

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
ESCUELA DE POST-GRADO**

**MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL**



**Í ESTABILIZACION DE LODOS RESIDUALES ORDINARIOS Y EVALUACION DEL  
HUMUS PRODUCIDO COMO FUENTE ALTERNA DE FERTILIZACION EN LA  
PRODUCCION DE PLANTAS EN VIVEROSÍ**

**PRESENTADO POR:**

**CECILIA DEL CARMEN ROSALES DE ORTEZ  
JORGE ALBERTO ORTEZ REYES**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:  
MAESTRO EN GESTION AMBIENTAL**

**OCTUBRE DE 2017**

**SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
ESCUELA DE POST-GRADO**

**MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL**



**Í ESTABILIZACION DE LODOS RESIDUALES ORDINARIOS Y EVALUACION  
DEL HUMUS PRODUCIDO COMO FUENTE ALTERNA DE FERTILIZACION EN  
LA PRODUCCION DE PLANTAS EN VIVEROSÎ**

**PRESENTADO POR:**

**CECILIA DEL CARMEN ROSALES DE ORTEZ  
JORGE ALBERTO ORTEZ REYES**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:  
MAESTRO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**OCTUBRE DE 2017**

**SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR: MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL: MSc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ**

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**

**DECANO: ING. JOAQUIN ORLANDO MACHUCA GÓMEZ**

**SECRETARIO: LIC. JORGE ALBERTO ORTEZ HERNÁNDEZ**

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POST-GRADO**

**MSc. MARIA DEL CARMEN CASTILLO DE HESKI**

**DOCENTE DIRECTOR**

**MSc. OSCAR MOLINA LARA**

**COORDINADORA DE LOS PROCESOS DE GRADUACION  
MAESTRIA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**MSc. MARIA DEL CARMEN CASTILLO DE HESKI**

## RESUMEN

En la actualidad, es imperante la necesidad de minimizar residuos, así como su disposición adecuada y segura, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas tecnológicas y cambios en las políticas de manejo que permitan generar residuos no peligrosos y estables para su correcta disposición o reaprovechamiento. (García, 2006).

El tratamiento de las aguas residuales, tanto municipales como industriales, tiene como objetivo remover los contaminantes presentes con el fin de hacerlas aptas para otros usos o bien para evitar daños al ambiente. Sin embargo, el tratamiento del agua trae siempre como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos indeseables difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición. (García, 2006).

La implementación del compostaje en la producción de humus se presenta como una alternativa en la agricultura, ya que reduce el daño ambiental causado por la toxicidad de los fertilizantes químicos al agua, al aire, además mantiene e incrementa al mismo tiempo la fertilidad de los suelos, y consecuentemente aumenta el ingreso de nutrientes a los cultivos, lo cual es beneficioso. (Agencia para el Desarrollo de Austria/IICA, 2009).

La investigación se realizó en la Planta de Tratamiento Las Pampas ubicada en el Municipio de Puerto El Triunfo, Departamento de Usulután y en el Cantón El Jute, Municipio de San Miguel, durante un periodo comprendido del mes de febrero 2015 al mes septiembre 2016. El objetivo de la investigación fue estabilizar el lodo residual (compost y fosa) y evaluar la utilización del humus como mejorador del suelo.

Las unidades de análisis para la primera etapa de la investigación fueron el lodo residual estabilizado mediante la técnica del compost y fosa. El primer método consto de elaboración de pilas conformadas por capas de materiales (hojas y ramas) secas, verdes y capas de lodo residual deshidratado; el segundo método consistió en la construcción de fosas en las que se depositó el lodo residual.

La segunda etapa de esta proyecto (investigación) constó en la elaboración de 20 parcelas o eras de 1.0 m<sup>2</sup>, para determinar la producción de biomasa del cultivo indicador rábano. En las parcelas se utilizó tres mejoradores de suelo; el

suelo común o testigo (T1) no se aplicó ningún mejorador, para la muestra (T2) se utilizó el mejorador de compost con lodo residual, para la muestra (T3) se utilizó el mejorador de compost estabilizado en fosa y para la muestra (T4) se utilizó el mejorador de químico tradicional 18-46-0.

La segunda fase de estudio relacionados a la producción de biomasa de rábanos y su follaje demuestran que en los tratamientos se registraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba estadística Duncan, por lo que se generan dos bloques comportándose éstos de manera similar entre ellos, pudiéndose apreciar que los promedios de los tratamientos oscilaron entre  $5.338 \pm 3.973 \text{ kg/m}^2$ . Los promedios más altos de peso son suelo testigo con lodo residual (T3) y suelo testigo con compost (T2) ( $5.338$  y  $5.189 \text{ kg/m}^2$ ) respectivamente; seguido de suelo testigo más fórmula 18-46-0 (T4) ( $4.933 \text{ kg/m}^2$ ) y siendo similares estadísticamente entre ellos ( $T2=T3=T4$ ); además se observó el promedio más bajo de peso en el tratamiento con suelo testigo con  $3.974 \text{ kg/m}^2$  (T1).

Los resultados generados en la producción de biomasa relacionada al diámetro del rábano los resultados demuestran que en los tratamientos se registraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) de acuerdo a la prueba estadística Duncan, pudiéndose apreciar que los promedios de los tratamientos oscilaron entre  $2.87$ -  $3.22 \text{ cm}$ , los promedios más altos de diámetro en muestra de suelo testigo más fórmula 18-46-0 (T4) y suelo testigo más lodo residual (T3) con  $3.21$  y  $3.22 \text{ cm}$ ; seguido de suelo testigo más compost ( $3.19 \text{ cm}$ ) (T2); respectivamente, siendo similares estadísticamente entre ellos ( $T2=T3=T4$ ). Se observó el promedio más bajo de diámetro en el tratamiento testigo con  $2.87 \text{ cm}$  (T1).

Los resultados relacionados al rendimiento ( $\text{unidad/m}^2$ ) del cultivo indicador, demuestran que en los tratamientos no se registraron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) de acuerdo a la prueba estadística Duncan; pudiéndose apreciar que los promedios de los tratamientos oscilaron entre  $75.8$ -  $76.6(\text{u/m}^2)$ , los promedio más altos de rendimiento suelo testigo más lodo residual (T3) y suelo testigo (T1) ( $76.4.0$  y  $76.6 \text{ u/m}^2$ ; respectivamente), seguido de la fuente suelo testigo más compost con  $75.20 \text{ u/m}^2$ ; además se observó el promedio más bajo de rendimiento fue el suelo testigo más fertilizante 18-46-0 (T4) con  $75 \text{ u/m}^2$ . De lo anterior existe similitud entre todos los tratamientos.

En materia de inocuidad de los alimentos, los códigos de prácticas se basan en la aplicación de las buenas prácticas agrícolas, buenas prácticas de higiene y buenas prácticas de manufactura o de fabricación, como medidas para prevenir y controlar los peligros de contaminación en la producción primaria y durante el manejo poscosecha, aplicados bajo un enfoque de análisis de peligros. Los resultados obtenidos en la cosecha del cultivo indicador rábano en cada uno de los diferentes tratamientos tenemos: para el parámetro, Recuento de *Staphylococcus Aureus* UFC/g, en todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4) se obtuvo <10; Detección de *Salmonella* spp en todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4), se obtuvo ausencia. Para los parámetros Recuento de Coliformes Totales NMP/g, Recuento de Coliformes Fecales NMP/g, Detección de *Escherichia Coli* NMP/g hay presencia en los tratamientos (T1, T2, T3, T4) debido al agua superficial empleada para el riego.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer primeramente a **Dios** por habernos permitido terminar con éxito nuestra Maestría en Gestión Ambiental,

Encomienda a Jehová tus obras, y tus pensamientos serán afirmados+

**Proverbios 16:3 Reina-Valera 1960 (RVR1960)**

A: **M.Sc. María del Carmen Castillo de Heski** (Coordinadora de Maestría en Gestión Ambiental), **M.Sc. Francisco Leopoldo Merino Cisneros Q.E.P.D.** (primer asesor de tesis) y al **M.Sc. Oscar Molina Lara** por sus incondicionales apoyos a lo largo de nuestra formación como: **MAESTROS EN GESTION AMBIENTAL, gracias.**

**Al alma mater, nuestra Universidad de El Salvador** y a la Facultad Multidisciplinaria Oriental, especialmente al personal docente de Maestría en Gestión Ambiental por habernos instruido en nuestra formación profesional como: **MAESTROS EN GESTIÓN AMBIENTAL.**

## DEDICATORIAS

A **DIOS:**

Por su Amor y bondad a nuestras vidas que nos ha dado la oportunidad y el privilegio de culminar la Maestría con alegría y éxito.

A nuestros **Padres** por su apoyo y amor incondicional a lo largo de nuestras vidas.

A **M.Sc. María del Carmen Castillo de Heski** (Coordinadora de Maestría en Gestión Ambiental), por su apoyo y comprensión.

A **M.S.c Francisco Leopoldo Merino Cisneros Q.E.P.D**, (Primer asesor de tesis) por su apoyo, su consejos y su entrega.

A **M.Sc. Oscar Molina Lara** (Asesor de tesis) por su apoyo y sus consejos.

# INDICE

CONTENIDO	PAGINAS
RESUMEN	IV
AGRADECIMIENTOS	VII
DEDICATORIAS	VIII
INDICE	IX
INDICE DE TABLAS	XIII
INDICE DE ILUSTRACIONES	XIV
INDICE DE ANEXOS	XV
INTRODUCCION	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
CAPITULO II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA	7
2.1 ORIGEN DE LOS LODOS	7
2.1.1 TRATAMIENTO DE LODOS	9
2.1.2 PROCESOS	9
2.1.2.1 ESPESAMIENTO	9
2.1.2.2 ESTABILIZACION	9
2.1.3 DESHIDRATACION DE FANGOS O LODOS DIGERIDOS	10
2.1.4 DESINFECCION	10
2.1.5 POSIBLE DESTINO DE LOS LODOS DESHIDRATADOS	11
2.1.6 EL LODO Y SU ACCION SOBRE EL SUELO AGRICOLA	11
2.1.7 COMPOSTAJE	12
2.1.8 SISTEMAS DE COMPOSTAJE	12
2.2. NORMATIVA APLICADA	12
2.2.1 NORMA OFICIAL MEXICANA 004 SEMARNAT . 2002	12
2.2.2 NORMA CHILENA DE CALIDAD NCH 2880	13
2.2.3 NORMATIVA SALVADOREÑA	14
2.3 CULTIVO DEL RABANO	15
2.3.1 ORIGEN	15
2.3.2 TAXONOMIA Y MORFOLOGIA	15

2.3.2.1 SISTEMA RADICULAR	16
2.3.2.2 TALLO	16
2.3.2.3 HOJAS	16
2.3.2.4 FRUTO	16
2.3.3 REQUERIMIENTOS EDAFO . CLIMATICOS	16
2.3.4 MATERIAL VEGETAL	17
2.3.5 PARTICULARIDADES DEL CULTIVO	17
2.3.5.1 PREPARACION DEL TERRENO	17
2.3.5.2 SIEMBRA.	17
2.3.5.3 LABORES	18
2.3.5.4 ABONADO	18
2.3.6 PLAGAS Y ENFERMEDADES.	18
2.3.6.1 PLAGAS	18
2.3.6.2 ENFERMEDADES	19
2.3.7 FISIOPATIAS	20
2.3.8 RECOLECCION	20
2.3.9 COMERCIALIZACION	20
2.3.10 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO DEL RABANO	21
<b>CAPITULO III. JUSTIFICACIO, OBJETIVOS E HIPOTESIS</b>	<b>22</b>
A. JUSTIFICACION	22
B. OBJETIVOS	24
C. HIPOTESIS	24
<b>CAPITULO IV. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION</b>	<b>25</b>
A. UBICACIÓN	25
B. TIPO DE INVESTIGACION	25
C. UNIDADES DE ANALISIS	25
C.1 ESTABILIZACION DE LODO RESIDUAL	25
D. VARIABLES Y MEDICION	27
1. DEFINICION DE LAS VARIABLES	27
A. ESTABILIZACION DE LODO RESIDUAL	27
B. PRODUCCION DE BIOMASA	27
C. RENDIMIENTO DEL CULTIVO	28
2. INDICADORES Y SU MEDICION	28

A.	INSTRUMENTOS DE MEDICION	28
B.	TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS A EMPLEARSE EN LA RECOPIACION DE LA INFORMACION	29
1.	ESTABILIZACION DE LODO RESIDUAL	29
2.	PRODUCCION DE BIOMASA (GR Y CMS)	29
3.	REDIMIEN TO DEL CULTIVO (U/M <sup>2</sup> )	29
E.	PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION	29
<b>CAPITULO V.</b>	<b>ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS</b>	<b>31</b>
1.	FASE I, CLASIFICACION DEL LODO RESIDUAL	31
A.	CLASIFICACION DEL LODO RESIDUAL NO ESTABILIZADO	31
B.	CLASIFICACION DEL LODO RESIDUAL EN FUNCION DE PATOGENOS Y PARASITOS	34
2.	FASE DE CAMPO	35
2.1	PRIMERA ETAPA	35
A.	ESTABILIZACION DEL LODO EN FOSA	35
B.	ELABORACION DE COMPOST	36
C.	CLASIFICACION DEL LODO RESIDUAL ESTABILIZADO MEDIANTE LA TECNICA DEL COMPOST Y FOSA	37
2.2	PRODUCCION DE BIOMASA (Gr)	41
1.	PESO DE RABANOS (FRUTOS Y SU FOLLAJE)	41
2.	DIAMETRO DEL FRUTO (CM)	43
3.	RENDIMIENTO DEL CULTIVO (u/M <sup>2</sup> )	46
4.	INOCUIDAD DE HORTALIZAS	48
<b>CAPITULO VI.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>51</b>
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	52
	FUENTES DE INFORMACION CONSULTADAS	53
	ANEXOS	56
A-1.	TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE CON LODO RESIDUAL	57
A-2.	PRODUCCION DE BIOMASA DEL CULTIVO INDICADOR RABANO	60
A-3.	ANALISIS DE VARIANZA DEL INDICADOR PESO DE RAICES Y HOJAS DE RABANO EN PRODUCCION DE BIOMASA	61
A-4.	PRUEBA DUNCAN DEL INDICADOR PESO DE RAICES Y HOJAS DE RABANOS EN PRODUCCION DE BIOMASA PARA LAS DIFERENTES FUENTES DE FERTILIZACION	61
A-5.	ANALISIS DE VARIANZA DEL INDICADO DIAMETRO DE RAICES DE RABANO EN PRODUCCION DE BIOMASA	62

A-6. PRUEBA DUNCAN DEL INDICADOR DIAMETRO DE RAICES DE RABANO EN PRODUCCION DE BIOMASA	62
A-7. ANALISIS DE VARIANZA DE RENDIMIENTO (NUMERO DE RABANOS POR METRO CUADRADO).	63
A-8. INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE INFORMACION (II FASE DE INVESTIGACION)	63
A-9. CROQUIS DE DISTRIBUCION DE CUNAS PARA CULTIVO INDICADOR RABANO	65
A-10. CROQUIS DE DISTRIBUCION DE PARCELAS DE CULTIVO INDICADOR RABANO	66
A-11. ANALISIS DE LODO RESIDUAL NO ESTABILIZADO	67
A-12. ANALISIS DE LODO RESIDUAL ESTABILIZADO MEDIANTE LA TECNICA DEL COMPOST.	71
A-13 ANALISIS DE LODO ESTABILIZADO MEDIANTE LA TECNICA DE FOSA	74
A-14. ANALISIS DE ALIMENTOS, CULTIVO INDICADOR RABANO	77
A-15. ANALISIS DE SUELO TESTIGO, CARACTERIZACION	81
A-16. HECHURA DE FOSA PARA ESTABILIZACION DE LODO RESIDUAL	82
A-17 ELABORACION DE COMPOST CON LODO RESIDUAL	82
A-18. PREPARACION Y LIMPIEZA DE TERRENO PARA CONSTRUCCION DE CUNAS PARA EL CULTIVO DEL RABANO	84
A-19. CONSTRUCCION DE CUNAS PARA EL CULTIVO DE RABANO	85
A-20. PESAJE DE SUSTRATOS MEJORADORES DE SUELO (COMPOST, LODO, FERTILIZANTE	86
A-21. COSECHA DE RABANOS	87
A-22. MEDICION DE VARIABLES	89
A-23. CLASIFICACION DE PRODUCCION DE RABANO	90

## INDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PAGINAS
TABLA 1. COMPOSICION CARACTERISTICA DE LOS LODOS URBANOS	8
TABLA 2. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL CULTIVO DEL RABANO	21
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO TESTIGO Y DETERMINACIÓN DE APORTES FERTILIZANTES.	26
TABLA 4. DISTRIBUCIÓN ESTADISTICA DEL MODELO (II FASE DE INVESTIGACIÓN)	30
TABLA 5. CLASIFICACION DEL LODO RESIDUAL (NO ESTABILIZADO)	32
TABLA 6. CONCENTRACIONES MAXIMAS DE METALES PESADOS EN COMPOST PARA AGRICULTURA ORGANICA	33
TABLA 7. CLASIFICACION EN FUNSION DE PATOGENOS Y PARASITOS	34
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DEL LODO RESIDUAL ESTABILIZADO	37
TABLA 9. CLASIFICACION EN FUNCION DE PATOGENOS Y PARASITOS	39
TABLA 10. APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS.....	40
TABLA 11. PESO DE FRUTOS CON SU FOLLAJE EN PRODUCCION DE BIOMASA (KG) DEL CULTIVO INDICADOR RABANO.....	41
TABLA 12. DIAMETRO DE FRUTOS EN PRODUCCION DE BIOMASA (MM) DEL CULTIVO INDICADOR RABANO.....	43
TABLA 13. RENDIMIENTO (U/M <sup>2</sup> ) DEL CULTIVO INDICADOR "RABANO" PARA LAS DIFERENTES FUENTES FERTILIZANTES.....	46
TABLA 14. FUENTES DE BACTERIA CAUSANTES DE TOXIINFECCIONES ALIMENTARIAS.....	49
TABLA 15. INFORME DE RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE ALIMENTOS.....	50

# INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>CONTENIDO</b>	<b>PAGINAS</b>
ILUSTRACIÓN 1. VARIACION DE TEMPERATURA EN FUNCIÓN DE LOS DIAS DE ELABORACION DE COMPOST.....	36
ILUSTRACIÓN 2. PESO DE FRUTOS CON SU FOLLAJE EN PRODUCCION DE BIOMASA (KG) DEL CULTIVO INDICADOR RABANO , PARA LAS DIFERENTES FUENTES DE FERTILIZACION .....	43
ILUSTRACIÓN 3. DIAMETRO DE FRUTOS EN PRODUCCION DE BIOMASA (MM) DEL CULTIVO INDICADOR RABANO PARA LAS DIFERENTES FUENTES DE FERTILIZACION.....	45
ILUSTRACIÓN 4. RENDIMIENTO (U/M2) DEL CULTIVO INDICADOR “RABANO” PARA LAS DIFERENTES FUENTES DE FERTILIZACION.....	48

# INDICE DE ANEXOS

CONTENIDO	PAGINAS
A-1. TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE CON LODO RESIDUAL	57
A-2. PRODUCCION DE BIOMASA DEL CULTIVO INDICADOR RABANO ...	60
A-3. ANALISIS DE VARIANZA DEL INDICADOR PESO DE RAICES Y HOJAS DE RABANO EN PRODUCCION DE BIOMASA	61
A-4. PRUEBA DUNCAN DEL INDICADOR PESO DE RAICES Y HOJAS DE RABANOS EN PRODUCCION DE BIOMASA PARA LAS DIFERENTES FUENTES DE FERTILIZACION	61
A-5. ANALISIS DE VARIANZA DEL INDICADO DIAMETRO DE RAICES DE RABANO EN PRODUCCION DE BIOMASA	62
A-6. PRUEBA DUNCAN DEL INDICADOR DIAMETRO DE RAICES DE RABANO EN PRODUCCION DE BIOMASA	62
A-7. ANALISIS DE VARIANZA DE RENDIMIENTO (NUMERO DE RABANOS POR METRO CUADRADO)	63
A-8. INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE INFORMACION (II FASE DE INVESTIGACION)	63
A-9. CROQUIS DE DISTRIBUCION DE CUNAS PARA CULTIVO INDICADOR RABANO	65
A-10. CROQUIS DE DISTRIBUCION DE PARCELAS DE CULTIVO INDICADOR RABANO	66
A-11. ANALISIS DE LODO RESIDUAL NO ESTABILIZADO	67
A-12. ANALISIS DE LODO RESIDUAL ESTABILIZADO MEDIANTE LA TECNICA DEL COMPOST	71
A-13 ANALISIS DE LODO ESTABILIZADO MEDIANTE LA TECNICA DE FOSA	74
A-14. ANALISIS DE ALIMENTOS, CULTIVO INDICADOR RABANO	77
A-15. ANALISIS DE SUELO TESTIGO, CARACTERIZACION	81
A-16. HECHURA DE FOSA PARA ESTABILIZACION DE LODO RESIDUAL	82
A-17 ELABORACION DE COMPOST CON LODO RESIDUAL	82
A-18. PREPARACION Y LIMPIEZA DE TERRENO PARA CONSTRUCCION DE CUNAS PARA EL CULTIVO DEL RABANO	84
A-19. CONSTRUCCION DE CUNAS PARA EL CULTIVO DE RABANO	85
A-20. PESAJE DE SUSTRATOS MEJORADORES DE SUELO (COMPOST, LODO, FERTILIZANTE)	86
A-21. COSECHA DE RABANOS	87
A-22. MEDICION DE VARIABLES	89
A-23. CLASIFICACION DE PRODUCCION DE RABANO	90

## INTRODUCCIÓN

Cualquier actividad humana que requiere de agua genera residuos líquidos conocidos como aguas residuales; están clasificadas de acuerdo a su origen en industrial, agrícola, ganadera y doméstica. Estas aguas residuales deben ser tratadas para poder reincorporarse parcial o totalmente, (Vera . Sánchez, 2015).

Las aguas de origen doméstico contienen alta carga microbiana, se encuentran diferentes microorganismos que están presentes en el intestino del hombre, llamados flora intestinal normal+ y los microorganismos patógenos que en el intestino producen enfermedades de diferentes tipos, (Ortiz . Hernández, 1994).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales generan un subproducto llamado lodo residual. Existe una disyuntiva entre su tratamiento y disposición final, debido a su contenido de organismos patógenos y parásitos. Por lo tanto, su estabilización para disponerlos al ambiente es prioritaria, además su aplicación al suelo aporta nutrimentos esenciales y mejora sus propiedades físicas y químicas, (Vera . Sánchez, 2015).

Los propósitos principales de la estabilización del lodo residual son: que no tenga malos olores, que sea menos putrefactible, reducir su contenido de patógenos y que sea aprovechable, (ANFACAL, México).

El compostaje y lombricompostaje, representan tecnologías viables, por económicas y eficientes para abatir patógenos y facilitar el manejo de los lodos residuales, (Vera . Sánchez, 2015).

En nuestro medio, una problemática de los agricultores es la poca productividad, debido a un bajo nivel de fertilidad (nutrientes) de los suelos destinados para este uso; lo que conlleva a el elevado uso de fertilizantes químicos, los cuales inducen eficiencias en la composición física, biológica y química del suelo, sino que

también afectan contaminando a otros factores medio ambientales como el agua y aire. (Orantes, 1998).

El uso de fertilizantes y abonos orgánicos son recursos esenciales para el desarrollo agrícola; el abono orgánico es un producto que se obtiene aplicando técnicas de bajo costo y con muchos beneficios. (Campos y Col., 1997). El abono orgánico es una alternativa en la agricultura, el cual reduce el deterioro ambiental a causa de la toxicidad de los fertilizantes químicos, reduce el impacto en la contaminación del agua, del aire, mejorando la fertilidad de los suelos, y aumenta el ingreso de nutrientes a los cultivos; provocando así mayores rendimientos en los cultivos, (Agencia para el Desarrollo de Austria/IICA, 2009).

Dickerson (2000), señala la potencialidad de los lodos residuales como abonos orgánicos; debidos a la gran carga de organismos patógenos y parásitos para el hombre, no pueden ser utilizados en hortalizas. Existen factores que limitan la implementación del uso de abono orgánico a partir del lodo residual con fines de fertilización, dentro de los cuales podemos resaltar: las buenas prácticas agrícolas, la resistencia al cambio, la falta de conocimiento de los procesos que rigen el manejo eficiente para producirlo y sus beneficios; se considera que a futuro esta es una de las mejores alternativas para poder mitigar los efectos de la agricultura por el uso de fertilizantes químicos sobre el medio ambiente, (Gonzales, 2007; Orantes, 1998).

Esta investigación tiene como fin último la reutilización del lodo residual; la cual, se realizó en etapas: la primera de ellas se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residual del área urbana de El Municipio de Puerto El Triunfo, Departamento de Usulután y la segunda etapa se desarrolló en el Cantón el Jute, Municipio y Departamento de San Miguel. La finalidad de la investigación en primera etapa fue estabilizar el lodo residual proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales, mediante los métodos de compostaje y fosa; en la segunda etapa de la investigación se evaluó el humus producido con el lodo residual y se comparó con otra fuente de fertilizante químico tradicional seleccionando un cultivo indicador %ábano+ (*Raphanus sativus*) para ello.

En el desarrollo de la segunda etapa de esta investigación se utilizó un diseño estadístico de bloques completamente al azar con 4 tratamientos y 5 repeticiones haciendo un total de 20 unidades experimentales distribuidas en 20 m<sup>2</sup>. Se construyeron 20 cunas o contenedores con dimensiones de 1.0 metro por lado y 0.35 metros de alto, colocados sobre el terreno natural con diferentes sustratos: suelo testigo común (T1), suelo testigo común más compost (T2), suelo testigo común más lodo residual estabilizado en fosa (T3), suelo testigo común más fertilizante 18-46-0 (T4)). Luego se procedió a la preparación de las cunas, a las cuales se aplicó 15 días antes de la siembra cada uno de los mejoradores. Seguidamente, se prepararon las cunas de los tratamientos T2 con 10 libras de compost con lodo residual y T3 con 10 libras de lodo estabilizado en fosa. En relación al tratamiento (T4) se aplicaron 44.33 gramos de fertilizante 18-46-0.

La segunda etapa del estudio estuvo comprendida en la evaluación de la producción de biomasa (peso de rábanos con follaje, gr), diámetro de rábanos (cm), rendimiento del cultivo rábano u/m<sup>2</sup>. El análisis estadístico final del comportamiento de los tratamientos T1, T2, T3, T4 fue realizado mediante la prueba Duncan que permitió comparar las medias de los ~~%~~ niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA, para ello se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 19.

En esta investigación se buscó maximizar los beneficios del lodo residual estabilizado y reducir los daños medio ambientales que los fertilizantes químicos causan, a través de evaluar cualitativa y cuantitativamente al compost. Además, de evaluar los efectos de fertilizar de manera Orgánica y Química en la producción de biomasa y en el rendimiento del cultivo indicador (rábano).

## **CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La agricultura ha marcado la estructura de la economía salvadoreña desde finales del siglo XVIII con el auge de la producción y exportación del añil, hasta el siglo XX cuando se agotó el modelo agroexportador. Esta composición económica, centrada en la producción agrícola, representó el principal eje de acumulación de capital basado en el cultivo de café. Además de su importancia en la generación de ingresos y valor agregado, la agricultura ha jugado un papel fundamental en la vida de la población rural que encuentra en ella su principal medio de subsistencia, ya sea a través de la venta o el consumo de sus productos. (Bukele, 2012)-

El Producto Interno Bruto (PIB) generado por el sector agropecuario es del 12% del PIB según datos del Banco Central de Reserva de El Salvador (2013). La participación del sector agropecuario se conforma por los rubros de agricultura (café oro, algodón, granos básicos, caña de azúcar y otras producciones agrícolas) con el 61%, las actividades pecuarias participan con el 31%, la pesca y caza con el 3% y la silvicultura con el 5 % (BCR, 2012).

La Normativa vigente establece que la disposición de lodos provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipos ordinario y especial, estará sujeta a lo dispuesto en el Programa de Manejo o Adecuación Ambiental correspondiente, (Reglamento Especial de Aguas Residuales, 2000).

La Administración Nacional de Acueducto y Alcantarillado, ANDA administra trece plantas de tratamiento de aguas residuales, en las cuales la disposición actual del lodo residual se realiza dentro del espacio físico de las plantas de tratamiento, en la actualidad la vida útil de este varía entre los dos y cinco años. (Depto. Operaciones, ANDA Región Oriental).

La situación ambiental de El Salvador, se torna cada vez más difícil, los altos niveles de contaminación y deterioro de los recursos suelo, el agua, el aire, especies nativas de flora y fauna están siendo eliminados; de igual forma los altos niveles de riesgo y vulnerabilidad de muchas zonas a nivel nacional se

incrementan, ante tal situación las comunidades organizadas están demandando de las instituciones competentes acciones más coherentes con la protección ambiental, aún a pesar de la violencia y represión institucionalizada.

El fomento a la producción orgánica como una alternativa de fertilización amigable al medio ambiente y equiparable nutricionalmente como si fuera una fuente sintética, es parte fundamental de la estrategia de diversificación del sector agropecuario hacia cultivos de mayor valor económico y disminuir así la dependencia de los fertilizantes químicos que tanto contaminan; lo cual repercutirá en beneficios por un lado al reducir el impacto ambiental y por otro mejorara la calidad de vida de los productores Salvadoreños por los ingresos económicos obtenidos a través de los nuevos o mejores rendimientos de los cultivos, (Ángel, T., 2008).

### **Enunciado del Problema**

¿El humus producido con lodo residual es mejor nutricional y ambientalmente que una fuente fertilizante tradicional?

### **Sistematización del Problema**

1. ¿Cuáles serán las características del humus producido a partir de lodos residuales estabilizados mediante la técnica del compost y fosa?
2. ¿Cuál será el efecto de los fertilizantes (orgánicos y químico) en la producción de biomasa del cultivo rábano?
3. ¿Cuál será el efecto de los fertilizantes (orgánicos y químico) en los rendimientos del cultivo rábano?
4. ¿Cuál será el efecto de los fertilizantes (orgánicos y químico) en la inocuidad de las hortalizas?

## **A. Delimitación del Problema.**

### **B1. Teórica.**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales que administra la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados actualmente producen 1,250 m<sup>3</sup> de lodo residual al año, el cual es dispuesto (estabilizado) en fosas dentro del espacio físico de las plantas de tratamiento; donde, se confina el lodo residual deshidratado.

La reserva del espacio físico para la disposición de lodo residual deshidratado varía entre 2 y 5 años, por lo que después de este período se tendrá que optar por otra alternativa de disposición.

### **B2. Geográfica.**

La investigación se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales de Puerto El Triunfo, ubicada en el Municipio de Puerto El Triunfo, Departamento de Usulután, la cual produce mensualmente 10 m<sup>3</sup> al mes de lodo residual deshidratado. Seguidamente en el Cantón El Jute, del Municipio de San Miguel, se realizó la parte experimental del proyecto.

### **B3. Temporal.**

Esta investigación se desarrollo en los meses de febrero de 2015 al mes de septiembre de 2016.

## **B. Alcances.**

Obtener un método alternativo de estabilización de lodos residuales, el cual permita su reutilización.

## **C. Factibilidad.**

Existe factibilidad para desarrollar este trabajo, debido a que se dispone del lodo residual deshidratado de la planta de tratamiento de Puerto El Triunfo, el conocimiento para estabilizar y reutilizar el lodo residual.

## **CAPITULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Hoy en día la necesidad de minimizar residuos, así como su disposición adecuada y segura, son aspectos de suma importancia mundialmente, lo que ha llevado a la búsqueda de alternativas tecnológicas y cambios en las políticas de manejo que permitan generar residuos no peligrosos y estables para su correcta disposición o reaprovechamiento. (García, 2006)

En el tratamiento de las aguas residuales se tienen principalmente dos tipos de lodos primarios y secundarios. El tipo depende del origen de los lodos, lo cual también hace que tenga ciertas características de acuerdo al tratamiento en el que se produjo. (Limón, 2013).

### **2.1 Origen de los lodos.**

Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de planta de tratamiento y de la operación de ésta. En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario. (Limón, 2013).

Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal. (Limón, 2013).

Los lodos secundarios se producen en procesos de tratamiento biológicos que convierten residuos o sustratos solubles en biomasa. También incluyen la materia particulada que permanece en el agua después de la sedimentación primaria y que se incorpora en la biomasa. La cantidad producida depende de varios factores: eficiencia del tratamiento primario, relación de SST a DBO, cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y criterios de diseño del tratamiento. (Limón, 2013).

Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se sedimentan o separan del agua en los sedimentadores secundarios. Estos sedimentadores tienen en su base una tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. (Limón, 2013).

La extracción del lodo sedimentado se efectúa por carga hidráulica y por el accionamiento mecánico de las rastras que barren el fondo del tanque, empujando los lodos sedimentados a la tolva para su extracción. (Limón, 2013).

**Tabla No 1.** Composición característica de los lodos residuales urbanos, Reutilización de aguas y lodos residuales, Torres Eduardo 2002.

Características de los lodos			
	Primarios	Scundarios (F.A.)	Digeridos (mezcla)
SS (g/hab.d)	30-36	18-29	31-40
Contenido de agua (%)	92-96	97,5-98	94-97
SSV (% SS)	70-80	80-90	55-65
Grasas (% SS)	12-16	3-5	4-12
Proteínas (% SS)	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (% SS)	8-10	6-8	5-8
PH	5,5-6,5	6,5-7,5	6,8-7,6
Fósforo (P) (% SS)	0,5-1,5	1,5-2,5	0,5-1,5
Nitrógeno (N) (% SS)	2-5	1-6	3-7
Bacterias patógenas (Nº por 100 ml)	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>	100-100	10-100
Organismos parásitos (Nº por 100 ml)	8-12	1-30	1-3
Metales pesados (% SS) (Zn, Pb, Cu)	0,2-2	0,2-2	0,2-2
Cantidad de fango (l/hab.d)	0,70	1,70	0,90

En la Tabla No 1 se observa que los lodos residuales urbanos digeridos poseen de 3% a 7% de Nitrógeno (N), 0,5 % a 1,5% de Fósforo (P); los cuales son nutrientes importantes en los suelos agrícolas.

Los principales problemas que se presentan en los lodos provenientes de las depuradoras (plantas de tratamiento) de aguas residuales son los metales pesados y la presencia de microorganismos patógenos, véase Tabla No 1.

### **2.1.1 Tratamiento de lodos:**

El tratamiento de lodos constituye una parte fundamental de las plantas de tratamiento y supone un alto costo de inversión; además de los costos de mantenimiento y control.

### **2.1.2 Procesos:**

**2.1.2.1 Espesamiento:** antes de proceder a la eliminación, o estabilización de los lodos que se han separado del agua residual es conveniente proceder al espesamiento de los lodos; lo que permite reducir al mínimo el volumen para facilitar su manejo, transporte y almacenamiento.

**2.1.2.2 Estabilización o digestión:** puede ser aerobia o anaerobia.

**Digestión aerobia:** Viene a ser la eliminación en presencia de aire, de la parte fermentable de los lodos. Los lodos en este proceso disminuyen de forma continua por la acción de los microorganismos existentes en el reactor biológico a la vez que se produce una mineralización de la materia orgánica. Los productos finales de este proceso metabólico son anhídrido carbónico, agua y productos solubles inorgánicos. Una adecuada estabilización corresponde con una disminución de los sólidos en suspensión del 30 al 35%.

*El proceso Termofílico utiliza el calor metabólico producido por la biodegradación de la materia orgánica, alcanzándose temperaturas entre 45 y 65 °C, con ello se produce la destrucción de patógenos; esta es la base fundamental para la elaboración de compost.*

**Digestión anaerobia:** Se considera el método más adecuado para obtener un producto final aséptico. La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire. El oxígeno necesario para su desarrollo lo obtienen del mismo alimento.

La digestión pasa por procesos de: licuefacción, gasificación y mineralización produciéndose un producto final inerte y con liberación de gases.

La digestión está influenciada por una serie de fenómenos que determinan su eficacia:

- Temperatura (rango óptimo 29-33°C)
- Concentración de sólidos
- Mezcla de fango
- pH (debajo de 6.2 la supervivencia de microorganismos productores de metano es imposible)
- Ácidos volátiles.

**Estabilización química:** es aquella que se realiza por la adición a los lodos de productos químicos que los inactivan generalmente se usa cal que aumenta el pH, lo que dificulta la acción biológica de los lodos; favoreciéndose la liberación de amoníaco (le quita valor fertilizante al lodo).

### **2.1.3 Deshidratación de fangos o lodos digeridos.**

La eliminación de agua de los lodos se consigue mediante espesado, deshidratación y secado.

Para eliminar el agua libre e intersticial es suficiente con el proceso de espesado.

Para la separación del agua capilar y de adhesión es necesario una deshidratación donde se precisan fuerzas mecánicas en centrifugas y filtros.

Cuando se desea eliminar el agua de adsorción y de constitución se requieren energía térmica. La elección del método más adecuado dependerá del contenido en materia seca deseada en el lodo final, el costo del método y características del lodo.

### **2.1.4 Desinfección.**

Es el proceso mediante el cual se trata de eliminar una gran cantidad de organismos patógenos presentes en los lodos y que pueden suponer un riesgo sanitario en su utilización.

En la actualidad no es un proceso generalizado, pero países como Suiza, Alemania, México ya contemplan en su legislación normas sobre desinfección de lodos con fines agrícolas.

Los métodos que se utilizan son la pasteurización que somete a los lodos a temperaturas de 70°C y durante 30 minutos, el compostaje y la estabilización termofílica aerobia o anaerobia que provoca temperaturas de 60°C y un pH de 8 durante 48 horas o 24 horas si el pH es diferente.

### **2.1.5 Posible destino de los lodos deshidratados.**

- a) Utilización en agricultura como abono (digestión aerobia o anaerobia)
- b) Recuperación de terrenos agotados (digestión aerobia o anaerobia)
- c) Recuperación de energía eléctrica, mecánica y calorífica (incineración)
- d) Compostaje
- e) Vertidos directamente al mar, ríos, lagos.
- f) Relleno de terrenos, escombreras, minas abandonadas, pantanos, etc.

### **2.1.6 El lodo y su acción sobre el suelo agrícola.**

Los lodos se caracterizan por presentar un alto contenido de materia orgánica y nutrientes por lo que su aplicación al suelo proporcionará estos nutrientes.

Los fangos líquidos procedentes de un tratamiento primario y secundario contienen entre:

- 1 . 6.5 % de Nitrógeno, secundarios.
- 0.6 . 2.5 % de Fósforo, secundarios.
- La materia orgánica varía de 40 a 80% de la M.S.

Para el adecuado uso de los lodos de depuradoras en agricultura se hace necesario una previa caracterización física, química y biológica que nos permita descartar la presencia de sustancias tóxicas y peligrosas.

En Europa causó alarma el uso de lodos en la agricultura por la sospecha de la presencia de metales pesados, otro problema que se podría atribuir al uso de lodos es la presencia de organismos patógenos a pesar de la eliminación que se realiza en el proceso de digestión anaerobia, este problema se solucionaría mediante el compostaje de lodos antes de su aplicación al suelo, garantizando la sanidad y calidad del producto.

### **2.1.7 Compostaje.**

Es una técnica que los agricultores realizan con la finalidad de aprovechar los residuos propios de la actividad agrícola.

El compostaje es una manera racional, económica y segura de obtener un abono a partir de residuos de origen orgánico, conservando y aprovechando al máximo

### **2.1.8 Sistemas de compostaje.**

- Apilamiento estático, con aireación forzada es adecuado para áreas pequeñas, permite el control del oxígeno así como de la humedad y temperatura.
- Apilamiento con volteos, es un sistema considerado lento y utilizado desde épocas muy remotas. Es simple y fácil de realizar, se volteo periódicamente la masa para lograr una buena aireación y control de la humedad y temperatura.

## **2.2 Normativa aplicada, para la reutilización de lodos residuales.**

### **2.2.1 La *Norma Oficial Mexicana 004 SEMARNAT-2002* Protección ambiental.-**

*Esta normativa de lodos y biosólidos, establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los **lodos** y **biosólidos** provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el objeto de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger el medio ambiente y la salud humana.*

#### ***Definición de lodos y biosólidos según la NOM 004 SEMARNAT 2002***

La norma **NOM004 SEMARNAT-2002** define los **lodos** como sólidos con un contenido variable de humedad (provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado, de las plantas potabilizadoras de agua y de las plantas de tratamiento de aguas residuales) que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

Los **biosólidos** son aquellos lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y cuyo contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, les hacen ser susceptibles de

aprovechamiento. Los **biosólidos** pueden ser aplicados en el terreno con el objeto de mejorar sus características físicas, químicas o microbiológicas.

La **Norma Oficial Mexicana 004 SEMARNAT-2002** clasifica los biosólidos según su contenido de metales pesados en excelentes y buenos.

En relación a su contenido de patógenos y parásitos, los biosólidos se clasifican en las clases A, B y C.

### **2.2.2 Norma Chilena de Calidad de Compost NCh2880**

El 22 de febrero de 2005 se publicó en el Diario Oficial la Norma Chilena 2880 "Compost - Clasificación y requisitos", elaborado por el Instituto Nacional de Normalización INN en la que CONAMA ha participado activamente en conjunto con varios organismos, instituciones y empresas del rubro. (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

Esta norma se basa en que en la actualidad, el país presenta un creciente desarrollo de la actividad del compostaje como alternativa a la gestión de residuos orgánicos. Sin embargo, no existía un criterio para definir la calidad del compost. Es por ello que se hizo necesario definir, criterios o parámetros que permitiesen regular su calidad, para de esa forma, facilitar su comercialización y utilización. (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

### **Beneficios del compost.**

La generación de residuos sólidos crece a diario asociándose al incremento en los niveles de ingreso, cambio en los hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y mejora de estándares de calidad de vida de la población. (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

De acuerdo a estudios realizados, aproximadamente el 50% en promedio de los residuos sólidos generados están compuestos de restos orgánicos, principalmente provenientes de restos de alimentos, de mercado o ferias libres y de vegetales producto de las podas de parques y jardines. A esto, hay que

agregar la creciente generación residuos sólidos agrícolas, forestales, agroindustriales y de lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas y de residuos líquidos industriales de algunos procesos productivos. (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

Estos residuos son susceptibles de ser transformados mediante procesos naturales (biológicos aeróbicos) y convertidos en un producto (compost) que aporta nutrientes y que puede ser utilizado en la agricultura tradicional y orgánica, como abono. (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

La producción de compost se presenta como una opción alternativa a la quema, principalmente de residuos agrícolas y forestales, y por consiguiente a la emisión de contaminantes atmosféricos y a la pérdida de materia orgánica, por calcinación, en los suelos. A su vez, la opción del compostaje de residuos sólidos orgánicos, implica una disminución drástica de la cantidad de materia orgánica en los rellenos sanitarios, fuente de generación de olores, atracción de vectores y producción de biogás. (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

Finalmente, la producción de compost debe entenderse como una actividad que busca desincentivar el uso de la tierra de hojas y por ende, las implicancias ambientales que ello implica. (Instituto Nacional de Normalización, 2005).

### **2.2.3 Normativa Salvadoreña.**

La normativa salvadoreña establece en la Ley del Medio Ambiente en su Art. 50 literal c) y d) que el Ministerio promoverá el manejo integrado de plagas y el uso de fertilizantes, fungicidas y plaguicidas naturales en la actividad agrícola, que mantengan el equilibrio en la actividad agrícola. Al igual el Ministerio vigilará y asegurará que la utilización de agroquímicos produzca el menor impacto en el equilibrio de los ecosistemas, (Ley de Medio Ambiente, 1998).

El Reglamento Especial de Aguas Residuales expresa sobre la disposición de lodos provenientes de sistemas de tratamiento en el Art. 8, la disposición estará sujeta a lo dispuesto en el Programa de Manejo y adecuación Ambiental correspondiente y a la legislación pertinente, (Reglamento Especial de Aguas Residuales, 2000).

El Reglamento Especial de Aguas residuales estable en su Art. 22 y 23, la normativa referente a la reutilización y clasificación de las agua residuales; expresando en el Art. 23, la clasificaciones de reuso del agua residual provenientes de plantas de tratamiento, (Reglamento Especial de Aguas Residuales, 2000).

El Reglamento Especial de Normativas Técnicas de Calidad Ambiental, en lo referido a la Calidad de los Suelos, regula el uso de fertilizantes. El Art. 23 establece que el uso de sustancias químicas inorgánicas para fines agropecuarios se realizara de acuerdo a la Ley respectiva y a lo dispuesto en el Art. 50 de la Ley de Medio Ambiente, (Reglamento Especial de Normativas Técnicas de Calidad Ambiental, 2000).

Reglamento sobre la calidad del agua, el control de vertidos y las zonas de proteccion expresa en el Art. 108 establece un glosario de términos técnicos utilizados en el Reglamento, establece que dentro del tratamiento primario de la una Plata de Tratamiento podrá realizarse un secado, disposición sobre terreno o incineración de los lodos resultantes.

### **2.3. Cultivo del rábano.**

#### **2.3.1. Origen del rábano.**

El origen de los rábanos no se ha determinado de forma concluyente; aunque parece ser que las variedades de rábanos de pequeño tamaño se originaron en la región mediterránea, mientras que los grandes rábanos pudieron originarse en Japón o China.

En inscripciones encontradas en pirámides egipcias, datadas 2,000 años A.C.; ya se hacía referencia a su uso culinario. (ITESCAM, 2011.)

#### **2.3.2. Taxonomía y morfología**

- ✓ Familia: Cruciferae.
- ✓ Nombre científico: *Raphanus sativus*.
- ✓ Planta: anual o bienal. (ITESCAM, 2011.)

### **2.3.2.1 Sistema radicular**

Raíz gruesa, carnosa, muy variable en cuanto a la forma y al tamaño, de piel roja, rosada, blanca, pardo-oscura o manchada de diversos colores.

### **2.3.2.2 Tallo**

Breve antes de la floración, con una roseta de hojas. Posteriormente, cuando florece la planta, se alarga alcanzando una altura de 0.50 a 1 m, de color glauco y algo pubescente.

### **2.3.2.3 Hojas**

Basales, pecioladas, glabras o con unos pocos pelos hirsutos, de lámina lobulada o pinnatipartida, con 1-3 pares de segmentos laterales de borde irregularmente dentado; el segmento terminal es orbicular y más grande que los laterales; hojas caulinas escasas, pequeñas, oblongas, glaucas, algo pubescentes, menos lobuladas y dentadas que las basales.

### **2.18.2.4 Flores**

Dispuestas sobre pedicelos delgados, ascendentes, en racimos grandes y abiertos; sépalos erguidos; pétalos casi siempre blancos, a veces rosados o amarillentos, con nervios violáceos o púrpura; 6 estambres libres; estilo delgado con un estigma ligeramente lobulado.

### **2.3.2.5 Fruto**

Silícula de 3-10 cm de longitud, esponjoso, indehiscente, con un pico largo. Semillas globosas o casi globosas, rosadas o castaño-claras, con un tinte amarillento; cada fruto contiene de 1 a 10 semillas incluidas en un tejido esponjoso.

### **2.3.3. Requerimientos edafo-climáticos**

Prefiere los climas templados, teniendo en cuenta que hay que proteger al cultivo durante las épocas de elevadas temperaturas. El ciclo del cultivo depende de las condiciones climáticas, pudiendo encontrar desde 20 días a más de 70

días. La helada se produce a -2°C. El desarrollo vegetativo tiene lugar entre los 6°C y los 30°C, el óptimo se encuentra entre 18-22°C. La temperatura óptima de germinación está entre 20-25°C. Se adapta a cualquier tipo de suelo, aunque prefiere los suelos profundos, arcillosos y neutros. El pH debe oscilar entre 5,5 y 6,8. No tolera la salinidad, (ITESCAM, 2011.)

#### **2.3.4. Material vegetal.**

Las variedades se clasifican según el tamaño y la forma de la raíz (parte comestible) en:

1. Variedades de raíces pequeñas: (rabanitos) (Raphanus sativus L. var. radicola): es muy adecuado para su envasado en conos y en bolsas.
2. Raíces globulares: Redondo rosado punta blanca (la más difundida), Redondo escarlata.
3. Raíces oblongas: Medio largo rosado, Medio largo rosado de punta blanca, (ITESCAM, 2011.)

#### **2.3.5. Particularidades del cultivo**

##### **2.3.5.1. Preparación del terreno**

En primer lugar se realiza una labor profunda con volteo de la tierra (vertedera), siguiendo con una grada de disco y la aportación del abonado de fondo. A continuación se hacen caballones (acaballadora) preparando unas bancadas de aproximadamente 1,80 m de ancho.

##### **2.3.5.2. Siembra**

La semilla conservada en buenas condiciones mantiene su viabilidad durante seis años. Se siembra de asiento, preferentemente en otoño, primavera e invierno. La semilla de rabanito generalmente se esparce a voleo a razón de 12 kg de semilla por hectárea. En cambio, los rábanos se suelen sembrar en líneas a 50 cm, empleando unos 8 kg por hectárea.

Cuando se cultivan rabanitos es frecuente que, dado su rápido crecimiento, se hagan asociaciones, intercalando otras hortalizas de ciclo más largo, tales como zanahoria, remolacha, entre otros.

### **2.3.5.3. Labores**

Se realizarán 1 ó 2 escardas y un ligero aporcado si las plantas están en línea. A los 15 ó 20 días de la siembra es conveniente aclarar las plantas, dejando los rabanitos distanciados a 5 cm y los rábanos a 10 cm.

### **2.3.5.4. Abonado**

A modo orientativo se indican las siguientes dosis de abonado por hectárea: estiércol (30 T, preferiblemente aportadas 6 meses antes), nitrosulfato amónico (1500 kg), superfosfato de cal (400 kg), sulfato potásico (250 kg).

## **2.3.6. Plagas y enfermedades**

### **2.3.6.1. Plagas**

#### a) Oruga de la col (*Pieris brassicae*)

Son mariposas blancas con manchas negras, aunque los daños los provocan las larvas.



#### ✓ Control

El tratamiento debe realizarse al eclosionar los huevos, las materias activas recomendadas son:

- Clorpirifos 25%, presentado como polvo mojable, con dosis de 0.30-0.40%.
- Lambda Cihalotrin 2.5%, presentado como granulado dispersable en agua, con dosis de 0.40-0.50%.

b) Pulgones (*Aphis gossypii* y *Myzus persicae*)

No solo producen daños debido a que chupan la savia de las plantas, sino que además producen un líquido azucarado que taponan los estomas de las plantas favoreciendo el crecimiento de ciertos hongos. Además son transmisores de diversas enfermedades producidas por virus.



✓ Control

Se aplicará Lambda Cihalotrin 2.5%, presentado como granulado dispersable en agua, con dosis de 0.40-0.50%.

c) Rosquilla negra (*Spodoptera littoralis*)

Pueden cortar las plántulas de rábano o rabanito en los primeros estados de desarrollo y cortar además las hojas.



✓ Control

Se recomienda aplicar:

1. Clorpirifos 25%, presentado como polvo mojable, con dosis de 0.30-0.40%.
2. Clorpirifos 75%, presentado como granulado dispersable en agua, con dosis de 0.10-0.30%.

### 2.3.6.2. Enfermedades

d) Mildiu veloso (*Peronospora parasitica*)

Es una enfermedad común durante los meses primaverales. Se presenta en forma de pequeñas manchas amarillas sobre las hojas. Posteriormente, transcurrido un periodo de



tiempo estas manchas viran a marrón oscuro, terminando por secarlas totalmente.

✓ Control

Rotación de cultivos son interesantes las pulverizaciones foliares con urea, especialmente en tiempo cálido, a fin de evitar la subida a flor y lograr mejor cosecha.

### **2.3.7. Fisiopatías**

- a) Ahuecado o acorchado: es debido a la sobre-maduración.
- b) Textura dura y fibrosa: es ocasionada por cultivar en suelos demasiado ligeros o déficit hídrico.
- c) Sabor picante: provocado por un exceso de calor durante el cultivo.
- d) Raíces laterales: debido a un riego excesivo en el periodo cercano a la madurez.

### **2.3.8. Recolección**

En verano, la recolección de las raíces pequeñas se realiza a los 45 días, las medianas unos 10 días después y las grandes a los 70-80 días. Durante la estación invernal, se pueden dejar las plantas cierto tiempo sin recolectar desde el momento óptimo para la cosecha, pero si se prolonga demasiado las raíces adquieren un tamaño excesivo, y si llueve se rajan y después se ahuecan. En verano es necesario cosechar de inmediato, ya que se ahuecan rápidamente, especialmente las variedades tempranas.

En pequeñas parcelas la recolección suele realizarse de forma manual, lo que resulta muy costoso. En el caso de extensiones importantes y fincas llanas debe emplearse la recolección mecanizada. En terrenos excesivamente arcillosos este tipo de recolección encuentra cierta dificultad.

### **2.3.9. Comercialización**

Existen dos formas de comercialización: en manojos con hojas; y limpios, es decir, sin hojas ni raíces. Los rábanos y rabanitos se transportan a las unidades de procesado en contenedores de plástico o remolques.

En primer lugar son sometidos a un prelavado con agua para eliminar la tierra y otras impurezas, consiguiendo una limpieza total gracias a un sistema de lavado posterior con la impulsión de aire en agua. Posteriormente se deslizan de forma rotativa de manera que las hojas queden atrapadas entre dos rodillos y son eliminadas. Los rábanos defectuosos se separan en la cinta de rodillos. Las raíces son cortadas con ayuda de unas cuchillas.

### 2.3.10. Requerimientos nutricionales del cultivo de rábano.

En la tabla No 2, se aprecia los valores nutricionales del cultivo del rábano, en lo referido al Nitrógeno, fósforo y potasio.

**Tabla No 2.** Requerimientos nutricionales del cultivo del rábano en kilogramos/hectárea (ha), fertilización orgánica del rábano, Nasevilla 2010.

N	P	K
80	120	80

Debido a que el cultivo es de ciclo corto, este cultivo necesita de elementos nutritivos fácilmente asimilable ya que son muy sensibles a la falta de N-P-K y boro.

Esquema de Tratamiento de Aguas Residuales.

#### Elementos:

Desarenador, sedimentadores, Filtro biológico, Digestor de lodos, Patios de secado, Laguna de maduración.



## **CAPITULO III. JUSTIFICACIÓN, OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **A. Justificación**

El método de estabilización tipo fosa de lodo residual producido en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados requerirá que en pocos años se determine un espacio físico adicional para disponerlo, ya que, el actual (dentro de las plantas de tratamiento) habrá finalizado su vida útil. Por lo que, se hace necesario adoptar otro método de estabilización que permita la reutilización del lodo residual y el aprovechamiento agrícola de lodos residuales.

El suelo es un ecosistema capaz de degradar residuos y reciclar elementos nutritivos a través de los vegetales, siempre que no se abuse de su poder depurador. No es ninguna novedad que los lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas pueden ser aplicados en agricultura. El suelo puede ser un buen receptor de residuos orgánicos: tiene capacidad de transformar algunos de los componentes, o de inmovilizar a otros.

En nuestro país existe una necesidad de mejora de las características de suelos agrícolas, que permita un mayor rendimiento en la producción de alimentos. Durante los últimos años se ha registrado en la región salvadoreña un proceso continuo de incorporación de nuevos procesos de producción, con notable incremento del consumo de fertilizantes químicos, expansión incontenida de mercados de productos fitosanitarios y agrosanitarios, y la aparición de híbridos y variedades de cultivos agrícolas con mayor potencial de rendimiento pero con una equiparable dependencia química nutricional para producir sin importar el daño ambiental causado. Por lo cual, en la búsqueda de mejorar y estabilizar los rendimientos productivos con relación al medio ambiente, el interés se ha centrado en la incorporación de fertilizantes alternos (orgánicos) con alto valor nutricional pero que tenga bajo o nulo impacto ambiental, (Gonzales 2007).

Por lo cual, la importancia de los abonos orgánicos como insumo de producción, surge de la imperiosa necesidad que se tiene de no dañar al medio

ambiente, presto que el uso en sí de los fertilizantes químicos tradicionales implica desde la aplicación en físico en campo (contaminación de agua, suelo, aire, etc) hasta aquellos efectos por el desconocimiento de el productor acerca de: si las casas fabricantes utilizan productos químicos posiblemente prohibidos en sus propios países de fabricación, pero que por fines económicos tienen que incorporárselo a los fertilizantes destinados para exportación a otros países que los adquieren masivamente; contrastando con la alternativa orgánica, que también implica reducir las afectaciones económicas por las adquisiciones, y de mejorar características y condiciones del factor suelo como: físicas (Color oscuro con mayor facilidad de radiaciones lumínicas, mejorar la textura y estructura de los suelos, mantener la permeabilidad de los suelos, aumentar la retención de agua para las plantas y disminuir la erosión); químicas (regular el PH), y biológicas (al aumentar la oxigenación y aireación del suelo, aumentar la actividad de los microorganismos); lo que redundo en el aumento de su fertilidad, así como de reducir la aplicación de fertilizantes y plaguicidas sintetizados artificialmente, cuyo uso frecuente o excesivo ocasiona problemas graves de contaminación, (Martínez 2007).

Planteado lo anterior, el fomento y apoyo a la producción orgánica como una innovación dentro de las medidas de producción amigable al medio ambiente, crea independencia del régimen fertilizantes de origen químico por ser una fuente alterna de nutrientes, disminuyendo así el impacto negativo al medio ambiente por el uso descontrolado de los mismos, los costos de importación y pérdida de divisa nacional; crea también nuevas oportunidades de exportación para el mundo en desarrollo. Esto último debido a que como ningún país puede satisfacer la demanda de una variedad de alimentos orgánicos producidos dentro de sus fronteras durante todo el año muchos países en desarrollo han comenzado a exportar e importar con éxito productos orgánicos; es decir, se vuelve una oportunidad su explotación ambientalmente amigable (no contaminante), lo cual conllevara a un mejoramiento de la fertilidad de los suelos con un enfoque económico, de bienestar humano y de impactos ambientales positivos.

## B. Objetivos

### Objetivo general

Estabilizar el lodo residual mediante la técnica del compost, confinamiento (fosa) y lograr la reutilización del humus como mejorador de suelos.

### Objetivos específicos

- 1- Evaluar el efecto del sustrato conformado por suelo testigo en la producción de biomasa del cultivo indicador rábano
- 2- Evaluar el efecto del sustrato conformado por suelo testigo y compost, en la producción de biomasa del cultivo indicador rábano.
- 3- Evaluar el efecto del sustrato conformado por suelo testigo y lodo residual, en la producción de biomasa del cultivo indicador rábano.
- 4- Evaluar el efecto del sustrato conformado por suelo testigo y fertilizante, en la producción de biomasa del cultivo indicador rábano.
- 5- Analizar la inocuidad del cultivo indicador %Rábano+cosechado con los diferentes sustratos.

## C. Hipótesis.

**Ha1: *Existen diferencias significativas entre*** los tratamientos en la producción de biomasa en el cultivo de rábano

**Ho1: *No existen diferencias significativas entre*** los tratamientos en la producción de biomasa en el cultivo de rábano.

**Ha2:** Existen diferencias significativas entre los tratamientos en los diámetros producidos del cultivo indicador rábano.

**Ho2:** No existen diferencias significativas entre los tratamientos en los diámetros producidos del cultivo indicador rábano.

**Ha3:** Existen diferencias significativas entre los tratamientos en el rendimiento del cultivo de rábano.

**Ho3:** No existen diferencias significativas entre los tratamientos en el rendimiento del cultivo de rábano.

## **CAPITULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **A. Ubicación**

Los estudios se realizaron en el Cantón El Jute, ubicado en el Municipio de San Miguel, Departamento de San Miguel, El Salvador. Las coordenadas geográficas 13° 25' 53.54+Latitud Norte y 88° 09' 39.86+Longitud Oeste, elevación 93 msn. En este sitio se realizó el campo experimental de cultivo del rábano. El área total del campo donde se desarrolló el experimento es de 300 m<sup>2</sup>.

El lodo residual se obtuvo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales localizada al Norte de la ciudad de Puerto El Triunfo, en las coordenadas geográficas 13° 17' 29.08+Latitud Norte y 88° 32' 29.93+Longitud Oeste, elevación 23 msn.

Este estudio se realizó en dos etapas, la primera de ellas consta de estabilización de lodo residual deshidratado en la planta de tratamiento de aguas residuales, ubicada en El Puerto El Triunfo, Usulután y la segunda, el cultivo del rábano en el Cantón El Jute, Municipio y Departamento de San Miguel.

### **B. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación fue: cuantitativa experimental.

### **C. Unidades de Análisis**

#### **C.1 Estabilización del Lodo Residual.**

Las unidades de análisis para la primera etapa de la investigación fueron primero el lodo residual deshidratado estabilizado mediante la técnica del compost con hojarasca, ramas verdes y secas, en un periodo de 90 días y segundo, el lodo residual estabilizado en fosas de 2.00 x 2.00 x 2.00 m, conformando un volumen de 8.00 m<sup>3</sup>. En los cuales se depositó el lodo residual deshidratado, por un periodo de 90 días que comprendía el proceso de estabilización.

En el primer método de estabilización se conformó una pila de 1.50 x 2.00 x 1.00 m de alto, con capas de lodo residual, material seco, material verde; durante el

periodo de 90 días se verifico humedad y temperatura, realizando volteos periódicos durante el tiempo que comprendió el estabilizado del lodo.

En la segunda etapa de este proyecto, las unidades de análisis fueron cada una de las 20 parcelas o eras de rábano de 1.00 x 1.00 m<sup>2</sup>, para determinar producción de biomasa y rendimiento del cultivo; se utilizó como mejorador de suelos en las parcelas el lodo residual, el compost y el fertilizante 18-46-0, en base al siguiente detalle: %Suelo común o testigo+(T1) al que no se le aplicó ningún mejorador; el (T2) que fue la aplicación de compost a base de lodos residuales; el (T3) que fue la aplicación de lodo residual estabilizado y la aplicación de un químico tradicional 18-46-0 (T4). Las cantidades de las fuentes fertilizantes fueron estimadas de acuerdo a los requerimientos nutricionales del cultivo -y la aplicación de las dosis fue previo a la siembra, incorporándolos al suelo, en T1 (0 lb/m<sup>2</sup>), T2 (10 lb/m<sup>2</sup>), T3 (10 lb/m<sup>2</sup>) T4 (44.33 gr/m<sup>2</sup>); respectivamente. En total fueron 4 tratamientos con 5 repeticiones experimentales cada uno, distribuidas en 20 m<sup>2</sup>. El tamaño de la muestra fue estimada en 1.0 medición de campo por variable, por repetición y por tratamiento, realizada hasta la cosecha (28 días), tiempo en que duro esta etapa del estudio.

Las características del suelo testigo son las siguientes: Textura franco arcilloso, pH en agua 6.20, % de materia orgánica 3.96, Fósforo 6 mg/kg (P), Potasio 673 mg/kg (K), Sodio 0.19 (Na), otros parámetros se encuentran en Anexo No 15.

Para la determinación del tipo de fertilizante a aplicar se tomó como base los requerimientos nutricionales del rábano expresados en la Tabla No 3 tenemos:

**Tabla No 3.** Características del suelo testigo y determinación de aportes fertilizantes.

Nutrientes	Nutrientes requeridos por el rábano	Aportes de suelo testigo	Déficit de Nutrientes	Aporte con fertilizante	Relación de aplicación de fertilizante
Nitrógeno mg/Kg (N),	80	--	80 (8gr/m <sup>2</sup> )	18 (%)	4.44
Fósforo mg/Kg (P),	120	6	114 (11.4gr/m <sup>2</sup> )	46 (%)	2.47
Potasio mg/Kg (K)	80	673	0	0 (%)	0

De la relación de aplicación de fertilizante se observa que se tendrá que aplicar 114 kg/ha de lo cual se requiere 24.78 gr/m<sup>2</sup> para cubrir el requerimiento de fósforo (P); 80.00 kg/ha por lo que se requiere 44.44 gr/m<sup>2</sup> para cubrir el requerimiento de nitrógeno (N).

Tomando como base el Manejo agronómico del cultivo del rábano, (Morales, Escalante, Galdámez, FUNDESYRAM) se aplicó 10 lb de compost por 1.0 m<sup>2</sup>, incorporándolo al suelo 15 días antes de la siembra.

## **D. Variables y Medición**

### **1. Definición de las variables**

#### **a. Estabilización de Lodo Residual.**

- Definición conceptual: procedimiento mediante el cual el lodo residual deshidratado se estabiliza, por el método de fosa y compost.
- Definición operacional: Se elaboró una fosa para depositar por 90 días el lodo residual deshidratado.  
Se elaboró una pila con lodo residual deshidratado, ramas secas, ramas verdes, hojarasca por un periodo de 90 días, en los cuales se controló temperatura en grados centígrados y humedad al tacto.

#### **b. Producción de biomasa (gr).**

- Definición conceptual: es el peso frutos del cultivo indicador rábano con su follaje y diámetro del cultivo indicador, a partir de los tratamientos: Suelo testigo (T1), suelo testigo más compost con lodos residual (T2), suelo testigo más lodo de fosa (T3) y suelo testigo más formula química 18-46-0 (T4).
- Definición operacional: Se evaluó el peso (gr) y diámetro (mm) del cultivo indicador rábano cosechado a los 28 días. Los cosechados se clasificaron en primera categoría según el mercado nacional, los cuales son mayores de 0.0015 kg y 24 mm y 2<sup>o</sup> categoría (m0.014 kg y m23 mm).

### c. Rendimiento del Cultivo

- Definición conceptual: es la producción de rábano obtenida por unidad de área ( $m^2$ ).
- Definición operacional: Se determinó el número de rábanos cosechados por área ( $m^2$ ) a los 28 días.

## 2. Indicadores y su medición

Todas las variables descritas anteriormente son cuantitativas.

### a. Instrumentos de medición

- ✓ Balanza de mesa electrónica Max 410 gr.
- ✓ Balanza de piso de 30 (kg) x 5 gr.
- ✓ Pruebas de laboratorio de: Nitrógeno total, Fósforo, Potasio, Calcio, Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Magnesio y Humedad.
  - Caracterización completa de lodo residual deshidratado : \$1,000.00
  - Caracterización de compost con lodo residual deshidratado estabilizado: \$ 500.00
  - Caracterización de lodo residual deshidratado estabilizado en fosa: \$500.00
  - Caracterización de suelo testigo: \$200.00
- ✓ Pie de rey (mm)
- ✓ Regla (30 cms)
- ✓ Termómetro
- ✓ Carpeta negra
  - Carpeta negra: \$ 20.00
- ✓ Palas : \$ 10.00
- ✓ Machete \$ 5.00
- ✓ Barras: \$ 10.00
- ✓ Fertilizante y semillas de rábano: \$ 30.00
- ✓ Plaguicidas para hormigas: \$ 15.00
- ✓ 8 m<sup>3</sup> de suelo testigo: \$ 100.00

- ✓ Ladrillos de barro para hechura de pilas
- ✓ Ladrillos de barro: \$ 125.00

## **b. Técnicas y procedimientos a emplearse en la recopilación de información.**

### **1. Estabilización de lodo residual.**

En esta etapa se midió diariamente la temperatura en grados centígrados de la mezcla del compost con lodo residual deshidratado.

### **2. Producción de biomasa (gr y cms)**

En la segunda fase del estudio, se tomaron los pesos de material vegetal (frutos con su follaje) de cada una de las repeticiones con una balanza de mesa electrónica, obtenidos a partir de los tratamientos evaluados. Además, se realizó la medición del diámetro de los rábanos (frutos cosechados) de cada una de las repeticiones con un pie de rey (mm), obtenidos a partir de los tratamientos evaluados. La obtención de esta serie de datos, fue hasta finalizar la segunda etapa del estudio (28 días).

### **3. Rendimiento del cultivo ( $\mu/m^2$ )**

En la etapa número dos del experimento, se determinó el número de Rábanos cosechados por área ( $m^2$ ) en cada parcela o repetición de cada uno de los tratamientos respectivamente evaluados hasta los 28 días.

## **E. Procesamiento y análisis de la información**

Las variables producción de humus, producción de biomasa (peso de frutos con su follaje y diámetro de frutos), y rendimiento del cultivo se analizaron de forma cuantitativa experimental, en un análisis de varianza (ANOVA) de cada uno de los elementos obtenidos; para los cuales se utilizó el programa estadístico: SPSS.19, de la siguiente manera: los datos obtenidos durante el estudio fueron tabulados en una base de datos, posteriormente todos los datos se sometieron a pruebas estadísticas de acuerdo a la etapa o fase del estudio en el programa antes mencionado, detallando de cada variable el promedio (  $\bar{x}$  ), la desviación estándar (sx), la varianza ( $s^2$ ), la sumatoria de  $n \times x$  y de  $n \times x^2$ , y el número de observaciones por tratamiento (N),

entre otros; esto se realizó con el propósito de determinar si existían diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y bloques por cada variable en las fases del estudio.

En la segunda etapa, la distribución estadística fue la siguiente: El diseño estadístico ha utilizado fue: bloques completamente al azar, con 4 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento.

**Tabla No 4.** Distribución estadística del modelo (II fase de investigación).

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
<b>Tratamiento (t (4) -1)</b>	<b>3</b>
<b>Bloque (r (5) -1)</b>	<b>4</b>
<b>Error (t-1)(r-1)</b>	<b>12</b>
<b>Total</b>	<b>19</b>

Dónde:

t = número de tratamientos; r = número de bloques

El número de grados de libertad se comprende mejor si es visto como el número de dimensiones espaciales en los que un punto es libre de moverse.

✓ **Prueba de Duncan**

Esta prueba se utilizó para obtener diferencias significativas entre medias, posterior a los análisis de varianza y únicamente si en estos análisis (ANOVA) existieron diferencias estadísticas significativas, con el objetivo de comparar el comportamiento de los tratamientos. El Test de Duncan es un test de comparaciones múltiples. Permite comparar las medias de los t niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA. Todos los test de comparaciones múltiples son test que tratan de perfilar, tratan de especificar, tratan de concretar, una Hipótesis alternativa genérica como la de cualquiera de los Test ANOVA.

## **CAPITULO V. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

### **1- Fase I, Clasificación del Lodo Residual.**

En esta fase se procedió en primera instancia a clasificar el lodo residual deshidratado sin estabilizar; posterior se clasificó el lodo estabilizado mediante los métodos de compost y fosa. Para lo cual se tomó de guía la Norma Oficial Mexicana NOM004 SEMARNAT-2002, protección ambiental. Lodos y biosólidos. La norma NOM004 SEMARNAT-2002 define los lodos como sólidos con un contenido variable de humedad que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

De forma paralela se hará referencia a la Norma Chilena NCH2880-2033, la cual tiene como finalidad evaluar la viabilidad de reutilizar lodo residual en la agricultura orgánica.

#### **a) Clasificación del lodo residual deshidratado (no estabilizado).**

Para efectos de la Norma Oficial Mexicana los biosólidos se clasifican en dos tipos: excelentes y buenos, en función de su contenido de metales pesados; en clases A, B y C, en función de su contenido de patógenos y parásitos.

**Tabla No 5.** Clasificación del lodo residual deshidratado no estabilizado, según Norma Oficial Mexicana NOM004 SEMARNAT, año 2002, en excelentes o buenos en función de metales pesados.

<b>CLASIFICACIÓN NOM004 SEMARNAT</b>				
<b>CONTAMINANTE (Determinados en forma Total)</b>	<b>RESULTADOS DE MUESTRA DE LODO RESIDUAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO <i>Las Pampas</i></b>	<b>EXCELENTES mg/kg en base seca</b>	<b>BUENOS mg/kg en base seca</b>	<b>Clasificación en función de metales pesados del lodo residual</b>
<b>Arsénico</b>	<0.001	41	75	Excelente
<b>Cadmio</b>	<0.0020	39	85	Excelente
<b>Cromo</b>	<0.001	1200	3000	Excelente
<b>Cobre</b>	0.303	1500	4300	Excelente
<b>Plomo</b>	<0.01	300	840	Excelente
<b>Mercurio</b>	<0.001	17	57	Excelente
<b>Níquel</b>	0.21	420	420	Excelente
<b>Zinc</b>	0.17	2800	7500	Excelente
<b>Selenio</b>	<0.001	--	--	Excelente

Se observa una cantidad baja de metales pesados en la muestra del lodo residual deshidratado sin estabilizar, esto debido al tipo de agua residual tratada es de tipo domiciliar. En el Anexo No 11 se puede observar los resultados de los componentes microbiológicos: Coliformes fecales 39,000,000 NMP/g, Salmonella <3 sp NMP/4g, Huevos de Helminto 20,000, Vermiformes <1, Virus entérico <1 UFC/4g; y los resultados de los componentes físico químicos: Humedad 21.6 %, Densidad 0.8251 Kg/m<sup>3</sup>, Potencial calórico 99.5 Kcal/kg, pH 6.96, Compuestos fenólicos <0.025 mg/Kg, Sodio 12 mg/kg, Arsénico <0.001 mg/Kg, Aluminio <0.020 mg/Kg, Bario <0.0006 mg/Kg, Cadmio 0.002 mg/Kg, Cobre 0.303 mg/Kg, Cromo total <0.01 mg/Kg, Mercurio <0.001 mg/Kg, Molibdeno 2.6 mg/Kg, Níquel 0.21 mg/Kg, Plomo <0.010 mg/Kg, Selenio 0.001 mg/Kg, Zinc 0.17 mg/Kg, Nitrógeno total 6.4 mg/Kg,

Fósforo total 70.0 mg/Kg, Hierro 0.214 mg/Kg, Manganeso 0.208 mg/Kg, Potasio 40 mg/Kg, Carbono total 112 mg/Kg.

La clasificación del lodo residual deshidratado en función de su contenido de metales pesados se determina tomando como base la Tabla No 5 como *excelente*, debido a que los contenidos de metales están por debajo de los requeridos en la Norma Oficial Mexicana NOM004 SEMARNAT-2002.

En la Tabla No 6 se realiza el análisis de la muestra de lodo residual con lo dispuesto en la Norma Chilena NCH2880-2033, en lo relacionado a metales pesados.

**Tabla No 6.** Clasificación del lodo residual deshidratado no estabilizado en función de concentraciones máximas de metales pesados en compost para utilización en la agricultura orgánica, según Norma Chilena NCH2880-2033, año 2003-2005.

<b>Norma Chilena NCH2880-2033</b>			
<b>CONTAMINANTE</b> (Determinados en forma Total)	<b>RESULTADOS DE MUESTRA DE LODO RESIDUAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO</b> <i>Las Pampas</i>	<b>CONCENTRACIÓN MAXIMA mg/kg en base seca</b>	<b>Clasificación para utilización en agricultura orgánica</b>
<b>Arsénico</b>	<0.001	10	Apto
<b>Cadmio</b>	<0.0020	1	Apto
<b>Cromo</b>	<0.001	60	Apto
<b>Cobre</b>	0.303	50	Apto
<b>Plomo</b>	<0.01	50	Apto
<b>Mercurio</b>	<0.001	1	Apto
<b>Níquel</b>	0.21	10	Apto
<b>Zinc</b>	0.17	60	Apto
<b>Selenio</b>	<0.001	6	Apto

Los resultados obtenidos de la muestra de lodo residual deshidratado sin estabilizar están bajo las concentraciones máximas permitidas, teniendo a la base lo expresado en la Norma Chilena NCH2880-2033.

En las Tablas No 5 y No 6 se realiza una evaluación del lodo residual no estabilizado comparando los valores obtenidos del análisis del lodo residual, en ambos análisis se determina que la muestra es apta para ser utilizada en la agricultura como mejorador de suelo. La presencia de patógenos, parásitos, metales pesados y plaguicidas puede limitar el potencial como insumo agrícola de los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales municipales (Metcalf Eddy, 2003).

**b) Clasificación en función de patógenos y parásitos.**

**Tabla No 7.** Clasificación del lodo residual deshidratado no estabilizado en función de los límites máximos permisibles para patógenos y parásitos según Norma Oficial Mexicana NOM004 SEMARNAT, año 2002.

CLASE	RESULTADOS DE MUESTRA DE LODO RESIDUAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO <i>Las Pampas</i>	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION VALORES MAXIMOS PERMITIDOS NOM004 SEMARNAT-2002	RESULTADOS DE MUESTRA DE LODO RESIDUAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO <i>Las Pampas</i>	PATOGENOS VALORES MAXIMOS PERMITIDOS NOM004 SEMARNAT-2002	RESULTADOS DE MUESTRA DE LODO RESIDUAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO <i>Las Pampas</i>	PARASITOS VALORES MAXIMOS PERMITIDOS NOM004 SEMARNAT-2002
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
<b>A</b>	<b>39 000 000</b>	Menor de 1 000	<b>&lt;3</b>	Menor de 3	<b>20 000</b>	Menor de 1 (a)
<b>B</b>	<b>39 000 000</b>	Menor de 1 000	<b>&lt;3</b>	Menor de 3	<b>20 000</b>	Menor de 10
<b>C</b>	<b>39 000 000</b>	Menor de 2 000 000	<b>&lt;3</b>	menor de 300	<b>20 000</b>	Menor de 35

Teniendo a la base lo expresado en la Norma Oficial Mexicana NOM004 SEMARNAT-2002, se observan los indicadores bacteriológicos de contaminación patógenos y parásitos del lodo residual no estabilizado están fuera de los valores máximos permitidos, por lo que no puede ser clasificado en ninguna de las tres Clases A, B o C; de lo anterior se determina que nuestra muestra no puede ser utilizada sin previa estabilización.

El objetivo principal de la estabilización de lodos residual es la disminución de patógenos, como se observó en la Taba No 7 la muestra tiene alto contenido de patógenos.

## **2- Fase de Campo II, estabilización de lodo residual y cultivo de rábano.**

Esta fase consta en dos etapas, la primera de ellas se destinó para estabilizar el lodo residual deshidratado mediante la técnica del compost y fosa y la segunda de ella para evaluar los cuatro tipos de tratamientos en la producción del cultivo indicador rábano.

### **2.1 Primera etapa.**

Esta etapa consto en la estabilización del lodo residual deshidratado mediante el compost y depositando el lodo en una fosa.

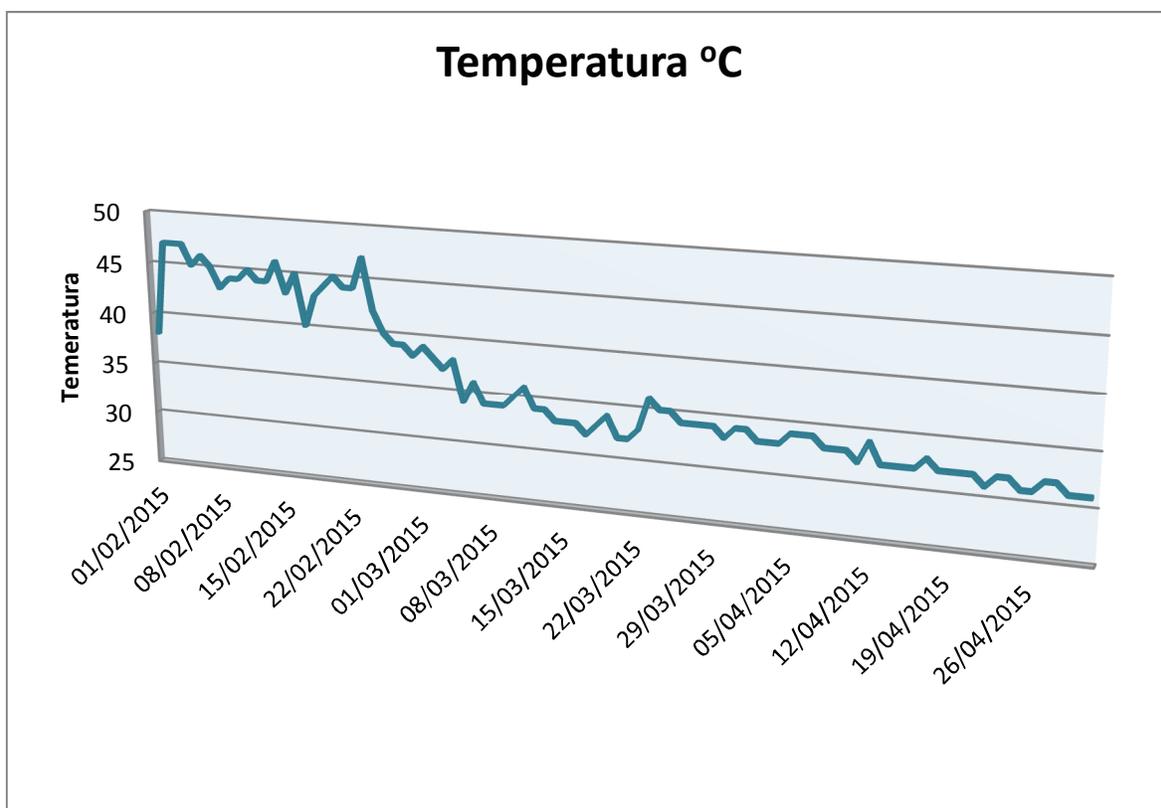
#### **a. Estabilización del lodo en fosa.**

En esta etapa se estabilizo lodo residual deshidratado en un fosa excavada en el terreno donde se encuentra la Planta de Tratamiento en Puerto El Triunfo denominada Las Pampas, la fosa excavada se encontraba frente a los patios de secado y las dimensiones de la fosa eran de 2.00x2.00x2.00 m, conformando un volumen de 8.00 m<sup>3</sup>. Después de depositado el lodo residual reposo por un periodo de tres meses de estabilización.

## b. Elaboración del compost.

En esta etapa se procedió a elaborar una pila de compost de dimensiones 1.50 x 2.0 x 1.0 m por un periodo de 90 días; se procedió a tomar control de temperatura y humedad al tacto en lapsos de dos días. Se realizaban volteos semanales para mejorar la degradación de los materiales.

En la Ilustración No 1 se observa la disminución de la temperatura del compost en función de los meses; observando que el promedio del primer mes 43.5 °C, para el segundo mes se obtuvo una temperatura 34.42 °C y en la etapa final del compost 32.35 °C. La temperatura promedio durante el periodo de compostaje es de 36.53 °C y una desviación estándar de 5.15 °C. En el Anexo No 1 se puede observar el detalle de la temperatura por día de la composta.



**Ilustración No 1.** Variación de temperatura en función de los días de elaboración de compost.

En la tabla No 8 se clasifica el lodo residual estabilizado mediante las dos técnicas de compostaje y fosa, teniendo como referencia las Normas NOM004 SEMARNAT-2002 y NCH2880-2033. Se observa que el lodo estabilizado cumple con los límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.

**c. Clasificación del lodo residual estabilizado mediante la técnica del compost y fosa.**

**Tabla No 8.** Clasificación del lodo residual estabilizado mediante la técnica del compost y fosa, en función de presencia de metales comparado con los límites máximos permisibles expresados en Norma Oficial Mexicana NOM004 SEMARNAT, año 2002 y **NORMA CHILENA** NCH2880-2033.

CONTAMINANTE (Determinados en forma Total)	NOM004 SEMARNAT- 2002 MEXICANA				NORMA CHILENA NCH2880- 2033 (CUADRO A-8)	Clasificación  Excelentes o Buenos
	MUESTRA Planta de Tratamiento Las Pampas (compost)	MUESTRA Planta de Tratamiento Las Pampas (fosa)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca		
<b>Arsénico</b>	0.001	0.006	41	75	10	Excelente
<b>Cadmio</b>	0.52	0.29	39	85	1	Excelente
<b>Cromo</b>	<0.03	<0.05	1200	3000	60	Excelente
<b>Cobre</b>	4.8	4.1	1500	4300	50	Excelente
<b>Plomo</b>	8.6	7.5	300	840	50	Excelente
<b>Mercurio</b>	<0.001	<0.001	17	57	1	Excelente
<b>Níquel</b>	5.2	6.8	420	420	10	Excelente
<b>Zinc</b>	1.5	0.70	2800	7500	60	Excelente
<b>Selenio</b>	0.01	0.01			6	Excelente

Los contaminantes que sobresalen son el Cobre, Plomo y Níquel con valores de 4.8, 8.6 y 5.2 mg/kg respectivamente.

En los Anexos No 12 y 13 se encuentran los resultados de los análisis del lodo residual estabilizado mediante las dos técnicas.

En el Anexo No 12 se puede observar los resultados de los componentes microbiológicos del lodo residual estabilizado mediante la técnica del compost: Coliformes fecales <1.8 NMP/g, Salmonella <3 sp NMP/4g, Huevos de Helminto Ausencia, Vermiformes Ausencia, Virus entérico <1 UFC/4g; y los resultados de los componentes físico químicos: Humedad 23.0 %, Densidad 0.001 Kg/m<sup>3</sup>, Potencial calórico 1,721 Kcal/kg, pH 7.7, Compuestos fenólicos <0.002 mg/Kg, Sodio <10 mg/kg, Arsénico 0.001 mg/Kg, Aluminio <0.06 mg/Kg, Bario <0.001 mg/Kg, Cadmio 0.52 mg/Kg, Cobre 4.8 mg/Kg, Cromo total <0.03 mg/Kg, Mercurio <0.001 mg/Kg, Molibdeno 128mg/Kg, Níquel 5.2 mg/Kg, Plomo 8.6 mg/Kg, Selenio 0.01 mg/Kg, Zinc 1.5 mg/Kg, Nitrógeno total 3,000 mg/Kg, Fósforo total 38.0 mg/Kg, Hierro 1.1 mg/Kg, Manganeso 5.0 mg/Kg, Potasio 344 mg/Kg, Carbono total 2,720 mg/Kg. En el Anexo No 13 se puede observar los resultados de los componentes microbiológicos del lodo residual estabilizado mediante de fosa: Coliformes fecales <1.8 NMP/g, Salmonella <3 sp NMP/4g, Huevos de Helminto Ausencia, Vermiformes Ausencia, Virus entérico <1 UFC/4g; y los resultados de los componentes físico químicos: Humedad 23.0 %, Densidad 0.0011 Kg/m<sup>3</sup>, Potencial calórico 2,226 Kcal/kg, pH 7.5, Compuestos fenólicos <0.002 mg/Kg, Sodio <10 mg/kg, Arsénico 0.006 mg/Kg, Aluminio <0.05 mg/Kg, Bario <0.00068 mg/Kg, Cadmio 0.29 mg/Kg, Cobre 4.1 mg/Kg, Cromo total <0.05 mg/Kg, Mercurio <0.001 mg/Kg, Molibdeno 109 mg/Kg, Níquel 6.8 mg/Kg, Plomo 7.5 mg/Kg, Selenio 0.01 mg/Kg, Zinc 0.70 mg/Kg, Nitrógeno total 2,540 mg/Kg, Fósforo total 30.6 mg/Kg, Hierro 0.9 mg/Kg, Manganeso 3.2 mg/Kg, Potasio 47 mg/Kg, Carbono total 3,870 mg/Kg.

En la Tabla No 9 se realiza la clasificación del lodo residual estabilizado en función de patógenos y parásitos. En la cual se determina que el lodo residual estabilizado mediante las técnicas de compost y fosa es Clase A, según clasificación de la Norma NOM004 SEMARNAT-2002.

**Tabla No 9.** Clasificación del lodo residual estabilizado mediante la técnica del compost y fosa, en función de presencia de patógenos y parásitos comparado con los límites máximos permisibles expresados en Norma Oficial Mexicana NOM004 SEMARNAT, año 2002 y NORMA CHILENA NCH2880-2033.

C L A S E	Resultado de lodo residual estabilizado en Compost	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACION	Resultado de lodo residual estabilizado en Compost	PATOGENOS	Resultado de lodo residual estabilizado en Compost	PARASITOS	Clasificación
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca	
A	<1.8	Menor de 1 000	<3	Menor de 3	<b>Ausencia</b>	Menor de 1 (a)	Clase A
B		Menor de 1 000		Menor de 3		Menor de 10	
C		Menor de 2 000 000		menor de 300		Menor de 35	

C L A S E	Resultado de lodo residual estabilizado en fosa	INDICADOR BACTERIOLÓGICO DE CONTAMINACION	Resultado de lodo residual estabilizado en fosa	PATOGENOS	Resultado de lodo residual estabilizado en fosa	PARASITOS	Clasificación
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca	
A	<1.8	Menor de 1 000	<3	Menor de 3	<b>Ausencia</b>	Menor de 1 (a)	Clase A
B		Menor de 1 000		Menor de 3		Menor de 10	
C		Menor de 2 000 000		menor de 300		Menor de 35	

Los indicadores bacteriológicos de contaminación coliformes fecales, salmonella y huevos de helminto se han minimizado durante el proceso de estabilización del lodo residual, con lo cual teniendo como marco de referencia la Norma Mexicana NOM004 SEMARNAT-2002 podemos calificarlos como lodos residuales estabilizados Clase A.

La Tabla No 10, refleja según la Norma Mexicana NOM004 SEMARNAT-2002 el tipo de aprovechamiento que se puede realizar a los lodos Tipo Excelente y Clase A.

**Tabla No 10.** Aprovechamiento de lodos residuales estabilizados, en función de clasificación y tipo, derivado de la Norma Oficial Mexicana NOM004 SEMARNAT, año 2002.

APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS		
TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos urbanos con contacto publico directo durante su aplicación.</li> <li>• Los establecidos para Clase B y C</li> </ul>
EXCELENTE O BUENO	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos urbanos sin contacto publico directo durante su aplicación.</li> <li>• Los establecidos para clase C.</li> </ul>
EXCELENTE O BUENO	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos forestales</li> <li>• Mejoramiento de suelos.</li> <li>• Usos agrícolas</li> </ul>

Tomando como base las clasificaciones de los biosólidos y su aprovechamiento se observa que el lodo residual estabilizado mediante la técnica del compost y fosa en relación a los contenidos de metales y patógenos se clasifica como Tipo excelente y clase A, por lo que está apto para utilizarse en mejoramiento de suelo, usos agrícolas y forestales.

## 2.2 Producción de biomasa (gr).

### 1. Peso de rábanos gr, (frutos con su follaje).

La información para la variable peso de frutos con su follaje (rábano) para cada tratamiento y bloque comprendidos en el periodo de estudio se presentante en el Anexo A-2. Tomando como base esta información se describe en el **Tabla No 11** los comportamientos por fuente fertilizante promedios para el indicador peso de rábano de dicha variable.

**Tabla No 11.** Peso de frutos con su follaje en producción de biomasa (gr) del cultivo indicador rábano de los cuatro tratamientos utilizados.

		Producción de biomasa (gr)							
		I	II	III	IV	V	<sup>3</sup> X	S	
Suelo Testigo	(T1)	3106.3	4294.8	4050	4118.6	4299	19,868.70	3,973.7	497.02
Suelo T + Compost	(T2)	5683.8	5098	5597.2	4771.8	4793.2	25,944.00	5,188.8	433.14
Suelo T + Lodo Residual	(T3)	4652.6	5416.8	5912.8	5334	5372.2	26,688.40	5,337.7	449.32
Suelo T + Fertilizante 18-46-0	(T4)	4928.9	5190.2	4745.8	5422	4378.2	24,665.10	4,933.0	402.53

Con respecto al peso de rábanos con su follaje, estos resultados demuestran que en los tratamientos se registraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) ver Anexo A-3 dónde  $p$  es igual a 0.001, por lo que se generan dos bloques comportándose éstos de manera similar entre ellos, pudiéndose apreciar que los promedios de los tratamientos oscilaron entre 5.3377 . 3.9737 kg, registrándose entre las fuentes de acuerdo a la prueba estadística Duncan los promedios más altos de peso son suelo con lodo residual y suelo con compost (5.3377 y 5.1888 kg); respectivamente, seguido de suelo testigo con fórmula 18-46-0 (4.933 kg) y siendo similares estadísticamente entre ellos (T2,T3,T4) agrupados en el subconjunto 2;

además se observó el promedio más bajo de peso en el tratamiento con suelo testigo con 3.973.7 kg.

En el Anexo A-4 se puede observar que los sub grupos se generaron T1 como el primero y T2, T3, T4 como el segundo, comportando este último de manera similar entre tratamientos.

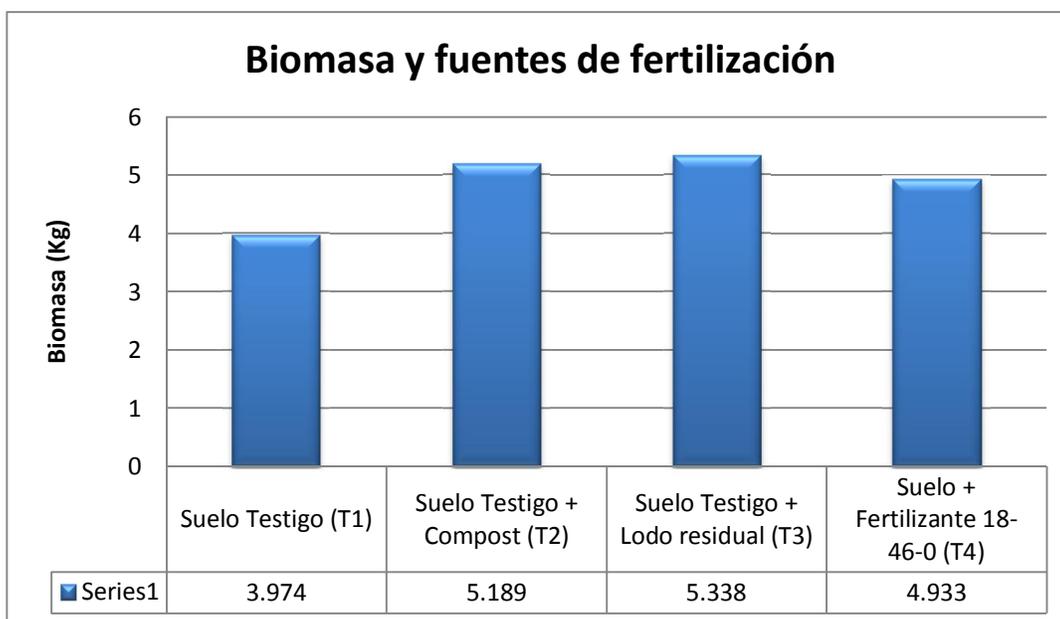
**Tabla No 11.1.** Comparaciones múltiples de medias de los diferentes tratamientos, mediante la prueba de Tukey.

Variable dependiente: Biomasa Total generada

(I) Tratamientos o Sustratos	(J) Tratamientos o Sustratos	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey T1	T2	-1215.06000 <sup>*</sup>	282.58953	.003	-2023.5542	-406.5658
	T3	-1363.94000 <sup>*</sup>	282.58953	.001	-2172.4342	-555.4458
	T4	-959.28000 <sup>*</sup>	282.58953	.017	-1767.7742	-150.7858
T2	T1	1215.06000 <sup>*</sup>	282.58953	.003	406.5658	2023.5542
	T3	-148.88000	282.58953	.951	-957.3742	659.6142
	T4	255.78000	282.58953	.802	-552.7142	1064.2742
T3	T1	1363.94000 <sup>*</sup>	282.58953	.001	555.4458	2172.4342
	T2	148.88000	282.58953	.951	-659.6142	957.3742
	T4	404.66000	282.58953	.499	-403.8342	1213.1542
T4	T1	959.28000 <sup>*</sup>	282.58953	.017	150.7858	1767.7742
	T2	-255.78000	282.58953	.802	-1064.2742	552.7142
	T3	-404.66000	282.58953	.499	-1213.1542	403.8342

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

En la Tabla No 11.1 se puede observar que la diferencia de medias entre los tratamientos es significativa, por lo que hay una diferencia estadística entre T1 y los tratamientos T2, T3, T4.



**Ilustración No 2.** Peso de frutos con su follaje en producción de biomasa (Kg) del cultivo indicador rábano para las diferentes fuentes de fertilización.

## 2. Diámetro de frutos (cm).

El detalle de la información para la variable diámetro de fruto (producción de biomasa) para cada tratamiento y bloque comprendió al periodo de estudio se presentan en la siguiente tabla. Tomando como base esta información se describe en el Tabla No 12 los comportamientos por fuente fertilizante promedios para el indicador diámetro de raíz de rábano de dicha variable.

**Tabla No 12.** Diámetro de frutos en producción de biomasa (cm) del cultivo indicador rábano, para los rábanos de la primera categoría.

TRATAMIENTOS		Diámetro de Rábano Primera Categoría (cm)							
		UI	UII	UIII	UIV	UV	<sup>3</sup> X	S	
Suelo Testigo	(T1)	2.6	3.04	2.72	3.08	2.9	14.34	2.87	0.21
Suelo T + Compost	(T2)	3.1	3.26	3.38	2.98	3.24	15.95	3.19	0.15
Suelo T + Lodo Residual	(T3)	3.21	3.13	3.2	3.37	3.19	16.10	3.22	0.09
Suelo T + Fertilizante 18-46-0	(T4)	3.25	3.29	3.18	3.33	3.03	16.07	3.21	0.11

Con respecto al diámetro de frutos, estos resultados demuestran que en los tratamientos se registraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) Anexo A-5, y no así entre los bloques comportándose éstos de manera similar entre ellos, pudiéndose apreciar que los promedios de los tratamientos oscilaron entre 2.87 - 3.22 cm, registrándose entre las fuentes de acuerdo a la prueba estadística Duncan los promedios más altos de diámetro en Fórmula 18-46-0 (T4) y suelo testigo + lodo residual (T3) con 3.21 y 3.22 cm; seguido de suelo testigo + compost (3.19 cm) (T2); respectivamente, siendo similares estadísticamente entre ellos (T2,T3,T4). Se observó el promedio más bajo de diámetro en el tratamiento testigo con 2.87 cm.

**Tabla No 12.1.** Comparaciones múltiples de medias de los diferentes tratamientos, mediante la prueba de Tukey

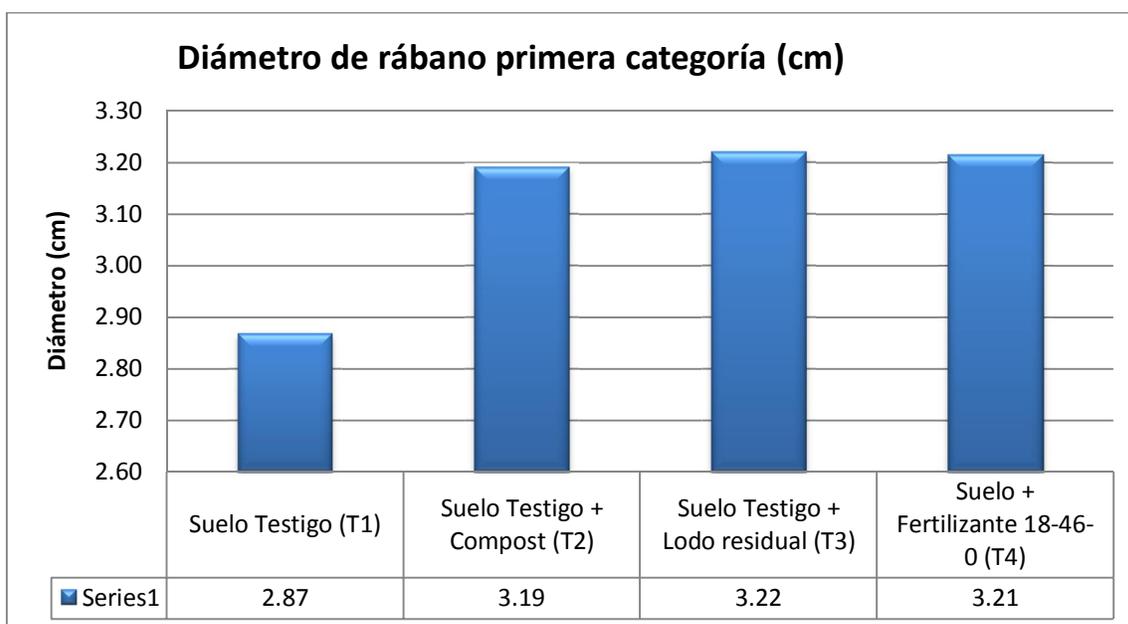
Variable dependiente: Diámetro Primera Categoría

	(I) Tratamientos o Sustratos	(J) Tratamientos o Sustratos	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD de Tukey	T1	T2	-.32260*	.09318	.015	-.5892	-.0560
		T3	-.35180*	.09318	.008	-.6184	-.0852
		T4	-.34686*	.09318	.009	-.6134	-.0803
	T2	T1	.32260*	.09318	.015	.0560	.5892
		T3	-.02920	.09318	.989	-.2958	.2374
		T4	-.02426	.09318	.994	-.2908	.2423
	T3	T1	.35180*	.09318	.008	.0852	.6184
		T2	.02920	.09318	.989	-.2374	.2958
		T4	.00494	.09318	1.000	-.2616	.2715
	T4	T1	.34686*	.09318	.009	.0803	.6134
		T2	.02426	.09318	.994	-.2423	.2908
		T3	-.00494	.09318	1.000	-.2715	.2616

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

En la Tabla No 12.1 se puede observar que la diferencia de medias entre los tratamientos es significativa, por lo que hay una diferencia estadística entre T1 y los tratamientos T2, T3, T4.

Estos resultados de demuestran haber similitud estadísticas entre las fuentes fertilizantes, se debió a que se cubrieron los requerimientos nutricionales exigidos por el cultivo de rábano, ya que según el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), 2011, estos son N: 80, P: 120, K: 80 Kilogramos por Hectárea (ha); por lo cual los tratamientos en los cuales se aplicó alguna fuentes de fertilización, se les apporto la misma cantidad nutricional requerida para germinación, desarrollo y producción del cultivo.



**Ilustración No 3.** Diametro de frutos en producción de biomasa (cm) del cultivo indicador rábano para las diferentes fuentes de fertilización.

Por otra parte, los datos obtenidos de parcelas testigo se debió a que el tipo de suelo en donde se cultivó contiene y apporto una mínima y significativa pero a la vez suficientes cantidad de elementos nutrientes al cultivo rábano para poder este desarrollarse en biomasa y producir pero en mucha menor cantidad, en comparación con los otros tratamientos.

### 3. Rendimiento del cultivo (u/m<sup>2</sup>)

El detalle de la información para la variable rendimiento del cultivo (unidad/m<sup>2</sup>) para cada tratamiento y bloque comprendió al periodo de estudio se presentan en el Anexo No 7. Tomando como base esta información se describe en el Tabla 13 los comportamientos por fuentes fertilizante promedios de dicha variable.

En la Tabla No 13 se representa las unidades de 1.0 x 1.0 m donde se cultivó el rábano, de donde se extrae que el rendimiento del suelo testigo en la primera unidad fue 61 rábanos.

**Tabla No 13.** Rendimiento (u/m<sup>2</sup>) del cultivo indicador %rábano+ para las diferentes fuentes fertilizantes.

TRATAMIENTOS		Rendimiento primera y segunda categoría							
		UI	UII	UIII	UIV	UV	<sup>3</sup> X	S	
Suelo Testigo	(T1)	61	79	85	73	85	<b>383.00</b>	76.6	10.04
Suelo T + Compost	(T2)	80	70	76	69	81	<b>376.00</b>	75.2	5.54
Suelo T + Lodo Residual	(T3)	68	74	84	80	76	<b>382.00</b>	76.4	6.07
Suelo T + Fertilizante 18-46-0	(T4)	74	71	74	71	85	<b>375.00</b>	75.0	5.78

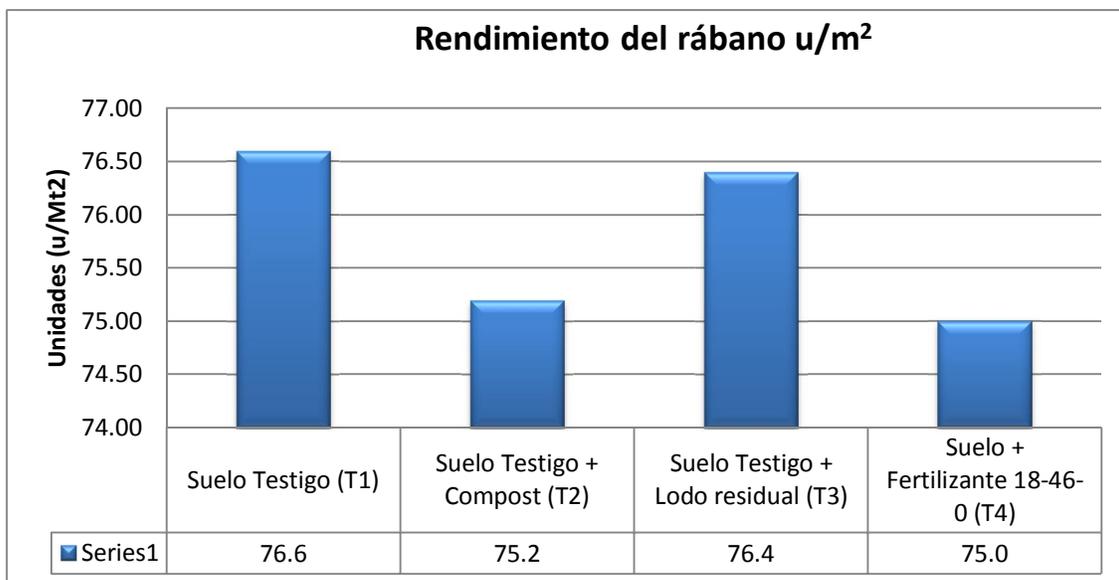
Con respecto al rendimiento del cultivo indicador, estos resultados demuestran que en los tratamientos no se registraron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ), pudiéndose apreciar que los promedios de los tratamientos oscilaron entre 75.0 - 76.6 (u/m<sup>2</sup>), registrándose entre las fuentes de acuerdo a la prueba estadística Duncan los promedio más altos de rendimiento suelo testigo más lodo residual (T3) y suelo testigo (T1) (76.40 y 76.6 u/m<sup>2</sup>; respectivamente), seguido de la fuente suelo testigo más compost con 75.20 u/m<sup>2</sup>; además se observó el promedio más bajo de rendimiento fue el suelo más fertilizante 18-46-0 (T4) con 75.0 u/m<sup>2</sup>. De lo anterior existe similitud entre todos los tratamientos T1, T2, T3, T4.

**Tabla No 13.1.** Comparaciones múltiples de medias de los diferentes tratamientos, mediante la prueba de Tukey para en análisis de rendimiento primera y segunda categoría.

Variable dependiente: Rendimiento Primera y Segunda Categoría

(I) Tratamientos o Sustratos	(J) Tratamientos o Sustratos	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
HSD de Tukey	T1	T2	1.40000	4.49222	.989	-11.4523	14.2523
		T3	.20000	4.49222	1.000	-12.6523	13.0523
		T4	1.60000	4.49222	.984	-11.2523	14.4523
	T2	T1	-1.40000	4.49222	.989	-14.2523	11.4523
		T3	-1.20000	4.49222	.993	-14.0523	11.6523
		T4	.20000	4.49222	1.000	-12.6523	13.0523
	T3	T1	-.20000	4.49222	1.000	-13.0523	12.6523
		T2	1.20000	4.49222	.993	-11.6523	14.0523
		T4	1.40000	4.49222	.989	-11.4523	14.2523
	T4	T1	-1.60000	4.49222	.984	-14.4523	11.2523
		T2	-.20000	4.49222	1.000	-13.0523	12.6523
		T3	-1.40000	4.49222	.989	-14.2523	11.4523

En la Tabla No 13.1 se puede observar que la diferencia de medias entre los tratamientos no es significativa, por lo que no hay una diferencia estadística ente los tratamientos T1, T2, T3, T4.



**Ilustración No 4.** Rendimiento (u/m<sup>2</sup>) del cultivo indicador **Rábano** para las diferentes fuentes de fertilización.

#### 4. Inocuidad de hortalizas.

El control de la seguridad alimentaria de frutas y hortalizas frescas es complejo. Como su denominación indica, se trata de productos que se consumen, en la mayoría de los casos, crudos. Por definición, son los que suponen un mayor riesgo para la salud de los consumidores, ya que los tratamientos de descontaminación, aunque sean efectivos, no garantizan la inocuidad al 100%.

En materia de inocuidad de los alimentos, los códigos de prácticas se basan en la aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas, Buenas Prácticas de Higiene y Buenas Prácticas de Manufactura o de Fabricación, como medidas para prevenir y controlar los peligros de contaminación en la producción primaria y durante el manejo poscosecha, aplicados bajo un enfoque de análisis de peligros.

El Reglamento Técnico RTCA 67.04.50:08 Centroamericano, Alimentos. Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de Alimentos, establece que las disposiciones del presente reglamento serán aplicables a todo alimento, para consumo final en los puntos de comercialización dentro del territorio de los países de la región centroamericana.

En la Tabla No 14 se detallan las principales causales de las tox infecciones alimentarias en el ser humano.

**Tabla No 14.** Fuentes de bacteria causantes de tox infecciones alimentarias, expresadas en el Reglamento Técnico Centroamericano para la inocuidad de alimentos, 2009.

Tipos de infecciones	Límite máximo permitido RTCA 67.04.50:08
<p><b>Salmonella spp</b> Explotaciones animales intensivas, granjas aviares y su entorno. Personas, especialmente portadores.</p>	Ausencia
<p><b>Escherichia coli</b> Tracto digestivo del hombre, de los animales de abasto y de compañía.</p>	10 <sup>2</sup> UFC /g
<p><b>Listeria monocytogenes</b> Es una bacteria que se desarrolla intracelularmente y es causante de la Listeriosis. Es uno de los patógenos causante de infecciones alimentarias más violentos, con una tasa de mortalidad entre un 20 a 30%, más alta que casi todas las restantes toxicoinfecciones alimentarias.</p>	Ausencia
<p><b>Staphylococcus Aureus</b> Personas, animales de granjas y de compañía.</p>	10 <sup>2</sup>

En el Anexo A 14 se detalla los resultados del análisis de alimentos efectuado a los rábanos cultivados y cosechados en el tratamiento 1 (suelo testigo).

En la Tabla No 15, se detallan los resultados obtenidos del análisis de las muestras de los rábanos cosechados en todos los tratamientos en análisis T1, T2, T3, T4, en los cuales se observa presencia de Coliformes Totales y Coliformes Fecales en todos los tratamientos.

**Tabla No 15.** Informe de resultados microbiológicos de alimentos de los cuatro tratamientos utilizados para la producción de rábano en el Cantón El Jute, San Miguel.

Parámetros	TRATAMIENTOS				Máximo permitido RTCA 67.04.50:08
	Resultados de Laboratorio de T1	Resultados de Laboratorio de T2	Resultados de Laboratorio de T3	Resultados de Laboratorio de T4	
Recuento de Coliformes Totales NMP/g	2,400,000	>11,000,000	240,000	1,100,000	--
Recuento de Coliformes Fecales NMP/g	460	43	93	9.2	93**
Recuento de Staphylococcus Aureus UFC/g	<10	<10	<10	<10	10 <sup>2</sup> ***
Detección de Salmonella spp	Ausencia/25g	Ausencia/25g	Ausencia/25g	Ausencia/25g	Ausencia*
Detección de Escherichia Coli NMP/g	150	9.2	3.6	3.6	10 <sup>2</sup> * <3**

Fuente: \* RTCA 67.04.50:08, Grupo de Alimento: Frutas y hortalizas. No procesadas.

\*\* RTCA 67.04.50:08, Grupo de Alimento: Frutas y hortalizas. Procesadas.

\*\*\* RTCA 67.04.50:08, Grupo de Alimento: Frutas y hortalizas. En carnes crudas.

## CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES

Finalizada la investigación y en base a los resultados obtenidos se presentan las conclusiones siguientes:

1. En relación a los resultados de laboratorio físico químicos y bacteriológicos, del lodo residual estabilizado mediante los tratamientos compost y confinamiento, estaban dentro de los límites máximos permitidos por las Normas Técnicas de referencia.
2. En relación a la producción de biomasa, se determinó que existe diferencia estadística significativa ( $p < 0.01$ ), por lo que los tratamiento Suelo testigo más compost (T2), Suelo testigo más lodo confinado (T3) y Suelo testigo más fertilizante 18-46-0 (T4) es diferente al T1; en lo referido a las producciones de biomasa no son estadísticamente similares, creándose dos bloques T1 y T2, T3, T4.
3. En relación al análisis de diámetros del cultivo indicador rábano de primera categoría, se determinó que existe diferencia estadística significativa ( $p < 0.04$ ), por lo que los tratamiento Suelo testigo más compost (T2), Suelo testigo más lodo confinado (T3) y Suelo testigo más fertilizante 18-46-0 (T4) es diferente al T1; los diámetros no son estadísticamente similares, creándose dos bloques T1 y T2, T3, T4.
4. En relación al rendimiento por unidad de área del cultivo indicador rábano, se determinó que no existe diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ), por lo que los tratamientos Suelo testigo (T1), Suelo testigo más compost (T2), Suelo testigo más lodo confinado (T3) y Suelo testigo más fertilizante 18-46-0 (T4); son estadísticamente similares en relación al rendimiento por unidad.
5. En relación a los resultados de inocuidad del cultivo indicador rábano cosechado, se determinó mediante análisis de laboratorio que existe ausencia de Salmonella spp: el parámetro Staphylococcus Aureus y Escherichia coli, se encuentran dentro de los parámetros requeridos por la Normativa de referencia.

## RECOMENDACIONES

Finalizada la investigación, y en base a los resultados obtenidos, se presentan las recomendaciones siguientes:

1. Utilizar el lodo residual estabilizado como fuente alterna y mejorador de suelos con fines agrícolas.
2. Utilizar el lodo residual estabilizado como mejorador de suelo en la producción de plantas en viveros forestales.
3. Si se desea utilizar el mejorador de suelo a base de lodo residual en otro tipo de cultivos, calcular la cantidad a utilizar de mejorador en función a los requerimientos nutricionales que se exijan.
4. Utilizar el compost con lodo residual estabilizado para fertilizar exclusivamente pequeñas áreas de extensión, huertos caseros y/o familiares.
5. Fertilizar con lodo residual estabilizado durante varios ciclos productivos de manera continua, para poder observar mejores rendimientos en producciones futuras.
6. Realizar investigaciones utilizando lodo residual estabilizado de los diferentes tratamientos evaluados, en otros tipos de cultivos hortícolas y/o frutales en diferentes dosis y comparándolo a la vez con fertilización química.
7. Realizar investigaciones mezclando diferentes sustratos para la elaboración de compost con lodo residual estabilizado.
8. Realizar pruebas de compostaje y estabilización con otros tipos de lodos residuales.
9. Elaborar un Plan de Manejo Ambiental que contemple la reutilización del Lodo Residual proveniente de la Planta de Tratamiento.

## FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

1. Agencia para el Desarrollo de Austria/IICA. 2009. Diagnóstico y propuesta para el fomento de la producción orgánica en El Salvador, El Salvador. 47pp.
2. Ángel, T. 2008, La Producción Orgánica en El Salvador. Marco Regulatorio, Apoyo Institucional y acceso a mercados. El Salvador. 18pp.
3. Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, A. C. (ANFACAL), México.
4. Banco Central de Reserva (BCR). 2010. Súper intendencia de competencia. El Salvador.
5. Bukele R, Lozano F, Molina C, 2012, Análisis Del Deterioro De La Agricultura En El Salvador A Partir Del Proceso De Liberalización Económica De Los 90, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador. 3pp
6. Compost, Clasificación y Requisitos, *NCh2880.c2003*. 2003-2005. El Instituto Nacional de Normalización, INN. Chile
7. Diagnóstico y propuesta para el fomento de la producción orgánica en El Salvador, El Salvador. 2009, Agencia para el Desarrollo de Austria/IICA. 47pp.
8. Dickerson George W. 2000. A sustainable approach to recycling urban and agricultural organic wastes. College of agriculture and home economics. New México. EE.UU.
9. <http://www.infoagro.com/hortalizas/rabano.htm>
10. Limón Macías, Juan Gualberto, 2013. Los Lodos De Las Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales, ¿Problema O Recurso?, Guadalajara, Jalisco, México.

11. García, Norma. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo, Quintana Roo, México, 61pp.
12. Gonzales, M; Martínez, W; Moreira, R . 2007. Evaluación cuantitativa y cualitativa de abono orgánico producido a través de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) utilizando cuatro diferentes sustratos.
13. Orantes Marinero, E. A. 1998. Evaluación de tres sustratos en la reproducción de la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) y la producción de vermiabono. Tesis ing. Agr. San Vicente. Universidad de El Salvador. 5pp
14. M.C. Ben-Hur Chuc Armendariz. 2007. Descripción botánica, requerimientos climáticos y edáficos. Rabano, Instituto Tecnológico Superior de Calkini (ITESCAM), Campeche, México.
15. Morales Israel, Escalante Wilfredo, Galdámez Isidro, Manejo agronómico del cultivo de Rábano, Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental, FUNDESYRAM.
16. Nasevilla Johanna, 2010. Estudio de las características fisicoquímicas y nutricionales de dos Ecotipos de rábano (*raphanus sativus l*). Ingeniería en Industrialización de Alimentos, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. 18pp.
17. Norma Oficial Mexicana 2002. NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSÓLIDOS.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
18. Ortiz Hernández M.L. 1994. Caracterización y propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de CIVAC, Estado de Morelos.

Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM, Ciudad de México, México.  
146pp.

19. Torres Eduardo, 2002. Reutilización de aguas y lodos residuales. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. 7pp.

20. VERA-REZA, Ana Margarita, SÁNCHEZ-SALINAS Enrique, ORTIZ-HERNÁNDEZ Laura, PEÑA-CAMACHO Justina Leticia, ORTEGA-SILVA Magdalena, 2015. ESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOSTAJE, Cuernavaca, México. 1pp

21. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). 2011. Requerimientos nutricionales del cultivo de Rábano.

# ANEXOS

**A-1 Temperatura durante proceso de compostaje con lodo residual.**

No	Fecha	Temperatura °C	No	Fecha	Temperatura °C
1	2/1/2015	38	29	3/1/2015	39
2	2/2/2015	47	30	3/2/2015	38
3	2/3/2015	47	31	3/3/2015	37
4	2/4/2015	47	32	3/4/2015	38
5	2/5/2015	45	33	3/5/2015	34
6	2/6/2015	46	34	3/6/2015	36
7	2/7/2015	45	35	3/7/2015	34
8	2/8/2015	43	36	3/8/2015	34
9	2/9/2015	44	37	3/9/2015	34
10	2/10/2015	44	38	3/10/2015	35
11	2/11/2015	45	39	3/11/2015	36
12	2/12/2015	44	40	3/12/2015	34
13	2/13/2015	44	41	3/13/2015	34
14	2/14/2015	46	42	3/14/2015	33
15	2/15/2015	43	43	3/15/2015	33
16	2/16/2015	45	44	3/16/2015	33
17	2/17/2015	40	45	3/17/2015	32
18	2/18/2015	43	46	3/18/2015	33
19	2/19/2015	44	47	3/19/2015	34
20	2/20/2015	45	48	3/20/2015	32
21	2/21/2015	44	49	3/21/2015	32
22	2/22/2015	44	50	3/22/2015	33
23	2/23/2015	47	51	3/23/2015	36

24	2/24/2015	42	52	3/24/2015	35
25	2/25/2015	40	53	3/25/2015	35
26	2/26/2015	39	54	3/26/2015	34
27	2/27/2015	39	55	3/27/2015	34
28	2/28/2015	38	56	3/28/2015	34
No	Fecha	Temperatura °C	No	Fecha	Temperatura °C
57	3/29/2015	34	81	4/22/2015	31
58	3/30/2015	33	82	4/23/2015	32
59	3/31/2015	34	83	4/24/2015	32
60	4/1/2015	34	84	4/25/2015	31
61	4/2/2015	33	85	4/26/2015	31
62	4/3/2015	33	86	4/27/2015	32
63	4/4/2015	33	87	4/28/2015	32
64	4/5/2015	34	88	4/29/2015	31
65	4/6/2015	34	89	4/30/2015	31
66	4/7/2015	34	90	5/1/2015	31
67	4/8/2015	33			
68	4/9/2015	33			
69	4/10/2015	33			
70	4/11/2015	32			
71	4/12/2015	34			
72	4/13/2015	32			
73	4/14/2015	32			
74	4/15/2015	32			

75	4/16/2015	32			
76	4/17/2015	33			
77	4/18/2015	32			
78	4/19/2015	32			
79	4/20/2015	32			
80	4/21/2015	32			

<b>Promedio</b>	<b>36.53 °C</b>
<b>Desviación</b>	<b>5.15 °C</b>

**A-2. Producción de Biomasa (gr) del cultivo indicador Í Rábanoî .**

<b>Producción de Biomasa en Gramos (Cultivo Rábano)</b>														
<b>TRATAMIENTOS</b>		<b>Biomasa Generada Rábano (gr)</b>					<b>Biomasa Generada Tallo (gr)</b>					<b><sup>3</sup> X</b>	<b>%</b>	<b>S</b>
		<b>UI</b>	<b>UII</b>	<b>UIII</b>	<b>UIV</b>	<b>UV</b>	<b>UI</b>	<b>UII</b>	<b>UIII</b>	<b>UIV</b>	<b>UV</b>			
<b>Suelo Testigo</b>	<b>(T1)</b>	199.2	328.8	279	348.6	183	2907.1	3966	3771	3770	4116	<b>19,868.70</b>	20.45%	497.02
<b>Suelo T + Compost</b>	<b>(T2)</b>	<b>801.7</b>	568	736.2	404.8	409.2	4882.1	4530	4861	4367	4384	<b>25,944.00</b>	26.70%	433.14
<b>Suelo T + Lodo Residual</b>	<b>(T3)</b>	618.6	<b>701.8</b>	738.8	424	629.2	4034	4715	5174	4910	4743	<b>26,688.40</b>	27.47%	449.32
<b>Suelo T + Fertilizante 18-46-0</b>	<b>(T4)</b>	643.6	498.2	445.8	402	313.2	4285.3	4692	4300	5020	4065	<b>24,665.10</b>	25.38%	402.53
											<b>97,166.20</b>	<b>100.00%</b>		

**A-3. Análisis de varianza del indicador peso de raíces y hojas (gr) de rábano en producción de biomasa.**

ANOVA					
Biomasa Total generada	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	5635324.530	3	1878441.510	9.409	.001
Intra-grupos	3194273.608	16	199642.100		
Total	8829598.138	19			

**A-4. Prueba Duncan del indicador peso de raíces y hojas de rábanos en Producción de biomasa (gr) para las diferentes fuentes fertilizantes.**

Biomasa Total generada			
Duncan <sup>a</sup>	Tratamientos o Sustratos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
			1      2
	T1	5	3973.7400
	T4	5	4933.0200
	T2	5	5188.8000
	T3	5	5337.6800
	Sig.		1.000      .193

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

**A-5. Análisis de varianza del indicador diámetro de raíces de rábano en Producción de biomasa (cm).**

ANOVA					
Diámetro Primera Categoría					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.437	3	.146	6.711	.004
Intra-grupos	.347	16	.022		
Total	.784	19			

**A- 6 Prueba Duncan del indicador diámetro de raíces de rábano en Producción de biomasa (cm).**

Diámetro Primera Categoría					
	Tratamientos o Sustratos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	
Tukey B <sup>a</sup>	T1	5	2.8680		
	T2	5		3.1906	
	T4	5		3.2149	
	T3	5		3.2198	
Dunca n <sup>a</sup>	T1	5	2.8680		
	T2	5		3.1906	
	T4	5		3.2149	
	T3	5		3.2198	
	Sig.		1.000	.771	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

**A-7. Análisis de varianza de Rendimiento (número de rábanos por 1.0 m<sup>2</sup>).**

<b>ANOVA</b>					
<b>Rendimiento Primera Categoría</b>					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	10.000	3	3.333	.066	.977
Intra-grupos	807.200	16	50.450		
Total	817.200	19			

<b>Rendimiento Primera Categoría</b>			
	Tratamientos o Sustratos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
			1
Tukey B <sup>a</sup>	T4	5	75.0000
	T2	5	75.2000
	T3	5	76.4000
	T1	5	76.6000
Duncan <sup>a</sup>	T4	5	75.0000
	T2	5	75.2000
	T3	5	76.4000
	T1	5	76.6000
	Sig.		.748

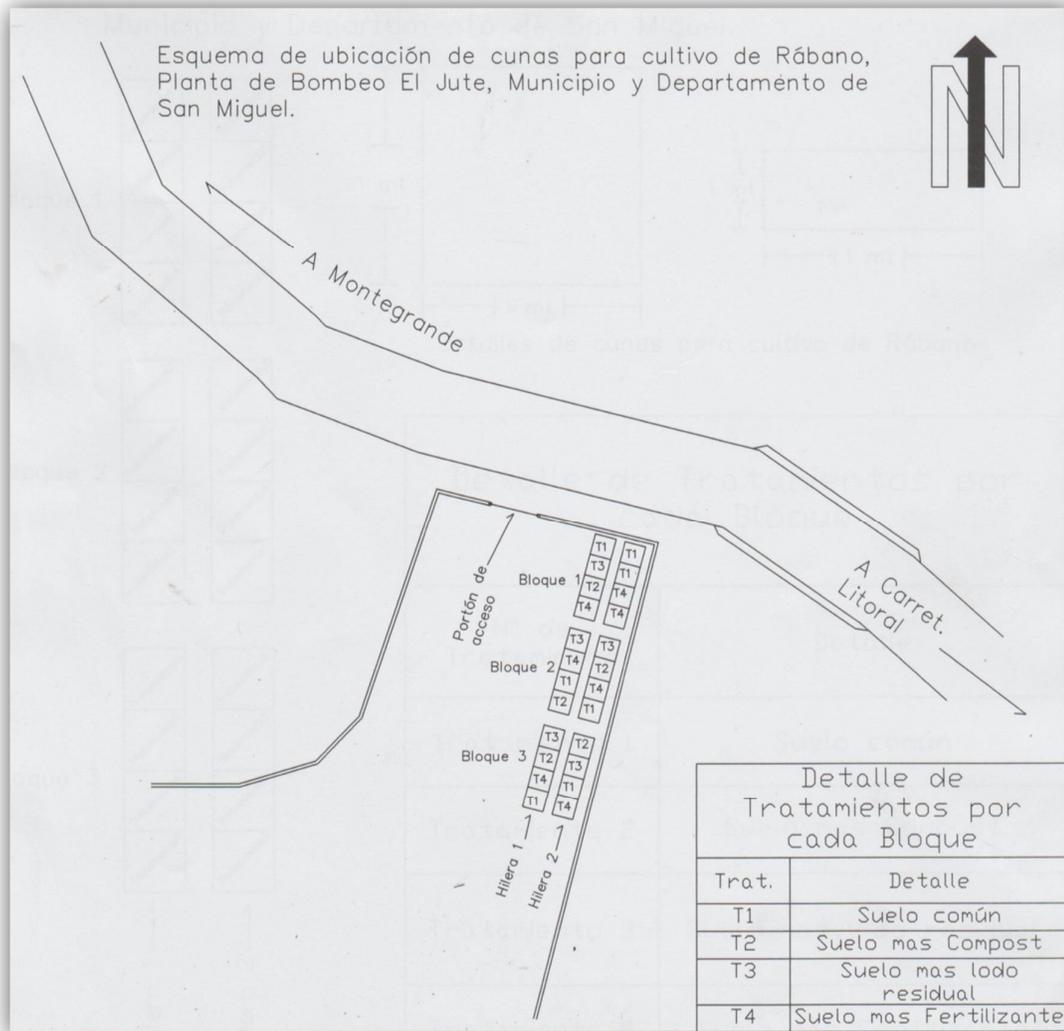
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5.000.

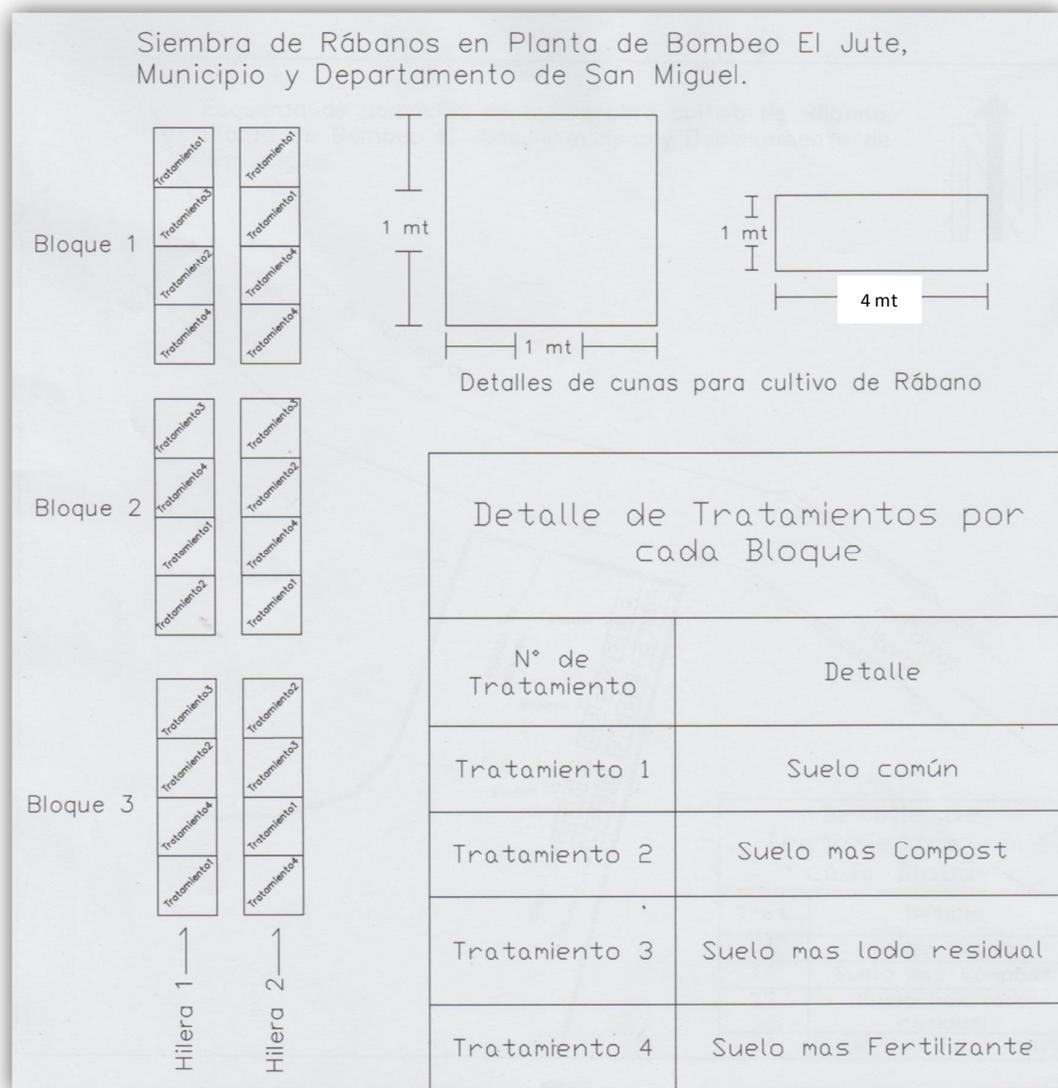
**A8. Instrumento de recolección de información (II fase de Investigación).**

Codigo (B/T)	Production de Biomasa			Long. Tallo
	Peso rábano (gr)	Peso total (gr)	Diámetro (mm)	
B1-T1				
B1-T2				
B1-T3				
B1-T0				
B2-T1				
B2-T2				
B2-T3				
B2-T0				
B3-T1				
B3-T2				
B3-T3				
B3-T0				
B4-T1				
B4-T2				
B4-T3				
B4-T0				
B5-T1				
B5-T2				
B5-T3				
B5-T0				

### A-9. Croquis de distribución de cunas para Cultivo indicador Í Rábanoí



## A-10. Croquis de distribución de parcelas de Cultivo indicador Í Rábanoî



## A-11. Análisis de lodo residual no estabilizado (deshidratado).

Resultados página No 1

REPORTE DE ANALISIS			
DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS****	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS*****
<b>Caracterización microbiológica</b>			
Coliformes Fecales NMP/g	39,000,000	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9221B- Técnica de fermentación en tubos múltiples	Menor a 1,000 Numero Más Probable (NMP) por gramo de sólidos totales en base de materia seca
Salmonella sp NPM/4g	<3	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9260B- Método de estrías	Menor a 3 NMP en 4 gramos de sólidos totales, en base de materia seca.
Helmintos (Huevos)	20,000	Observación Directa al Microscopio	Menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales en base de materia seca.
Vermiformes	<1		
Virus enterico UFC/4 g	<1	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9510 D. Concentración de Virus por Adsorción -Precipitación de Hidróxido de aluminio	Menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales en base de materia seca.
<b>Caracterización fisicoquímica</b>			
DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS	TABLA 2. ANALISIS OBLIGATORIOS Y RANGO ESTABLECIDOS Rango ( Mínimos y Máximos)*****
Humedad %*	21.6	Gravimétrico, AOAC, 2003 9030.15	10 a 20
Densidad Kg/m <sup>3</sup>	0.8251	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 2710.F Gravedad Especifica	A reportar
Potencial Calórico *** Kcal/kg	99.50	Bomba calorimétrica	Identificación de Lodos con potencial energético (para recuperación de energía)
pH	6.96	Standard Methods, APHA AWWA WEF 21 Ed 2005. 4500 H. B Valor de pH Método Electrométrico	6-9
Compuestos Fenolicos mg/Kg	<0.025	Standard Methods, APHA AWWA WEF 21 Ed 2005. 5530.D. Método fotométrico	0.5
Sodio mg/Kg	12	Metodo fotometrico (tiocianato de mercurio)	No especifica
Arsénico mg/Kg	<0.001	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-AS.B Metodo Dietil carbamato de Plata	15 - 75
Aluminio mg/Kg	<0.020	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500Al.-B Método Encromo -Cianina - Espectrofotométrico	A Reportar en porcentaje de la composición total del lodo



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

**CSA** ENSAIOS LEA-15:07  
Pruebas Acreditadas Bajo Norma ISO 17025:2005 en el Ambiente del Alcance

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-0888, (503) 2284-0223, Telefax: (503) 2284-5933  
E-mail: [ccci@navegante.com.sv](mailto:ccci@navegante.com.sv), [laboratorio@ccci.com.sv](mailto:laboratorio@ccci.com.sv)  
Pagina Web: [ccci.com.sv](http://ccci.com.sv)

Página 1 de 3

## A-11. Análisis de lodo residual no estabilizado (deshidratado).

Resultados página No 2

Cadmio mg/Kg	<0.0006	Standard Methods, APHA AWWA WEF 17Ed 1989, 3500-Ba, Metodo titrimetrico	1300
Cadmio mg/Kg	<0.0020	Metodo espectrofotométrico test de cadmio 1.01745.0001. Merck	0.7 – 85
Cobre mg/Kg	0.303	Metodo espectrofotometrico de la cuprizona	600 – 4300
Cromo Total mg/Kg	<0.010	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-Cr. B Metodo Colorimetrico	70 – 3000
Mercurio mg/Kg	<0.001	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 17 . 1989. 3500-Hg. B Metodo espectrofotometrico de la Ditizona	1 -57
Molibdeno mg/Kg	2.6	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-Mo Método-fotométrico	20 -75
Níquel mg/Kg	0.21	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 17 . 1989. 3500-Ni. E Método espectrofotometrico de la Dimetilgloxina	25 – 420
Plomo mg/Kg	<0.010	Metodo espectrofotométrico test de plomo 1.09717.0001. Merck	140 – 1600
Selenio mg/Kg	<0.001	Standard Methods, APHA AWWA WEF, Ed. 17Ed 2005 3500 -Se, Metodo colorimetrico	36-100
Zinc mg/Kg	0.17	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed.17 1989, 3500-Zn. D Método de la Ditizona	2000 -7500
Nitrogeno Total mg/Kg	6.4	Metodo espectrofotométrico test en cubeta de nitrógeno 1.14537.0001 Merck	No especifica
Fosforo Total mg/Kg	70	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 4500-P. E Método espectrofotométrico del Acido Ascórbico	No especifica
Hierro mg/Kg	0.214	Metodo espectrofotométrico test de hierro 1.14761.0001,1.14761.0002 Merck	No especifica
Manganeso mg/Kg	0.208	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 20053500-Mn, 2005, metodo persulfato	No especifica
Carbono Total	112	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 5310 c Metodo de Persulfato - UV	No especifica
<b>CARACTERIZACIÓN DE SU PELIGROSIDAD</b>			
Toxicidad en concentraciones de 1/100,1/1000	Presento una toxicidad de 30% en la dilución 1/100 y una toxicidad de 0% en la dilución 1/1000	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 200. 8711. Prueba con Daphnia	No especifica
Toxicidad ambiental 1/100 ,Después de 48 horas	30%	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 200. 8711.. Prueba con Daphnia	No especifica



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

**CCCI** Pruebas Acreditadas Bajo Norma ISO 17025:2005 en el Ambiente del Agua

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-0888, (503) 2284-0223, Telefax:(503) 2284-5933  
E-mail: ccci@navegante.com.sv, laboratorio@ccci.com.sv  
Página Web: ccci.com.sv

Página 2 de 3

## A-11. Análisis de lodo residual no estabilizado (deshidratado).

Resultados página No 3

Oxidante (mg/g)/h	34	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 2710 Pruebas en Lodos. B.- Tasa de consumo de Oxígeno	No especifica
Ecotoxicico a concentraciones bajas 25/100	30%	Prueba de Toxicidad en Daphnia	No especifica
Biológico infeccioso	Ausencia	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21. 2005 9711B. Protozoos Patógenos.	No especifica
Bioacumulación(Cadmio, Cromo, Cobre, Níquel, Plomo, Zinc.)	No hay bioacumulacion en 7 días de exposición	Método de Bioacumulacion en Eichhornia crassipes ( lirio de agua )	No especifica
Toxicidad Aguda , exposición por 24 horas	No hay toxicidad aguda	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 200. 8711. Prueba con Daphnia	No especifica
Toxicidad Crónica Después de 7 días de exposición a una concentración de 1/100	30%	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 200. 8711. Prueba con Daphnia	No especifica

\* El rango de humedad sugerido aplica a lodos que serán depositados en rellenos sanitarios como material de cobertura. No aplica para el confinamiento de lodos en celdas especiales, ya que los niveles de exigencia son mayores, según el tipo y características químicas de los materiales.

\*\* Dato a requerirse para cálculo de masa y volumen generado

\*\*\* Lodos que por su composición y/o característica presenten potencial energético o puedan ser coprocesado o usados para recuperación de energía.

\*\*\*\* Análisis a realizar para evaluación de recuperación del metal

\*\*\*\*\*Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 21 Th. Edition

\*\*\*\*\*PROPUESTA: "REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS.

Menor a limite mínimo = Excelente

Entre Mínimo a Máximo= Bueno

Mayor al limite = Deficiente

mg /L: miligramo por litro mL/L: mililitro por Litro UFC: Unidades formadoras de colonia

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo de color gris, con abundantes particulas como cascara, vegetal se color no perceptible.

**OBSERVACION:** El permite el desarrollo de organismos como los coliformes fecales, por lo que las Daphnias pudieron sobrevivir en concentración diluidas de lodo.

**Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.**

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. C.CCI**

Licda. Lidisze Alejandra Navarrete Gonzalez  
**QUIMICA FARMACEUTICA**  
 Insc. JVPQF No. 3298

Dra. Sulma Yanira Reyes de Serpas  
 Directora Ejecutiva

República de El Salvador  
**S.A DE C.V. C.CCI**  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS  
 AGUAS Y AGUAS RESIDUALES  
 N° LEA-15:07  
 Prop. SOCIEDAD CENTRO DE CONTROL  
 DE CALIDAD INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.  
 San Salvador, 7025-2005

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NSR ISO 9001:2005 con el fin de garantizar la garantía de calidad de nuestros análisis.



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL  
 DE CALIDAD INDUSTRIAL**

**CSA**  
 EN SAYTOS  
 LEA-15:07

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
 San Salvador, El Salvador, C.A.  
 Telefonos: (503) 2284-0888, (503) 2284-0223, Telefax: (503) 2284-5933  
 E-mail: ccci@navegante.com.sv, laboratorio@ccci.com.sv  
 Pagina Web: ccci.com.sv

Página 3 de 3

## A-11. Análisis de lodo residual no estabilizado (deshidratado).

Resultados página No 4

REPORTE DE ANALISIS		
DETERMINACION FISICOQUIMICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS
Potasio mg/Kg	40	Método del tetrafenilborato sodico - fotométrico

mg: miligramo Kg: Kilogramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo de color gris con abundantes partículas como cascaras vegetales olor no perceptible.

**OBSERVACION:** No se cuenta con una norma de referencia.

**Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.**

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**  
QUIMICA FARMACEUTICA  
Insc. JVPQF No. 3298

por *Dr. Sulma Yanira Reyes de Serpas*  
Directora Ejecutiva

República de El Salvador  
C. C. C. I.  
LABORATORIO DE ANALISIS DE ALIMENTOS  
AGUAS Y AGUAS RESIDUALES  
Nº LEA-15:07  
Prep. SOCIEDAD CENTRO DE CONTROL  
DE CALIDAD INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.  
San Salvador, Dpto. San Salvador

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**  
**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**  
Pruebas Acreditadas Bajo Norma ISO 17025:2005 en el Ambito del Alcanza

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-0888; (503) 2284-0223, Telefax: (503) 2284-5933  
E-mail: cci@navegante.com.sv, laboratorio@ccci.com.sv  
Página Web: ccci.com.sv



Página 1 de 1

## A-12. Análisis de lodo residual estabilizado mediante la técnica del compost.

Resultados página No 1

REPORTE DE ANALISIS			
DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS*****	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS*****
<b>Caracterización microbiológica</b>			
Coliformes Fecales NMP/g	<1.8	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9221B-Técnica de fermentación en tubos múltiples	Menor a 1,000 Numero Mas Probable (NMP) por gramo de sólidos totales en base de materia seca
Samonella sp NPM/4g	<3	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9260B- Método de estrias	Menor a 3 NMP en 4 gramos de sólidos totales, en base de materia seca.
Helmintos y Vermiformes	Ausencia	Observación Directa al Microscopio	Menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales en base de materia seca.
Virus enterico UFC/4 g	<1	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9510 D.Concentracion de Virus por Adsorción -Precipitación de Hidróxido de aluminio	Menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales en base de materia seca.
<b>Caracterización fisicoquímica</b>			
DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS	TABLA 2. ANÁLISIS OBLIGATORIOS Y RANGO ESTABLECIDOS Rango ( Mínimos y Máximos)*****
Humedad %*	23	Gravimétrico, AOAC, 2003 9030.15	10 a 20
Densidad Kg/m <sup>3</sup>	0.001	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 2710.F Gravedad Especifica	A reportar
Potencial Calórico *** Kcal/kg	1,721	Bomba calorimetrica	Identificación de Lodos con potencial energético (para recuperación de energía)
pH	7.7	Standard Methods, APHA AWWA WEF 21Ed 2005. 4500 H. B Valor de pH Método Electrométrico	6-9
Compuestos Fenolicos mg/Kg	<0.002	Standard Methods, APHA AWWA WEF 21Ed 2005. 5530.D. Método fotométrico	0.5
Sodio mg/Kg	<10	Metodo fotometrico (tiocianato de mercurio)	No especifica
Arsénico mg/Kg	0.001	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-AS.B Metodo Dietil carbamato de Plata	15 – 75
Aluminio mg/Kg	0.6	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500Al.-B Método Ericromo -Cianina - Espectrofotométrico	A Reportar en porcentaje de la composición total del lodo



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

**CSA** ENSAYOS LEA-1607  
\*Pruebas Acreditadas Bajo Norma ISO 17025:2005 en el Ambiente del Alcanza

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35, San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-0888, (503) 2284-0223, Telefax:(503) 2284-5933  
E-mail: ccci@navegante.com.sv, laboratorio@ccci.com.sv  
Página Web: ccci.com.sv

Página 1 de 3

## A-12. Análisis de lodo residual estabilizado mediante la técnica del compost.

Resultados página No 2

Bario mg/Kg	<0.001	Standard Methods, APHA AWWA WEF17Ed 1989, 3500-Ba, Metodo titrimetrico	1300
Cadmio mg/Kg	0.52	Metodo espectrofotométrico test de cadmio 1.01745.0001. Merck	0.7 – 85
Cobre mg/Kg	4.8	Metodo espectrofotometrico de la cuprizona	600 – 4300
Cromo Total mg/Kg	<0.03	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-Cr.-B Metodo Colorimetrico	70 – 3000
Mercurio mg/Kg	<0.001	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 17 . 1989. 3500-Hg.-B Metodo espectrofotometrico de la Ditiizona	1 -57
Molibdeno mg/Kg	128	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-Mo Método-fotométrico	20 -75
Níquel mg/Kg	5.2	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 17 . 1989. 3500-Ni.-E Método espectrofotométrico de la Dimetilgioxina	25 – 420
Plomo mg/Kg	8.6	Metodo espectrofotométrico test de plomo 1.09717.0001. Merck	140 – 1600
Selenio mg/Kg	0.01	Standard Methods, APHA AWWA WEF, Ed. 17Ed 2005 3500 –Se, Metodo colorimetrico	36-100
Zinc mg/Kg	1.5	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed.17 1989, 3500-Zn,- D Método de la Ditiizona	2000 -7500
Nitrogeno Total mg/Kg	3,000	Metodo espectrofotométrico test en cubeta de nitrógeno 1.14537.0001 Merck	No especifica
Fosforo Total mg/Kg	38.0	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 4500-P.-E Método espectrofotométrico del Acido Ascórbico	No especifica
Hierro mg/Kg	1.1	Metodo espectrofotométrico test de hierro 1.14761.0001,1.14761.0002 Merck	No especifica
Manganeso mg/Kg	5.0	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 20053500-Mn, 2005, metodo persulfato	No especifica
Potasio mg/Kg	344	Método del tetrafenilborato sodico - fotométrico	No especifica
Carbono Total mg/Kg	2,720	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 5310 c Metodo de Persulfato - UV	No especifica

\* El rango de humedad sugerido aplica a lodos que serán depositados en rellenos sanitarios como material de cobertura. No aplica para el confinamiento de lodos en celdas especiales, ya que los niveles de exigencia son mayores, según el tipo y características químicas de los materiales.

\*\* Dato a requerirse para cálculo de masa y volumen generado

\*\*\* Lodos que por su composición y/o característica presenten potencial energético o puedan ser coprocesado o usados para recuperación de energía.

\*\*\*\* Análisis a realizar para evaluación de recuperación del metal

\*\*\*\*\*Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 21 Th. Edition

\*\*\*\*\*PROPUESTA: "REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS.

Menor a limite mínimo = Excelente

Entre Mínimo a Máximo= Bueno

Mayor al limite = Deficiente

mg /L: miligramo por litro    mL/L: mililitro por Litro    UFC: Unidades formadoras de colonia



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

CCCI  
ENSAYOS  
ISA-15007

\*Pruebas Acreditadas Bajo Norma ISO 17025:2005 en el Ambiente del Azacero

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-0888, (503) 2284-0223, Telefax:(503) 2284-5933  
E-mail: ccci@novegante.com.sv, laboratorio@ccci.com.sv  
Pagina Web: ccci.com.sv

Página 2 de 3



## A-13. Análisis de lodo residual estabilizado mediante la técnica de fosa.

Resultados página No 1

REPORTE DE ANALISIS			
DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS*****	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS*****
<b>Caracterización microbiológica</b>			
Coliformes Fecales NMP/g	<1.8	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9221B-Tecnica de fermentación en tubos múltiples	Menor a 1,000-Numero Mas Probable (NMP) por gramo de sólidos totales en base de materia seca
Samonella sp NPM/4g	<3	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9260B- Método de estrías	Menor a 3 NMP en 4 gramos de sólidos totales, en base de materia seca.
Helminfos y Vermiformes	Ausencia	Observación Directa al Microscopio	Menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales en base de materia seca.
Virus enterico UFC/4 g	<1	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9510 D.Concentracion de Virus por Adsorción -Precipitación de Hidróxido de aluminio	Menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales en base de materia seca.
<b>Caracterización fisicoquímica</b>			
DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS	TABLA 2. ANÁLISIS OBLIGATORIOS Y RANGO ESTABLECIDOS Rango ( Mínimos y Máximos)*****
Humedad %*	23	Gravimétrico, AOAC, 2003 9030.15	10 a 20
Densidad Kg/m <sup>3</sup>	0.0011	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 2710.F Gravedad Especifica	A reportar
Potencial Calórico *** Kcal/kg	2,226	Bomba calorimetrica	Identificación de Lodos con potencial energético (para recuperación de energia)
pH	7.5	Standard Methods,APHA AWWA WEF 21Ed 2005. 4500 H. B Valor de pH Método Electrométrico	6-9
Compuestos Fenolicos mg/Kg	<0.002	Standard Methods,APHA AWWA WEF 21Ed 2005, 5530.D, Método fotométrico	0.5
Sodio mg/Kg	<10	Metodo fotometrico (tiocianato de mercurio)	No especifica
Arsénico mg/Kg	0.006	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-AS.B Metodo Dietil carbamato de Plata	15 – 75
Aluminio mg/Kg	<0.05	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500Al.-B Método Ericromo -Cianina - Espectrofotométrico	A Reportar en porcentaje de la composición total del lodo



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**



\*Pruebas Acreditadas Bajo Norma ISO 17025:2005 en el Ambito del Alcance

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-0888, (503) 2284-0223, Telefax:(503) 2284-5933  
E-mail: ccci@navegante.com.sv, laboratorio@ccci.com.sv  
Pagina Web: ccci.com.sv

Página 1 de 3

### A-13. Análisis de lodo residual estabilizado mediante la técnica de fosa.

Resultados página No 2

Bario mg/Kg	<0.00068	Standard Methods, APHA AWWA WEF 17Ed 1989 ,3500-Ba, Metodo titrimetrico	1300
Cadmio mg/Kg	0.29	Metodo espectrofotométrico test de cadmio 1.01745.0001. Merck	0.7 – 85
Cobre mg/Kg	4.1	Metodo espectrofotométrico de la cuprizona	600 – 4300
Cromo Total mg/Kg	<0.05	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-Cr.- B Metodo Colorimetrico	70 – 3000
Mercurio mg/Kg	<0.001	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 17 . 1989. 3500-Hg.- B Metodo espectrofotométrico de la Ditizona	1 -57
Molibdeno mg/Kg	109	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 3500-Mo Método-fotométrico	20 -75
Niquel mg/Kg	6.8	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 17 . 1989. 3500-Ni.- E Método espectrofotométrico de la Dimetilgioxina	25 – 420
Plomo mg/Kg	7.5	Metodo espectrofotométrico test de plomo 1.09717.0001. Merck	140 – 1600
Selenio mg/Kg	0.01	Standard Methods, APHA AWWA WEF, Ed. 17Ed 2005 3500 –Se, Metodo colorimetrico	36-100
Zinc mg/Kg	0.70	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed.17 1989, 3500-Zn,- D Método de la Ditizona	2000 -7500
Nitrogeno Total mg/Kg	2,540	Metodo espectrofotométrico test en cubeta de nitrógeno 1.14537.0001 Merck	No especifica
Fosforo Total mg/Kg	30.6	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 4500-P.-E Método espectrofotométrico del Acido Ascórbico	No especifica
Hierro mg/Kg	0.9	Metodo espectrofotométrico test de hierro 1.14761.0001,1.14761.0002 Merck	No especifica
Manganeso mg/Kg	3.2	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 20053500-Mn, 2005, metodo persulfato	No especifica
Potasio mg/Kg	47	Método del tetrafenilborato sodico - fotométrico	No especifica
Carbono Total mg/Kg	3,870	Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 5310 c Metodo de Persulfato - UV	No especifica

\* El rango de humedad sugerido aplica a lodos que serán depositados en rellenos sanitarios como material de cobertura. No aplica para el confinamiento de lodos en celdas especiales, ya que los niveles de exigencia son mayores, según el tipo y características químicas de los materiales.

\*\* Dato a requerirse para cálculo de masa y volumen generado

\*\*\* Lodos que por su composición y/o característica presenten potencial energético o puedan ser coprocesado o usados para recuperación de energía.

\*\*\*\* Análisis a realizar para evaluación de recuperación del metal

\*\*\*\*\*Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 21 Th. Edition

\*\*\*\*\*PROPUESTA: \*REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS.

Menor a limite mínimo = Excelente

Entre Mínimo a Máximo= Bueno

Mayor al limite = Deficiente

mg /L: miligramo por litro mL/L: mililitro por Litro UFC: Unidades formadoras de colonia



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

ENSAYOS LEA-1697

Calle San Antonio Abad, Urbanización Lisboa #35,  
San Salvador, El Salvador, C.A.  
Teléfonos: (503) 2284-0888, (503) 2284-0223, Telefax:(503) 2284-5933  
E-mail: ccci@navegante.com.sv, laboratorio@ccci.com.sv  
Pagina Web: ccci.com.sv

Página 2 de 3



# A-14. Análisis de alimentos. Cultivo indicador Í Rábanoî

## Resultados de Tratamiento No 1

EL SALVADOR  
UNAMOS PARA CRECER

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
RED DE LABORATORIOS VETERINARIOS  
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS  
INFORME DE RESULTADOS  
ALIMENTOS

30/10/2015, R3 V2

Nº certificado 31609.017

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

Propietario: Ing. Jorge Alberto Ortez Reyes  
 Empresa: Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente, S.A DE C.V Teléfono: \_\_\_\_\_  
 Dirección: Calle Umbriel y Av. Sagitario Block 3 Col. Las Palmeras III, # 16  
 Departamento: San Miguel Municipio: San Miguel  
 Enviada por: Ing. Jorge Alberto Ortez Reyes

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

Muestra: El Jute San Miguel T1 Nº muestras: 1 Fecha de recepción: 01/09/2016  
 Código de muestra: CD 16090106 Fecha de análisis: 02-06/sept/16 Fecha de reporte: 06/09/2016

Parámetro	Especificaciones Máximo permitido	Muestras CD 16090106 Tratamiento 1
Fecha de vencimiento		
Lote		
Recuento de Coliformes totales <sup>1</sup>		2,400,000 NMP/g
Recuento de Coliformes fecales <sup>2</sup>		460 NMP/g
Recuento de Staphylococcus aureus <sup>3</sup>		< 10 UFC/g
Detección de Salmonella spp <sup>4</sup>		Ausencia/25g
Detección de Escherichia coli <sup>5</sup>		150 NMP/g
Recuento total de mesófilos <sup>6</sup>		
Detección de Listeria monocytogenes <sup>7</sup>		
Hongos y levaduras <sup>8</sup>		

Laboratorio de ensayo acreditado por el OSA. Registro No LEA-24:10

- Los resultados expresados en el presente certificado de análisis corresponden única y exclusivamente a las muestras ensayadas.
- El laboratorio no realiza actividades de muestreo.
- Prohibida la reproducción total o parcial, sin la autorización por escrito del laboratorio
- Los datos no tienen validez si presentan algún borrón o enmendadura.

1 Capítulo 4. BAM/FDA. Online  
 2 Capítulo 4. BAM/FDA. Online  
 3 Capítulo 12. BAM/FDA Online  
 4 Capítulo 5. BAM/FDA. Online  
 5 Capítulo 17. Método 991.14. AOAC 18ª Edición .  
 6 Capítulo 17. Método 990.12. AOAC 18ª Edición  
 7 Capítulo 10. BAM/FDA Online  
 8 Capítulo 17. Método 997.02. AOAC 18ª Edición .

Lic. Lorena Guadalupe Ayala  
Técnico responsable

M.V.Z. Zaida Cristela Lazo Gutiérrez  
Jefe Red de Laboratorios Veterinarios

LABORATORIO CENTRAL, CANTÓN EL MATAZANO, SOYAPANGO  
SAN SALVADOR, EL SALVADOR  
TELEFAX: 22020802

Página 1 de 1

# A-14. Análisis de alimentos. Cultivo indicador Í Rábanoî

## Resultados de Tratamiento No 2



FTL 3.1.12  
30/10/2015, R3 V2

**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA**  
**RED DE LABORATORIOS VETERINARIOS**  
**LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS**  
**INFORME DE RESULTADOS**  
**ALIMENTOS**

Nº certificado 31609.018

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

Propietario: Ing. Jorge Alberto Ortiz Reyes  
 Empresa: Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente, S.A DE C.V Teléfono: \_\_\_\_\_  
 Dirección: Calle Umbriel y Av. Sagitario Block 3 Col. Las Palmeras III, # 16  
 Departamento: San Miguel Municipio: San Miguel  
 Enviada por: Ing. Jorge Alberto Ortiz Reyes

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

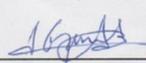
Muestra: El Jute San Miguel T2 N° muestras: 1 Fecha de recepción: 01/09/2016  
 Código de muestra: CD 16090107 Fecha de análisis: 02-06/09/16 Fecha de reporte: 06/09/2016

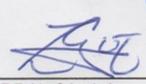
Parámetro	Especificaciones Máximo permitido	Muestras CD 16090107 Tratamiento 2
Fecha de vencimiento		
Lote		
Recuento de Coliformes totales <sup>1</sup>		>11,000,000 NMP/g
Recuento de Coliformes fecales <sup>2</sup>		43 NMP/g
Recuento de Staphylococcus aureus <sup>3</sup>		< 10 UFC/g
Detección de Salmonella spp <sup>4</sup>		Ausencia/25g
Detección de Escherichia coli <sup>5</sup>		9.2 NMP/g
Recuento total de mesófilos <sup>6</sup>		
Detección de Listeria monocytogenes <sup>7</sup>		
Hongos y levaduras <sup>8</sup>		

Laboratorio de ensayo acreditado por el OSA. Registro No LEA-24:10

- Los resultados expresados en el presente certificado de análisis corresponden única y exclusivamente a las muestras ensayadas.
- El laboratorio no realiza actividades de muestreo.
- Prohibida la reproducción total o parcial, sin la autorización por escrito del laboratorio
- Los datos no tienen validez si presentan algún borrón o enmendadura.

- 1 Capítulo 4. BAM/FDA. Online
- 2 Capítulo 4. BAM/FDA. Online
- 3 Capítulo 12. BAM/FDA Online
- 4 Capítulo 5. BAM/FDA. Online
- 5 Capítulo 4. BAM/FDA. Online
- 6 Capítulo 17. Método 990.12. AOAC 18ª Edición
- 7 Capítulo 10. BAM/FDA Online
- 8 Capítulo 17. Método 997.02. AOAC 18ª Edición

  
 \_\_\_\_\_  
 Lic. Loreña Guadalupe Ayala  
 Técnico responsable

  
 \_\_\_\_\_  
 M.V.Zaida Cristela Lazo Gutiérrez  
 Jefe Red de Laboratorios Veterinarios



**LABORATORIO CENTRAL, CANTÓN EL MATAZANO, SOYAPANGO**  
**SAN SALVADOR, EL SALVADOR**  
**TELEFAX: 22020802**

Página 1 de 1

# A-14. Análisis de alimentos. Cultivo indicador Í Rábanoî

## Resultados de Tratamiento No 3



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
RED DE LABORATORIOS VETERINARIOS  
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS  
INFORME DE RESULTADOS  
ALIMENTOS

FTL 3.1.12  
30/10/2015, R3 V2

Nº certificado 31609.019

---

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

Propietario: Ing. Jorge Alberto Ortez Reyes  
 Empresa: Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente, S.A DE C.V Teléfono: \_\_\_\_\_  
 Dirección: Calle Umbriel y Av. Sagitario Block 3 Col. Las Palmeras III, # 16  
 Departamento: San Miguel Municipio: San Miguel  
 Enviada por: Ing. Jorge Alberto Ortez Reyes

---

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

Muestra: El Jute San Miguel T3 N° muestras: 1 Fecha de recepción: 01/09/2016  
 Código de muestra: CD 16090108 Fecha de análisis: 02-06/09/16 Fecha de reporte: 06/09/2016

---

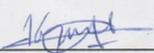
Parámetro	Especificaciones Máximo permitido	Muestras CD 16090108 Tratamiento 3
Fecha de vencimiento		
Lote		
Recuento de Coliformes totales <sup>1</sup>		240,000 NMP/g
Recuento de Coliformes fecales <sup>2</sup>		93 NMP/g
Recuento de Staphylococcus aureus <sup>3</sup>		< 10 UFC/g
Detección de Salmonella spp <sup>4</sup>		Ausencia/25g
Detección de Escherichia coli <sup>5</sup>		3.6 NMP/g
Recuento total de mesófilos <sup>6</sup>		
Detección de Listeria monocytogenes <sup>7</sup>		
Hongos y levaduras <sup>8</sup>		

---

Laboratorio de ensayo acreditado por el OSA, Registro No LEA-24:10

- Los resultados expresados en el presente certificado de análisis corresponden única y exclusivamente a las muestras ensayadas.
- El laboratorio no realiza actividades de muestreo.
- Prohibida la reproducción total o parcial, sin la autorización por escrito del laboratorio
- Los datos no tienen validez si presentan algún borrón o enmendadura.

- 1 Capítulo 4. BAM/FDA. Online
- 2 Capítulo 4. BAM/FDA. Online
- 3 Capítulo 12. BAM/FDA. Online
- 4 Capítulo 5. BAM/FDA. Online
- 5 Capítulo 4. BAM/FDA. Online
- 6 Capítulo 17. Método 990.12. AOAC 18ª Edición
- 7 Capítulo 10. BAM/FDA. Online
- 8 Capítulo 17. Método 997.02. AOAC 18ª Edición .



Lic. Lorena Guadalupe Ayala  
Técnico responsable



M.V.Z Zaida Cristela Lazo Gutiérrez  
Jefe Red de Laboratorios Veterinarios

**LABORATORIO CENTRAL, CANTÓN EL MATAZANO, SOYAPANGO  
SAN SALVADOR, EL SALVADOR  
TELEFAX: 22020802**

Página 1 de 1

# A-14. Análisis de alimentos. Cultivo indicador Í Rábanoî

## Resultados de Tratamiento No 4



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
RED DE LABORATORIOS VETERINARIOS  
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS  
INFORME DE RESULTADOS  
ALIMENTOS

FTL 3.1-12  
30/10/2015, R3 V2

Nº certificado 31609.020

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

Propietario: Ing. Jorge Alberto Ortiz Reyes

Empresa: Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente, S.A DE C.V Teléfono: \_\_\_\_\_

Dirección: Calle Umbriel y Av. Sagitario Block 3 Col. Las Palmeras III, # 16

Departamento: San Miguel Municipio: San Miguel

Enviada por: Ing. Jorge Alberto Ortiz Reyes

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

Muestra: El Jute San Miguel T4 Nº muestras: 1 Fecha de recepción: 01/09/2016

Código de muestra: CD 16090109 Fecha de análisis: 02-06/09/16 Fecha de reporte: 06/09/2016

Parámetro	Especificaciones Máximo permitido	Muestras CD 16090106 Tratamiento 4
Fecha de vencimiento		
Lote		
Recuento de Coliformes totales <sup>1</sup>		1,100,000 NMP/g
Recuento de Coliformes fecales <sup>2</sup>		9.2 NMP/g
Recuento de Staphylococcus aureus <sup>3</sup>		< 10 UFC/g
Detección de Salmonella spp <sup>4</sup>		Ausencia/25g
Detección de Escherichia coli <sup>5</sup>		3.6 NMP/g
Recuento total de mesófilos <sup>6</sup>		
Detección de Listeria monocytogenes <sup>7</sup>		
Hongos y levaduras <sup>8</sup>		

Laboratorio de ensayo acreditado por el OSA. Registro No LEA-24:10

- Los resultados expresados en el presente certificado de análisis corresponden única y exclusivamente a las muestras ensayadas.
- El laboratorio no realiza actividades de muestreo.
- Prohibida la reproducción total o parcial, sin la autorización por escrito del laboratorio
- Los datos no tienen validez si presentan algún borrón o enmendadura.



Lic. Lorena Guadalupe Ayala  
Técnico responsable




M.V.Z Zaida Cristela Lazo Gutiérrez  
Jefe Red de Laboratorios Veterinarios

**LABORATORIO CENTRAL, CANTÓN EL MATAZANO, SOYAPANGO  
SAN SALVADOR, EL SALVADOR  
TELEFAX: 22020802**

Página 1 de 1

# A-15. Análisis de Suelo Testigo, caracterización.



EL SALVADOR  
UNIDAD PARA EL DESARROLLO

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL  
CENTA "ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA"  
LABORATORIO DE SUELOS

TEL. 2397-2248 Correo electrónico: [labsuelos@centa.gob.sv](mailto:labsuelos@centa.gob.sv)



No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Canton	Municipio	Departamento	Identif.	Profundidad cm	Utilizará riego si o no	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
c20639	M21027	INGENIERIA Y ARQUITECTURA Y MEDIO AMBIENTE3 S.A. DE C.V.	PTAR LAS PAMPAS		PUERTO EL TRIUNFO	USULUTAN	MUESTRA 3 SUELO				

ANALISIS DE MUESTRAS PAGADAS

N° Muestra	Textura al tacto	pH en agua	Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	Potasio (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	Na (cmol kg <sup>-1</sup> )	K Int. (cmol kg <sup>-1</sup> )	Suma Bases (cmol kg <sup>-1</sup> )	Acidez Int. (H+Al) (cmol kg <sup>-1</sup> )	CICE	%sat. bases	%Materia orgánica	Ca/Mg	Mg/k	Ca+Mg/k	Ca/x	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	
M21027	FRANCO ARECULO ARECOSO	6.20	6	MB 673.8	MA 11.43	A 2.55	A 0.19	NS 1.73	M 15.87	M 0.00	B 15.87	M 100	M 3.96	M 4.52	M 1.46	B 8.08	B 6.61	MA 5.74	MA 24.02	MA 14.7	MA 1.51	B

Detalle: (mg kg<sup>-1</sup>) = ppm (cmol kg<sup>-1</sup>) = meq/100 g de suelo

**A-16. Hechura de fosa para estabilización de lodo residual.**



**A-17. Elaboración de Compost con lodo residual.**



### A-17.1 Elaboración de Compost con lodo residual.



**A-18. Preparación y limpieza de terreno para construcción de cunas para cultivo de Rábano.**



**A-19. Construcción de cunas para cultivo de Rábano.**



**A-20. Pesaje sustratos mejoradores de suelo (compost, lodo y fertilizante).**



**A-21. Cosecha de Rábanos.**



**A-21. Cosecha de Rábanos.**



**A-22. Medición de variable Rendimiento en biomasa.**



**A-23. Clasificación de producción de Rábano.**

