el proceso de compostaje se procedió a realizar volteos (Figura A – 6) tomando como parámetro el tiempo de aproximadamente cada 2 semanas (15 días) y también se tomaba como parámetro la temperatura que se registro en las unidades experimentales, si la temperatura se encontraba arriba de los 60°C se procedió al volteo, con fin de hacer que esta disminuyera y que los microorganismos se mantuvieran en equilibrio favoreciendo la presencia de oxígeno, así mismo se mantuvo la humedad adecuada para que la degradación sea en el

tiempo estimado, obteniendo en 120 días el producto, en este caso el compost. La temperatura ambiental se tomaba mediante un termómetro colocado en la planta de tratamiento.

### **3.1.7 Toma de muestras de compost para análisis finales.**

Al finalizado el proceso de compostaje de cada unidad experimental se tomaron muestras (Figura A – 7), representativas con un aproximado de 6 libras por compostera y fueron rotuladas con el número de muestra y código según su tratamiento, hora, fecha y recolector, la toma de las muestras se hizo con palas de diversos puntos de la compostera, posteriormente fueron enviadas al Laboratorio del Departamento de Química Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agronómicas un total de 16 muestras para ser analizadas sus respectivos parámetros, así mismo se enviaron 16 muestras de compostaje al Laboratorio Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V. para sus respectivos análisis microbiológicos y un análisis de metales pesados para determinar el contenido de plomo

## **3.2 METODOLOGÍA DE LABORATORIO**

Las variables estudiadas en laboratorio fueron; Propiedades Físico – Químicas y Microbiológicas, cabe mencionar que los análisis físico – químicos fueron desarrollados por el equipo de trabajo que presenta dicho tema de investigación apoyados por el personal de Laboratorio del Departamento de Química Agrícola y las propiedad microbiológicas analizadas fueron enviadas a un laboratorio particular de nombre Centro de Control de Calidad Industrial S.A de C.V.

Novillo *et al* (2010), recomienda que los parámetros más destacables a realizarle análisis en lodos son: pH, conductividad eléctrica, humedad, materia orgánica, carbono total, nitrógeno total y relación C/N.



### 3.2.1 Preparación de la muestra

Todas muestras fueron preparadas previamente a los análisis químicos, secándolos a estufa de aire circulante por un periodo de 24 horas a una temperatura constante de 40°C (Figura A – 8).

García *et al* (2006), en sus investigaciones recomienda que una muestra de lodos residual para análisis de metales pesados debe pasar por un periodo de estabilización, homogenización y tamizado por una malla de 2 mm y posteriormente pulverizada con un mortero para poder ser sometida a dichos análisis.

### 3.2.2 Análisis Físicos

Se realizaron dos tipos de análisis físicos el primero es el análisis de humedad el cual fue realizado bajo método gravimétrico (A – 2) y el segundo análisis que se realizo es el granulométrico se realizo bajo el método de tamizaje con uno de 16 mm a criterio de la NCH2880 – 2003 (INN 2003).

### 3.2.3 Análisis Químicos

Se realizaron análisis de nueve parámetros químicos los cuales se detallan a continuación con su respectivo método

- a) **pH:** se realizo bajo el método conductivimetro (A – 3),
- b) **Conductividad Eléctrica:** bajo el método conductivimetro (A – 4),
- c) **Salinidad:** se realizo bajo el método potenciométrico
- d) **Nitrógeno Total:** se realizo bajo el método de Kjeldahl (A – 5),
- e) **Fosforo:** bajo el método de espectrofotometría (A – 6),
- f) **Potasio:** bajo el método del fotómetro de llama (A – 7),
- g) **Materia Orgánica:** bajo el método de calcinación (A – 8),
- h) **Carbono Orgánico:** bajo el método de cálculo en base a la materia orgánica, (A – 9),
- i) **Relación C/N:** bajo el método de cálculo en base a Nitrógeno total y Carbono Orgánico (A – 10).

### 3.2.4 Análisis Microbiológicos

Se realizaron análisis de siete parámetros microbiológicos los cuales fueron enviados al laboratorio particular Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V. dichos parámetros analizados se detallan a continuación con su respectivo método:

- a) **Coliformes Totales:** Se realizó el análisis de coliformes totales bajo el método de análisis Standard Methods, 9221C y E, 21 ed. 2005 Técnica estándar de fermentación.
- b) **Coliformes Fecales:** Se utilizó el análisis de coliformes Fecales bajo el método de análisis Standard Methods, 9221C y E, 21 ed. 2005 Técnica estándar de fermentación.
- c) **Escherichia coli:** Se empleó el análisis de Escherichia coli. Bajo el método de análisis Standard Methods, 9221F, 21 ed. 2005 Técnica estándar de fermentación.
- d) **Protozoarios:** Se hizo el análisis de protozoarios bajo el método de observación directa al microscopio.
- e) **Helminetos:** Se realizó el análisis de helmintos bajo el método de observación directa al microscopio.
- f) **Shiguella:** Se empleó el análisis de Shiguella bajo el método de análisis: APHA cap3 FDA-cap. 5ed. 2005. Método de estría.
- g) **Salmonella:** Se realizó el análisis de salmonella bajo el método de análisis: FDA/CFSAN BAM capítulo 6.

## 3.3 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

### 3.3.1 Unidades experimentales

Se montaron 16 unidades experimentales en un Diseño Experimental Completamente al Azar. Se utilizarán cuatro tratamientos con cuatro repeticiones: L.E.V. = L = Lodo; E = Estructurante; V = Material vegetal.

$T_1 = L = 70\%; E = 30\%; V = 0\%;$

$T_2 = L = 60\%; E = 30\%; V = 10\%;$

$T_3 = L = 50\%; E = 30\%; V = 20\%;$

$T_4 = L = 40\%; E = 30\%; V = 30\%;$

En este caso a los datos obtenidos de los factores físicos y químicos se les realizó un análisis de varianza (ANVA), el cual descompone la varianza en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro del grupo. Y calcula un valor F, que es una relación entre él y entre los grupos de previsiones a la estimación dentro del grupo. Si el P-valor de la prueba F es inferior a 0,05, hay una relación de diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos a un nivel de confianza del 95,0%. Así también para determinar que medias fueron significativamente diferentes una de otra se aplicó un contraste de medias según Duncan.

Los datos de los resultados de los análisis microbiológicos no se les realizó un ANVA, solamente se compararon los datos obtenidos con los datos de la Norma, para así determinar cómo se comportan, si se encuentran bajo la norma o si la exceden.

### **3.3.2 Variables en estudio**

Las variables en estudio son el resultado de desglosar los factores físicos, químicos y microbiológicos

Las variables que se derivan del factor físico son humedad y granulometría.

Las variables que se derivan del factor químico son: pH, conductividad eléctrica, salinidad, nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, carbono orgánico.

Las variables que se derivan de factores microbiológicos son: coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, helmintos y protozoarios.

La NCH 2880 – 2003 no determina valores límite en cuanto a coliformes totales, y coliformes fecales los valores límite deben ser menores a 1000 NMP/g, *Escherichia coli*, no la determina y si son valores bajos determina su equivalente a cero, para *Salmonella*, no la determina, para *Shigella*, debe ser ausencia, para helmintos, no lo determina, y para protozoarios deben estar ausentes.

### **3.4 Materiales, equipo y reactivos utilizados. (Anexo 12)**

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Fase de campo

Dentro de la fase de campo los resultados obtenidos fueron aproximadamente 13 sacos por compostera siendo un total de 207 sacos con capacidad de 70 libras de compostaje, resultante de los cuatro tratamientos y cuatro repeticiones.

Cuadro 2: Resultados en sacos de 75 lb de compost obtenido por unidad experimental.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Total
T 1	12	13	14	12	51
T 2	13	13	14	14	54
T 3	13	14	12	11	50
T 4	14	12	12	14	52
<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>51</b>	<b>207</b>

#### 4.1.1 Resultados de temperatura por tratamiento y temperatura ambiental.

Así mismo durante todo el proceso de compostaje se obtuvieron promedios de temperatura por tratamientos entre 60°C al inicio del compostaje y los 28°C al finalizar el proceso, y se pueden diferenciar las tres fases del compostaje: mesófila, termófila y maduración. (Figura 1).

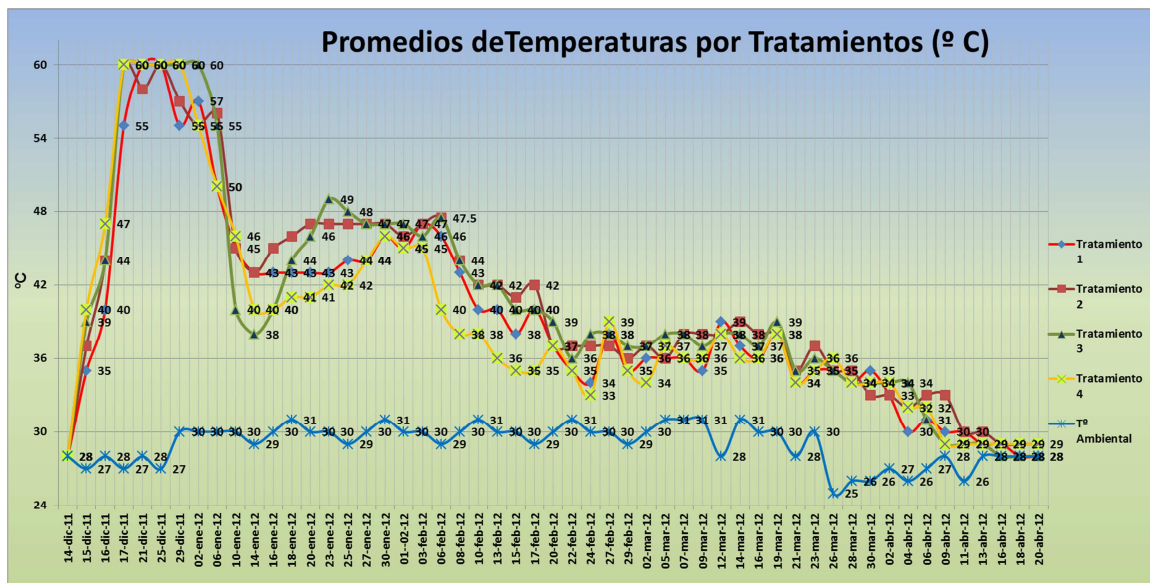


Figura 1: Promedios de temperatura por tratamientos y temperatura ambiental.

En la grafica anterior se observa el comportamiento de la temperatura ambiental y la temperatura promedio por cada tratamiento en estudio, mediante la cual se puede dar cuenta de que al momento del montaje la temperatura era ambiental pero se elevo llegando a valores de más de 60°C, esto debido a que la materia prima había almacenado calor en el tiempo que estuvo guardada después de su procesamiento, y ya que es el momento en el cual se generan los microorganismos mesófilos esta se mantiene por un tiempo de 3 días, después se inician el proceso de descomposición, para dar paso a la fase termófila donde microorganismos terminan de degradar los materiales del compost y tiene una duración aproximada de 58 días, posteriormente se llega a la fase de maduración la cual tuvo una duración de 60 días, en la cual la temperatura se ha reducido a llegar hasta cerca de la temperatura ambiental, por lo tanto se puede decir que la temperatura con respecto al tiempo de las composteras es inversamente proporcional, también al observar el grafico podemos darnos cuenta que la temperatura se comporto de manera que se pudieron reducir los microorganismos que no soportan altas temperaturas. Las fases antes mencionadas las debe cumplir un compost según Guiberteau y Labrador (1991).

Según la NCH 2880 – 2003 se determinó que en cuanto a humedad y granulometría el compost producido es un producto Clase A, ya que cumplió las tres fases de un compost: mesófila, termófila y maduración, y por lo tanto es un compost maduro.

Las cantidades finales obtenidas por unidad experimental reflejan que cada compostera sufrió un proceso de degradación o descomposición ya que al inicio para cada unidad experimental se necesito aproximadamente 18 sacos de material. Entre las características que indican la madurez del producto final se observo degradación de material vegetal en partículas pequeñas de coloración oscura, en el lodo se observo cambio en la estructura y un olor a tierra, y en la estopa se observo un cambio en la coloración de amarillo a café oscuro; y en general el producto presentaba una buena apariencia física en cuanto a la mezcla y estructuración de agregados.

## 4.2 Fase de Laboratorio

Dentro de la fase de laboratorio obtuvo resultados de los factores físicos, químicos y microbiológicos y sus respectivas variables de cada una de las 16 unidades experimentales, que a continuación se detallan.

### 4.2.1 Factores Físicos

Cuadro 3: Resultados obtenidos en laboratorio del factor físico por unidad experimental.

Muestras (Mx)	% de Granulometría menos a 16mm	% de Humedad
T1 R1	86.72	45.38
T1 R2	87.00	45.56
T1 R3	90.42	44.20
T1 R4	89.79	43.95
T2 R1	89.70	44.51
T2 R2	88.62	43.85
T2 R3	89.71	42.93
T2 R3	89.23	44.47
T3 R1	86.75	44.82
T3 R2	89.46	46.06
T3 R3	89.55	46.15
T3 R4	90.63	44.91
T4 R1	86.79	50.38
T4 R2	79.48	48.58
T4 R3	86.66	49.66
T4R4	82.37	46.23

Fuente: Laboratorio de Química Agrícola, Departamento de Química Agrícola, Analizado por: Manuel Mendoza, Jairo Vigil; Asesorado por: Lic. Yanira de Linares, Lic Norbis Solano. Año 2012.

#### 4.2.2. Factores Químicos

Cuadro 4: Resultados obtenidos en laboratorio del factor químico por unidad experimental.

Muestra (Mx)	pH	CE (dS/m)	Salinidad %	N Total %	P2O5 %	K dispo %	MO %	CO %	Rela. C/N
T1 R1	4.70	3.76	2.1	3.1	0.20	0.09	44.55	24.75	7.88
T1 R2	4.72	2.95	1.6	3.1	0.21	0.07	48.73	27.07	8.75
T1 R3	4.79	3.78	2.2	2.6	0.20	0.09	40.68	22.60	8.63
T1 R4	4.78	2.83	1.6	2.1	0.21	0.10	36.33	20.18	9.46
T2 R1	4.81	3.74	2.1	2.7	0.26	0.10	43.93	24.40	9.46
T2 R2	4.77	3.76	2.1	2.6	0.22	0.09	44.93	24.96	9.43
T2 R3	4.88	3.81	2.2	2.2	0.21	0.10	51.39	28.55	9.50
T2 R3	4.69	3.94	2.2	2.3	0.23	0.12	38.89	21.61	9.50
T3 R1	4.89	3.51	1.8	2.1	0.28	0.13	51.55	28.64	13.33
T3 R2	4.95	3.02	1.7	2.2	0.20	0.13	52.43	29.13	13.13
T3 R3	4.93	3.21	1.7	2.6	0.27	0.12	43.60	24.22	9.47
T3 R4	4.97	3.71	2	2.4	0.21	0.10	45.88	25.49	10.81
T4 R1	4.76	3.64	1.9	2.5	0.32	0.13	54.86	30.48	12.32
T4 R2	4.74	4.06	2.2	2.6	0.20	0.15	47.13	26.18	10.06
T4 R3	4.91	4.22	2.3	2.3	0.22	0.04	52.99	29.44	12.55
T4 R4	4.82	3.42	1.9	2.7	0.19	0.13	47.25	26.25	9.56

Fuente: Laboratorio de Química Agrícola, Departamento de Química Agrícola, Analizado por: Manuel Mendoza, Jairo Vigil; Asesorado por: Lic. Yanira de Linares, Lic Norbis Solano. Año 2012.

#### 4.2.3 Análisis de Plomo

Cuadro 5: Resultados obtenidos en laboratorio análisis de plomo.

Muestra	Plomo Total mg/Kg
T1-4 R1-4	<0.010

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Mahamud (1996), reporta que el valor máximo permisible de plomo contenido en un biosólido o lodo es de entre 750 – 1200 mg/kg.

#### 4.2.4. Factores Microbiológicos.

Cuadro 6: Resultados obtenidos en laboratorio factor microbiológico por unidad experimental.

Muestra (Mx)	Coliformes Totales (NMP/g)	Coliformes Fecales (NMP/g)	Escherichia coli. (NMP/g)	Helmintos	Protozoarios	Salmonella (UFC/25 g)	Shiguella (UFC/25 g)
T1R1	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T1R2	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T1R3	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T1R4	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T2R1	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T2R2	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T2R3	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T2R4	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T3R1	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T3R2	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T3R3	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T3R4	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T4R1	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10**	< 10**
T4R2	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T4R3	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **
T4R4	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	Ausencia	Ausencia	< 10 **	< 10 **

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

\*Valores < a 1.8 es igual a o (cero) (Stándar Methods for examination wáter and wastewater )

\*\* Valores < a 10 es igual a o (cero) (Stándar Methods for examination wáter and wastewater )

Mahamud (1996), reporta que el valor máximo permisible de coliformes fecales contenido en un biosólido o lodo debe ser menor a 1000 NMP o UFC/g.



### 4.3 Fase Estadística.

#### 4.3.1. Factores físicos.

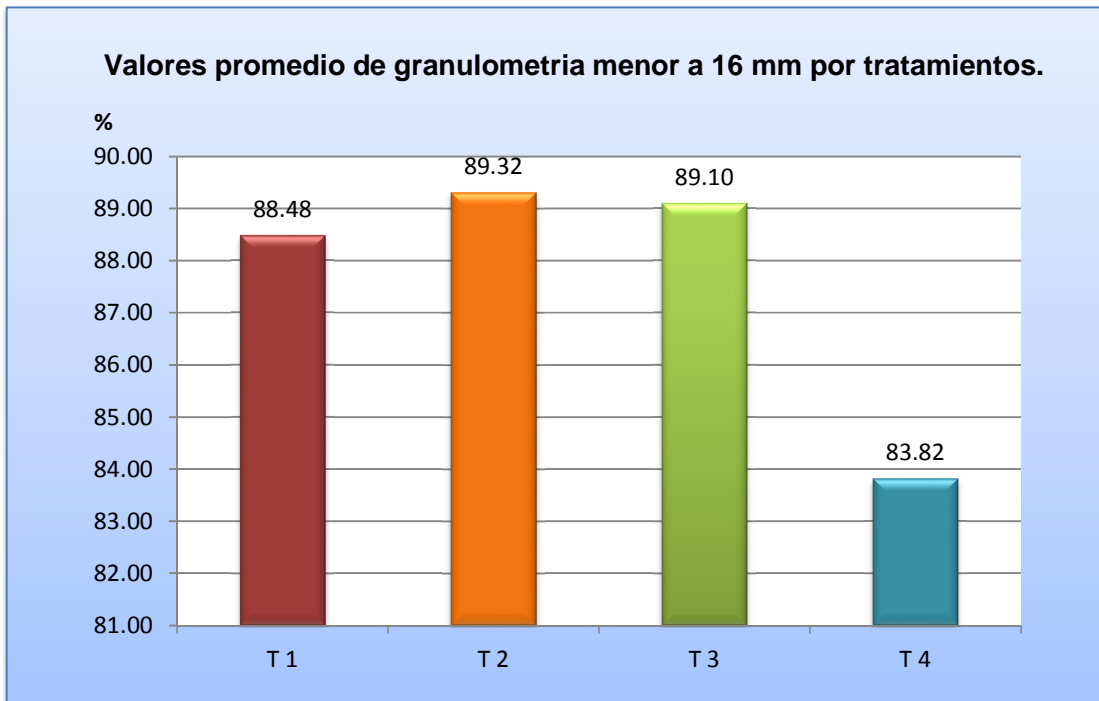
Dentro de los factores físicos las variables estudiadas fueron humedad y granulometría, dichos resultados se detallan a continuación:

##### 4.3.1.1. Granulometría.

Cuadro 7: Resultados de granulometría y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	86.72	87.00	90.42	89.79	88.48
T 2	89.70	88.62	89.71	89.23	89.32
T 3	86.75	89.46	89.55	90.63	89.10
T 4	86.76	79.48	86.66	82.37	83.82
<b>ANVA</b>					
<b>F de V</b>	<b>G l</b>	<b>S c</b>	<b>C m</b>	<b>F c</b>	<b>P valor</b>
<b>Trata.</b>	3	80.98	26.99	5.6428	0.0120
<b>Error Exp.</b>	12	57.4049	4.7837		
<b>Total</b>	15	138.3866			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de determinar el % de granulometría < a 16 mm en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes (T1) % de granulometría menor a 16 mm = 88.48; (T2) % de granulometría menor a 16 mm = 89.32; (T3) % de granulometría menor a 16 mm = 89.10 y (T4) % de granulometría menor a 16 mm = 83.82, y se determinó estadísticamente que los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí, no hay homogeneidad entre ellos, ya que de los cuatro tratamientos en estudio el T2 presentó el porcentaje más alto de granulometría menor a 16 mm medido; a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.012, por lo tanto es menor al valor de 0.05, lo cual indica que existe al menos un tratamiento diferente a los demás.



**Figura 2: Gráfico de valores promedios de granulometría menor a 16 mm.**

Gráficamente las medias de los tratamientos en estudio no son iguales ya que el (T2) Lodo = 60%; Estructurante = 30% y Vegetal = 10% produce un resultado mayor en cuanto al % de granulometría menor a 16mm, obtenido respecto a los demás tratamientos, pero muy similar a los tratamientos (T1), (T3), siendo el (T4) el que presenta los menores valores. Según la NCH 2880 – 2003 para que un compost sea clasificado clase A, el 85% de las partículas del producto obtenido deber menores o iguales a 15 mm.

Cuadro 8: Prueba de rango múltiple (Duncan) para % de granulometría menor a 16 mm por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad
4	4	83.82	X
1	4	88.48	X
3	4	89.10	X
2	4	89.32	X

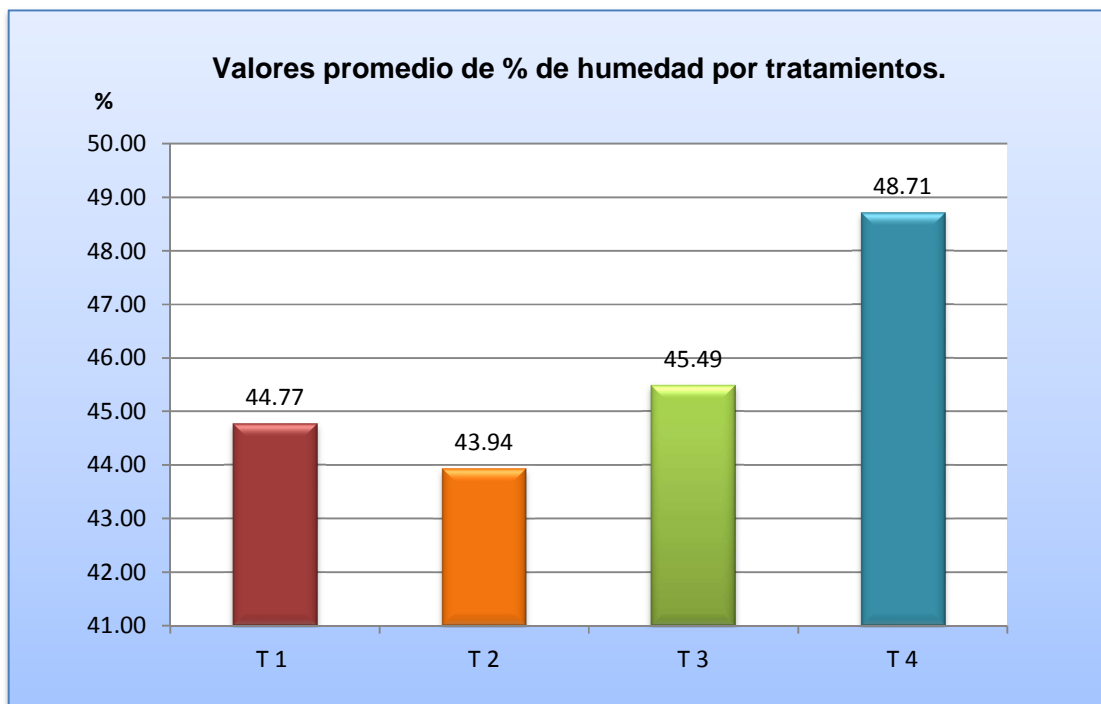
Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Duncan a los resultados obtenidos de % de granulometría menor a 16 mm, se determinó que los tratamientos T2, T3 y T1 presentan similares porcentajes de granulometría, siendo estos mejores que el T4, aunque en este ultimo se utilizo más material vegetal. En el cuadro anterior se observa que solamente el T3 no cumple como un compost clase A según la NCH 2880 – 2003, por lo tanto es un compost clase B.

#### 4.3.1.2. % de Humedad.

Cuadro 9: Resultados de humedad y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	45.38	45.56	44.20	43.95	44.77
T 2	44.51	43.85	42.93	44.47	43.94
T 3	44.82	46.06	46.15	44.91	45.49
T 4	50.38	48.58	49.66	46.23	48.71
ANVA					
F de V	G l	S c	C m	F c	P valor
Trata.	3	52.30	17.43	13.92	0.0003
Error Exp.	12	15.03	1.25		
<b>Total</b>	15	67.34			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio despues de medir el % de humedad en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes: (T1) % de humedad = 44.77; (T2) % de humedad = 43.94; (T3) % de humedad = 45.49 y (T4) % de humedad = 48.71, y se determino estadisticamente que los tratamientos presentan diferencias significativas entre si, es decir no hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.0003, por lo tanto es menor al valor de 0.05, lo cual indica que al menos uno de los tratamiento es diferente a los demás.



**Figura 3: Gráfico de valores promedio de % de humedad por tratamientos.**

Gráficamente las medias de los tratamientos en estudio no son iguales ya que el (T4) Lodo = 40%; Estructurante = 30% y Vegetal = 30% produce un resultado mayor en cuanto al % de humedad, obtenido respecto a los demás tratamientos, y se puede decir que un tratamiento que retiene humedad intermedia es mejor; todo debido que si tienen poca humedad se detiene el proceso de degradación, y si hay demasiada humedad existe el riesgo de que se vuelva putrefacta.

**Cuadro 10: Prueba de rango múltiple (Duncan) para % de humedad por tratamientos.**

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad
2	4	43.94	X
1	4	44.77	X
3	4	45.49	X
4	4	48.71	X

Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Duncan y basado en el resultado obtenido el mejor tratamiento en estudio para el % de humedad son los tratamiento (T2) = 44.77; (T1) = 43.94; (T3) = 45.49, ya que estos presentan un porcentaje de humedad menor, y a su vez producen una diferencia significativa

respecto al (T4)=48.71. Flores y Carranza (2006), después de analizar muestras de compost los valores obtenidos en el parámetro de: humedad fue = 31.04%, estos son valores del compost elaborado para su investigación. Mientras tanto Quinchía y Carmona (2004), obtuvieron un valor de 52.8% de humedad en la muestra analizada. Pero la NCH 2880 – 2003 recomienda que un compost debe tener un contenido de humedad 6% mayor al contenido de materia orgánica.

### 4.3.2 Factores Químicos.

Dentro de los factores químicos las variables estudiadas fueron pH, conductividad eléctrica, salinidad, nitrógeno, fosforo, potasio, materia orgánica, carbono orgánico, relación C/N, dichos resultados se detallan a continuación:

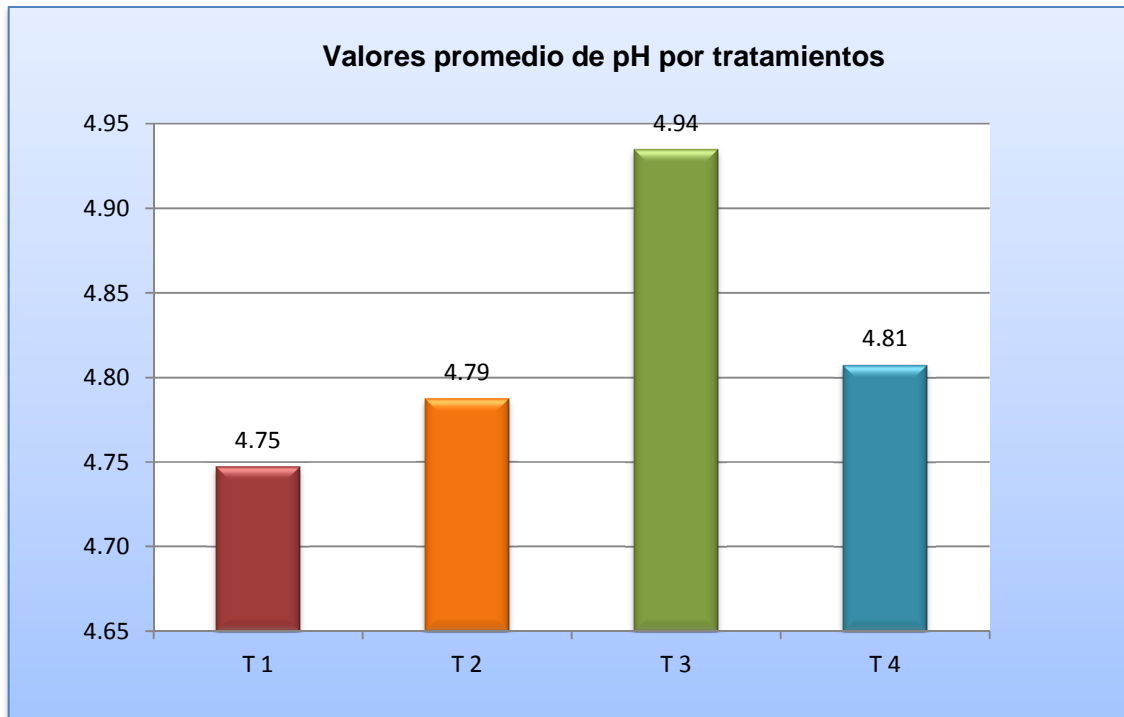
#### 4.3.2.1 pH.

Cuadro 11: Resultados de pH y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	4.70	4.72	4.79	4.78	4.75
T 2	4.81	4.77	4.88	4.69	4.79
T 3	4.89	4.95	4.93	4.97	4.94
T 4	4.76	4.74	4.91	4.82	4.81
<b>ANVA</b>					
<b>F de V</b>	<b>G l</b>	<b>S c</b>	<b>C m</b>	<b>F c</b>	<b>P valor</b>
Trata.	3	0.08	0.03	6.89	0.006
Error Exp.	12	0.05	0.00381		
<b>Total</b>	15	0.12			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de medir pH en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes: (T1) pH = 4.75; (T2) pH = 4.79; (T3) pH = 4.94 y (T4) pH = 4.81, y se determinó estadísticamente que los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí, es decir no hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.006, por lo tanto es

menor al valor de 0.05, lo cual indica que al menos uno de los tratamientos es diferente a los demas.



**Figura 4: Gráfico de valores promedio de pH por tratamientos.**

Gráficamente las medias de los tratamientos en estudio no son iguales ya que el (T3) Lodo = 50%; Estructurante = 30% y Vegetal = 20% produce un resultado mayor en cuanto al valor de pH siendo mejor que los tratamiento T4, T2 y T1. El pH influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5 – 8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6 – 7,5). (Cerisola 1989). Desde el punto de vista de proceso a lo largo del cual sufren variaciones. pH's ácidos indicarán condiciones anaerobias y pH muy altos están relacionados con el contenido en nitrógeno amoniacal y carbonatos solubles (US Composting Council 2002). En cuanto a la NCH 2880 – 2003 el pH obtenido en el compostaje elaborado no cumple con este parámetro ya que los valores que tomo en cuenta son entre 5 y 7, por lo tanto es necesario adicionar algún elemento que vuelva al final más alcalino al producto final obtenido. Con el uso de abonos orgánicos se ha observado que en suelos ligeramente ácidos o neutros tiende a aumentar, y con la aplicación de 6 toneladas de composta por hectárea, el

pH aumento de 5.8 a 6.0 (Trinidad, 2010). Según Ortiz L. *et al* (1999), resultados de análisis previos de lodos residuales el pH fue de 6.04. Para Flores y Carranza (2006), el valor que obtuvieron en pH de compost analizado fue de 7.00 prácticamente neutro. Mientras tanto Callejas (2008), obtuvo un valor de 6.72 de pH en muestras de lodos residuales. Después de analizar muestras de compost Quinchía y Carmona (2004), obtuvieron como resultado en pH un valor de 6.34 Por lo tanto un buen compost debe ser aquel que más se acerca a un valor neutro.

Cuadro 12: Prueba de rango múltiple (Duncan) para pH por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad
1	4	4.75	X
2	4	4.79	X
4	4	4.81	X
3	4	4.94	X

Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Duncan al contenido de pH, y basado en el resultado, el mejor tratamiento en estudio para pH es el (T3) pH = 4.94 ya que reporta el mejor valor de pH respecto al T4, T2 y T1.

#### 4.3.2.2. Conductividad eléctrica.

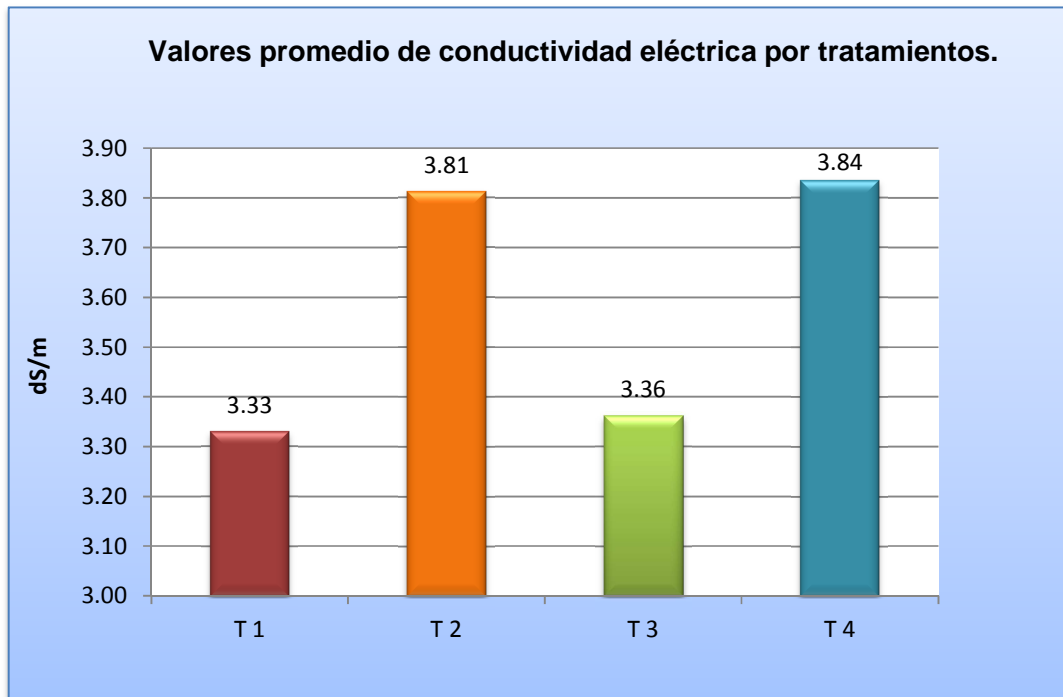
Cuadro 13: Resultados de conductividad eléctrica y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	3.76	2.95	3.78	2.83	3.33 dS/m
T 2	3.74	3.76	3.81	3.94	3.81 dS/m
T 3	3.51	3.02	3.21	3.71	3.36 dS/m
T 4	3.64	4.06	4.22	3.42	3.84 dS/m
ANVA					
F de V	G l	S c	C m	F c	P valor
Trata.	3	0.92	0.31	2.44	0.11
Error Exp.	12	1.50	0.12		
Total	15	2.41			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de medir conductividad eléctrica en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes (T1) CE = 3.33 dS/m; (T2) CE = 3.81 dS/m; (T3) CE = 3.36 dS/m y (T4) CE = 3.84 dS/m, y se determinó estadísticamente que los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, es decir hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.11, por lo tanto es mayor al valor de 0.05, lo cual indica que no hay diferencia entre los tratamientos.

Según Ortiz L. *et al* (1999), resultados de análisis previos de lodos residuales se obtuvo un valor de 2.68 mS/cm. Este valor lo que nos indican es lo parecido si se comparan con algún abono orgánico analizado. Flores y Carranza (2006), obtuvieron un valor de 18.96 dS/m en su compost evaluado. Mientras tanto Callejas (2008), los resultados que obtuvo de conductividad eléctrica en lodo residual fue de 4.85 dS/m. Quinchía y Carmona (2004), obtuvieron valores similares a los valores obtenidos en conductividad eléctrica por Ortiz L. *et al*, ya que el valor fue de 3.07 mS/cm. Por lo tanto el compost obtenido en esta investigación cumple con los requisitos que establece la NCH 2880 – 2003.





**Figura 5: Gráfico de valores promedio de conductividad eléctrica por tratamientos.**

Gráficamente se observa que las medias de los tratamientos T4 y T2 presentan valores más altos con respecto a los tratamientos T3 y T1, sin embargo son valores decimales las diferencias existentes.

**Cuadro 14: Prueba de rango múltiple (Duncan) para conductividad eléctrica por tratamientos.**

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad
1	4	3.33	X
3	4	3.36	X
2	4	3.81	X
4	4	3.84	X

Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba Duncan a la conductividad eléctrica, y basado en el resultado obtenido no existen diferencia significativa entre los tratamientos, ya que todos son homogéneos siendo en el orden de importancia T1, T3, T2 y T4

### 4.3.2.3. Salinidad.

Cuadro 15: Resultados de salinidad y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	2.10	1.60	2.20	1.60	1.88
T 2	2.10	2.10	2.20	2.20	2.15
T 3	1.80	1.70	1.70	2.00	1.80
T 4	1.90	2.20	2.30	1.90	2.08
<b>ANVA</b>					
<b>F de V</b>	<b>G l</b>	<b>S c</b>	<b>C m</b>	<b>F c</b>	<b>P valor</b>
Trata.	3	0.33	0.11	2.57	0.10
Error Exp.	12	0.51	0.04		
<b>Total</b>	15	0.83			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de medir salinidad en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes (T1) salinidad = 1.88; (T2) salinidad = 2.15; (T3) salinidad = 1.80 y (T4) salinidad = 2.08, y se determinó estadísticamente que los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, es decir hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.10, por lo tanto es mayor al valor de 0.05, lo cual indica que no hay diferencia con respecto a los demás tratamientos. La salinidad en los suelos es un fenómeno que se puede controlar satisfactoriamente mediante la correcta administración del agua, la aplicación regular de tratamientos preventivos y sistemas de drenaje eficientes. Al aumentar en exceso la salinidad del suelo, las plantas sufren una reducción en el diferencial osmótico, lo cual disminuye su capacidad para absorber agua. La susceptibilidad de los suelos hacia la salinidad es inherente a propiedades tales como el pH, la textura, contenido de materia orgánica, mineralogía, presencia de carbonatos. (Díaz-Ibarra *et al*, 2010)

Díaz-Ibarra *et al* (2010), encontraron valores relativamente bajos para plomo, cadmio y mercurio, esto en base a la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, la cual establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes presentes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final, y en el

caso del pH este fue ácido (5.46) debido a la presencia de sales de aluminio utilizadas como coagulante.

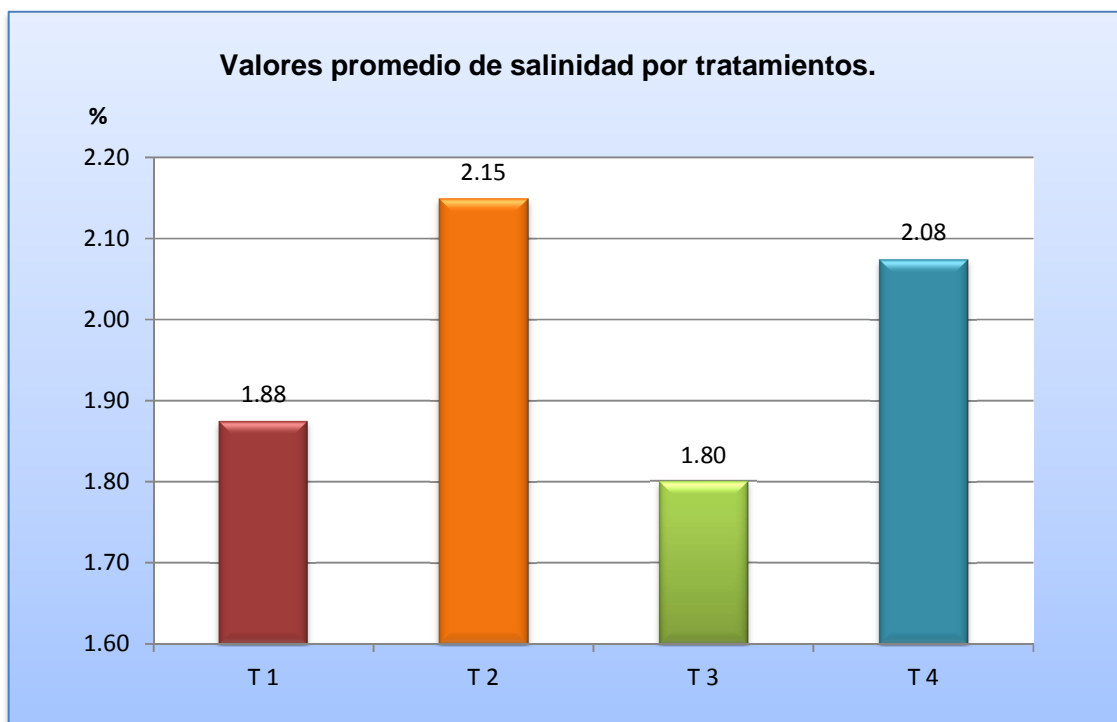


Figura 6: Gráfico de valores promedio de salinidad por tratamientos.

Gráficamente se observa que las medias de los tratamientos T2 y T4 presentan valores más altos con respecto a los tratamientos T3 y T1, sin embargo son valores decimales las diferencias existentes. La salinidad en un compostaje viene determinada por la cantidad de sodio presente ya sea en el lodo utilizado o en algún elemento.

Cuadro 16: Prueba de rango múltiple (Duncan) para salinidad por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad		
3	4	1.80	X		
1	4	1.88	X	X	
4	4	2.08	X	X	
2	4	2.15			X

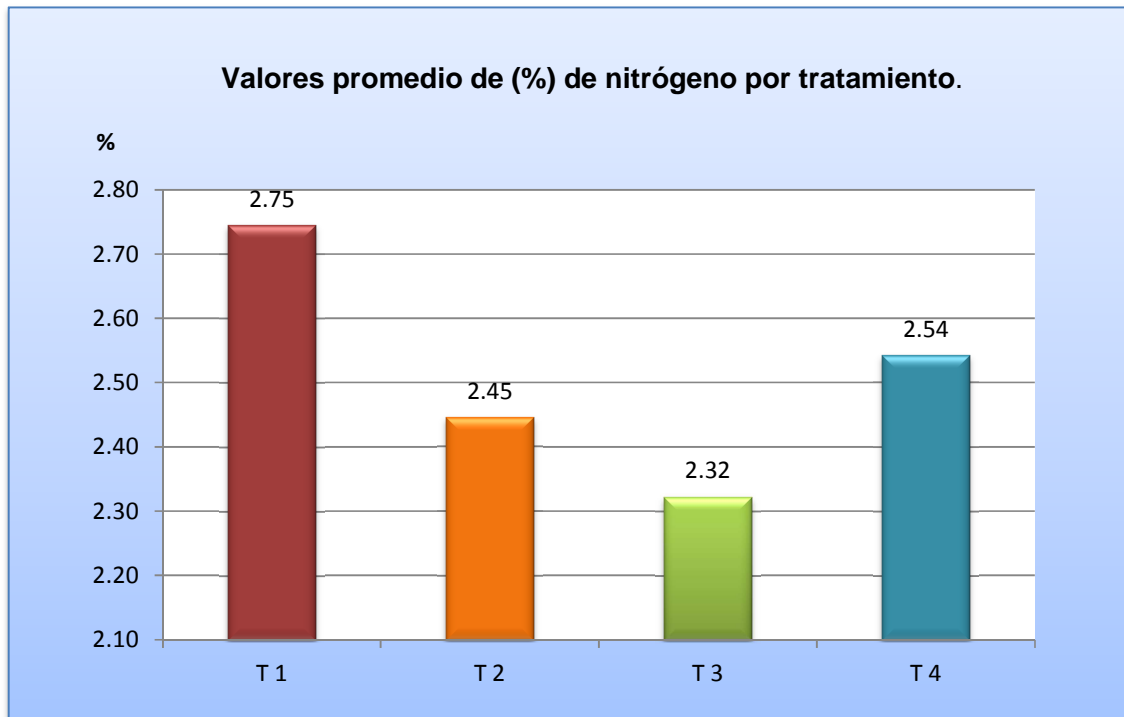
Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Duncan al contenido de salinidad, y basado en el resultado obtenido y aunque no hay una diferencia significativa presente, esto debido al traslape por semejanza entre los tratamientos en estudio; ya que todos los tratamientos son homogéneos; hay dos tratamientos que presentan los valores más elevados de salinidad que el resto, y estos serían los menos aceptables en compost.

#### 4.3.2.4. Nitrógeno.

Cuadro 17: Resultados de % de nitrógeno total y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	3.14	3.09	2.62	2.13	2.75
T 2	2.69	2.65	2.17	2.27	2.45
T 3	2.15	2.22	2.56	2.36	2.32
T 4	2.47	2.60	2.35	2.75	2.54
ANVA					
F de V	G l	S c	C m	F c	P valor
Trata.	3	0.38	0.13	1.44	0.34
Error Exp.	12	1.06	0.09		
<b>Total</b>	15	1.45			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de medir el nivel de Nitrógeno presente en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes (T1) nitrógeno = 2.75; (T2) nitrógeno = 2.45; (T3) nitrógeno = 2.32 y (T4) nitrógeno = 2.54, y se determinó estadísticamente que los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, es decir hay homogeneidad entre ellos a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el P valor fue de 0.34, por lo tanto es mayor al valor de 0.05, indicando que no hay diferencia entre los tratamientos.



**Figura 7: Gráfico de valores promedio de % nitrógeno total por tratamientos.**

Gráficamente las medias de los tratamientos en estudio no son iguales, aunque se puede observar valores mayores y menores no hay una diferencia significativa, gráficamente podemos observar que el T1= Lodo = 70%; Estructurante = 30% y Vegetal = 0%, brinda mayores resultados de nitrógeno con respecto a los demás tratamientos. Y es seguido por el T4 y T2, siendo el T3 que representa los valores menores gráficamente. En cuanto a la cantidad de nitrógeno reportado en los tratamientos, se considera como normales ya que otros investigadores reportan valores máximos de 5%. Según la NCH 2880 – 2003 en cuanto a nitrógeno los tratamientos cumplen con este requisito ya que toma como valores de más de 0.8% para clasificarlo y en este caso el compost obtenido sobrepasa dicho valor. Según Ortiz L. *et al* (1999), resultados de análisis previos de lodos residuales en cuanto al contenido de nitrógeno se obtuvo 4.98% en la muestra. Siempre analizando lodos residuales Callejas (2008), obtuvo niveles de 5.21% de nitrógeno en las muestras. Y al analizar compost elaborado a partir de lodos residuales Flores y Carranza (2006), obtuvieron 0.87% de nitrógeno; mientras tanto Quinchía y Carmona (2004), obtuvieron valores de 1.80% de nitrógeno en la muestra de compost de lodo residual.

Cuadro 18: Prueba de rango múltiple (Duncan) para % nitrógeno total por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad
3	4	2.32	X
2	4	2.45	X
4	4	2.54	X
1	4	2.75	X

Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Duncan al contenido de nitrógeno, y basado en el resultado obtenido no hay una diferencia significativa presente, ya que todos los tratamientos son homogéneos; siendo en el orden de importancia el T1= nitrógeno total % = 2.75 , T4 = nitrógeno total % = 2.54, T2= nitrógeno total %= 2.45 y T3= nitrógeno total %=2.32

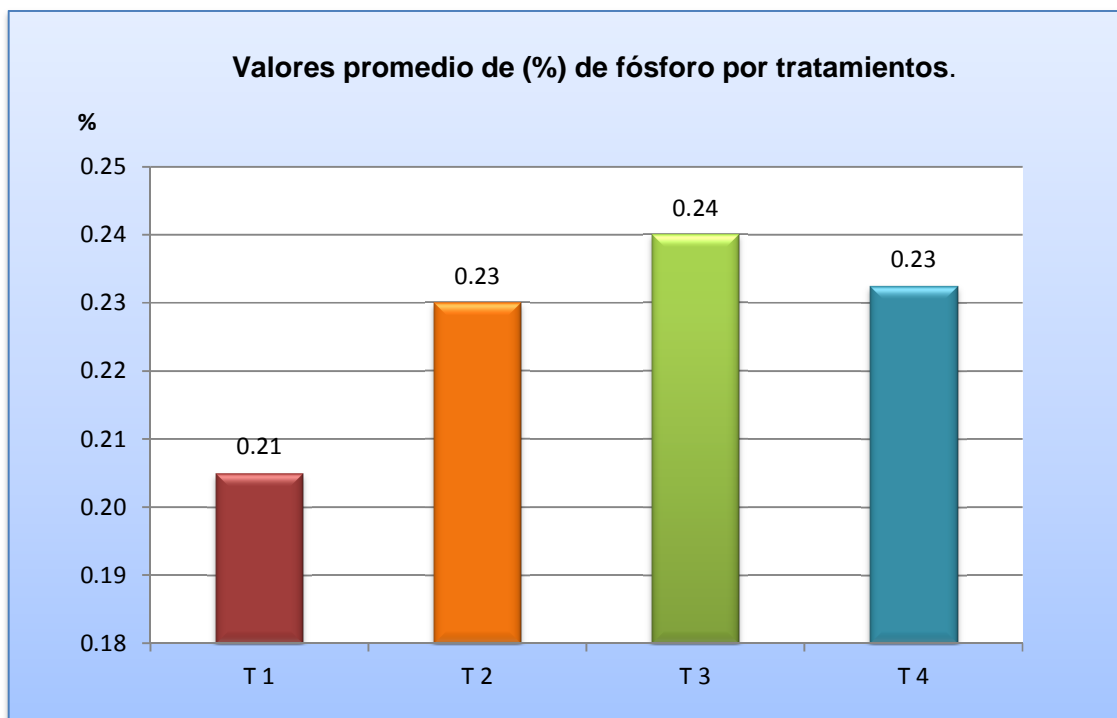
#### 4.3.2.5. Fósforo.

Cuadro 19: Resultados de % fósforo y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	0.20	0.21	0.20	0.21	0.21
T 2	0.26	0.22	0.21	0.23	0.23
T 3	0.28	0.20	0.27	0.21	0.24
T 4	0.32	0.20	0.22	0.19	0.23
<b>ANVA</b>					
F de V	G l	S c	C m	F c	P valor
Trata.	3	0.0028	0.0009	0.64	0.60
Error Exp.	12	0.0172	0.0014		
<b>Total</b>	15	0.0199			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de medir el nivel de fósforo en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes (T1) fósforo = 0.21; (T2) fósforo = 0.23; (T3) fósforo = 0.24 y (T4) fósforo = 0.23, y se determinó estadísticamente que los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, es decir hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que

el valor de P fue de 0.60, por lo tanto es mayor al valor de 0.05, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los tratamiento.



**Figura 8: Gráfico de valores promedio de % de fósforo por tratamientos.**

Gráficamente se observa que los tratamientos T3, T2 y T4 poseen similares valores porcentuales de Fósforo y no presentan mayores diferencias significativas siendo el T1 el que presenta menor valor porcentual de los cuatro tratamientos. Flores y Carranza (2006), después de analizar muestras de compost el valor que obtuvieron de fósforo fue de 0.78%; mientras tanto Callejas (2008), al analizar muestras de lodo residual obtuvo 1.40% de fósforo; aunque Quinchía y Carmona (2004), en compost hayan obtenido 2.52% de fósforo en la muestra analizada en su investigación. Al comparar valores tanto de lodo residual como de compost en cuanto al contenido de fósforo presente en la muestra observamos que el obtenido es muy bajo; aunque para la NCH 2880 – 2003 el nivel es aceptable y por lo tanto cumple con los requisitos, aunque debe de tenerse en cuenta las plantas que son sensibles a altos contenidos de fósforo. En cuanto a fosforo son valores bajos y se pueden considerar insignificante.

Cuadro 20: Prueba de rango múltiple (Duncan) para fósforo por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad
1	4	0.21	X
2	4	0.23	X
4	4	0.23	X
3	4	0.24	X

Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Duncan al contenido de fósforo, y basado en el resultado obtenido no hay una diferencia significativa presente, ya que todos los tratamientos son homogéneos; siendo en orden de importancia de acuerdo a las medias obtenidas son T3 = % de fósforo = 0.24, T4 = % de fósforo = 0.23, T3 = % de fósforo = 0.23 y T1 = % de fósforo = 0.21

#### 4.3.2.6. Potasio.

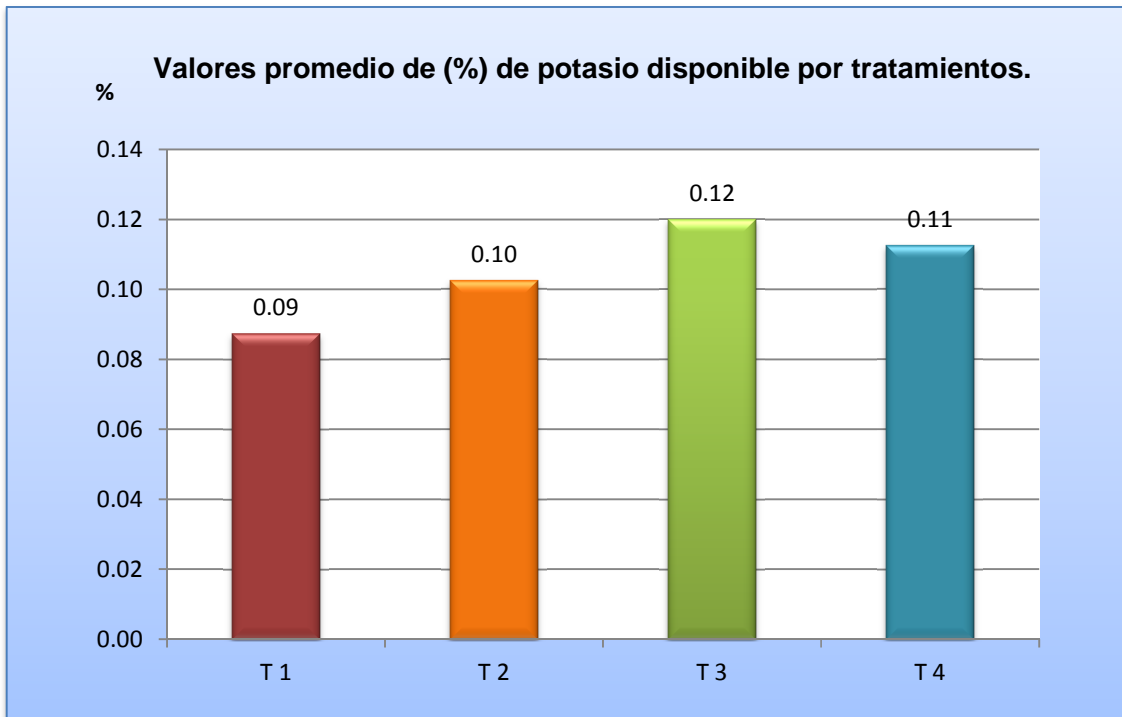
Cuadro 21: Resultados de potasio disponible y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	0.09	0.07	0.09	0.10	0.09
T 2	0.10	0.09	0.10	0.12	0.10
T 3	0.13	0.13	0.12	0.10	0.12
T 4	0.13	0.15	0.04	0.13	0.11
ANVA					
F de V	G l	S c	C m	F c	P valor
Trata.	3	0.0024	0.0008	1.07	0.39
Error Exp.	12	0.0088	0.0007		
Total	15	0.0112			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de medir el nivel de Potasio Disponible en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes (T1) potasio disponible= 0.09; (T2) potasio disponible = 0.10; (T3) potasio disponible = 0.12 y (T4) potasio disponible = 0.11, y se determinó estadísticamente que los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, es decir hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.39, por lo tanto es mayor al



valor de 0.05, lo cual indica que no existe diferencia significativa dentro de los tratamientos



**Figura 9: Gráfico de valores promedio de % de potasio por tratamientos.**

Gráficamente se observa que no hay un tratamiento que presente un valor significativamente diferente a los demás tratamientos; por lo tanto gráficamente el contenido de Potasio es similar entre los tratamientos y las diferencias existentes son mínimas, ya que el T3 produce un resultado mayor en cuanto al valor del contenido de Potasio pero muy similar a los tratamiento T4 y T2 siendo el T1 el que representa menores valores. Quinchía y Carmona (2004), después de analizar muestras de compost obtuvieron 0.72% de potasio; aunque Flores y Carranza (2006), después de analizar muestras de compost proveniente de lodos residuales obtuvieron valores que son casi el doble de la cantidad determinada por Quinchía y Carmona (2004), ya que Flores y Carranza (2006), obtuvieron 1.69% de potasio en dichas muestras, cantidad que la NCH 2880 – 2003 no determina para poder clasificar un compost en cuanto a su calidad. En cuanto a potasio son valores bajos y se pueden considerar insignificante.

Cuadro 22: Prueba de rango múltiple (Duncan) para potasio disponible por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad
1	4	0.0875	X
2	4	0.1025	X
4	4	0.1125	X
3	4	0.1200	X

Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Rango Múltiple al contenido de potasio, y basado en el resultado obtenido y aunque no hay una diferencia significativa presente, ya que todos los tratamientos son homogéneos; hay un tratamiento que presentan el valor más elevado de potasio que el resto, y es el T3 = % de potasio disponible = 0.12 seguido de T4= % de potasio disponible = 0.11, T2= % de potasio disponible = 0.10 y T1= % de potasio disponible = 0.09

Cuadro 23: Resultados de % de N, P, y K por tratamientos.

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
1	2.75	0.21	0.09
2	2.45	0.23	0.10
3	2.32	0.24	0.12
4	2.54	0.23	0.11

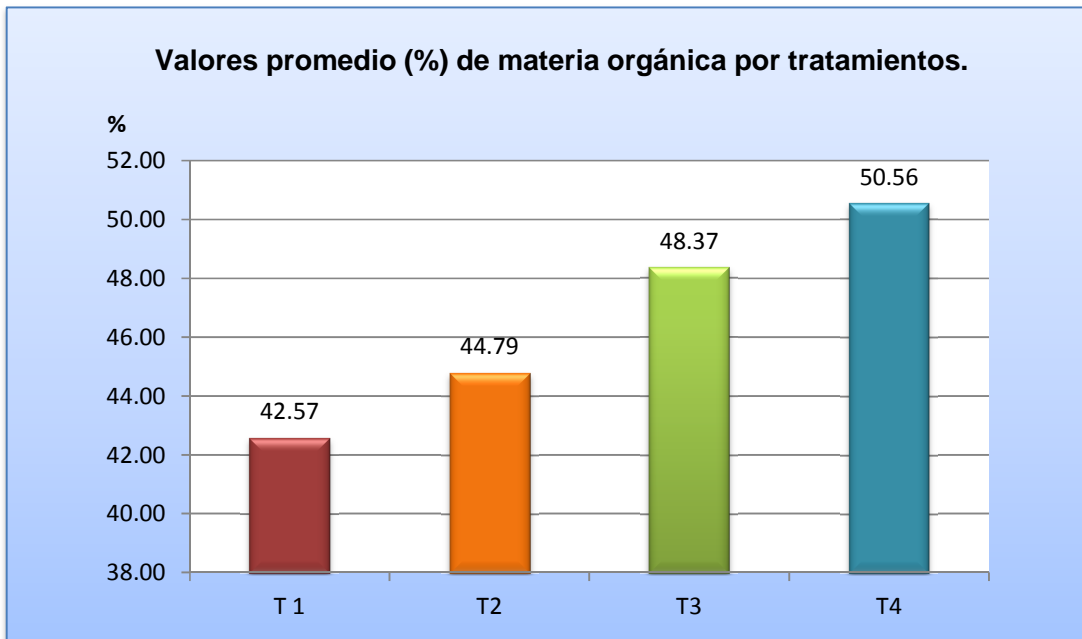
Al observar el cuadro comparativo de % de N, P, K se puede decir que el tratamiento 3 es el que presenta los mejores resultados, por lo tanto se puede decir que el contenido de nitrógeno está relacionado en la cantidad de lodo y de material vegetal utilizado en su elaboración. Si el promedio de nitrógeno se compara con el obtenido en su compost por Quinchía y Carmona (2004), N = 1.80% podemos decir que la media de nitrógeno es un valor aceptable para la NCH 2880 – 2003, ya que el valor mínimo es de 0.8%, valor que lo cumple también el compost de Flores y Carranza (2006), que es 0.87% de nitrógeno. En cuanto al fósforo y al potasio también la media anda en un valor aceptable y podemos decir que se cumple el requisito de la NCH 2880 – 2003 en cuanto al contenido de N, P, K, del compost obtenido y evaluado.

#### 4.3.2.7. Materia Orgánica.

Cuadro 24: Resultados de % materia orgánica y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	44.55	48.73	40.68	36.33	42.57
T 2	43.93	44.93	51.39	38.89	44.79
T 3	51.55	52.43	43.60	45.88	48.37
T 4	54.86	47.13	52.99	47.25	50.56
<b>ANVA</b>					
<b>F de V</b>	<b>G l</b>	<b>S c</b>	<b>C m</b>	<b>F c</b>	<b>P valor</b>
Trata.	3	153.15	51.05	2.30	0.13
Error Exp.	12	266.17	22.18		
<b>Total</b>	15	419.32			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de determinar el contenido de materia orgánica en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes (T1) % de materia orgánica = 42.57; (T2) % de materia orgánica = 44.79; (T3) % de materia orgánica = 48.37 y (T4) % de materia orgánica = 50.56, y se determinó estadísticamente que los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, es decir hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.1291, por lo tanto es mayor al valor de 0.05, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos en estudio.



**Figura 10: Gráfico de valores promedio de % de materia orgánica por tratamientos.**

Gráficamente se pueden observar diferencias puntuales entre los cuatro tratamientos siendo el T4 el que representa mayor cantidad de materia orgánica que los tratamientos T3, T2 y T1 este último es el que presenta menor valor de materia orgánica respecto a los demás. Para la NCH 2880 – 2003 un compost para que sea clase A debe tener un valor arriba del 45%, por lo tanto los valores obtenidos en los tratamientos son valores medios. 48.89% de materia orgánica fue el valor que obtuvieron de las muestras del compost elaborado en la investigación de Quinchía y Carmona (2004). Aunque en otra investigación realizada por Flores y Carranza (2006), después de analizar las muestras se obtuvo el 19% de materia orgánica presente en el compost. Según Ortiz L. *et al* (1999), resultados de análisis previos de lodos residuales el obtuvo el 51.31% de materia orgánica, siempre de lodos residuales Callejas (2008), obtuvo que el contenido de materia orgánica en las muestras era de 65.7%, valor que cambia con el paso del tiempo dentro del proceso de compostaje. En los valores obtenidos en materia orgánica son satisfactoriamente altos considerándose como un material con mucho potencial para la mejora de los suelos.

Cuadro 25: Prueba de rango múltiple (Duncan) para % de materia orgánica por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad		
1	4	42.57	X		
2	4	44.79	X	X	
3	4	48.37	X	X	
4	4	50.56		X	

Discusión: al momento de aplicar la Prueba de Duncan al contenido de materia orgánica, y basado en el resultado obtenidos existe un traslape por semejanza entre los tratamientos en estudio; donde  $T1 = T2 = T3 = T4$ . Y de los cuatro tratamientos en estudio dos tratamientos; (T1) % de materia orgánica = 42.57; (T2) % de materia orgánica = 44.79; presentan valores muy cercanos, asimismo los tratamientos (T3) % de materia orgánica = 48.37 y (T4) % de materia orgánica = 50.56, presentan el valores similares de materia orgánica, aunque dichos valores reportados no presentan estadísticamente una diferencia significativa.

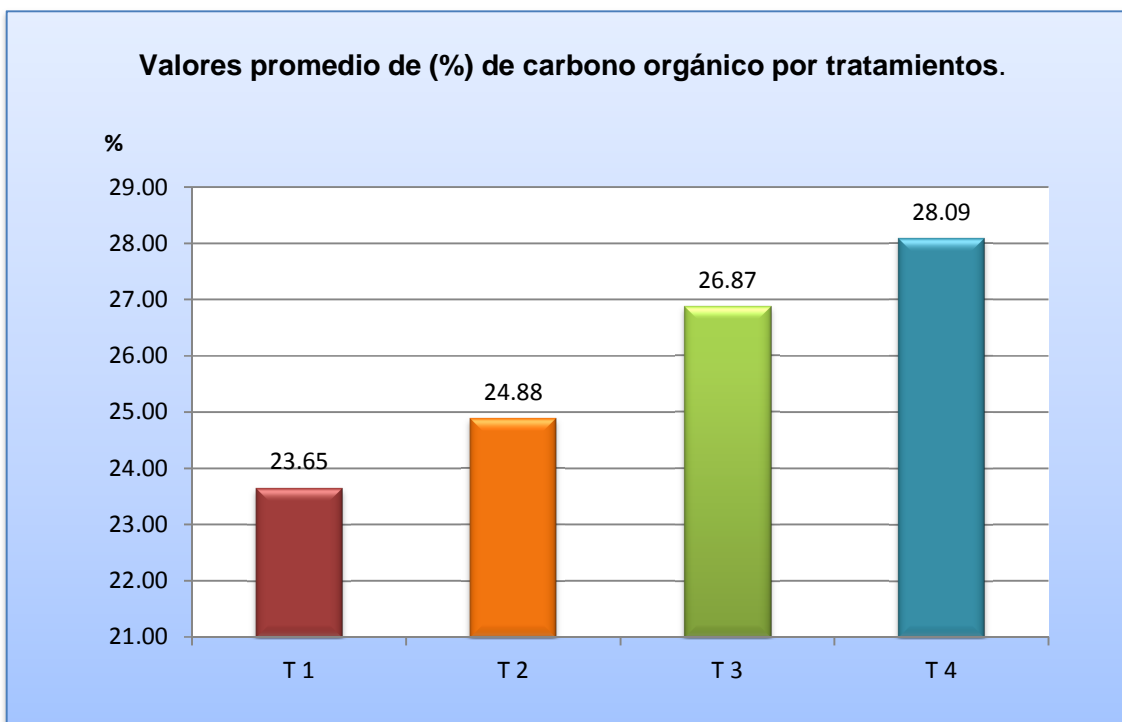
#### 4.3.2.8. Carbono orgánico.

Cuadro 26: Resultados de carbono orgánico y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	24.75	27.07	22.60	20.18	23.65
T 2	24.40	24.96	28.55	21.61	24.88
T 3	28.64	29.13	24.22	25.49	26.87
T 4	30.48	26.18	29.44	26.25	28.09
<b>ANVA</b>					
<b>F de V</b>	<b>G l</b>	<b>S c</b>	<b>C m</b>	<b>F c</b>	<b>P valor</b>
Trata.	3	47.30	15.77	2.30	0.13
Error Exp.	12	82.18	6.85		
<b>Total</b>	15	129.49			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio despues de medir el contenido de carbono orgánico en las muestras de compost, se determinó

estadísticamente que los valores del (T1) carbono orgánico = 23.65; (T2) carbono orgánico = 24.88; (T3) carbono orgánico = 26.87; (T4) carbono orgánico = 28.09, no presentan diferencias significativas entre sí, es decir hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.1290, por lo tanto es mayor al valor de 0.05, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos en estudio.



**Figura 11: Gráfico de valores promedio de carbono orgánico por tratamientos.**

Gráficamente las medias de los tratamientos en estudio no son iguales, siendo el T4 el que presenta mayor contenido de carbono orgánico, seguido de los tratamientos T3, T2 y T1 este último el que presenta menores valores de carbono orgánico que los demás tratamientos. La NCH 2880 – 2003 no determina una cantidad específica de carbono orgánico para poder clasificar en cuanto a calidad a un compost. Aunque Quinchía y Carmona (2004), después de analizar muestras de compost obtuvieron

un valor de 16% de carbono orgánico, valor que se queda bajo con respecto al obtenido en la investigación.

Cuadro 27: Prueba de rango múltiple (Duncan) para carbono orgánico por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad		
1	4	23.6500	X		
2	4	24.8800	X	X	
3	4	26.8700	X	X	
4	4	28.0875		X	

Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Duncan al contenido de carbono orgánico, y basado en el resultado obtenidos, existe un traslape por semejanza entre los tratamientos en estudio; donde  $T1 = T2 = T3 = T4$ . Todos los tratamientos presentan valores similares de carbono orgánico, siendo en el orden de importancia según las medias obtenidas el T4, T3, T2 y T1

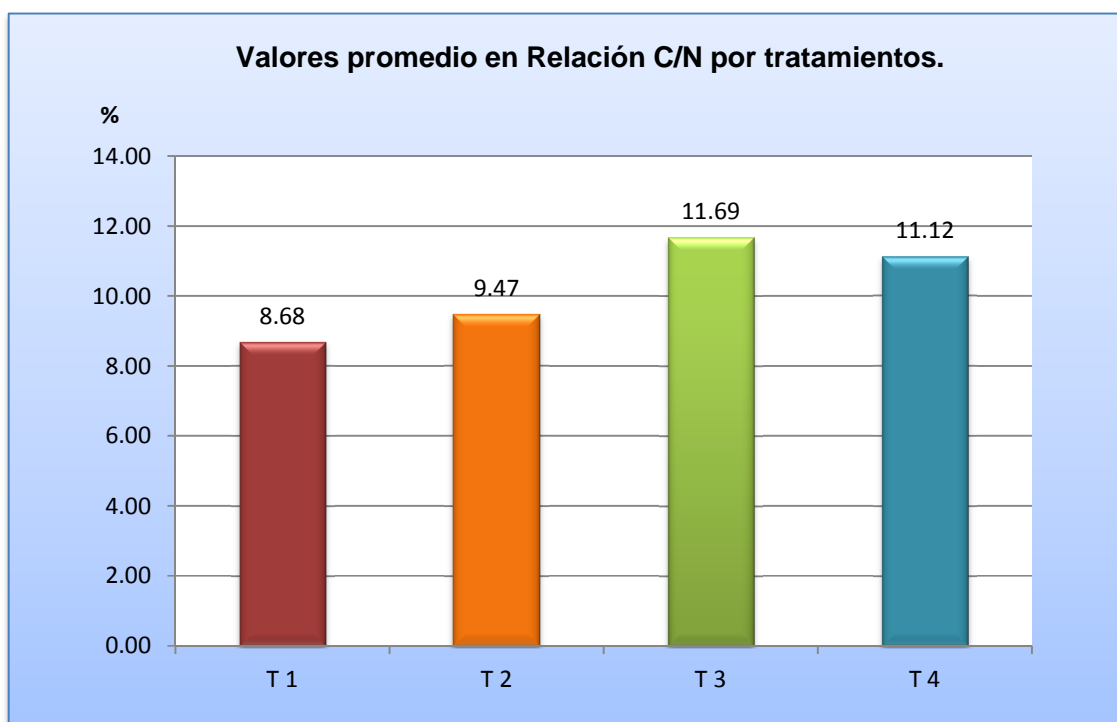
#### 4.3.2.9. Relación C/N.

Cuadro 28: Resultados de relación C/N y ANVA.

	R 1	R 2	R 3	R 4	Promedio
T 1	7.88	8.75	8.63	9.46	8.68
T 2	9.46	9.43	9.50	9.50	9.47
T 3	13.33	13.13	9.47	10.81	11.69
T 4	12.32	10.06	12.55	9.56	11.12
ANVA					
F de V	G l	S c	C m	F c	P valor
Trata.	3	23.56	7.85	5.02	0.02
Error Exp.	12	18.77	1.56		
<b>Total</b>	15	42.33			

Análisis: Basados en los resultados obtenidos en el laboratorio después de determinar la relación C/N en las muestras de compost, los valores reportados en las medias por tratamiento son los siguientes: (T1) Relación C/N = 8.68; (T2) Relación

C/N = 9.47; (T3) Relación C/N = 11.69 y (T4) Relación C/N = 11.12, y se determinó estadísticamente que los tratamientos presentan diferencias significativas entre si, es decir no hay homogeneidad entre ellos, a un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que el valor de P fue de 0.01, por lo tanto es menor al valor de 0.05, lo cual indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos y al menos uno es diferente al resto.



**Figura 12: Gráfico de promedio de relación C/N por tratamientos.**

Gráficamente las medias de los tratamientos en estudio no son iguales ya que el (T3) Lodo = 50%; Estructurante = 30% y Vegetal = 20% produce un resultado mayor en cuanto al valor de la Relación C/N siendo mejor que los tratamiento T4, T2 y T1. En cuanto a la NCH 2880 – 2003 los valores promedio obtenidos en cuanto a la relación C/N son valores de un compost clase A, y se puede decir que como abono orgánico es una fuente de nitrógeno si se compara con otros tipos de compost en los cuales se utilice diversos materiales. Quinchía y Carmona (2004), después de analizar muestras de compost el valor obtenido fue de 9.07%; valor muy parecido al resultado



obtenido. Los resultados muestran valores aceptables, ya que no exceden la relación de 25.

Cuadro 29: Prueba de rango múltiple (Duncan) para relación C/N por tratamientos.

Tratamiento	Repeticiones	Media	Homogeneidad		
1	4	8.68	X		
2	4	9.47	X	X	
3	4	11.12		X	X
4	4	11.69			X

Discusión: Por lo tanto al momento de aplicar la Prueba de Duncan en relación al carbono nitrógeno contenido, y basado en el resultado obtenido el mejor tratamiento en estudio para relación C/N es el (T3) Relación C/N = 11.69 ya que reporta el valor mas alto que los demas, y produce una diferencia significativa respecto al resto.

En investigaciones realizadas por el INIA (2008), para los agricultores el compost es beneficioso porque el cultivo asimila con mayor rapidez los nutrientes y además se utilizan residuos de sus cultivos y crianzas.

Según el INIA (2008), los agricultores recomiendan en lo posible preparar el compost en suficientes cantidades para sustituir la mayor cantidad de fertilizantes químicos.

#### 4.3.3. Factores Microbiológicos.

En el caso de los datos de resultados de análisis microbiológicos no se les realizó un ANVA, solamente se compararon los valores obtenidos con los datos de la Norma, para así determinar cómo se comportan, si se encuentran bajo la norma o si la exceden.

#### 4.3.3.1. Coliformes totales.

Cuadro 30. Resultados obtenidos en laboratorio de coliformes totales por tratamiento.

Tratamiento	Coliformes Totales NMP/g.	Norma NCH 2880 Límites Permisibles para compost Clase A
T1	< 1.8*	ND**
T2	< 1.8*	ND**
T3	< 1.8*	ND**
T4	< 1.8*	ND**
* < 1.8 es igual a cero		
** No determinado por la Norma		

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Análisis y Discusión: en este cuadro se puede observar el resultado por tratamiento de la cantidad de coliformes totales en NMP/g por tratamiento, observando al mismo tiempo que la Norma no determina el límite permisible, sin embargo se considera importante incluirlo, ya que este pudiera ser perjudicial para la salud y a la vez proporciona un estado microbiológico con respecto a los niveles de coliformes totales, en este caso los cuatro tratamientos poseen valores < a 1.8 NMP/g lo cual es considerado como cero es decir que no existe presencia de coliformes totales, y por lo tanto los cuatro tratamientos y su repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad. Si estos datos se comparan con la NCH 2880 – 2003 cumple con los requisitos que lo consideran un compost clase A. y según la NOM – 004 – SEMARNAT – 2002, que utiliza como un indicador biológico de contaminación un lodo si el NMP/g es menor a 1000 lo considera un Clase A y B.

Tomando de base los análisis realizados previamente a los lodos podemos decir que la técnica del compostaje redujo los coliformes totales en un 99.45% de acuerdo a la expresión siguiente:

$$\% \text{ de Reduccion de coliformes totales} = \frac{(CTPL-CTPC)}{CTPL} * 100$$

CTPL= Coliformes totales presentes en lodo

CTPC= Coliformes totales presentes en compost

$$\% \text{ de Reduccion de coliformes totales} = \frac{(300-1.7)}{300} * 100$$

$$\% \text{ de Reduccion de coliformes totales} = 99.45\%$$

#### 4.3.3.2. Coliformes fecales.

Cuadro 31. Resultados obtenidos en laboratorio de coliformes fecales por tratamiento.

Tratamiento	Coliformes Fecales NMP/g.	Norma NCH 2880 Límites Permisibles en compost Clase A
T1	< 1.8*	< 1000 NPM/g
T2	< 1.8*	< 1000 NPM/g
T3	< 1.8*	< 1000 NPM/g
T4	< 1.8*	< 1000 NPM/g
* < 1.8 es igual a cero		

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Análisis y Discusión: en este cuadro se presenta el resultado por tratamiento de la cantidad de coliformes fecales en NMP/g y a su vez se presenta los límites permisibles de la Norma de compostaje, se observa que ninguno de los tratamiento sobrepasa el límite permisibles de la Norma llegando al grado de que los valores presentados en los tratamiento son considerados igual a cero, y por lo tanto los cuatro tratamientos y su repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad. Si estos datos se comparan con la NCH 2880 – 2003 cumple con los requisitos que lo consideran un compost clase A. y según la NOM – 004 – SEMARNAT – 2002, que utiliza como un indicador biológico de contaminación un lodo si el NMP/g es menor a 1000 lo considera un Clase A y B. Para Espiricueta y Ponce (2008), al observar el número de coliformes fecales se debe relacionar que para pH ácidos estos no son favorecidos en su reproducción y esta condición contribuye a su inactivación.

En coliformes fecales al actuar sobre ella el secado solar durante cuatro días se reduce en un 98.5% (Espiricueta y Ponce 2008). Mahamud (1996), reporta que el valor máximo permisible de coliformes fecales debe ser menor a 1000 NMP o UFC/g.

Tomando de base los análisis realizados previamente a los lodos podemos decir que la técnica del compostaje redujo los coliformes fecales en un 99.29 % de acuerdo a la expresión siguiente

$$\% \text{ de Reduccion de coliformes fecales} = \frac{(\text{CFPL}-\text{CFPC})}{\text{CFPL}} * 100$$

CFPL= Coliformes fecales presentes en lodo

CFPC= Coliformes fecales presentes en compost

$$\% \text{ de Reduccion de coliformes fecales} = \frac{(240-1.7)}{240} * 100$$

% de reducción de coliformes fecales= 99.29%

#### 4.3.3.3. *Escherichia coli*.

Cuadro 32. Resultados obtenidos en laboratorio de *Escherichia coli* por tratamiento.

Tratamiento	<i>Escherichia coli</i> . NMP/g.	Norma NCH 2880 Límites Permisibles en compost
T1	< 1.8*	ND**
T2	< 1.8*	ND**
T3	< 1.8*	ND**
T4	< 1.8*	ND**
* < 1.8 es igual a cero		
** No determinado por la norma		

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Análisis y Discusión: en este cuadro se puede observar el resultado por tratamiento de la cantidad *Escherichia coli*. en NMP/g por tratamiento, observando al mismo tiempo que la Norma NCH 2880 – 2003 no determina el limite permisible, sin embargo se considera importante incluirlo, ya que este pudiera ser perjudicial para la salud y a la vez proporciona un estado microbiológico con respecto a los niveles de *Escherichia coli*, en este caso los cuatro tratamientos poseen valores < a 1.8 lo cual es considerado como cero es decir que no existe presencia de *Escherichia coli*, y por lo tanto los cuatro tratamientos y su repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad.

#### 4.3.3.4. *Salmonella sp.*

Cuadro 33. Resultados obtenidos en laboratorio de *Salmonella sp.* por tratamiento.

Tratamiento	<i>Salmonella</i> UFC / 25 g.	Norma NCH 2880 Límites Permisibles en compost
T1	< 10**	Ausencia
T2	< 10**	Ausencia
T3	< 10**	Ausencia
T4	< 10**	Ausencia
* * < 10 es igual a cero		

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Análisis y Discusión: en este cuadro se observa el resultado por tratamiento de la presencia de *Salmonella sp.*, y al mismo tiempo presenta la Norma NCH 2880 – 2003 que determina la ausencia de *Salmonella sp.* en compostaje ya que este pudiera ser perjudicial para la salud, en este caso los cuatro tratamientos poseen valores < a 10 UFC/ 25g. Lo cual es considerado como cero es decir que no existe presencia de *Salmonella sp.*, y por lo tanto los cuatro tratamientos y su repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad. La *salmonella sp* al actuar sobre ella el secado solar durante cuatro días se reduce en un 99.9% (Espiricueta y Ponce 2008).

#### 4.3.3.5. *Shiguella sp.*

Cuadro 34. Resultados obtenidos en laboratorio de *Shiguella sp.* por tratamiento.

Tratamiento	<i>Shiguella</i> UFC/ 25g.	Norma NCH 2880 Límites Permisibles en compost
T1	< 10**	ND**
T2	< 10**	ND**
T3	< 10**	ND**
T4	< 10**	ND**
* * < 10 es igual a cero		
** No determinado por la norma		

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Análisis y Discusión: en este cuadro se observa el resultado por tratamiento de la cantidad de *Shiguella sp.* en UFC/25 g por tratamiento, observando al mismo tiempo que la Norma no determina el limite permisible, sin embargo se considera importante

incluirlo, ya que este pudiera ser perjudicial para la salud y a la vez proporciona un estado microbiológico con respecto a los niveles de *Shiguella sp*, en este caso los cuatro tratamientos poseen valores < 10 lo cual es considerado como cero es decir que no existe presencia de *Shiguella sp*, y por lo tanto los cuatro tratamientos y su repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad.

#### 4.3.3.6 Helmintos.

Cuadro 35. Resultados obtenidos en laboratorio de Helmintos por tratamiento.

Tratamiento	Helmintos Ova Helmíntica	Norma NCH 2880 Límites Permisibles en compost
T1	Ausentes	Ausencia
T2	Ausentes	Ausencia
T3	Ausentes	Ausencia
T4	Ausentes	Ausencia
* No determinado por la norma		

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Análisis y Discusión: en este cuadro se observa el resultado por tratamiento de huevos de helmintos viables, la Norma determina que deben de haber ausencia de huevos de helmintos viables, ya que este pudiera ser perjudicial para la salud, en este caso los cuatro tratamientos no presentan huevos de helmintos viables y por lo tanto los cuatro tratamientos y su repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad.

#### 4.3.3.7. Protozoarios.

Cuadro 36. Resultados obtenidos en laboratorio de Protozoarios por tratamiento.

Tratamiento	Protozoarios	Norma NCH 2880 Límites Permisibles en compost
T1	Ausentes	ND*
T2	Ausentes	ND*
T3	Ausentes	ND*
T4	Ausentes	ND*
* No determinado por la norma		

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Análisis y Discusión: en este cuadro se observa el resultado por tratamiento la ausencia de Protozoarios agrupados por tratamiento, observando al mismo tiempo que la Norma no determina el limite permisible, sin embargo se considera importante incluirlo, ya que este pudiera ser perjudicial para la salud y a la vez proporciona un estado microbiológico con respecto a la presencia o ausencia de protozoarios, en este caso los cuatro tratamientos se encuentran ausentes, y por lo tanto los cuatro tratamientos y su repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad.

#### 4.3.4. Metales Pesados.

Cuadro 37: Resultados obtenidos en laboratorio análisis de plomo.

Muestra	Plomo Total mg/Kg	Norma NCH 2880 Límites Permisibles en compost Clase A
T 1 - 4 R 1 – 4	< 0.010	< 100 mg/ Kg

Fuente: Centro de Control de Calidad Industrial (CCI). Análisis de 16 Mx de compostaje a base de lodos residuales, Año 2012.

Análisis y Discusión: En el cuadro se observa el resultado de plomo total en el compostaje, observando al mismo tiempo que la norma determina el limite máximos permisible de 100 mg/kg, y al momento de ser comparado se observa que el resultado obtenido en el compostaje es significativamente menor al límite máximo permisible de la Norma, por lo cual el compostaje posee un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad para su uso. Mahamud (1996) reporta que el valor máximo permisible de plomo contenido en un biosólido es de entre 750 – 1200 mg/kg

**Cuadro 38:** Clasificación de T1 del compost elaborado según Nch2880-2003.

Parámetro	Resultado del compost elaborado	Valor promedio de la Norma NCH-2880			Clasificación según la Norma NCH 2880
		Clase A	Clase B	Sub-estándar	
<b>Tratamiento T1</b>					
<b>Físicos</b>					
Granulometría	88.48 %	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	Clase A
Humedad	44.77 %	≤ + 6 del Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	Clase A
<b>Químicos</b>					
pH	4.75	5-7	5-7	5-7	No Cumple
Conductividad Eléctrica	3.33 dS/m*	≤ 5 mmHos/cm	5-12 mmHos/cm	No aplica	Clase A
Salinidad	1.88 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
Nitrógeno Total	2.75 %	≥ 0.8 %	≥ 0.8 %	≥ 0.8 %	Clase A
Fósforo (P2O5)	0.21 %	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	Clase A para plantas no Sensibles a Fosforo
Potasio	0.09 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
Materia Orgánica	42.57	≥ 45 %	≥ 25 %	No aplica	Clase B
Carbono Orgánico	23.65 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
Relación Carbono: Nitrógeno	8.66	10-25	10-40	Máximo 50	No cumple
<b>Microbiológicos</b>					
Coliformes Totales	≤ 1.8 NMP	No determinado	No Determinado	No Determinado	Cumple con la Norma
Coliformes Fecales	≤ 1.8 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	Cumple con la Norma
Escherichia coli.	≤ 1.8 NMP	No determinado	No determinado	No determinado	Cumple con la Norma
Salmonella	Ausencia	Ausente	Ausente	Ausente	Cumple con la Norma
Shigella	Ausencia	No Determinado	No Determinado	No Determinado	Cumple con la Norma
Helmintos	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Cumple con la Norma
Protozoarios	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Cumple con la Norma

\* 1 dS/m = 1 mmHos/cm



**Cuadro 39:** Clasificación de T2 del compost elaborado según Nch2880-2003.

Parámetro	Resultado del compost elaborado	Valor promedio de la Norma NCH-2880			Clasificación según la Norma NCH 2880
		Clase A	Clase B	Sub-estándar	
<b>Tratamiento T2</b>					
<b>Físicos</b>					
<b>Granulometría</b>	89.32 %	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	Clase A
<b>Humedad</b>	43.94 %	≤ + 6 del Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	Clase A
<b>Químicos</b>					
<b>pH</b>	4.79	5-7	5-7	5-7	No Cumple
<b>Conductividad Eléctrica Salinidad</b>	3.81 dS/m*	≤ 5 mmHos/cm	5-12 mmHos/cm	No aplica	Clase A
<b>Nitrógeno Total</b>	2.45 %	No Determinado ≥ 0.8 %	No Determinado ≥ 0.8 %	No Determinado ≥ 0.8 %	-----
<b>Fósforo (P2O5)</b>	0.23 %	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	Clase A para plantas no Sensibles a Fosforo
<b>Potasio</b>	0.10 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
<b>Materia Orgánica</b>	44.79	≥ 45 %	≥ 25 %	No aplica	Clase B
<b>Carbono Orgánico</b>	24.88 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
<b>Relación Carbono: Nitrógeno</b>	9.47	10-25	10-40	Máximo 50	No cumple
<b>Microbiológicos</b>					
<b>Coliformes Totales</b>	≤ 1.8 NMP	No determinado	No Determinado	No Determinado	Cumple con la Norma
<b>Coliformes Fecales</b>	≤ 1.8 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	Cumple con la Norma
<b>Escherichia coli.</b>	≤ 1.8 NMP	No determinado	No determinado	No determinado	Cumple con la Norma
<b>Salmonella</b>	Ausencia	Ausente	Ausente	Ausente	Cumple con la Norma
<b>Shigella</b>	Ausencia	No Determinado	No Determinado	No Determinado	Cumple con la Norma
<b>Helmintos</b>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Cumple con la Norma
<b>Protozoarios</b>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Cumple con la Norma

\* 1 dS/m = 1 mmHos/cm

**Cuadro 40:** Clasificación de T3 del compost elaborado según Nch2880-2003.

Parámetro	Resultado del compost elaborado	Valor promedio de la Norma NCH-2880			Clasificación según la Norma NCH 2880
		Clase A	Clase B	Sub-estándar	
<b>Tratamiento T3</b>					
<b>Físicos</b>					
<b>Granulometría</b>	89.10 %	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	Clase A
<b>Humedad</b>	45.49 %	≤ + 6 del Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	Clase A
<b>Químicos</b>					
<b>pH</b>	4.94	5-7	5-7	5-7	No Cumple
<b>Conductividad Eléctrica</b>	3.36 dS/m*	≤ 5 mmHos/cm	5-12 mmHos/cm	No aplica	Clase A
<b>Salinidad</b>	1.80 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
<b>Nitrógeno Total</b>	2.32 %	≥ 0.8 %	≥ 0.8 %	≥ 0.8 %	Clase A
<b>Fósforo (P2O5)</b>	0.24 %	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	Clase A para plantas no Sensibles a Fosforo
<b>Potasio</b>	0.12 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
<b>Materia Orgánica</b>	48.37 %	≥ 45 %	≥ 25 %	No aplica	Clase A
<b>Carbono Orgánico</b>	26.87 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
<b>Relación Carbono: Nitrógeno</b>	11.69	10-25	10-40	Máximo 50	Clase A
<b>Microbiológicos</b>					
<b>Coliformes Totales</b>	≤ 1.8 NMP	No determinado	No Determinado	No Determinado	Cumple con la Norma
<b>Coliformes Fecales</b>	≤ 1.8 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	Cumple con la Norma
<b>Escherichia coli.</b>	≤ 1.8 NMP	No determinado	No determinado	No determinado	Cumple con la Norma
<b>Salmonella</b>	Ausencia	Ausente	Ausente	Ausente	Cumple con la Norma
<b>Shigella</b>	Ausencia	No Determinado	No Determinado	No Determinado	Cumple con la Norma
<b>Helmintos</b>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Cumple con la Norma
<b>Protozoarios</b>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Cumple con la Norma

\* 1 dS/m = 1 mmHos/cm

**Cuadro 41:** Clasificación de T4 del compost elaborado según Nch2880-2003.

Parámetro	Resultado del compost elaborado	Valor promedio de la Norma NCH-2880			Clasificación según la Norma NCH 2880
		Clase A	Clase B	Sub-estándar	
<b>Tratamiento T4</b>					
<b>Físicos</b>					
<b>Granulometría</b>	83.82 %	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	≥ 85% de partículas Menores de 16mm.	No Cumple
<b>Humedad</b>	48.71 %	≤ + 6 del Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	Clase A
<b>Químicos</b>					
<b>pH</b>	4.81	5-7	5-7	5-7	No Cumple
<b>Conductividad Eléctrica Salinidad</b>	3.84 dS/m*	≤ 5 mmHos/cm	5-12 mmHos/cm	No aplica	Clase A
<b>Nitrógeno Total Fósforo (P2O5)</b>	2.08 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
	2.54 %	≥ 0.8 %	≥ 0.8 %	≥ 0.8 %	Clase A
	0.23 %	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	Clase A para plantas no Sensibles a Fosforo
<b>Potasio</b>	0.11 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
<b>Materia Orgánica Carbono Orgánico</b>	50.56 %	≥ 45 %	≥ 25 %	No aplica	Clase A
	28.09 %	No Determinado	No Determinado	No Determinado	-----
<b>Relación Carbono: Nitrógeno</b>	11.12	10-25	10-40	Máximo 50	Clase A
<b>Microbiológicos</b>					
<b>Coliformes Totales</b>	≤ 1.8 NMP	No determinado	No Determinado	No Determinado	Cumple con la Norma
<b>Coliformes Fecales</b>	≤ 1.8 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	Cumple con la Norma
<b>Escherichia coli.</b>	≤ 1.8 NMP	No determinado	No determinado	No determinado	Cumple con la Norma
<b>Salmonella</b>	Ausencia	Ausente	Ausente	Ausente	Cumple con la Norma
<b>Shigella</b>	Ausencia	No Determinado	No Determinado	No Determinado	Cumple con la Norma
<b>Helminthos</b>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Cumple con la Norma
<b>Protozoarios</b>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Cumple con la Norma

\* 1 dS/m = 1 mmHos/cm

En base a los cuadros anteriores se puede observar que el compost resultante del tratamiento 3 cumple con los parámetros para ser considerado como un compost clase A, excepto por el parámetro pH; sin embargo este se encuentra muy cercano a los valores que toma en cuenta la Norma NCH 2880. En caso del tratamiento 1 y 2 cumple con la mayoría de los parámetros requeridos para clasificarlo como un compost Clase A, excepto pH y materia orgánica. En el caso del tratamiento 4 no cumple con los parámetros de granulometría y pH, aunque cumple con otros parámetros evaluados, se clasifica como un compost clase A.

## V. CONCLUSIONES.

1. El proceso de compostaje se realizó adecuadamente observándose los 3 periodos que se deben cumplir en un compost, las cuales son las fases: mesofílica que duró 3 días, termofílica que duró 58 días, y maduración que duró 60 días, para lo cual se utilizó la fibra de coco desmenuzada como estructurante.
2. De los tratamientos en estudio, los T2, T3, y T1 presentan las mejores Características Físicas con respecto al % de granulometría menor a 16 mm y % de humedad, siendo el T4, el que presenta los peores resultados.
3. El T3 presenta el mejor resultado en cuanto a pH, con relación a los T4, T2 y T1, los cuales poseen menores valores de pH, a pesar de que a los tratamientos no se les adicionó cal, para elevar la alcalinidad, así, los tratamientos presentan valores bajos de pH con respecto a la Norma NCH2880 -2003.
4. Con respecto a CE y Salinidad los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre ellos, aunque el T1, y T3 presentan mejores valores que el T2 y T4, también hay que saber que CE y Salinidad están relacionados.
5. Los valores obtenidos de Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Materia Orgánica y Carbono Orgánico, no mostraron diferencias significativas, entre los cuatro tratamientos que se estudiaron en esta investigación, y los datos que se obtuvieron en N fue alto; en cuanto a P y K fueron valores bajos.
6. En cuanto a los valores obtenidos en la relación C/N estos sí muestran diferencias significativas, siendo los valores del T3 y T4 los mejores con respecto a la relación C/N y se clasifican Clase A y son significativamente mejor que T2 y T1, que se clasifican Clase B debido a que los valores son menores a 10 esto según la NCH 2880 – 2003.

7. En cuanto a los valores obtenidos después del análisis microbiológico, se determina que cumplen con la Norma de Compostaje NCH2880 - 2003, lo cual no representa un riesgo microbiológico para la salud humana y su utilización.
8. De los factores físicos, químicos y microbiológicos analizados el único parámetro que no cumple con la Norma NCH2880 – 2003 es el pH, ya que en todos los tratamientos se obtienen valores bajos, aunque de todos los tratamientos el T 3 = 4.94 es el resultado más alto y es el que más se acerca a 5.
9. Los valores obtenidos de los tratamientos estudiados en esta investigación, en cuanto a calidad Físico – Química y Microbiológica de compost, el tratamiento que muestra los mejores resultados es el T3 para el cual se utilizó 50% de Lodo, 30% de Fibra de Coco y 20% de material vegetal.
10. Si se trata de resolver problemas de logística el tratamiento que mejor responde es el T1, ya que no hay necesidad de trasladar material vegetal por que su composición esta a base de 70 % de Lodo y 30 % de Fibra de coco, lo cual se puede obtener fácilmente en la zona.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el método de compostaje utilizado ya que proporciona buenos resultados en base a las fases observadas, mesofílica, termofílica, y maduración. Completando así los periodos de rigor por el que un compostaje debe cumplir.
2. Es recomendable utilizar este lodo para elaborar compostaje, debido a que después de realizarle análisis microbiológicos, en estos no se encontraron elementos patógenos que puedan afectar la salud humana, al comparar los datos obtenidos con los valores de referencia de la Norma NCH2880 – 2003.
3. El pH fue el valor más bajo obtenido en los resultados de análisis de todos los tratamientos, por esa razón se recomienda adicionar cal al momento de montaje de las pilas de compostaje, para que esta actúe sobre la acidez de cualquier elemento esto debido a que presentan niveles altos y eleve la alcalinidad del compost, para que al final el pH se encuentre en valores aceptables para su uso.
4. Se recomienda el Tratamiento T3 de composición lodo = 50%; estructurante = 30%; material vegetal = 20% el cual presenta las mejores características Físicas, Químicas y Microbiológicas.
5. Se recomienda el uso del tratamiento T1 el cual su composición es 70% de lodo y 30 de estructurante, ya que de manera logística existe mayor factibilidad, debido a la dificultad para obtener material vegetal abundante al momento de elaborar el compostaje
6. Se recomienda fortalecer el conocimiento y la capacidad de gestión ambiental de instituciones que pueden involucrarse y a la vez beneficiarse con dicha investigación, a fin de fomentar el uso de los lodos generados en depuradoras, con fines Agrícolas.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Acosta G. *et al.* S. F. Efectos de la aplicación del lodo residual municipal sobre suelo y plantas. (en línea). Universidad de Zulia, Estado de Falcón. VE. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaidis/aresidua/peru/ventar006.pdf>
2. ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, SV) Saneamiento Región Central. 1997. Planta de tratamiento de aguas residuales, San Juan Talpa. La Paz, SV. 4 p.
3. Banegas *et al.* 2007. El compostaje *anaerobio* de lodos de aguas residuales usando dos proporciones de aserrín. (en línea). Universidad Politécnica de Cartagena, CO. Volumen 27, Número 10, 2007, Pág. 1317–1327. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X0600273X>
4. Benedict A.1988. Composting Municipal Sludge: A Technology Evaluation, Pollution Technology Review. Trad. JA Vigil. New Jersey, US. 10-11 p.
5. Callejas P, AM. 2008 Estudio del compostaje aeróbico como alternativa para la estabilización de lodos procedentes de una planta de tratamiento de aguas servidas de la Región del Bío Bío. (en línea). Tesis Mag sc. Temuco, CL. Universidad de la Frontera. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: [http://www.doctoradornn.ufro.cl/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=38&tmpl=component&format=raw&Itemid](http://www.doctoradornn.ufro.cl/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=38&tmpl=component&format=raw&Itemid)
6. Canovas, A. 1993. Tratado de Agricultura Ecológica. (en línea). Ed. Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería. Almería. 190 pp. Consultado 15 may. 2012. Disponible en: <http://www.cl/userfiles/file/compostaje.pdf>
7. Cerisola, C.I. 1989. Lecciones de Agricultura Biológica. (en línea). Ed. Mundi – Prensa. Madrid. Consultado 15 may. 2012. Disponible en: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>



8. CIAN (Centro de Investigaciones Atómicas y Nucleares SV). 2011. Componentes relacionados a metales pesados. Universidad de El Salvador, San Salvador.
9. Cristales 1990. citado por Méndez Torres, AV. Vásquez Alvarenga, RA. (2007: 14) Compost.
10. Díaz-Ibarra *et al.* 2010. Aplicación de lodos de procesos de potabilización como mitigantes de la sodicidad en suelos agrícolas. (en línea). Ingeniería Revista Académica, vol. 14, núm. 2, 2010, pp. 87-97 Universidad Autónoma de Yucatán, MX. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen14/aplicacion.pdf>
11. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2000. Folleto informativo de tecnología de biosólidos: Aplicación de biosólidos al terreno. Washington, D.C., US. EPA. 13 p.
12. \_\_\_\_\_. 2002. Biosolids Technology Fact Sheet: Use of Composting for Biosolids Management. Trad. JA Vigil. Washington D.C., US, EPA. 10 p.
13. \_\_\_\_\_. 2003. Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. Trad. JA Vigil. Washington D.C., US, EPA. 173-176 p.
14. Espiricueta AD, Ponce C. 2008. Eliminación de bacterias patógenas de lodos residuales durante el secado solar. (en línea). Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 24, Núm. 4, 2008, pp. 161-170 Universidad Nacional Autónoma de México, MX. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=37011665002>
15. Flores MA, Carranza CC. 2006. Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. (en línea). Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 9, Nº 17, pág. 75-84. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. PE. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/697>

16. García H. 2006. Análisis comparativo de técnicas de digestión para la determinación de metales pesados en lodos residuales. (en línea) Multiciencias Vol. 6. N° 3. Universidad de Zulia, Maracaibo, VE. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=90460305>
17. Goldstein, N. 1994 "Biocycle Biosolids Survey." Trad. JA Vigil. New Jersey, US. 5 p.
18. Guiberteau, A.; Labrador, J. 1991. Técnicas de cultivo en Agricultura Ecológica. (en línea). Hoja Divulgadora Núm. 8/91. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. ES. 44 pp. Consultado 15 may. 2012. Disponible en: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>
19. Haug, RT. 1980. Compost Engineering, Principles and Practice, Ann Arbor Science Publishers. Trad. JA Vigil. Michigan, US. 10 p.
20. Hilleboe, H. 1962. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Tratamiento y Disposiciones de los Lodos. Trad. César F, Rev. MR Mata. México D. F., MX. Editorial Limusa. p. 115
21. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria PE). 2008. Conservación In Situ de los cultivos nativos y sus parientes silvestres, Preparación y uso del compost. (en línea). Biblioteca Nacional del Perú. PE. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://www.inia.gob.pe/genetica/insitu/Compost.pdf>
22. INN (Instituto Nacional de Normalización, CH). 2003. Proyecto de Norma NCh2880. C2003. Compost, Clasificación y Requisitos. (en línea). Consultado 15 may. 2012. Disponible en: <http://www.indap.gob.cl/Docs/Documentos/Org%C3%A1nicos/Compost/002.Compost.NCh2880-2003.pdf>
23. Mahamud, M. 1996a. Biosólidos generados en la depuración de aguas (I) Planteamiento del problema. (en línea). Área de Ingeniería Química,

- Universidad de Burgos. ES. Vol. 3. Nº 2 Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3115/1/32article4.pdf>
24. \_\_\_\_\_. 1996b. Biosólidos generados en la depuración de aguas (II) Métodos de tratamiento. (en línea). Área de Ingeniería Química, Universidad de Burgos. ES. Vol. 3. Nº 3 Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3124/1/33article4.pdf>
25. Manual práctico de técnicas de Compostaje. 2005. Compostaje. (en línea) Consultado 15 may. 2012. Disponible en: [www.abarrataldea.org/manual.htm/](http://www.abarrataldea.org/manual.htm/)
26. Méndez Torres, AV. Vásquez Alvarenga, RA. 2007. Evaluación de tres abonos orgánicos, en la producción de plantines de tomate (*Lycopersicon esculentum*): Abonos Orgánicos. Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV. UES. p. 11 – 14
27. Noticias. 2011. Los lodos de depuradoras se convierten en compost para campos y jardines. (en línea) Consultado 15 may. 2012. Disponible en: <http://www.lasprovincias.es/v/20110808/economia/lodos-depuradoras-convierten-compost-20110808.html>
28. Novillo L. et al. 2010. Compostaje de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales de industria farmacéutica. (en línea). Instituto de Tecnología Química y Medioambiental, Universidad de Castilla La Mancha. ES. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://blog.condorchem.com/wp-content/uploads/2010/06/compostaje.pdf>
29. Oropeza G, N. 2006. Lodos residuales: tratamiento, estabilización y manejo. (en línea). Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, MX. Consultado 29 oct. 2010. Revista Caos 21(1): 61 – 70 Disponible en: [http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006\\_Vol\\_1/Num\\_1/NO\\_Vol\\_I\\_2130\\_2006.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_2130_2006.pdf)
30. Ortiz L. et al 1999. Efecto de la adición de lodos residuales sobre un suelo agrícola y un cultivo de maíz. (en línea). Revista Internacional Contaminación.

- Ambiental. Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Centro de Investigación en Biotecnología. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. MX. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol\\_15\\_2/2.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol_15_2/2.pdf)
31. Pérez, M et al. 2011. Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México. (en línea) INTERCIENCIA, vol. 36, núm. 1, enero, 2011, pp. 45-52 Asociación Interciencia Caracas, VE. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: [http://www.interciencia.org/v36\\_01/045.pdf](http://www.interciencia.org/v36_01/045.pdf)
32. Quinchía AM; Carmona DM. 2004. Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales combinada. (en línea). Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín, CO. Revista EIA, Número 2 p. 89-108. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://revista.eia.edu.co/articulos2/8%20factibilidad.pdf>
33. Rojas MI. 2012. Origen y obtención del sustrato de fibra de coco. (en línea) ISPEMAR. Roquetas de mar, Almería, ES. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://www.cocopeatfertilizer.com/fibra-de-coco-hidroponia-natural/fibra-turba-de-coco/formatos>
34. Romero, J.A. 2000. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y Principio de Diseño. 1ª Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería Santa Fe de Bogotá. CO. 1180 p.
35. Röben, E. 2002. Manual de compostaje para municipios. Compostaje. (en línea). Ilustre municipio de Loja, EC. Consultado 25 nov. 2011. Disponible en: [www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf](http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf)
36. Santillán, citado por Méndez Torres, AV. Vásquez Alvarenga, RA. (2007: 11) Abonos Orgánicos.
37. Soliva M; Huerta O. 2004. Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas. (en línea). Escola Superior d'Agricultura de

- Barcelona. UPC. 3 p. Consultado 15 may. 2012. Disponible en:  
[http://mie.esab.upc.es/ms/recerca\\_experimentacio/articles\\_ESAB/Compostaje%20lodos.pdf](http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articles_ESAB/Compostaje%20lodos.pdf)
38. \_\_\_\_\_; López M. 2004. Calidad del compost. Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. (en línea). Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC. 3 p. Consultado 15 may. 2012. Disponible en:  
[http://mie.esab.upc.es/ms/recerca\\_experimentacio/articles\\_ESAB/Calidad%20compost%20lodos.pdf](http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articles_ESAB/Calidad%20compost%20lodos.pdf)
39. Torres C, E. 2000. Reutilización de aguas y lodos residuales: lodos residuales. (en línea). Universidad Politécnica de Madrid. España, ES. Consultado 29 oct. 2010. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>
40. Trinidad S. A. 2010. Abonos orgánicos. (en línea). Subsecretaria de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Instituto de Recursos Naturales Colegio de Postgraduados, Chapingo, MX. Consultado 10 sept. 2012. Disponible en:  
[www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/.../Abonos%20organicos.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/.../Abonos%20organicos.pdf)
41. US Composting Council. 2002. Stability and quality of municipal solid waste compost from a landfill aerobic bioreduction process. (en línea). Consultado 15 may. 2012. Disponible en:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1093019101000661>
42. Wikipedia, la enciclopedia libre. 2012. Compost. (en línea). Consultado 15 may. 2012. Disponible en: [www.es.wikipedia.org/wiki/Compost/](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Compost/)

## VIII. ANEXOS

### A – 1. Análisis Microbiológicos previos a lodos residuales planta de Tratamiento San Juan Talpa ANDA.



*Universidad de El Salvador  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Departamento de Protección Vegetal*

Ciudad Universitaria, 4 de noviembre de 2010

3:17 pm.  
DdeA.  
4-11-10

Ingeniero Agrónomo:  
Mauricio Tejada  
Departamento de Recursos Naturales y  
Medio Ambiente  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Presente

Ingeniero Tejada:

Tengo el agrado de saludarle muy cordialmente, aprovecho la oportunidad para enviarle los resultados de los análisis parasitológicos y Bacteriológicos de "Lodo procedente de plantas de tratamiento de aguas residuales de ANDA.

Y sin otro sobre el particular, me despido no sin antes reiterarle mis muestras de consideración y estima.

Atentamente,

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"

Ing. Agr. M. Sc. Rafael Antonio Menjívar Rosa  
Jefe de Departamento

RAMR/cmdr.-

*Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.  
Final 25 Av. Nte, Ciudad Universitaria, Apartado Postal No. 747  
tel. 2225-6903, ext. 4609, telefax. 2225-1506*









## A – 2. Método de Analisis de Humedad.

### 2 SÓLIDOS TOTALES Y AGUA

#### 2.1 Secado a 70±5°C

##### 1 Principio y alcance

- 1.1 Una alícuota de la muestra se pesa, se seca a 70±5°C hasta masa constante y se vuelve a pesar. La fracción remanente corresponde al contenido de sólidos totales y la fracción evaporada al contenido de agua.
- 1.2 Este procedimiento es aplicable a todos los tipos de compost y de materias primas para compostaje.

##### 2 Equipos y materiales especiales

- 2.1 Balanza con una capacidad de 100 g y una exactitud de 0,001 g.
- 2.2 Vaso o cápsula de vidrio de 150 mL de capacidad.
- 2.3 Estufa con circulación de aire capaz de mantener una temperatura de 70°C ± 5°C.
- 2.4 Desecador con vacío con un agente secante activo.

##### 3 Procedimiento

- 3.1 Pesar (exactitud 0,001 g) una alícuota de 50 cm<sup>3</sup> de muestra preparada en un vaso (2.2) tarado.

**Nota 1**

Para materias primas y muestras sin preparar aumentar el volumen de material.

- 3.2 Secar a 70±5°C en una estufa con aire forzado (2.3) hasta masa constante

**Nota 2**

Se entiende por masa constante a la masa alcanzada cuando, durante el proceso de secado, la diferencia entre dos pesadas sucesivas de la muestra fría, con un intervalo de 4 horas entre ellas, no excede del 0,1 % de la última masa determinada. Para la mayoría de las muestras, 18 a 24 horas son suficientes para alcanzar una masa constante.

- 3.3 Colocar en un desecador (2.4) y dejar enfriar a temperatura ambiente (30 min).
- 3.4 Sacar del desecador y pesar inmediatamente con una exactitud de 0,001 g.

##### 4 Cálculos

- 4.1 Calcular el contenido de sólidos totales, expresado en porcentaje en base a muestra húmeda, según:

$$ST (\%) = \frac{b}{a} \times 100$$

donde:

- ST = contenido de sólidos totales, en % en base a muestra húmeda  
 a = masa, en g, de la muestra húmeda (3.1)  
 b = masa, en g, de la muestra seca a 70±5°C (3.4)

- 4.2 Calcular el contenido de agua, expresado en porcentaje en base a muestra húmeda, según:

$$\text{Agua (\%)} = \frac{a - b}{a} \times 100$$

donde:

- Agua = contenido de agua en base a muestra húmeda  
 a = masa, en g, de la muestra húmeda (3.1)  
 b = masa, en g, de la muestra seca a 70±5°C (3.4)

## 5 Informes

- 5.1 Informar el resultado (4.1), en porcentaje con un decimal, como:

- Sólidos totales, en base a muestra húmeda = ... %

- 5.2 Informar el resultado (4.2), en porcentaje con un decimal, como:

- Contenido de agua, en base a muestra húmeda = ... %

## 6 Repetibilidad

- 6.1 La repetibilidad del análisis de sólidos totales según TMECC (2001), se presenta en el Cuadro 2.1-1.

**Cuadro 2.1-1.** Repetibilidad de la determinación de sólidos totales (TMECC, 2001).

Muestra N°	1	2	3	4	5	6
Número de submuestras	10	10	10	10	10	10
Media (%)	58,71	61,19	61,29	66,78	70,38	76,07
Desviación estándar de la repetibilidad = $s_r$	1,16	0,43	0,65	0,95	0,00	0,25
Coficiente de variación de la repetibilidad (%)	2,0	0,7	1,1	1,4	0,0	0,3
Límite de repetibilidad = $r = (2,8 \times s_r)$	3,25	1,20	1,82	2,66	0,00	0,70

- 6.2 La repetibilidad del análisis del contenido de agua según TMECC (2001), se presenta en el Cuadro 2.1-2.

## A – 3. Método de análisis de pH.

Métodos de análisis de compost

Método 4.1  
Rev. 2005

### 4 pH

#### 4.1 Suspensión en agua 1:5

##### 1 Principio y alcance

- 1.1 La muestra tamizada por 16 mm y húmeda, se mezcla y agita con agua en una relación 1:5 y se mide el pH con un medidor de pH.
- 1.2 Este procedimiento es aplicable a todos los tipos de compost.

##### 2 Equipos y materiales especiales

- 2.1 Frascos agitables con tapa, de vidrio o plástico, de 250 mL
- 2.2 Agitador recíproco
- 2.3 Baguetas de plástico
- 2.4 Medidor de pH con ajuste de pendiente y control de temperatura.
- 2.5 Electrodo de vidrio y de referencia o electrodo combinado.

##### 3 Reactivos

Durante el análisis, usar solamente reactivos de grado analítico reconocido y agua de clase 2 según la NCh426/2 ( $CE \leq 0,5$  mS/m a 25°C) y con un pH > 5,6.

- 3.1 Soluciones tampones de pH 7,00 y 9,22 (o 10,0).  
Disponibles en el comercio

##### 4 Procedimiento

- 4.1 Calcular la masa de muestra < 16 mm y húmeda proveniente del Método 1.2 punto 3.8.2, equivalente a 40 g de muestra seca a  $70 \pm 5^\circ\text{C}$ , según:

$$A = \frac{40}{ST} \times 100$$

donde:

- |    |   |   |
|----|---|---|
| A  | = | masa, en g, de muestra < 16 mm y húmeda                       |
| ST | = | sólidos totales, en % en base húmeda (Método 1.2 punto 3.8.1) |

- 4.2 Calcular el volumen de agua necesario para una relación muestra:agua = 1:5, según

$$B = 200 - (A - 40)$$

donde:

- B = volumen, en mL, de agua
- A = masa, en g, de muestra < 16 mm y húmeda (4.1)

- 4.3 Pesar la masa calculada en 4.1 de muestra proveniente del Método 1.2, punto 3.8.2, en un frasco de 250 mL (2.1). Incluir una muestra de referencia.
- 4.4 Agregar el volumen de agua calculado en 4.2 y tapar.
- 4.5 Colocar en el agitador (2.2) y agitar por 20 min a 180 golpes por minuto. Mantener la temperatura a 20-23°C.
- 4.6 Calibrar el medidor de pH siguiendo las instrucciones del fabricante y usando las soluciones tampones (3.1).
- 4.7 Destapar los frascos y mezclar con una bagueta.
- 4.8 Inmediatamente introducir el electrodo (2.3) y leer el pH una vez estabilizada la lectura.
- 4.9 Agitar suavemente el frasco sin levantarlo. Si ocurre un cambio en la lectura, agitar nuevamente hasta obtener un valor de pH estable.

## A – 4. Método de Análisis de Conductividad Eléctrica.

### 5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

#### 5.1 Extracto 1:5

##### 1 Principio y alcance

- 1.1 La muestra tamizada por 16 mm y húmeda, se agita con agua en una relación 1:5. La suspensión se centrifuga y en el extracto se mide la conductividad eléctrica.
- 1.2 Este procedimiento es aplicable a todos los tipos de compost.

##### 2 Equipos y materiales especiales

- 2.1 Frascos agitables con tapa, de vidrio o plástico, de 250 mL
- 2.2 Agitador recíproco
- 2.3 Centrifuga capaz de alcanzar 8000 g con tubos de 200 mL.
- 2.4 Conductímetro con una exactitud de al menos 0,01 dS/m (10  $\mu$ S/cm) y equipado con corrección automática de temperatura y control de la constante de la celda.

##### 3 Reactivos

- Durante el análisis, usar solamente reactivos de grado analítico reconocido y agua de clase 2 según la NCh426/2 ( $CE \leq 0,5$  mS/m a 25°C) y con un pH > 5,6.
- 3.1 Solución de KCl 0,1 mol/L.  
Disolver 7,456 g de cloruro de potasio, KCl secado a 105°C durante 24 horas, en agua en un matraz aforado de 1000 mL y enrasar con agua.  
La conductividad eléctrica específica de esta solución es 12,9 dS/m (12,9 mS/cm) a 25°C.
  - 3.2 Solución de KCl 0,02 mol/L.  
Diluir 20 mL de la solución de KCl 0,1 mol/L (3.1) a 100 mL con agua.  
La conductividad eléctrica específica de esta solución es 2,77 dS/m (2,77 mS/cm) a 25°C.
  - 3.3 Solución de KCl 0,01 mol/L.  
Diluir 10 mL de la solución de KCl 0,1 mol/L (3.1) a 100 mL con agua.  
La conductividad eléctrica específica de esta solución es 1,41 dS/m (1,41 mS/cm) a 25°C.

###### Nota 1

Las soluciones de KCl 3.1, 3.2 y 3.3 deben almacenarse herméticamente cerradas en envases que no liberen cationes en cantidad suficiente como para alterar la conductividad eléctrica de las soluciones (por ej. Envases de plástico).

###### Nota 2

Pueden usarse soluciones estándares de conductividad eléctrica disponibles en el comercio



## 4 Procedimiento

### 4.1 Obtención del extracto 1:5

4.1.1 Calcular la masa de muestra < 16 mm y húmeda proveniente del Método 1.2 punto 3.8.2, equivalente a 40 g de muestra seca a  $70\pm 5^\circ\text{C}$ , según:

$$A = \frac{40}{ST} \times 100$$

donde:

A = masa, en g, de muestra < 16 mm y húmeda  
ST = contenido de sólidos totales, en % en base húmeda (Método 1.2 punto 3.8.1)

4.1.2 Calcular el volumen de agua necesario para una relación muestra:agua = 1:5, según

$$B = 200 - (A - 40)$$

donde:

B = volumen, en mL, de agua  
A = masa, en g, de muestra < 16 mm y húmeda (4.1)

4.1.3 Pesar la masa calculada en 4.1 de muestra proveniente del Método 1.2, punto 3.8.2, en un frasco de 250 mL (2.1). Incluir una muestra de referencia y dos blancos.

4.1.4 Agregar el volumen calculado en 4.2 de agua y tapar.

4.1.5 Colocar en el agitador (2.2) y agitar por 20 min a 180 golpes por minuto. Mantener la temperatura a  $20\text{-}23^\circ\text{C}$ .

4.1.6 Centrifugar a 8000 g por 15 min.

**Nota 3**

Alternativamente puede usarse extracción al vacío.

### 4.2 Determinación de la constante de la celda

4.2.1 Medir la conductividad eléctrica (CE) de las soluciones de KCl (3.1, 3.2, y 3.3) de acuerdo a las instrucciones del fabricante del conductímetro (2.4).

4.2.2 Calcular, para cada solución de KCl, la constante de la celda según:

$$K = \frac{CE_e}{CE_m}$$

donde:

K = constante de la celda  
CE<sub>e</sub> = CE específica, en dS/m (mS/cm), de una de las soluciones de KCl  
CE<sub>m</sub> = CE medida, en dS/m (mS/cm), de la misma solución de KCl

## A – 5. Método de análisis de Nitrógeno.

- OFFICIAL METHODS OF ANÁLISIS OF THE ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTOR. Chemist. 1980. 13 Edition published by the association of official Analytical.

### LABORATORIO 7 DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO MÉTODO MICRO KJELDAHL

#### INTRODUCCIÓN:

El método de valoración de nitrógeno proteico de mayor aplicación universal para alimentos es el ideado por kjeldahl en 1883.

En este método se mide la cantidad de nitrógeno que contiene una muestra y se convierte el nitrógeno en proteína multiplicándolo por un factor de acuerdo a la naturaleza de la proteína, ya sea de origen animal o vegetal.

En la determinación química de las proteínas, los datos son expresados como Nitrógeno proteico total. El valor del nitrógeno varía según su composición y está vinculado a su origen, es distinto en general para los vegetales y presenta también diferencias dentro de cada tipo, estableciéndose de acuerdo al contenido de nitrógeno de cada proteína, los factores de conversión del dato de nitrógeno en la proteína correspondiente.

Para las proteínas vegetales cuyo contenido en nitrógeno oscila entre 16.4 y 18.7 se aplica el factor general de conversión 5.7, pudiéndose aplicar otros particulares para cada vegetal.

Para las proteínas animales que contienen aproximadamente 16 nitrógeno, se aplica el factor 6.25, con caso particular para la caseína de la leche, que contiene 15.5 se aplica el factor 6.38. Por este método se puede determinar todo tipo de nitrógeno presente en la muestra, como amoniacal, ureico, nítrico, nitratos con solo cambiar los reactivos catalizadores.

#### MÉTODO DE MICRO - KJELDAHL

##### FUNDAMENTO:

1. Destrucción de la materia orgánica por acción del ácido sulfúrico concentrado y caliente. Este actúa sobre la materia orgánica deshidratándola y carbonizándola. El carbón es oxidado y el nitrógeno reducido a amoníaco en presencia de reactivos específicos que actúan como catalizadores.

El amoníaco desprendido queda fijado en el ácido sulfúrico como sulfato de amonio, que estable en las condiciones de trabajo.

2. Liberación del amoníaco liberado, recogiendo en un volumen conocido de ácido bórico formándose borato de amonio.

3. El borato de amonio se titula con ácido clorhídrico empleando como indicador una mezcla de verde de bromocresol y rojo de metilo.

**EQUIPO:**

- Micro kjeldahl de digestión y destilación.

**MATERIAL:**

- Tubos Tecator para proteína kjeldahl de 250 ml
- MicroBureta de 10 ml y 25 ml
- Soporte para bureta completa
- Papel filtro o caja de aluminio para pesar la muestra.
- Erlenmeyer de 250 ml

**REACTIVOS:**

- \* Ácido sulfúrico concentrado, libre de nitrógeno densidad 1.84
- \* Sulfato de potasio (pulverizado) + sulfato de cobre (7 gr + 0.8) mezcla y se conoce como mezcla de catalizador.
- Solución de ácido clorhídrico 0.1 N ó 0.025N.
- Solución de ácido bórico al 4% + solución de indicadores de verde de bromocresol y rojo de metilo en metanol o alcohol etílico.
- Solución de hidróxido de sodio al 40%.
- Alcohol etílico al 95%

**PROCEDIMIENTO:**

A) DIGESTION:

1. Pesar en papel filtro más o menos 0.1 gr de muestra y colocarla en un tubo tecator para micro kjeldahl de 250 ml si la muestra es líquida medir con pipeta volumétrica 1 ml
2. Agregar al tubo, que contiene la muestra pesada y medida exactamente:
  - 6.0 ml de ácido sulfúrico.
  - 3 gr de La mezcla de catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre)
3. Agitar durante 5 minutos ésta mezcla y colocar los 6 tubos al mismo tiempo en el aparato de digestión Kjeldhal, al mismo tiempo conectar el sistema de extracción de vapores y condensación de gases. Mover constantemente (por medio de rotación) los tubos y esperar hasta que la solución esté de color azul o verde.

B) DESTILACIÓN:

4. Enfriar los tubos, agregandoles agua destilada más o menos 80 ml, esperar que enfrién nuevamente.
5. Agregar 60 mililitros de solución de hidróxido de sodio al 40%.
6. En un erlenmeyer de 250 ml colocar 25 ml de la solución de ácido bórico mas indicadores y colocarlo en el aparato de destilación (solución de color rojo).
7. Recibir el destilado en el erlenmeyer de 250 ml, el que debe estar en el aparato después de 5 minutos de trabajo del mismo (hasta que para su función) que se vera un cambio del indicador de rojo a verde.



8. Dejar enfriar y titular con solución de ácido clorhídrico 0.1 ó 0.025N hasta cambio de color del indicador que va de verde a rojo

**CÁLCULOS:**

El porcentaje de nitrógeno total se calcula aplicando la siguiente formula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml HCl muestra} - \text{ml HCl testigo}) * N * 0.014 * 100}{\text{peso de muestra}}$$

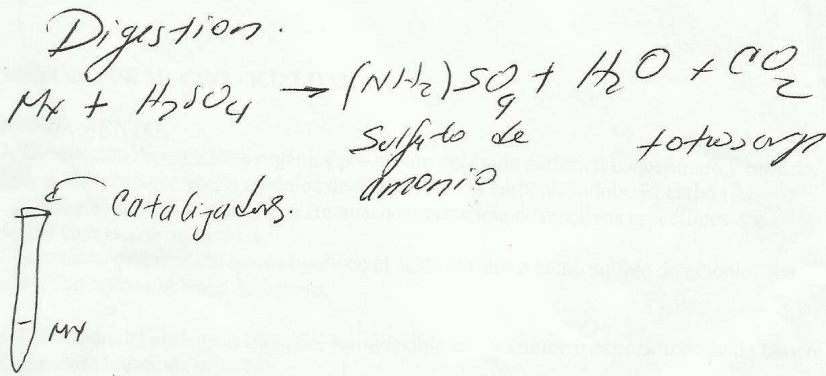
0.88

% de proteína cruda = % Nitrógeno x 6.25  
 factor 6.25 mayoría de proteínas animales, cuando se trate de otro tipo de muestra, debe buscarse el factor correspondiente, ejemplo: caso de leche el factor es 6.38.

$$\% \text{ proteína en basa seca} = \frac{\text{Porcentaje de proteína} * 100}{\text{Porcentaje de materia seca}}$$

**BIBLIOGRAFÍA:**

- BATEMAN, J. V. Nutrición Animal, Manual de métodos analíticos. México, Herero 1970.
- D.W. GILCHRIST. S. A practical course in Agricultural chemistry. De. pergamen press. londres, 1967.
- M. DE RODRÍGUEZ BEATRIZ. Análisis de alimentos, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1980.
- OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF THE ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL. Chemists 1980. 13° Edition published by the Association of official Analytical.



## A – 6. Método de análisis de Fosforo.

### METODO CUANTITATIVO DE FOSFORO EN SUELOS.

#### I. FUNDAMENTO:

El método de análisis para determinar fósforo consiste en una extracción del elemento con una solución doble ácido, solución de Mehlich o Solución Carolina del Norte. Una vez extraídos los elementos; el fósforo se determina con el método colorimétrico del Vanadato-Molibdato de Amonio.

La coloración amarilla que se desarrolla en esta metodología se debe a la formación del sistema Vanadomolibdofosfórico, al sustituirse los átomos de oxígeno del radical  $\text{PO}_4^{-3}$  por los radicales oxivanadio y oximolibdeno, para dar un heteropolícompuesto adaptable a muchos medios acidificados.

#### II. PREPARACIÓN DE REACTIVOS.

1. **Solución Molibdato-Vanadato de Amonio.** *no*
  - **Solución de Molibdato de amonio:** Pesar 60 g de molibdato de amonio tetrahidratado y disolverlos en 900 mL de agua destilada caliente. Luego enfriar y diluir a 1 litro.
  - **Solución de Meta-Vanadato de amonio:** Pesar 1.5 g de metavanadato de amonio y diluirlos en 690 mL de agua destilada caliente; luego añadir 300 mL de  $\text{HNO}_3$ , enfriar y diluir a 1 litro.
  - Adicionar gradualmente con agitación, la solución de Molibdato de amonio a la solución de Vanadato de amonio. **NOTA:** Almacenar a temperatura ambiente en frascos de polietileno. El reactivo es estable indefinidamente en frascos de polietileno pero si es almacenada en frascos de vidrio gradualmente se forma precipitado después de varios meses. Descartar el reactivo si se forma precipitado.
2. **Solución Extractora Carolina del Norte.** *se preparó*

*Preparación de la solución extractora (Carolina del Norte).*

La solución extractora de ácido débil es una solución de aproximadamente 0.05N de HCl y 0.025N de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Medir 0.67 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y 4.05 mL de HCl concentrado. Llevar a volumen de 1 litro con agua destilada y mezclar bien.

**3. Preparación de Soluciones Estándar de Fosfato.**

- **Solución Madre de Fósforo ([0.5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/mL]).** Disolver 0.2397 g de estándar primario de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> en agua destilada y llevar a volumen en un balón volumétrico de 250 mL.
- **Soluciones de Trabajo de Fosfato.** Diluir 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 mL de la solución Madre en balones volumétricos de 500 mL para obtener estándares de trabajo de 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 y 0.35 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10 mL respectivamente.

**III. PROCEDIMIENTO.**

**a) METODO DE EXTRACCIÓN DE FOSFORO.**

1. Pesarse en una balanza analítica 10.0 g de muestra de suelo que ha sido previamente secada al aire y tamizada.
2. Adicione 0.2 g de Carbón activado y 50 mL de solución extractora Carolina del Norte, agitar durante 5 minutos y dejar reposar. Filtrar la solución a través de papel filtro.

**b) PREPARACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN.**

1. Preparar una curva de calibración del equipo utilizando una solución patrón de 1000 ppm de Fósforo. Tomar 5, 10 y 20 mL de la solución y transferir a balones volumétricos de 50 mL. La concentración teórica de los estándares es de 100, 200 y 400 ppm de P respectivamente.
2. Graficar los datos obtenidos de concentración contra absorbancia en una hoja de cálculo. Después de corroborar la linealidad del método inicie la lectura de las muestras.

**c) PREPARACIÓN Y LECTURA DE LAS MUESTRAS.**

1. Pipetear 5 mL del filtrado y transferir a un tubo de ensayo.
2. Añadir 2 mL de solución Molibdato-Vanadato, agitar y dejar en reposo durante 30 minutos.
3. Leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 400 nm. Llevar un blanco para ajustar el cero de absorbancia en el equipo.
4. Para calcular la concentración de Fósforo en las muestras utilice la siguiente fórmula:  
Ley de Beer-Lambert:

1 ml del filtrado diluir en un balón aforado de 100 ml  
Extraer 5 ml a un tubo de ensayo y agregar 2 ml de Molibdato - Vanadato

$$C_{Mx} = \frac{A_{Mx} \cdot C_{St}}{A_{St}} \cdot FD$$

Donde:

$C_{Mx}$ : Concentración de la muestra.

$A_{Mx}$ : Absorbancia de la muestra.

$C_{St}$ : Concentración del estándar.

$A_{St}$ : Absorbancia del estándar.

FD: Factor de Dilución de la muestra.

#### IV. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

- Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC 20044 United States of America. Thirteenth Edition. 1980. Pag. 365.



## A – 7. Método de análisis de Potasio.

### DETERMINACIÓN DE POTASIO DISPONIBLE EN SUELOS

#### Equipo Requerido:

- Fotómetro de Llama. Modelo Sherwood 410.
- Papel filtro Whatman No. 30
- Estándar de Potasio.
- Balanza analítica.
- Acetato de amonio.
- Ácido acético.

#### Método Analítico.

1. Encender el fotómetro y permitir que caliente durante 30 minutos.
2. Preparar una solución 0.5M de acetato de amonio-ácido acético, tomando 38.55 g de acetato de amonio y disolviéndolos en 29 mL de ácido acético glacial y diluir a 1 litro con agua destilada.
3. Pesar exactamente 10 gramos de suelo y transferirlos a un recipiente plástico juntamente con 50 mL de solución 0.5M de acetato de amonio-ácido acético glacial.
4. Cerrar el recipiente plástico y agitar utilizando un agitador automático durante 30 minutos.
5. Remover del agitador, permitir que la solución repose durante varios minutos. Filtrar la solución a través de un filtro de papel Whatman No. 30.
6. Preparar soluciones estándar de potasio para cubrir el rango de 0-100 ppm de la siguiente forma:
  - Pipetear exactamente 10 mL de estándar de Potasio en un frasco volumétrico de 100 mL y aforar hasta la marca con solución de acetato de amonio-acido acético. Esta es la solución estándar de 100 ppm. De esta solución preparar estándares de 80, 60, 40 y 30 ppm utilizando la solución de acetato de amonio-ácido acético como diluyente.
7. Aspirar el estándar de 100 ppm y ajustar la concentración en el monitor a un valor de 100. Sin tocar los controles aspirar los otros estándares y confirmar que todos producen una respuesta lineal.
8. Determinar el contenido de potasio del extracto de suelo aspirando la solución en el fotómetro de llama sin realizar ninguna dilución a menos que el valor obtenido sea mayor que el valor del estándar más concentrado.

#### Cálculo:

$$\text{Conc. K (mg/100 g suelo)} = \frac{\text{valor en el monitor (ppm)} \times \text{volumen de solución extractora (mL)} \times 100}{\text{peso de la muestra (g)} \times 1000}$$

## A – 8. Método de análisis de Materia Orgánica.

### 6 MATERIA ORGÁNICA

#### 6.1 Pérdida por calcinación a 550°C

##### 1 Principio y alcance

- 1.1 La muestra seca a 36°C, tamizada por 16 mm, molida y libre de inertes y de carbono inorgánico, se calcina a 550°C. Se asume que el material volatilizado es la fracción orgánica y la ceniza remanente es la fracción mineral.
- 1.2 Este procedimiento es aplicable a todos los tipos de compost.

##### 2 Equipos y materiales especiales

- 2.1 Balanza con una capacidad de 100 g y una exactitud de 0,001 g.
- 2.2 Crisoles de cerámica libre de carbono de 25-50 mL de capacidad
- 2.3 Vasos de vidrio, Pyrex o equivalente, de 150 mL de capacidad.
- 2.4 Estufa con circulación de aire capaz de mantener una temperatura de 70°C ± 5°C.
- 2.5 Desecador con vacío con un agente secante activo.
- 2.6 Mufla

##### 3 Reactivos

- 3.1 Ácido clorhídrico, HCl, 0,05 mol/L.  
Diluir 4 mL de HCl 37% o 5 mL de HCl 32% con agua y llevar a 1 L.

##### 4 Procedimiento

- 4.1 Pesar, en un crisol (2.2), 10 g (exactitud 0,001 g) de muestra seca a 36°C, < 16 mm, libre de inertes y molida, proveniente del Método 1.4.1 punto 3.2.,. Incluir una muestra de referencia.  
**Nota 1**  
Si la heterogeneidad de la muestra es significativa, pesar alrededor de 100 cm<sup>3</sup> en un vaso (2.3).
- 4.2 Si la muestra contiene carbonatos, eliminarlos agregando HCl 0,05 mol/L (3.1) hasta que cese el burbujeo.
- 4.3 Secar a 70±5°C hasta masa constante. Registrar la masa de muestra seca.
- 4.4 Colocar en la mufla (2.6) y lentamente subir la temperatura a 550°C. Mantener la temperatura durante 2 h y luego lentamente disminuirla hasta alrededor de 200°C.
- 4.5 Sacar, colocar en el desecador (2.5) y dejar enfriar hasta temperatura ambiente.
- 4.6 Pesar y registrar la masa con una exactitud de 0,001 g.

## 5. Cálculos

- 5.1 Calcular la concentración de materia orgánica, expresada en porcentaje en base seca a  $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ , según:

$$\text{Materia orgánica (\%)} = \frac{a-b}{a} \times 100$$

donde:

- a = masa, en g, de la muestra seca a  $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ , antes de la calcinación (4.3)  
b = masa, en g, de la muestra calcinada a  $550^{\circ}\text{C}$  (4.6)

## 6 Informes

- 6.1 Informar el resultado (5.1), en porcentaje con un decimal, como:  
- Materia orgánica en base a muestra seca a  $70\pm 5^{\circ}\text{C}$  = ... %
- 6.2 Informar el método utilizado y si se eliminaron carbonatos.

## A – 9. Método de análisis de Carbono Orgánico.

Métodos de análisis de compost

Método 7.2  
Rev. 2005

### 7 CARBONO ORGÁNICO

#### 7.2 Cálculo a partir de la materia orgánica

##### 1 Principio y alcance

- 1.1 Este método considera que la materia orgánica del compost tiene, en promedio, un 56% de carbono. Por lo tanto, para obtener el contenido de carbono orgánico de una muestra se divide por 1,8 el contenido de materia orgánica determinado por el Método 6.1.
- 1.2 Este procedimiento es aplicable, como método alternativo, a todos los tipos de compost.

##### 2 Procedimiento

- 2.1 Determinar la concentración de materia orgánica de la muestra, expresada en porcentaje en base seca a  $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ , según el Método 6.1.

##### 3. Cálculos

- 3.1 Calcular la concentración de carbono orgánico, expresada en porcentaje en base seca a  $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ , según:

$$\text{Carbono orgánico (\%)} = \frac{\text{MO}}{1,8}$$

donde:

MO = concentración, en %, de materia orgánica (2.1)

##### 4 Informes

- 4.1 Informar el resultado, en porcentaje con un decimal, como:  
- Carbono orgánico en base a muestra seca a  $70\pm 5^{\circ}\text{C}$  = ... %
- 4.2 Informar el método utilizado.



## A – 10. Método de análisis Relación C/N.

### 14 RELACIONES

#### 14.1 Relación carbono/nitrógeno

##### 1 Principio y alcance

- 1.1 La relación carbono/nitrógeno es la razón entre el carbono orgánico total y el nitrógeno total. El carbono orgánico total es la fracción de carbono de la materia orgánica (o sólidos biodegradables). El nitrógeno total incluye el nitrógeno orgánico y el nitrógeno inorgánico. La fracción de nitrógeno inorgánico está dominada por el nitrógeno amoniacal (NH<sub>4</sub>-N) y nitrógeno nítrico (NO<sub>3</sub>-N).
- 1.2 Este procedimiento es aplicable a todos los tipos de compost.

##### 2 Procedimiento

- 2.1 Determinar la concentración de carbono orgánico según el Método 7.1 o el Método 7.2.
- 2.2 Determinar la concentración de nitrógeno total según el Método 8.1.1.

##### 3 Cálculos

- 3.1 Calcular la relación carbono/nitrógeno según:

$$\text{Relación C/N} = \frac{\text{C}}{\text{N}}$$

donde:

- |   |   |  |
|---|---|--|
| C | = | concentración, en % en base seca a 70±5°C, de carbono orgánico (2.1) |
| N | = | concentración, en % en base seca a 70±5°C, de nitrógeno total (2.2)  |

##### 4 Informes

- 4.1 Informar el resultado (3.1) sin unidades y con un decimal como:  
- Relación C/N = ...
- 4.2 Informar los métodos empleados para el análisis de cada elemento.

## **A – 11. Materiales, equipo y reactivos utilizados.**

### **Materiales:**

- ✓ 1 Permatex epoxico multilineal.
- ✓ 1 galones de anticorrosivo estructural.
- ✓ 4 libras de Electros para acero.
- ✓ 1 lamina hierro negro 2x1 de 1/8''.
- ✓ 1 hierro plano de 3x25.
- ✓ 1 metro de cable eléctrico vulcan tsj 8-4.
- ✓ 1 metro de cable para borde de conexión.
- ✓ 2 baleros p208d1.
- ✓ 2 baleros Uc208d1.
- ✓ 87 sacos de nylon.
- ✓ 2 cubetas de 5 galones.
- ✓ 5 m<sup>3</sup> de estopa de coco madura.
- ✓ 281 sacos de nylon de 1qq.
- ✓ 10 m<sup>3</sup> de lodos previamente analizado equivalentes a 152 sacos de 1qq.
- ✓ 86.4 sacos de 1qq de estopa de coco desmenuzada.
- ✓ 6 sacos de 1qq de material vegetativo verde.
- ✓ 35 sacos de 1qq de material vegetativo seco.
- ✓ Bitácora de temperatura.
- ✓ Termómetro de punta con capacidad mayor o igual a 70°C.
- ✓ Manguera.
- ✓ Vehículo y combustible.
- ✓ 16 bolsas plásticas transparentes de 25 lb.
- ✓ Ficha de identificación de la muestra.
- ✓ Martillo de madera o de otra superficie suave, o tapón de goma.
- ✓ Bolsas o frascos de plástico con tapa para almacenar las muestras.
- ✓ Bandejas.
- ✓ Libreta de apuntes.
- ✓ Recipientes plásticos para balanza.
- ✓ 10 sacos de fibra vacíos.

- ✓ Frascos agitables con tapa, de vidrio o plástico, de 250 mL.
- ✓ Agitador recíproco.
- ✓ Baguetas de plástico.
- ✓ 16 cajas de aluminio para pesar muestra.
- ✓ Papel filtro Whatman N°30
- ✓ Papel parafinado.
- ✓ Libreta de apuntes
- ✓ Datos de Materia Orgánica
- ✓ Datos de Nitrógeno Total
- ✓ Datos de Carbono Orgánico
- ✓ Papelería.
- ✓ Folder y fastener.
- ✓ Tinta negra y de colores.
- ✓ Programa Informático StatGraphic 5.0

### **Equipo.**

- ✓ 3 Sierra para marco diente ordinario.
- ✓ 3 Sierra para marco fino.
- ✓ 1 disco para metal 9x1 rasta.
- ✓ 1 motor Trifásico cerrado diseño NEMA B 3480 RPM.
- ✓ Soldador eléctrico.
- ✓ Esmeril.
- ✓ Vehículo y combustible.
- ✓ Máquina desmenuzadora de estopa de coco.
- ✓ Equipo de protección para operario casco, lentes, botas.
- ✓ Vehículo y combustible.
- ✓ Equipo de protección para operarios: cascos, lentes, guantes y botas.
- ✓ 6 corvos.
- ✓ Vehículo y combustible.
- ✓ 4 cubetas.
- ✓ 8 palas.
- ✓ 4 azadones.

- ✓ Manguera.
- ✓ Termómetro de punta con capacidad mayor o igual a 70°C.
- ✓ 1 palin.
- ✓ Estufa con circulación de aire capaz de mantener una temperatura de 40°C ± 2°C.
- ✓ Tamiz de acero inoxidable o de otro material inerte, con orificios de 16 mm.
- ✓ Mortero y pistilo de ágata.
- ✓ Balanza analítica con una capacidad de 100 g y una exactitud de 0,001 g.
- ✓ Vaso o cápsula de vidrio de 150 ml de capacidad.
- ✓ Estufa de circulación de aire que mantenga una temperatura de 70°C ± 5°C.
- ✓ Desecador con vacío con un agente secante activo.
- ✓ Calculadora científica.
- ✓ Balanza gravimétrica con capacidad de 5 kg.
- ✓ Calculadora científica.
- ✓ Tamiz de 16, 2, 1, y 0.50 mm.
- ✓ Medidor de pH con ajuste de pendiente y control de temperatura.
- ✓ Electrodo de vidrio y de referencia o electrodo combinado.
- ✓ Medidor de pH con ajuste de pendiente y control de temperatura.
- ✓ Electrodo de vidrio y de referencia o electrodo combinado.
- ✓ Micro Kjeldahl de digestión y destilación.
- ✓ Soporte para bureta completa.
- ✓ Erlenmeyer de 250 ml.
- ✓ Tubos tecator para proteína Kjeldahl de 250ml.
- ✓ Micro- bureta de 10 ml y 25 ml.
- ✓ Espectrofotómetro.
- ✓ Balanza Analítica
- ✓ Beaker de 250 ml,
- ✓ probeta de 100 ml,
- ✓ pipeta de 1, 5 y 10 ml.
- ✓ Fotómetro de llama.
- ✓ Balanza Analítica

- ✓ Estufa con circulación de aire capaz de mantener una temperatura de  $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Desecador con vacío con un agente secante activo.
- ✓ Crisoles de cerámica libre de carbono de 25-50 mL de capacidad
- ✓ Vasos de vidrio, Pyrex o equivalente, de 150 mL de capacidad.
- ✓ Mufla
- ✓ Calculadora científica
- ✓ Computadora
- ✓ Impresora

### **Reactivos.**

- ✓ Agua de clase 2 ( $\text{CE} \leq 0,5 \text{ mS/m}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ ) y con un  $\text{pH} > 5,6$ .
- ✓ Soluciones tampones de  $\text{pH}$  7,00 y 9,22 (o 10,0).
- ✓ Solución de cloruro de potasio, KCl, 0,1 mol/L.
- ✓ Solución de cloruro de potasio, KCl, 0,02 mol/L.
- ✓ Solución de cloruro de potasio, KCl, 0,01 mol/L.
- ✓ Acido sulfúrico concentrado, libre de nitrógeno densidad 1.84
- ✓ Sulfato de potasio (pulverizado) + Sulfato de cobre (7gr+0.8)
- ✓ Solución acido clorhídrico 0.1N o 0.025N.
- ✓ Solución de acido bórico al 4% + solución de indicadores de verde de bromocresol y rojo de metilo en metanol o alcohol etílico
- ✓ Solución de Hidróxido de Sodio al 40 %
- ✓ Alcohol etílico al 95 %
- ✓ Solución Molibdato- Vanadato de Amonio
- ✓ Solución extractora Carolina del Norte
- ✓ Soluciones Estándar de Fosforo
- ✓ Estándar de Potasio
- ✓ Acetato de Amonio
- ✓ Acido Acético
- ✓ Ácido clorhídrico, HCL, 0,05 mol/L.

## A – 12. Resultado de análisis físico – químicos del compost elaborado.

Muestra (Mx)	Parámetros											
	Químicos									Físicos		
	pH	CE (dS/m)	Salinidad %	N Total %	P2O5 %	K dispo %	MO %	CO %	Rela. C:N	Granulometría % ≤ 16mm	Humedad %	Color
T1 R1	4.70	3.76	2.1	3.1	0.20	0.09	44.55	24.75	7.88	86.72	45.38	5YR 3/3
T1 R2	4.72	2.95	1.6	3.1	0.21	0.07	48.73	27.07	8.75	87.00	45.56	10 YR 2/5
T1 R3	4.79	3.78	2.2	2.6	0.20	0.09	40.68	22.60	8.63	90.42	44.20	10 YR 2/7
T1 R4	4.78	2.83	1.6	2.1	0.21	0.10	36.33	20.18	9.46	89.79	43.95	2.5 Y 3/5
X	4.75	3.33	1.88	2.7	0.21	0.09	42.57	23.65	8.68	88.49	44.77	0
T2 R1	4.81	3.74	2.1	2.7	0.26	0.10	43.93	24.40	9.46	89.70	44.51	5Y 2/6
T2 R2	4.77	3.76	2.1	2.6	0.22	0.09	44.93	24.96	9.43	88.62	43.85	2.5 Y 2/4
T2 R3	4.88	3.81	2.2	2.2	0.21	0.10	51.39	28.55	9.50	89.71	42.93	7.5 YR 3/2
T2 R4	4.69	3.94	2.2	2.3	0.23	0.12	38.89	21.61	9.50	89.23	44.47	7.5 YR 3/4
X	4.79	3.81	2.15	2.4	0.23	0.09	44.79	24.88	10.29	89.32	43.94	0
T3 R1	4.89	3.51	1.8	2.1	0.28	0.13	51.55	28.64	13.33	86.75	44.82	7.5 4/4
T3 R2	4.95	3.02	1.7	2.2	0.20	0.13	52.43	29.13	13.13	89.46	46.06	10 YR 3/4
T3 R3	4.93	3.21	1.7	2.6	0.27	0.12	43.60	24.22	9.47	89.55	46.15	10 YR 4/3
T3 R4	4.97	3.71	2	2.4	0.21	0.10	45.88	25.49	10.81	90.63	44.91	10 YR 2/6
X	4.94	3.36	1.80	2.3	0.24	0.12	48.36	26.87	11.69	89.10	45.49	0
T4 R1	4.76	3.64	1.9	2.5	0.32	0.13	54.86	30.48	12.32	86.79	50.38	5 YR 2/2
T4 R2	4.74	4.06	2.2	2.6	0.20	0.15	47.13	26.18	10.06	79.48	48.58	5YR 2/4
T4 R3	4.91	4.22	2.3	2.3	0.22	0.04	52.99	29.44	12.55	86.66	49.66	5YR 2/5
T4 R4	4.82	3.42	1.9	2.7	0.19	0.13	47.25	26.25	9.56	82.37	46.23	5YR 3/5
X	4.81	3.84	2.08	2.54	0.23	0.11	50.56	28.09	11.12	83.83	48.71	0

Br. Manuel Vicente Mendoza  
Laboratorista

Br. Jairo Aaron Vigil Sanchez  
Laboratorista

Ing. Oscar Mauricio Carrillo Turcios  
Jefe del Departamento  
Química Agrícola



Asesores de Laboratorio: Lic. Yanira de Linares; Lic. Norbis Solano; Lic. Fredy Carranza

## A – 13. Resultado de análisis microbiológico de un tratamiento.



**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.**

Calle San Antonio Abad, Urb. Lisboa # 35, San Salvador. Tel.: 2284-0223 Telefax: 2284-5930  
 ccci@navegante.com.sv • www.ccci.com.sv

San Salvador, 12 de Julio de 2012

N° de Solicitud: SA0820	N° de Reporte: RA3709
<b>Datos del cliente</b>	
Empresa: Jairo Vigil ; Manuel Vicente	
Responsable: Jairo Vigil ; Manuel Vicente	
Dirección: Av. Castro Moran # 40, Mejicanos	
Teléfono: 7325-3237/7931-6441	
e-mail: javs0988@hotmail.com	

<b>Datos Muestra</b>	
Naturaleza	Lodo T1
Fecha de ingreso:	02/07/2012
Fecha de análisis:	02/07/2012 a 10/07/2012
Muestreado por:	Cliente

### REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS*
Coliformes Totales NMP/g	<1.8**	Standard Methods, 9221C y E, 21Ed 2005 Técnica estándar de fermentación
Coliformes Fecales NMP/g	<1.8**	Standard Methods, 9221C y E, 21Ed 2005 Técnica estándar de fermentación
Escherichia Coli NMP/g	<1.8**	Standard Methods, 9221F, 21Ed 2005 Técnica estándar de fermentación
Salmonella sp 25g	Ausencia	APHA Cap 3 FDA-Cap. 5.Ed.2005. Método de estrias
Shiguelia sp 25g	Ausencia	FDA/CFSAN BAM Cap. 6
Huevos de Elminotos	Ausencia	Observación Directa al Microscopio
Protozoarios	Ausencia	Observación Directa al Microscopio

\* Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 th. Edición. 2005

\*\*<1.8 es Igual a 0

NMP = Números Más Probables g.Gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Polvo granulado de color café con fibras vegetales secos. Recibido en bolsa de plástico olor muy leve a pútrido.

**OBSERVACIONES:** No se cuenta con una norma de referencia para lodos y para hacer comparaciones de resultados.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada. Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total de este reporte debe ser autorizada por el cliente; el Centro de Control de Calidad Industrial no autoriza la copia parcial del reporte.

Atentamente,

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A DE C.V. - CCCI**

*Sulma Yanira Reyes de Serpas*  
 Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas  
 Directora Ejecutiva



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NSR ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.

ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE



## A – 14. Resultado de análisis microbiológico de un tratamiento.



**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.**  
 Calle San Antonio Abad, Urb. Lisboa # 35, San Salvador. Tel.: 2284-0223 Telefax: 2284-5932  
 ccci@navegante.com.sv • www.ccci.com.sv

San Salvador, 01 de agosto de 2012

N° de Solicitud: SA0904	N° de Reporte: RA4078
----------------------------	--------------------------

Datos del cliente	
Empresa:	Jairo Vigil ; Manuel Mendoza
Responsable:	Jairo Vigil ; Manuel Mendoza
Dirección:	Av. Castro Moran # 40, Mejicanos
Teléfono:	7325-3237/7931-6441
e-mail:	javs0988@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo T2
Fecha de ingreso:	24/07/2012
Fecha de análisis:	24/07/2012 a 27/07/2012
Muestreado por:	Cliente

### REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**
Salmonella sp UFC/25g	<10*	APHA Cap 3 FDA-Cáp. 5 Ed. 2005. Método esparcido en superficie.
Shiguella sp UFC/25g	<10*	FDA/CFSAN BAM Cap. 6. Método esparcido en superficie.

\* Este valor corresponde a 0 en 25 gr de la muestra  
 \*\* FDA/ BAM: Food & Drug Administration. Bacteriological Analytical Manual.  
 \*\* APHA: American Public Health Association  
 UFC= Unidades Formadoras de Colonia ; g=gramo

#### CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:

Polvo granulado fino de color café oscuro con materia vegetal seca, olor terreo, recibida en bolsa plástica.

**OBSERVACIONES:** No se cuenta con una norma de referencia para lodos y para hacer comparaciones de resultados.

Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada. Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total de este reporte debe ser autorizada por el cliente; el Centro de Control de Calidad Industrial no autoriza la copia parcial del reporte.

Atentamente,

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL S.A. DE C.V. - CCCI**

*Sulma Yanira Reyes de Serpas*  
 Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas  
 Directora Ejecutiva



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NSR ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de calidad de nuestros análisis.

ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE



**Cuadro A – 1. Criterios de calidad para el compost.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Promedio</b>
Conductividad eléctrica	mnhos/cm	2.0	4.0	2.50
pH		7.0	8.30	7.60
N total	%	0.80	1.50	1.10
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total)	%	0.40	1.0	0.70
Potasio (K <sub>2</sub> O total)	%	0.6	1.50	1.20

Fuente: Manual de compostaje para municipios. 2002.

**Cuadro A – 2. Uso del compost para hortalizas.**

<b>Tipo de hortaliza.</b>	<b>Unidad.</b>	<b>Cantidad necesaria.</b>	<b>Período de aplicación.</b>
Cilantro	kg/m <sup>2</sup>	5	Siembra directa
Tomate	g/planta	750	Transplante y en la floración
Zanahoria	kg/m <sup>2</sup>	5	Siembra al aporque
Cebolla	g/planta	250	Siembra directa
Pepino	g/planta	1000	Siembra directa
Rábano	kg/m <sup>2</sup>	4	Siembra directa

Fuente: Manual de compostaje para municipios. 2002.

**Cuadro A – 3. Tabla de Contenido Máximo de elementos traza en materias prima para compostaje.**

Elementos traza	Contenido máximo (mg/kg) base seca
Cadmio	10
Cromo	1000
Cobre	1000
Mercurio	10
Níquel	200
Plomo	800
Zinc	3000
Cromo + Cobre + Níquel + Zinc	4000

Fuente: Normativa NCH2880-2003

**Cuadro A – 4. Tabla de Requisitos Sanitarios de Compostaje.**

Tipo de microorganismo	Tolerancia
1) Coliformes fecales	< a 1000 NMP por gramo de compost, base seca
2) <i>Salmonella sp.</i>	Ausencia
3) Huevos de helmintos ova helmíntica	Ausencia
4) Virus MS - 2	Densidad máxima < a 1 UFP por 4 g de compost, en base seca
5) <i>Listeria monocytogenes</i>	Ausencia
6) <i>Clostridium perfringens</i>	(10) 3 por gramo de compost
NMP = Numero Más Probable; UFP = Unidad de Formación de Placas	

Fuente: Normativa NCH2880-2003

**Cuadro A – 5. Tabla de contenido de nutrientes de compost.**

Nutriente	Contenido	Observación
Fosforo soluble	Menor o igual a 5 mg/L en extracto.	Para plantas sensibles al stress de fosforo.
Fosforo total	Menor o igual a 0,1%, sobre base seca.	Para plantas sensibles al stress de fosforo.
Nitrógeno amoniacal	Menor de 300 mg/L en extracto.	-
Nitrógeno amoniacal + nitrógeno como nitrato	Menor de 100 mg/L en extracto.	Si se requiere que el compost contribuya a la nutrición vegetal.
Nitrógeno total	Mayor o igual a 0,8%, expresado en base seca.	Si se requiere que el compost contribuya a la nutrición vegetal.
Boro	Menor de 200 mg/kg de masa en base seca.	Productos con un contenido menor a 100 mg/kg de masa, en base seca, tienen uso irrestricto.
Sodio	Menor a 1%, sobre base seca.	Como alternativa, a lo menos 7.7 moles de calcio mas magnesio por mol de sodio, en base seca.

Fuente: Normativa NCH2880-2003

**Cuadro A – 6. Tabla de Concentración máxima de metales pesados en compostaje.**

Metal Pesado	Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca) <sup>1</sup>
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Molibdeno	2
Níquel	20
Plomo	100
Selenio	12
Zinc	200

1) Concentraciones expresadas como contenidos totales.

Fuente: Normativa NCH2880-2003

**Cuadro A – 7. Tabla de Concentración máxima de metales pesados en compostaje producidos en base a lodo.**

<b>Metal Pesado</b>	<b>Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca)</b>
Arsénico	40
Cadmio	8
Cobre	1000
Cromo	600
Mercurio	4
Molibdeno	20
Níquel	80
Plomo	300
Selenio	50
Zinc	2000

**Fuente: Normativa NCH2880-2033**

**Cuadro A – 8. Tabla de Concentraciones máximas de metales pesados en compost para agricultura orgánica.**

<b>Metal Pesado</b>	<b>Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca)</b>
Arsénico	10
Cadmio	1
Cobre	50
Cromo	60
Mercurio	1
Níquel	10
Plomo	50
Selenio	6
Zinc	60

**Fuente: Normativa NCH2880-2003**

**Cuadro A – 9. Tabla de Contenido máximo de impurezas de tamaño  $\leq$  a 16 mm.**

Material	Dimensión (mm)	Cantidad (% peso en base seca)
Plástico flexible y/o películas.	Mayor a 5	Menor o igual a 0,05
Piedra y/o terrones de barro.	Mayor a 5	Menor o igual a 5
Vidrio y/o metales y/o caucho y/o plástico rígido.	Mayor o igual a 2	Menor o igual a 0,5

**Fuente: Normativa NCH 2880-2003**

**Figura A – 1. Planta de Tratamiento de Aguas residuales ANDA.**



**Figura A – 2. Máquina Desmenuzadora de Estopa de Coco.**





Figura A – 3. Recolección de Estopa de Coco.



Figura A – 4. Procesamiento de Estopa de Coco.



Figura A – 5. Elaboracion de Compost Tecnica del Montón.



Figura A – 6. Volteo de las Pilas de Compost.





**Figura A – 7. Toma de Muestras de Compost por tratamiento para Análisis Físico - Químicos y Microbiológicos.**



**Figura A – 8. Preparación de la muestra para analisis de compost.**





Figura A – 9. Esquema de la Planta de Tratamiento San Juan Talpa.

### Proceso natural de saneamiento

La idea de la ANDA es introducir mecanismos de purificación a través de métodos naturales que beneficien la calidad de vida en la zona rural.

Expertos aseguran que la planta tiene una inversión de cinco millones de colones y trabaja a la mitad de su capacidad.

