

# Evaluación físico – química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost

Mendoza, MV  
Estudiante Tesista,  
Facultad de Ciencias Agronómicas,  
Universidad de El Salvador.

Vigil-Sánchez, JA  
Estudiante Tesista,  
Facultad de Ciencias Agronómicas,  
Universidad de El Salvador.

Tejada-Asencio, JM  
Docente Director,  
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente,  
Facultad de Ciencias Agronómicas,  
Universidad de El Salvador.

Arriaza-Alfaro, CM  
Docente Directora,  
Unidad de Gestión Ambiental,  
Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados , ANDA.

## Resumen

La generación creciente de lodos residuales en plantas de tratamiento constituye una preocupación para la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), ya que al no ser manejados adecuadamente pueden provocar daños al ambiente, estos lodos poseen enorme potencial orgánico para ser utilizado en mejoramiento de los suelos.

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: T1=L=70%; E=30%; V=0%; T2=L=60%; E=30%; V=10%; T3=L=50%;

E=30%; V=20%; T4=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  $\leq 16\text{mm}$  y % de humedad, los parámetros químicos: pH, conductividad eléctrica, salinidad, nitrógeno, fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), potasio, materia orgánica, carbono orgánico, relación C/N, los parámetros microbiológicos: coliformes totales y fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., helmintos y

protozoarios. Para la evaluación de los parámetros físico-químicos se usó el programa estadístico StatGraphic 5.0, Aplicando ANVA y Duncan mediante el contraste de medias de los tratamientos, y los parámetros microbiológicos fueron comparados con la norma chilena NCH2880-2003

En calidad Físico – Química y Microbiológica de compost, el tratamiento que muestra mejores resultados es el T3 utilizando en este 50% de lodo, 30% estructurante y 20% de material vegetal, recomendado para ser utilizado como enmendador de suelos.

**Palabras clave:** Lodos, ordinarios, compost, Estopa, Coco, Material, vegetal, Aguas, Residuales, Biosólido.

## Abstract

The rising generation of sludge in treatment plants is a concern for the Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), if not handled properly can cause damage to the environment, these sludge have enormous potential for use in organic soil improvement.

The research was conducted from November 2011 to August 2012, with the aim of performing a physical - chemical and microbiological compost from four ordinary sludge levels (L) adding plant material (V) and coir as structuring (E) the treatment being as follows: T1 = L = 70%, E = 30%, V = 0%, T2 = L = 60%, E = 30% V = 10%; T3 = L = 50 %

E = 30%, V = 20%, T4 = L = 40%, E = 30%, V = 30%, making four replicates per treatment for a total of 16 randomized unit.

The physical parameters evaluated were: %  $\leq$  16mm grain size and % moisture, chemical parameters: pH, electrical conductivity, salinity, nitrogen, phosphorus (P2O5), potassium, organic matter, organic carbon, C/N, microbiological parameters: total and fecal coliforms, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., helminths and protozoa. For the evaluation of the physico-chemical use statistical software Statgraphic 5.0, Applying ANOVA and Duncan by contrasting treatment means, and microbiological parameters were compared with the standard Chilean NCH2880-2003

As Physical - chemical and microbiological composting, treatment is showing better results in T3 using this 50% sludge, 30% and 20% structuring this treatments is recommended for use as soil improver

**Key words:** ordinary, sludge, compost, coir, vegetable, material, sewage, biosolids

## Introducción

Los lodos resultantes de los procesos de depuración de aguas residuales en las plantas de tratamiento, presentan 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.

Los lodos o biosólidos son principalmente materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales, también llamados lodos los cuales pueden ser utilizados en diversos usos beneficiosos. Los biosólidos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación (EPA 2000).

La cantidad y composición de los lodos varía según las características de las aguas residuales de donde hayan sido retirados y depende, sobre todo, del proceso de tratamiento por medio del cual hayan sido obtenidos. 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 sedimentados que se vuelven lodos más concentrados y de mejor aspecto que el normal (Hilleboe 1962).

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).

Para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada y haya transcurrido el tiempo suficiente. Aunque a pequeña escala no todos los materiales son apropiados para el proceso de compostaje tradicional. Se puede utilizar: restos de cosechas, hojas, restos urbanos, estiércoles de animales y de ser posible un complemento mineral (Canovas 1993).

La Normativa Chilena NCH2880-2003 (INN 2003), establece los requerimientos mínimos que debe cumplir un compostaje elaborado a partir de lodos residuales, y a su vez lo clasifica en Compost Clase A, Compost Clase B y Sub estándar, de acuerdo a los valores que poseen los parámetros que abarca la norma (Cuadro 1).

## Materiales y Métodos

### Fase de campo

Se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, propiedad de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), ubicada geográficamente en Latitud Norte 13° 00.00' y Longitud Oeste 89° 12.00', a 200 msnm 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 de 28° C, y una velocidad promedio del viento de 9 km/h (ANDA 1997). La fase de campo se llevó a cabo en los meses comprendidos de diciembre 2011 a abril 2012.

Para la ejecución de este proyecto se tomó la decisión de realizar cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, a dichos tratamientos se les ha denominado L.E.V. Lodo Residual (L), Estopa de Coco desmenuzada como Estructurante (E), Material Vegetal (V), Los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

T1 = L = 70%; E = 30%; V = 0%; T2 = L = 60%; E = 30%; V = 10%; T3 = L = 50%; E = 30%; V = 20%; T4 = L = 40%; E = 30%; V = 30%;

Cuadro 1. Normativa Chilena NCH2880-2003 (INN 2003), establece los requerimientos mínimos que debe cumplir un compostaje elaborado a partir de lodos residuales.

Parámetro	Norma NCH-2880		
	Clase A	Clase B	Sub-Standard
Granulometría Humedad	<b>Físicos</b>		
	85% de partículas Menores de 15mm	85% de partículas Menores de 15mm	≤ 85% de partículas Menores de 15mm
	≤ + 6 del Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica	≤ + 6 Contenido de Materia Orgánica
<b>Químicos</b>			
pH	5-7	5-7	5-7
Conductividad	≤ 5 mmHos/cm	5-12 mmHos/cm	No aplica
Eléctrica Salinidad	No Determinado	No Determinado	No Determinado
Nitrógeno Total	≥ 0.8 %	≥ 0.8 %	≥ 0.8 %
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo	≤ 0.1 % para plantas sensibles a Fosforo
Potasio	No Determinado	No Determinado	No Determinado
Materia Orgánica	≥ 45 %	≥ 25 %	No aplica
Carbono Orgánico	No Determinado	No Determinado	No Determinado
Relación Carbono: Nitrógeno	10-25	10-40	Máximo 50
<b>Microbiológicos</b>			
Coliformes Totales	No determinado	No determinado	No determinado
Coliformes Fecales	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP	≤ 1000 NMP
<i>Escherichia coli</i>	No determinado	No determinado	No determinado
<i>Salmonella</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Shigella</i>	No determinado	No determinado	No determinado
Helminfos	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Protozoarios	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Normativa NCH 2880-2003 (INN 2003).

La elaboración del compost se hizo mediante la técnica del montón, colocando primero una capa de estructurante de aproximadamente 5 cm de espesor, posteriormente se colocó el material vegetal 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, cada compostera tenía un volumen aproximado de 1 m<sup>3</sup> obteniendo el compostaje en un periodo de 4 meses.

## Fase de laboratorio

La fase de laboratorio se realizó 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.

Al finalizar el proceso de compostaje de cada unidad experimental se tomaron muestras, representativas con un aproximado de 6 libras por composteras y fueron rotuladas con el número de muestra y código según su tratamiento, hora, fecha y recolector, posteriormente fueron enviadas a los laboratorios anteriormente mencionados para ser analizados los respectivos parámetros físicos-químicos y Microbiológicos siendo los parámetros físicos; % de granulometría menor a 16 mm y % de humedad, los 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. Todos ellos fueron analizados en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas. En la parte microbiológica los parámetros evaluados fueron; coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., helmintos y protozoarios. Los cuales fueron analizados por el Centro de Control de Calidad Industrial S.A. de C.V. Adicional a esto se enviaron muestras de compost para realizar análisis de metales pesados para determinar el contenido de plomo.

## Fase estadística

Para la ejecución de este proyecto se tomó la decisión de realizar cuatro tratamientos con cuatro repeticiones en un diseño estadístico completamente al azar. Los parámetros físico – químicos fueron analizados estadística y gráficamente, para lo cual se utilizó un Programa Estadístico Informático StatGraphic 5.0, con el cual se realizó el ANVA y se aplicó la prueba de Rango Múltiple conocida como Duncan mediante el contraste de medias de los tratamientos, para lo cual se tomó el P valor, teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95%, y los parámetros microbiológicos se analizaron realizando una comparación con la Norma Chilena NCH2880 – 2003 (INN 2003).

## Resultados y Discusión

### Fase de campo

Dentro de la fase de campo los resultados obtenidos por unidad experimental fueron aproximadamente 13 sacos con capacidad de 75 libras de compostaje.

Asimismo durante todo el proceso de compostaje se obtuvieron promedios de temperatura por tratamientos entre 28°C al inicio; 60°C al intermedio del compostaje, descendió y llegó a 28°C al finalizar el proceso (Fig.1), y se pueden diferenciar las tres fases del compostaje: mesófila, termófila y maduración.

En la figura 1 se observa el comportamiento de la temperatura ambiental y la temperatura promedio por cada tratamiento en estudio, mediante la cual se puede dar cuenta que al momento del montaje, la temperatura era ambiental pero se elevó llegando a valores de arriba de 60°C, en el momento en el cual se generan microorganismos mesófilos la temperatura se eleva y se mantiene por un periodo de 3 días, después dio paso al inicio 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 ha llegado a temperatura ambiental, así mismo en la figura 1 se observa que la temperatura se comportó 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 (INN 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 de 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 necesitó aproximadamente 18 sacos de material. Entre las características que indican la madurez del producto final se observó degradación de material vegetal en partículas pequeñas de coloración oscura, en el lodo se observó cambio en la estructura y un olor a tierra, y en la estopa se observó 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.

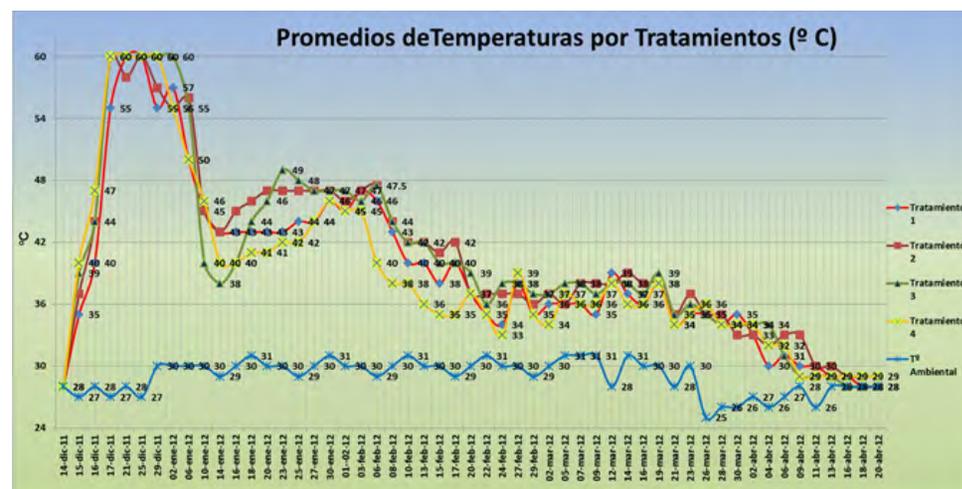


Figura 1. Promedios de temperatura por tratamientos.

### Fase de laboratorio

Dentro de la fase de laboratorio se 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.

### Factores físicos

En el cuadro 2 se presenta los promedios de los cuatro tratamientos y sus cuatro repeticiones de los resultados obtenidos de granulometría menor a 16 mm y el porcentaje de humedad.

Cuadro 2. Resultados obtenidos en el laboratorio del factor físico por tratamiento.

Muestra (Mx)	Parámetros	
	Físicos	
	Promedios por Tratamiento	
	Granulometría % ≤ 16mm	Humedad %
T1	88.49	44.77
T2	89.32	43.94
T3	89.10	45.48
T4	83.83	48.71

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.

## Factores químicos

En el cuadro 3 se presenta los promedios de los cuatro tratamientos y sus cuatro repeticiones de los resultados obtenidos de 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.

Cuadro 3. Resultados obtenidos en el laboratorio del factor químico por tratamiento.

Muestra (Mx)	Parámetros								
	Químicos promedios por tratamiento								
	pH	CE (dS/m)	Salinidad %	N Total %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K dispo %	MO %	CO %	Rela. C:N
T1	4.75	3.33	1.88	2.74	0.21	0.09	42.57	23.65	8.68
T2	4.79	3.81	2.15	2.44	0.23	0.09	44.79	24.88	10.29
T3	4.94	3.36	1.80	2.32	0.24	0.12	48.37	26.87	11.69
T4	4.81	3.84	2.08	2.54	0.23	0.11	50.56	28.09	11.12

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

## Análisis de plomo

Mahamud (1996), reporta que el valor máximo permisible de plomo contenido en un biosólido o lodo es de entre 750 – 1200 mg/kg, en el estudio se presentaron valores inferiores al anteriormente mencionado (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados obtenidos en laboratorio Análisis de Plomo.

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

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

## Factores microbiológicos

Mahamud (1996), reporta que el valor máximo permisible de coliformes fecales contenido en un biosólido o lodo debe ser menor a 1000 NMP. En el estudio se presentaron valores inferiores al anterior mencionado (Cuadro 5)

Cuadro 5. Resultados obtenidos en laboratorio factor microbiológico promedios por tratamiento.

Tratamiento/ parámetro	T1	T2	T3	T4
Coliformes Totales (NMP/g)	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*
Coliformes Fecales (NMP/g)	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*
<i>Escherichia coli.</i> (NMP/g)	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*	< 1.8*
Helminetos	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Protozoarios	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i> (UFC/25 g)	< 10 **	< 10 **	< 10 **	< 10 **
<i>Shiguella</i> (UFC/25 g)	< 10 **	< 10 **	< 10 **	< 10 **

< 1.8\* igual a cero  
< 10 \*\* igual a cero

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

## Fase estadística

### Granulometría

Los tratamientos en estudio no son iguales ya que el (T2) cuyo valor es de 89.32% con una composición de lodo=60%; estructurante=30% y vegetal=10% produce un resultado mayor en cuanto al porcentaje de granulometría menor a 16mm, obtenido respecto a los demás tratamientos, pero muy similar a los tratamientos (T1= 88.49%) y (T3=89.10 %), siendo el (T4= 83.83%) el que presenta los menores valores (Cuadro 2). Con base a los resultados obtenidos del % 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. Según la NCH 2880 – 2003 (INN 2003), para que un compost sea clasificado clase A, el 85% de las partículas del producto obtenido deber ser menores o iguales a 16 mm.

### Porcentaje de humedad

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. Los

mejores tratamientos en estudio para el % de humedad son los tratamientos T1=44.77%; T2=43.94%; T3=45.48%, ya que estos presentan un porcentaje de humedad menor, y a su vez producen una diferencia significativa respecto al T4=48.71%. (Cuadro 2). Flores y Carranza (2006), después de analizar muestras de compost, los valores obtenidos en el parámetro de: humedad fue=31.04%. Mientras tanto Quinchía y Carmona (2004) obtuvieron un valor de 52.8% de humedad en la muestra analizada. Pero la NCH 2880 – 2003 (INN 2003), recomienda que un compost debe tener un contenido de humedad 6% mayor al contenido de materia orgánica.

### **pH.**

Los tratamientos en estudio no son iguales ya que el (T3=4.94) lodo=50%; estructurante =30% y vegetal=20% produce un resultado mayor en cuanto al valor de pH siendo mejor que los tratamientos T4=4.81, T2= 4.79 y T1= 4.75. (Cuadro 3). Por lo tanto, 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. Para Flores y Carranza (2006), el valor que obtuvieron en pH de compost analizado fue de 7.00 prácticamente neutro. Después de analizar muestras de compost Quinchía y Carmona (2004), obtuvieron como resultado en pH un valor de 6.34 por tanto un buen compost debe ser aquel que más se acerca a un valor neutro.

### **Conductividad eléctrica**

Los tratamientos T4= 3.84 dS/m y T2 = 3.81 dS/m presentan valores más altos con respecto a los tratamientos T3= 3.36 dS/m y T1=3.33 dS/m. (Cuadro 3) sin embargo son valores decimales las diferencias existentes. Basado en el resultado obtenido no existe diferencia significativa entre los tratamientos, ya que todos son homogéneos siendo en el orden de importancia T1, T3, T2 y T4. Quinchía y Carmona (2004), obtuvieron valores similares a los valores obtenidos en conductividad eléctrica por Ortíz (1999), ya que el valor fue de 3.07 mS/cm. Por tanto el compost obtenido en esta investigación cumple con los requisitos que establece la NCH 2880 – 2003 (INN 2003).

### **Salinidad**

Los tratamientos T2= 2.15% y T4= 2.08% presentan valores más altos con respecto a los tratamientos T3= 1.80% y T1= 1.88% (Cuadro 3). Sin embargo, son valores decimales las diferencias existentes; hay dos tratamientos que

presentan los valores más elevados de salinidad que el resto, y estos serían los menos aceptables en compost. 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 2010).

### **Nitrógeno**

Los tratamientos en estudio no son iguales, aunque se puede observar valores mayores y menores, pero estadísticamente no existe una diferencia significativa, podemos observar que el T1=lodo=70%; estructurante=30% y vegetal=0%, brinda mayores resultados de nitrógeno con respecto a los demás tratamientos; siendo en el orden de importancia el T1=nitrógeno total %=2.74, T4 =nitrógeno total %=2.54, T2=nitrógeno total %=2.44 y T3=nitrógeno total %=2.32 (Cuadro 3). Según la NCH 2880 – 2003 (INN 2003), en cuanto a nitrógeno los tratamientos cumplen con este requisito ya que toma como valores más de 0.8% para clasificarlo y en este caso el compost obtenido sobrepasa dicho valor. 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.

### **Fósforo**

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. Basado en el resultado obtenido no hay 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, T2=% de fósforo= 0.23 y T1=% de fósforo=0.21 (Cuadro 3). Flores y Carranza (2006), después de analizar muestras de compost el valor que obtuvieron de fosforo fue de 0.78%; aunque Quinchía y Carmona (2004), en compost hayan obtenido 2.52% de fósforo en la muestra analizada en su investigación. Aunque para la NCH 2880 – 2003 (INN 2003), el nivel es aceptable y por tanto cumple con los requisitos, aunque debe de tenerse en cuenta las plantas que son sensibles a altos contenidos de fósforo.

## Potasio

El contenido de potasio es similar entre los tratamientos y las diferencias son mínimas, ya que el T3 produce un resultado mayor en cuanto al valor del contenido de potasio el cual es de 0.12% de K disponible pero muy similar al tratamiento T4 que produce 0.11 de K disponible, siendo el T1 y T2 los que representa menores valores dando como resultado 0.09% de K disponible en ambos tratamientos (Cuadro 3). 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 (INN 2003), no determina para poder clasificar un compost en cuanto a su calidad.

## Materia orgánica

Se pueden observar diferencias puntuales entre los cuatro tratamientos siendo el T4 el que representa mayor cantidad de materia orgánica la cual es de 50.56% en cuanto a los tratamientos T3 que presenta 48.37%, T2 que presenta 44.79% y T1 que presenta 42.57% de materia orgánica, este último es el que presenta menor valor respecto a los demás (Cuadro 3). Para la NCH 2880 – 2003 (INN 2003), un compost para que sea clase “A” debe tener un valor arriba del 45%, por tanto, los valores obtenidos en los tratamientos son valores arriba del 45 % de Materia orgánica. La investigación realizada por Flores y Carranza (2006) después de analizar las muestras se obtuvo el 19% de materia orgánica presente en el compost. 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.

## Carbono orgánico

Los tratamientos en estudio no son iguales, siendo el T4 el que presenta mayor contenido de carbono orgánico con un 28.09%, seguido de los tratamientos T3 que presenta 26.87%, T2 que presenta 24.88% y T1 que presenta 23.65 % de carbono orgánico, siendo este último el que presenta menores valores de carbono orgánico que los demás tratamientos (Cuadro 3). La NCH 2880 – 2003 (INN 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.

## Relación C/N

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 tratamientos T4, T2 y T1. El resultado obtenido del mejor tratamiento en estudio para relación C/N es el (T3) Relación C/N=11.69 ya que reporta el valor más alto que los demás, y produce una diferencia significativa respecto al resto (Cuadro 3). En cuanto a la NCH 2880 – 2003 (INN 2003), los valores promedio obtenidos en cuanto a la relación C/N. 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.

## Coliformes totales

En este caso los cuatro tratamientos poseen valores menores a 1.8 lo cual es considerado como cero (cuadro 5), es decir que no existe presencia de coliformes totales, y por tanto los cuatro tratamientos y sus repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad. Al comparar estos datos se con la Norma NCH 2880 – 2003 (INN 2003), cumple con los requisitos para compostaje.

## Coliformes fecales

Los valores presentados en los tratamientos son considerados igual a cero, por tanto, los cuatro tratamientos y sus repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad (Cuadro 5). Si estos datos se comparan con la NCH 2880 – 2003 (INN 2003), cumple con los requisitos para compostaje.

## *Escherichia coli*

Con respecto a los niveles de *Escherichia coli*, en este caso los cuatro tratamientos poseen valores menores a 1.8 lo cual es considerado como cero es decir que no existe presencia de *Escherichia coli*, por tanto, los cuatro tratamientos y sus repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad (Cuadro 5). La Norma NCH 2880 – 2003 (INN 2003), no determina el límite permisible.

### **Salmonella sp**

Los cuatro tratamientos poseen valores menores a 10 UFC/25g. lo cual es considerado como cero es decir que no existe presencia de *Salmonella* sp., por tanto, los cuatro tratamientos y sus repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad (Cuadro 5). La Norma NCH 2880 – 2003 (INN 2003), determina la ausencia de *Salmonella* sp.

### **Shiguella sp.**

Con respecto a los niveles de *Shiguella* sp, en este caso los cuatro tratamientos poseen valores menores a 10 UFC/25g. lo cual es considerado como cero es decir que no existe presencia de *Shiguella* sp, y por lo tanto los cuatro tratamientos y sus repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad (Cuadro 5). La Norma NCH 2880 – 2003 (INN 2003), no determina el límite permisible.

### **Helmintos**

En este caso los cuatro tratamientos no presentan huevos de helmintos y por tanto los cuatro tratamientos y sus repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad (Cuadro 5). La Norma determina que debe haber ausencia de huevos de helmintos viables, ya que este pudiera ser perjudicial para la salud.

### **Protozoarios**

Con respecto a los protozoarios, en los cuatro tratamientos se encuentran ausentes, por tanto, los cuatro tratamientos y sus repeticiones poseen un estado sanitario y de bioseguridad aceptables y de buena calidad (cuadro 5). La Norma NCH 2880 – 2003 (INN 2003), no determina el límite permisible.

### **Conclusiones**

El proceso de compostaje se realizo adecuadamente observándose los tres periodos que se deben cumplir en un compost, las cuales son las fases: mesofílica que duro tres días, termofílica que duro 58 días, y maduración que duro 60 días, para lo cual se utilizó la fibra de coco desmenuzada como estructurante.

De los tratamientos en estudio, los T2, T3, y T1 presentan los mejores Características Físicas con respecto al porcentaje de granulometría menor a 16 mm y porcentaje de humedad, siendo el T4, el que presenta los peores resultados.

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.

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.

Los valores obtenidos de Nitrógeno, Fósforo, 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.

En cuanto a los valores obtenidos en la relación C/N estos si 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

En cuanto a los valores obtenidos después del análisis microbiológico, se determina que cumplen con la Norma de Compostaje NCH2880 – 2003 (INN 2003), lo cual no representa un riesgo microbiológico para la salud humana y su utilización.

De los factores físicos, químicos y microbiológicos analizados el único parámetro que no cumple con la Norma NCH2880 – 2003(INN 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.

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 estructurante y 20% de material vegetal.

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 porque su composición es 70 % de lodo y 30 % de fibra de coco, lo cual se puede obtener fácilmente en la zona.

### **Recomendaciones**

Se recomienda el método de compostaje utilizado ya que proporciona buen resultado en base a las fases observadas, mesofílica, termofílica, y maduración. Completando así los periodos de rigor por el que un compostaje debe cumplir.

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(INN 2003).

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, y este se encuentre en valores aceptables para su uso.

Se recomienda el tratamiento T3 de composición lodo = 50%; estructurante = 30%; material vegetal = 20% el cual presenta las mejores características Físicas, Químicas y Microbiológicas.

Se recomienda el uso del tratamiento T1 el cual su composición es 70% de lodo y 30% de estructurante, sin material vegetal ya que de manera logística existe mayor factibilidad, debido a la dificultad para obtener dicho material al momento de elaborar el compostaje

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.

### Agradecimientos

Al Ing. Agr. M.Sc. José Mauricio Tejada Asencio Por Su apoyo Logístico y Técnico de manera incondicional a la realización de esta investigación.

UES: por permitirnos formarnos como profesionales.

ANDA: permitirnos realizar en conjunto esta investigación.

### Bibliografía

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.

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)

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>

Díaz-Ibarra MA. Muy Rangel MD. Rubio Carrasco W. Almendariz Alcaraz O. 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>

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.

-----, 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.

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, N° 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>

- 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>
- 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
- 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.C compost.NCh2880-2003.pdf>
- Mahamud, M. 1996. Biosólidos generados en la depuración de aguas (I) Planteamiento del problema. (en línea). Área de Ingeniería Química, Universidad de Burgos. ES. Vol. 3. N° 2 Consultado 10 sept. 2012. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3115/1/32article4.pdf>
- Ortiz L. Sánchez H. Gutiérrez M.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)
- 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>