

**Universidad de El Salvador**  
**Facultad de Ciencias Agronómicas**



Evaluación de diferentes dosis de ácido peroxiacético y un digestor de rastrojos para disminuir poblaciones de coliformes fecales en lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa, La Paz, El Salvador.

**Por:**

Javier Abarca Ruíz

Valery Denise Nájera Abarca

Ciudad Universitaria, junio de 2017

**Universidad de El Salvador**  
**Facultad de Ciencias Agronómicas**  
**Departamento de Desarrollo Rural**



Evaluación de diferentes dosis de ácido peroxiacético y un digestor de rastrojos para disminuir poblaciones de coliformes fecales en lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa, La Paz, El Salvador.

**Por:**

Javier Abarca Ruíz

Valery Denise Nájera Abarca

**Requisito para optar al Título de:**

Ingeniero(a) Agrónomo

Ciudad Universitaria, junio de 2017

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

LIC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL:**

LIC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENITEZ

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO:**

ING. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

**SECRETARIO:**

ING. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL**

---

ING. AGR. EDGAR MARROQUÍN MENA

**DOCENTES DIRECTORES:**

---

ING. M. Sc. EFRAÍN ANTONIO RODRÍGUEZ URRUTIA

---

ING. AGR. FLOR DE MARÍA LÓPEZ HERNÁNDEZ

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

---

ING. AGR. RAFAEL ANTONIO ESPINO BARAHONA

## RESUMEN

La investigación se realizó de julio a diciembre de 2016, con el objetivo de evaluar diferentes dosis de ácido peroxiacético (BioSide) y un digestor de rastros (Ecodigestor), para disminuir poblaciones de Coliformes Fecales en los lodos ordinarios procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), ubicada en el municipio de San Juan Talpa, departamento de La Paz.

Se determinó el contenido inicial de Coliformes Fecales que fue de 1,414,214 NMP/g antes de aplicar los tratamientos y transcurridos 45 días; además, se midió la humedad, pH y temperatura a los 0, 15, 30 y 45 días. La investigación contó con 48 unidades experimentales, 16 tratamientos y tres repeticiones, en un Diseño Estadístico Completamente al Azar con Arreglo Factorial 4 x 4; se estableció en la Estación Experimental y de Prácticas (EEP) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES), ubicada en San Luis Talpa, departamento de La Paz. Los análisis se realizaron en los laboratorios de Química Agrícola de la Facultad de Ciencia Agronómicas y en el laboratorio Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI) ubicado en San Salvador. Los parámetros fisicoquímicos se analizaron con software estadístico Infostat y los resultados obtenidos de Coliformes Fecales se compararon y se categorizaron con la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Los tratamientos (T) que presentaron la mayor reducción promedio de Coliformes Fecales fueron: el T3 (dosis de 150 cc/t de digestor de rastros), que disminuyó las poblaciones de Coliformes Fecales hasta 1,636 NMP/g; el T11 (dosis de 150 cc/t de digestor de rastros + 350 cc/t de ácido peroxiacético), que logró reducir las poblaciones de Coliformes Fecales hasta 3,046 NMP/g y el T13 (dosis de 450 cc/t de ácido peroxiacético), que disminuyó las poblaciones de Coliformes Fecales hasta 1,368 NMP/g lo cual permite clasificar los lodos en C según la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002 para este parámetro.

**Palabras clave:** Lodos, Coliformes Fecales, Ácido peroxiacético, Digestor de rastros, Planta de Tratamiento, Aguas residuales.

## **ABSTRACT**

The research was carried out from July to December 2016, with the objective of evaluating different doses of peroxyacetic acid (BioSide) and an enzymatic digester of stubble (Ecodigestor), to reduce fecal coliform populations in ordinary sludge from the Treatment Plant (WWTP) of the National Administration of Aqueducts and Sewers (ANDA), located in the municipality of San Juan Talpa, department of La Paz.

The initial fecal coliform content was determined to be 1,414,214 NMP/g before applying the treatments and after 45 days; In addition, moisture, pH and temperature were measured at 0, 15, 30 and 45 days. The research consisted of 48 experimental units, 16 treatments and three replications, in a completely randomized design with factorial arrangement 4 x 4; Was established at the Experimental and Practical Station (EEP) of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador (UES), located in San Luis Talpa, department of La Paz. The analyzes were carried out in the laboratories of Agricultural Chemistry of the Faculty of Agronomic Science and in the laboratory Center of Control of Industrial Quality (CCCI) located in San Salvador. The physicochemical parameters were analyzed with Infostat statistical software and the results obtained from fecal coliforms were compared and categorized with the Official Mexican Standard NOM-004-SEMARNAT-2002, Environmental Protection. Sludge and biosolids. Specifications and maximum permissible limits of pollutants for their use and final disposal.

The treatments (T) that presented the highest average reduction of Fecal Coliforms were: T3 (dose of 150 cc/t of stub digester), which decreased Fecal Coliform populations up to 1,636 NMP/g; the T11 (doses of 150 cc/t of stub digester + 350 cc/t of peroxyacetic acid), which managed to reduce Fecal Coliform populations to 3,046 NMP/g and the T13 (dose of 450 cc/t peroxyacetic acid), which decreased Fecal Coliform populations to 1,368 NMP/g which allows the classification of sludge in C according to NOM -004-SEMARNAT-2002 for this parameter.

**Key words:** Sludge, Fecal coliforms, Peroxyacetic acid, Stub digester, Treatment plant, Sewage.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, a mi mamita Auxiliadora y a Don Bosco por su compañía, fortaleza, amor y sabiduría a lo largo de mi vida.

A mis padres: Mario Nájera y Floridalma Abarca por su apoyo incondicional y ser mi fuente de inspiración y trabajo.

A mis hermanos: Silvia y Edvin Nájera, por ser mis amigos y estar en las buenas y no tan buenas conmigo.

A toda mi familia hermosa por brindarme su alegría y darme ánimos para conseguir mi meta.

A mi compañero de tesis Javier Abarca Ruíz, por su apoyo incondicional, amor, amistad y comprensión.

A mis profesores asesores Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. Agr. Flor de María López Hernández, por su apoyo académico e investigativo.

A la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), por permitirnos el acceso a la PTAR de San Juan Talpa y por el apoyo brindado durante la investigación.

Al Ing. André Houdelot e Ing. Jorge Henríquez, por su apoyo académico y por compartirnos sus conocimientos.

A mis colegas y amigos de toda la carrera: Josué Beltrán, Marisol Torres, Diana Ramírez y David Torres, por su amistad y por acompañarme en los buenos y no tan buenos momentos.

Y a todas aquellas personas que en una forma directa e indirecta colaboraron con la realización de este trabajo.

Gracias por ayudarme a lograrlo. **Valery Denise Nájera Abarca**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todo poderoso por su amor y enorme benevolencia hacia mí y a mi familia. A la Santísima Virgen María, Don Bosco y a Monseñor Romero por su intercesión y ejemplo de vida y guías espirituales para ser lo que soy ahora.

A mis padres María Catalina Ruiz y Santos Abarca, por su amor, apoyo, comprensión y su gran esfuerzo que han realizado desde su humildad, para siempre darme lo mejor y enseñarme el camino correcto.

A mi Abuelo Adolfo Gonzales Portillo, por ser un padre para mí, y darme ejemplo de vida y apoyo durante todo este proceso.

A mis siete hermanos: Francisco, Santos, Bartolomé, Juan, José Luis, Orlando y Lolita, que me han acompañado toda la vida y de ustedes he aprendido a ser mejor persona. Pero agradezco de forma especial a Santos, Bartolomé y Juan por su ayuda incondicional tanto moral como económica, sin ustedes este proceso y sueño nunca hubiera sido realidad. En verdad solo les puedo decir que ustedes son los mejores hermanos del mundo.

A Valery Nájera, por su amistad, comprensión, amor, apoyo y por ser mi compañera de tesis. Has sido realmente una pieza fundamental en todo este proceso y una gran inspiración para seguir adelante.

Agradezco de manera especial al Ing. M. Sc Efraín Antonio Rodríguez Urrutia por todo el apoyo incondicional para la realización de este proyecto de investigación y a la Ing. Agr. Flor de María López Hernández por asesorarnos y brindarnos apoyo durante este proceso académico.

Al departamento de Desarrollo Rural y a todos sus docentes por toda la ayuda brindada para que este proyecto pudiera ejecutarse de la mejor manera posible.



A los Ing. André Houdelot de la Empresa 5h y al Ing. Jorge Henríquez de la empresa Productos Técnicos, por el apoyo académico y por compartirnos sus conocimientos a la investigación.

Al Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL) por el apoyo económico en esta investigación, en especial al Ing. Raúl Rivera Rivas, por acompañarnos en este proceso y compartir sus conocimientos a la investigación.

Y a todos aquellos amigos y compañeros que colaboraron a realizar este proyecto de investigación.

**Javier Abarca Ruiz**

## **DEDICATORIA**

A mis padres hermosos: Floridalma Abarca y Mario Nájera por brindarme su amor, apoyo incondicional, consejos y por sus esfuerzos para lograr mi formación profesional y personal.

**Valery Denise Nájera Abarca**

**A mi madre:** María Catalina Ruiz por su comprensión, amor y esfuerzo brindado a lo largo de toda mi vida y en especial en esta travesía que ha sido mi formación profesional.

**Javier Abarca Ruiz**

## Índice

	<b>Página</b>
RESUMEN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	viii
Índice.....	ix
Índice de Cuadros.....	xii
Índice de Figuras .....	xiii
Índice de Anexos .....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISION BIBLIOGRÁFICA .....	2
2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	2
2.1.1. Objetivo 2. Hambre cero.....	2
2.1.2. Objetivo 3. Salud y Bienestar.....	3
2.1.3. Objetivo 6. Agua limpia y Saneamiento .....	3
2.1.4. Objetivo 14. Vida submarina.....	3
2.1.5. Objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres.....	4
2.2. Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) .....	4
2.2.1. Gestión de cuencas a nivel municipal con la GIRH.....	5
2.2.2. Gestión de las aguas residuales en El Salvador .....	5
2.3. Saneamiento .....	6
2.4. Aguas residuales .....	6
2.5. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales .....	7
2.6. Origen de los lodos.....	10
2.7. Situación internacional y nacional de los lodos de las PTAR .....	11
2.7.1. Situación Internacional .....	11
2.7.2. Situación Nacional.....	12

2.8.	Composición de los lodos .....	12
2.8.1.	Coliformes Fecales en lodos.....	13
2.9.	Producción y características de los lodos .....	13
2.10.	Clasificación de los lodos .....	14
2.10.1.	Tratamiento de lodos .....	14
2.10.1.2.	Patios de secado.....	15
2.11.	Tratamiento o estabilización de lodos .....	16
2.11.1.	Ácido peracético .....	16
2.11.2.	Ácido peroxiacético (BioSide™ HS 15%) .....	17
2.12.	Estabilización enzimática de rastrojos.....	17
2.12.1.	Digestor de rastrojos (Ecodigestor) .....	18
2.12.2.	Uso y manejo del digestor de rastrojos .....	18
2.13.	Reutilización de lodos .....	18
2.13.1.	Producción de Energía.....	19
2.13.2.	Uso en la Agricultura.....	20
2.14.	Legislación sobre lodos en El Salvador.....	21
2.14.1.	Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.....	22
3.	MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1.	Ubicación de la investigación.....	24
3.2.	Descripción del estudio.....	24
3.3.	Metodología de campo .....	25
3.3.1.	Toma de muestras de lodo para análisis inicial.....	25
3.3.2.	Recolección de lodos.....	26
3.3.3.	Montaje de la investigación.....	26
3.4.	Metodología de laboratorio .....	27

3.5. Metodología estadística.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSION .....	30
4.1. Conteo inicial de Coliformes Fecales.....	30
4.2. Resultados finales de Coliformes Fecales .....	30
4.3. Humedad, pH y temperatura de los lodos.....	34
5. CONCLUSIONES.....	43
6. RECOMENDACIONES.....	44
7. BIBLIOGRAFIA.....	45
8. ANEXOS.....	50

## Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1. Clasificación de biosólidos respecto a límites máximos permisibles de metales pesados.....	22
Cuadro 2. Aprovechamiento de biosólidos.....	23
Cuadro 3. Tratamientos bajo el diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4x4.....	27
Cuadro 4. Descripción de los tratamientos.....	28
Cuadro 5. Resultados de Coliformes Fecales en lodos de la PTAR de San Juan Talpa, 45 días después de aplicados los tratamientos en la repetición 1.....	30
Cuadro 6. Resultados de Coliformes Fecales en lodos de la PTAR de San Juan Talpa, 45 días después de aplicados los tratamientos en la repetición 2.....	31
Cuadro 7. Resultados de Coliformes Fecales en lodos de la PTAR de San Juan Talpa, 45 días después de aplicados los tratamientos en la repetición 3.....	32
Cuadro 9. Humedad de los lodos.....	34
Cuadro 10. Análisis de Varianza de la Humedad.....	35
Cuadro 11. Contrastes Ortogonales aplicados a los tratamientos con ácido peroxiacético para Humedad.....	36
Cuadro 12. Contrastes Ortogonales aplicados a los tratamientos con digestor de rastrojos para Humedad.....	37
Cuadro 13. pH de lodos de la PTAR San Juan Talpa.....	38
Cuadro 14. Análisis de Varianza de pH.....	39
Cuadro 15. Contrastes Ortogonales aplicados a los tratamientos con ácido peroxiacético para pH.....	39
Cuadro 16. Contrastes Ortogonales aplicados a los tratamientos con Digestor de rastrojos para pH.....	40
Cuadro 17. Temperaturas promedio según tratamientos.....	41
Cuadro 18. Análisis de Varianza de Temperatura.....	42

## Índice de Figuras

	<b>Página</b>
Figura 1. Esquema de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa ...	9
Figura 2. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Juan Talpa y de la Estación Experimental y de Prácticas de la UES, San Luis Talpa, La Paz.....	24
Figura 3. Toma de muestra para análisis inicial de coliformes fecales. ....	25
Figura 4. Muestra inicial de lodo para análisis de coliformes fecales. ....	25
Figura 5. Llenado de sacos con lodos para posterior traslado a la EEP, UES. ....	26
Figura 6. Aplicación de productos a los lodos con asperjadora manual. ....	27
Figura 7. Resultados de Coliformes Fecales por repetición. ....	33
Figura 9. Porcentaje de humedad de los lodos. ....	35
Figura 10. pH de lodos según tratamiento. ....	38
Figura 11. Comportamiento de la temperatura según tratamientos.....	41

## Índice de Anexos

	<b>Página</b>
Anexo 1. Composición de lodos residuales.....	50
Anexo 2. Indicadores comunes de contaminación fecal.....	50
Anexo 3. Determinación de humedad total .....	51
Anexo 4. Determinación de pH bajo el método potenciométrico .....	53
Anexo 5. Cálculo de dosis de Ácido Peroxiacético.....	56
Anexo 6. Análisis microbiológico de Coliformes Fecales inicial.....	61
Anexo 7. Tratamiento 3, Repetición 2. ....	62
Anexo 8. Tratamiento 7 Repetición 2. ....	63
Anexo 9. Tratamiento 12, Repetición 2 .....	64
Anexo 10. Tratamiento 3, Repetición 3. ....	65
Anexo 11. Tratamiento 4, Repetición 3 .....	66
Anexo 12. Tratamiento 7, Repetición 3. ....	67
Anexo 13. Tratamiento 11, Repetición 3. ....	68
Anexo 14. Tratamiento 13, Repetición 3. ....	69
Anexo 15. Tratamiento 14, Repetición 3. ....	70
Anexo 16. Tratamiento 15, Repetición 3. ....	71
Anexo 17. Testigo - Tratamiento 1, Repetición 1. ....	72
Anexo 18. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa.....	73
Anexo 19. Digestor de lodos de PTAR de San Juan Talpa. ....	73
Anexo 20. Patios de secado de la PTAR de San Juan Talpa.....	73
Anexo 21. Tratamientos establecidos en la EEP.....	73
Anexo 22. Toma de muestras para análisis finales. ....	73
Anexo 23. Muestras para ser enviadas al laboratorio CCCI para análisis finales, .....	73



## 1. INTRODUCCIÓN

En El Salvador se trata el 14% del volumen de agua residual que circula por los colectores urbanos, a través de 89 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, de las cuales se obtiene una sustancia semilíquida denominada lodo, con un contenido en agua superior al 95%, por lo que ocupan volúmenes importantes y de naturaleza putrescible, que por salud de las personas y preservación del medio ambiente debe ser también tratado.

La problemática de los lodos residuales está directamente asociada a la cantidad de humedad que poseen al salir de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y a la contaminación que producen hacia el medio ambiente. Se debe recurrir a un gasto económico para la disposición final de los mismos y buscar la manera de que los vectores (insectos, aves, roedores, otros) no diseminen microorganismos patógenos hacia lugares donde haya personas.

En las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se produce la eliminación de una parte de los microorganismos patógenos durante el proceso de digestión anaerobia, pero para eliminar la mayoría de Coliformes Fecales deben de utilizarse otras técnicas antes de su aplicación al suelo, garantizando la sanidad y calidad del producto.

Los lodos se caracterizan por ser ricos en materia orgánica y elementos mayores como nitrógeno, fósforo y potasio; convirtiéndose en una alternativa viable para mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas, disminuyendo la dependencia a los fertilizantes químicos que degradan los recursos, pero antes de su uso los lodos deben de ser descontaminados.

A través de este estudio se espera obtener una alternativa para disminuir el contenido de Coliformes Fecales y así evitar riesgos para la salud y el medio ambiente, al mismo tiempo se busca generar información para el uso, manejo y disposición final de los mismos, puesto que en El Salvador no se cuenta con una normativa para lodos ordinarios.

El objetivo del estudio es disminuir las poblaciones de Coliformes Fecales en lodos residuales para reutilizarlos como fertilizantes del suelo, utilizando ácido peroxiacético (BioSide™ HS 15%) y digestor de rastros (Ecodigestor), con el fin de evaluar si hay o no reducción significativa de poblaciones de coliformes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa, departamento de La Paz, El Salvador.

## 2. REVISION BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

En 2015 los países adoptaron una nueva agenda para el desarrollo sostenible y lograron un nuevo acuerdo mundial sobre cambio climático. En la etapa final de un proceso de negociación los gobiernos se unieron en una agenda ambiciosa que contiene 17 nuevos objetivos para el desarrollo sostenible (los ODS) y 169 metas que buscan erradicar la pobreza, combatir las desigualdades y promover la prosperidad, al tiempo que protegen el medio ambiente de 2015 a 2030 (ONU Women 2015).

Los ODS son 17 y se presentan a continuación, de los cuales se hará énfasis en los objetivos 2, 3, 6, 14 y 15:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Fin de la pobreza.                       | 11.  |
| <b>2. Hambre cero.</b>                      | 12. Ciudades y comunidades sostenibles.    |
| <b>3. Salud y bienestar.</b>                | 13. Producción y consumo responsables.     |
| 4. Educación de calidad.                    | 14. Acción por el clima.                   |
| 5. Igualdad de género.                      | <b>15. Vida submarina.</b>                 |
| <b>6. Agua limpia y saneamiento.</b>        | <b>16. Vida de ecosistemas terrestres.</b> |
| 7. Energía asequible y no contaminante.     | 17. Paz, justicia e instituciones sólidas. |
| 8. Trabajo decente y crecimiento económico. | 18. Alianzas para lograr los objetivos.    |
| 9. Industria, innovación e infraestructura  |  |
| 10. Reducción de las desigualdades.         |  |

#### 2.1.1. Objetivo 2. Hambre cero

Alrededor de 795 millones de personas no disponen de alimentos suficientes para llevar una vida saludable y activa, esto es, uno de cada nueve personas en la Tierra. La gran mayoría de hambrientos vive en países en desarrollo, donde el 12,9% de la población está subalimentada. Eliminar el hambre implica inversiones en agricultura, desarrollo rural, trabajo decente, protección social e igualdad de oportunidades. Supondrá una contribución importantísima a la paz y a la estabilidad, así como a la reducción de la pobreza. Contribuirá

a una mejor nutrición para todos - especialmente para las mujeres, desde el inicio de la gestación, y para los niños y niñas menores de dos años (UN 2015).

### **2.1.2. Objetivo 3. Salud y Bienestar**

Desde 1990, las muertes infantiles factibles de prevenir disminuyeron en más del 50% a nivel mundial. La mortalidad materna cayó en un 45% en todo el mundo, mientras que las nuevas infecciones por causa del VIH/SIDA disminuyeron un 30% entre 2000 y 2013. Además, más de 6,2 millones de personas se salvaron de la malaria. A pesar de estos avances tan notables, todos los años mueren más de 6 millones de niños y niñas antes de cumplir cinco años y 16,000 menores fallecen a diario debido a enfermedades prevenibles como el sarampión y la tuberculosis. Estas muertes se pueden evitar con prevención y tratamiento, educación, campañas de vacunación y salud reproductiva y sexual. El objetivo es lograr una cobertura universal de salud y facilitar medicamentos y vacunas seguras y eficaces para todos (PNUD 2016).

### **2.1.3. Objetivo 6. Agua limpia y Saneamiento**

La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque 2,100 millones de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento desde 1990, la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema importante que aqueja a todos los continentes. Para mitigar la escasez de agua es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como bosques, montañas, humedales y ríos. También se requiere más cooperación internacional para estimular la eficiencia hídrica y apoyar tecnologías de tratamiento en los países en desarrollo (PNUD 2015).

### **2.1.4. Objetivo 14. Vida submarina**

Los océanos del mundo, que constituyen más del 70 por ciento del planeta, están en crisis. La pesca destructiva ha diezclado las existencias de peces y ha desequilibrado los ecosistemas marinos, conjuntamente con la contaminación y la acidificación del océano. Para 2025 se busca prevenir y reducir de manera significativa la contaminación marina de todo tipo, en particular la contaminación producida por actividades realizadas en tierra firme, incluidos los detritos marinos y la contaminación por nutrientes (ONU 2015).

### **2.1.5. Objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres**

La actual degradación del suelo no tiene precedentes y la pérdida de tierras cultivables es de 30 a 35 veces superior al ritmo histórico. Las sequías y la desertificación también aumentan todos los años, sus pérdidas equivalen a 12 millones de hectáreas y afectan a las comunidades pobres de todo el mundo. De las 8,300 especies conocidas de animales, el 8% ya está extinto y otro 22% corre el riesgo de desaparecer. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible apuntan a conservar y recuperar el uso de ecosistemas terrestres como bosques, humedales, tierras áridas y montañas para 2020. Promover la ordenación sostenible de los bosques y detener la deforestación también es de vital importancia para mitigar los impactos del cambio climático (PNUD 2016).

### **2.2. Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH)**

La gestión del agua en la región sigue siendo de tipo sectorial, agua para consumo humano, agua para riego, agua para generar hidroelectricidad, entre otras, sin que se coordine con los usuarios y los entes responsables de cada sector. Es así, que cada sector trata de sacar el mayor provecho del recurso, sin considerar su sostenibilidad de forma integral, causando una disminución considerable de los volúmenes de agua para todos los aprovechamientos, y al aumento en la contaminación de las fuentes de agua (GWP 2013).

Para cambiar este enfoque e ir avanzando hacia este nuevo paradigma de la GIRH, se han identificado más de 50 herramientas que contribuyen con su puesta en práctica, las cuales están organizadas en tres ejes:

- 1) El ambiente propicio o facilitador: el cual incluye la promulgación de las políticas nacionales, el marco legal con su respectiva normativa y el financiamiento para la GIRH.
- 2) Los roles institucionales: el cual incorpora la definición de una estructura organizacional nacional y local que responda a la GIRH, con su visión de gestión descentralizada y participativa.
- 3) Los instrumentos de gestión: que incluyen todos los instrumentos, procedimientos o medios que contribuyen a la generación de datos e información sobre el agua y sus variables del ciclo hidrológico, el monitoreo, evaluación de la calidad del agua, instrumentos económicos, regulaciones, las formas de organización a nivel de cuencas o de acueductos y, los programas de educación y de comunicación, entre otros (GWP 2013).

### **2.2.1. Gestión de cuencas a nivel municipal con la GIRH**

La cuenca hidrográfica es el área natural a nivel de la superficie delimitada por el relieve de las partes más altas que encierran un río principal con sus afluentes (arroyos, quebradas y río). Debido a que existen cuencas con áreas grandes, con muchos municipios y diversas actividades económicas, se dificulta su gestión. En esos casos se define la microcuenca hidrográfica como la unidad básica de planificación, en donde se facilita la interacción entre los diversos actores estratégicos y el análisis e identificación de las causas de los problemas para conjuntamente identificar e impulsar las soluciones (GWP e INBO 2009).

El proceso de implementación de la GIRH y de la gestión integrada de cuencas hidrográficas, coinciden ambos en casi todo, pues la GIRH pasa por la gestión del agua, de la tierra y de sus recursos naturales relacionados (GWP 2013).

### **2.2.2. Gestión de las aguas residuales en El Salvador**

El catastro de vertidos del río Acelhuate realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en 2011, estimó que el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) descarga 3.56 metros cúbicos de aguas residuales por segundo, de los cuales el sector comercial, industrial y público representan un 12%, 2% y 6% respectivamente, mientras que las domiciliarias aportan un 80% del total y son la principal causa de contaminación fecal; es decir que la fracción mayoritaria de aguas residuales proviene de los hogares (MARN 2013).

Según datos del Boletín Estadístico 2015 de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), ésta gestiona directamente los sistemas de alcantarillado sanitario de 76 municipios, 11 municipios adicionales son gestionados por operadores descentralizados y existen 175 municipios de los cuales no se reporta información sobre sistemas de alcantarillado sanitario. Además, el consumo anual acumulado de agua fue de 191.98 millones de metros cúbicos, por lo que considerando un 80% como aguas residuales, se estima un total acumulado anual de 153.58 millones de metros cúbicos. Por otra parte, ANDA cuenta con 21 plantas de tratamiento, de las cuales opera y mantiene directamente 20 y una es operada y mantenida por la Zona Franca El Pedregal. De igual forma, cuenta con una capacidad instalada para el tratamiento de aguas negras de 186 litros por segundo, equivalente a 5.86 millones de metros cúbicos de aguas negras tratadas por año. De los datos anteriores se deduce que el porcentaje de aguas residuales tratadas por ANDA es el

3.82% del caudal gestionado en sus redes de alcantarillado sanitario a nivel nacional. A la fecha, ANDA no cuenta con información precisa del resto de sistemas de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento operados por otras entidades (ANDA 2015).

### **2.3. Saneamiento**

El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo. La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado, influyen negativamente en la seguridad alimentaria, en las opciones de medios de subsistencia y en las oportunidades de educación para las familias pobres en el mundo (UN 2015).

La inversión en agua y saneamiento ha sido realizada por ANDA, el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL) y las municipalidades en los últimos 10 años. Otras instituciones con competencia en el tema son: el Ministerio de Salud (MINSAL), que tiene el rol de la vigilancia en la calidad del agua para consumo humano, aprobación y vigilancia de sistemas individuales de tratamiento de aguas negras y grises; el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que tiene en su mandato de ley garantizar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad, además de la prevención y control de la contaminación, a través de la evaluación, supervisión y monitoreo en los sistemas colectivos. En los últimos 50 años El Salvador no ha realizado las inversiones suficientes para atender las demandas de agua potable y saneamiento que requiere el desarrollo del país, lo cual ha traído como consecuencia el problema permanente de bajas coberturas, especialmente en las áreas rurales, y deficiencias en cuanto a la calidad del servicio (MARN 2013).

### **2.4. Aguas residuales**

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado. Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua, que provienen de residencias junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Gálvez Martínez *et al.* 2005).

Según Espigares y Pérez (1995), las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso de las personas, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y microorganismos. Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- Aguas residuales domésticas: proceden de las viviendas y es una combinación de heces y orina humanas, agua resultante del aseo personal, de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.
- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales. Estas pueden contener aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.
- Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan en numerosos lugares para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

## **2.5. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) están integradas por una serie de procesos químicos, físicos y biológicos para la reducción de los contaminantes en las aguas de efluente del uso humano. Las aguas residuales ingresan a la obra de llegada, que consiste normalmente en una arqueta donde conectan los colectores que transportan las aguas a tratar (figura 1). La obra de llegada debe disponer de un aliviadero conectado a la línea de by-pass general de la planta, que tiene la misión de evacuar el caudal que supere al caudal máximo de diseño, o de evacuar todo el caudal de agua residual en los casos en que sea necesario poner fuera de servicio las instalaciones (MARN-CENTA 2015).

El nivel de tratamiento recomendable dependerá del deseado uso final de las aguas tratadas y también se relacionará con la economía. De acuerdo al MARN-CENTA (2015), los tratamientos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Tratamiento Preliminar o Pre-Tratamiento: Es el conjunto de unidades que tienen como finalidad eliminar materiales gruesos que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta.
- Tratamiento primario: La finalidad de éste es remover sólidos suspendidos por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación.
- Tratamiento secundario: La finalidad de este es remover material orgánico en suspensión. Se utilizan procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica.
- Tratamiento terciario: Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química-biológica alta para cuerpos de agua receptores sensitivos o ciertos tipos de reúso
- Desinfección: Es el tratamiento adicional para remover patógenos.
- Tratamiento de lodos del agua contaminada. La finalidad del proceso es de secarlos y tratarlos con una combinación de tiempo y temperatura para matar los patógenos.



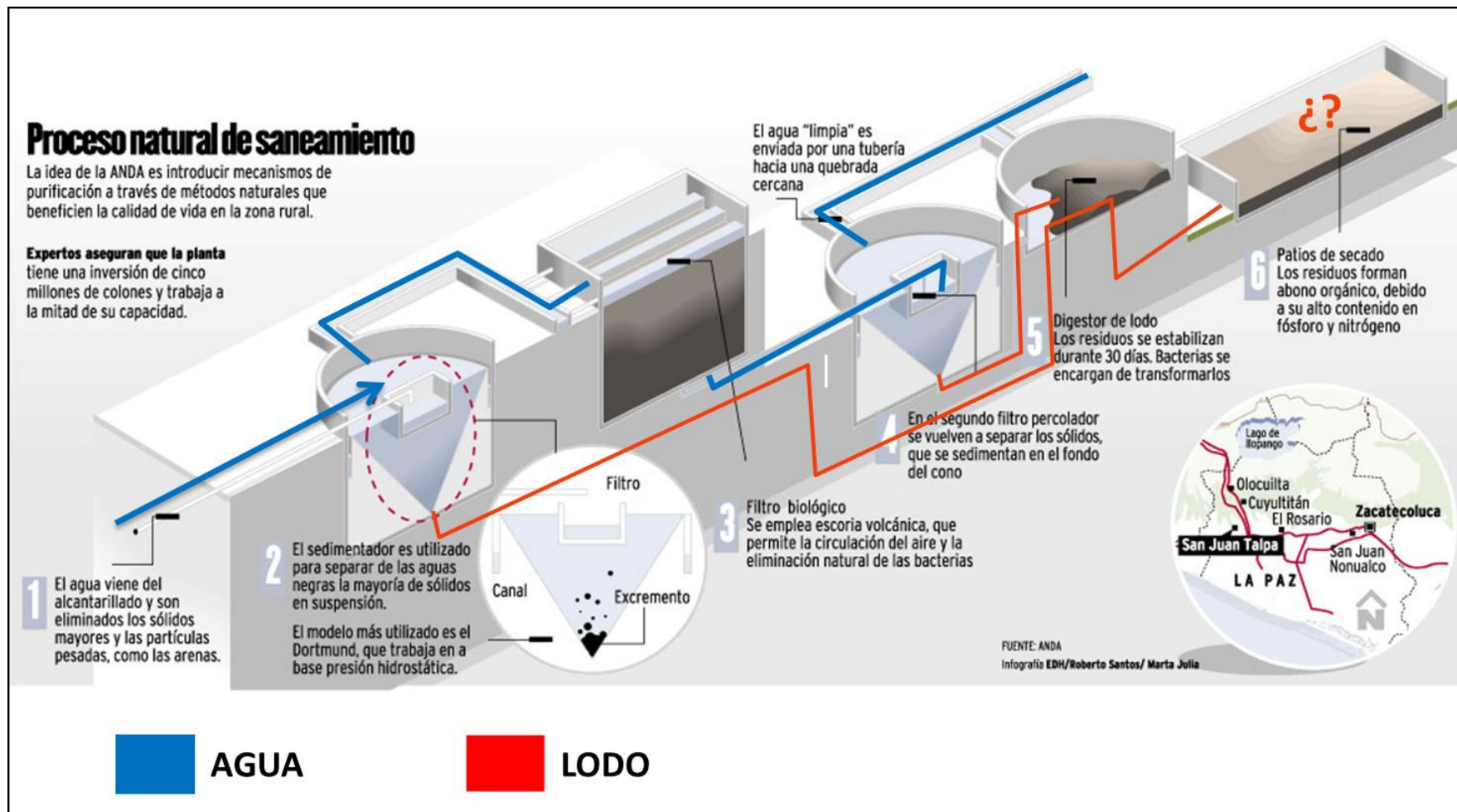


Figura 1. Esquema de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa

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. Los contaminantes contenidos en las aguas residuales pasan a las plantas de tratamiento donde se eliminan en gran medida por la absorción en el lodo producto de un tratamiento fisicoquímico o biológico. El lodo resultante de estos procesos debe someterse a un análisis para determinar sus características de corrosividad, toxicidad y biológico-infecciosas, lo que permitirá precisar si el lodo es considerado como un residuo peligroso o como un residuo no peligroso y con base en esto, plantear las alternativas para el manejo y disposición del mismo (Oropeza García 2006).

En muchos casos, gran parte de los lodos generados en una PTAR son descargados en sistemas de alcantarillado, en cuerpos de agua o dispuestos en tiraderos a cielo abierto sin ningún tratamiento previo que permita tomar las medidas de protección adecuadas para evitar la contaminación del suelo, agua subterránea o la atracción de vectores (insectos, ratas, carroñeros, otros), generando problemas de contaminación de los mantos freáticos y de salud pública (Oropeza García 2006).

## **2.6. Origen de los lodos**

En una planta de aguas residuales domésticas, los lodos se generan principalmente en las etapas de tratamiento primario y secundario. 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 Macías 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 Sólidos Suspendidos Totales (SST) a Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), cantidad de sustrato soluble, remoción de nutrientes y criterios de diseño del

tratamiento. Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se decantan o separan del agua en los sedimentadores secundarios (Limón Macías 2013).

En ambos casos, lodos primarios y secundarios son un residuo líquido, con un contenido en agua superior al 95%, por lo que ocupan volúmenes importantes, y de naturaleza putrescible. Estas características del lodo producido hacen que sea necesario someterlo a un tratamiento que permita su evacuación y disposición final de manera óptima, tanto desde el punto de vista sanitario como medioambiental. El tratamiento debe tener en cuenta los siguientes objetivos:

- Reducir el volumen, mediante su concentración y eliminación parcial del agua.
- Estabilización para evitar problemas de fermentación y putrefacción.
- Conseguir una textura que los haga manejables y fáciles de transportar.
- Eliminación de patógenos, que los haga inocuos desde un punto de vista sanitario (MARN-CENTA 2015).

## **2.7. Situación internacional y nacional de los lodos de las PTAR**

### **2.7.1. Situación Internacional**

A nivel internacional los países producen grandes cantidades de lodos provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y estos han tomado medidas para su manejo. Según Oropeza García (2006) se describen algunas de las medidas realizadas:

- Europa, Australia y Estados Unidos: actualmente se realizan investigaciones para utilizar los lodos tratados, como freno a la contaminación de los acuíferos por productos fitosanitarios y sus impurezas, además, servirán para acelerar la descontaminación de suelos que ya estén afectados. También se aplican como fertilizantes en tierras agrícolas.
- Holanda: posee un Plan de Residuos donde fija objetivos del 30% de reciclaje, 30% de compostaje, 30% de recuperación de energía y 10% de vertido como residuos no aprovechables.
- España: los residuos de materias orgánicas procedentes de la recolección de residuos separados de origen urbano, así como de la industria, aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento, pretenden ser utilizados en la agricultura ya que se considera que es el destino más adecuado para este tipo de materias desde el punto de vista ambiental

y económico. Se estudia la aplicación de lodos residuales en el control de filtraciones de productos fitosanitarios al acuífero.

- Dinamarca: la gran parte de los lodos estabilizados se usan como fertilizante en tierras laborales. El porcentaje de reutilización de los lodos de aguas residuales es de 72%, el 20% se destina a la incineración, y 8% se dispone.
- Chile: en 1999 fue aprobado el anteproyecto del “Reglamento para manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas”, estableciendo que la operación de plantas de tratamiento de agua potable, agua residual urbana y residuos industriales líquidos, generan gran cantidad de lodos, los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera adecuada para prevenir impactos negativos en el ambiente.
- Argentina: se han instrumentado plantas de compostaje de lodos residuales, para su posterior aplicación como biosólidos en la agricultura.
- México: recientemente se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final.
- Japón: existe una gestión integrada de aguas residuales que permite el compostaje de lodos, su embalaje y comercialización.

### **2.7.2. Situación Nacional**

En El Salvador existen 89 PTAR en las cuales los lodos se depositan en digestores anaeróbicos y finalmente son deshidratados en patios de secado en periodos de 30 a 45 días, y finalmente colocados en los terrenos de las mismas plantas de tratamiento. Además se han realizado pruebas pilotos para el reúso del agua y lodos en la PTAR de Suchitoto, Cuscatlán en 2003 (Campos 2014); también se ha realizado una investigación para realizar compostaje con lodos de la PTAR de San Juan Talpa (Mendoza y Vigíl 2012).

### **2.8. Composición de los lodos**

Las características de los lodos dependen principalmente de su origen, el tiempo de retención en las etapas de la PTAR y el tipo de tratamiento que han recibido. Estos están compuestos de altas concentraciones de bacterias, virus y parásitos, además de compuestos orgánicos y metales pesados (Cota Espericueta y Ponce Corral 2008). La composición

química típica de los lodos producidos y tratados se presenta en el anexo 1 (Metcalf & Eddy 2003 citado por Limón Macías 2013).

### **2.8.1. Coliformes Fecales en lodos**

Algunos organismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales y posteriormente concentrados en los lodos, son excretados por los seres humanos y algunos animales infectados con algún tipo de enfermedad patogénica. Las bacterias patógenas de los seres humanos causan enfermedades en el tracto gastrointestinal como tifoidea, fiebre paratifoidea, disentería, diarreas severas y cólera por lo que son responsables de miles de muertes cada año en áreas donde no exista una sanitización (Mims *et al.* 2003 citados por Figueroa Hernández 2007). Cada persona elimina a través de las heces fecales alrededor de 100 a 400 billones de Coliformes Fecales al día (Metcalf & Eddy 2003 citado por Figueroa Hernández 2007).

En el anexo 2 se resumen algunos de los organismos que han sido propuestos como indicadores de contaminación fecal. Las bacterias que pertenecen al grupo de los Coliformes Fecales tienen la capacidad de fermentar lactosa por medio de una acidificación en el medio y producir dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a una temperatura de 44.5° C en un periodo de 24 horas (Madigan *et al.*, 2004; Metcalf & Eddy 2003; Perry *et al.*, 1999; Levett 1990 citados por Figueroa Hernández 2007).

### **2.9. Producción y características de los lodos**

La cantidad de lodos producidos en el tratamiento del agua residual depende de la cantidad de sólidos, del grado de contaminación que entra diariamente en la planta y del tipo de tratamiento al que se someta al agua. Los diferentes capítulos en los que se desglosa la línea de agua recogen la producción de lodos que cabe esperar para cada uno de los tipos de tratamiento considerados. Al igual que la cantidad de lodos producidos, las características de los mismos varían ampliamente debido a las grandes diferencias que existen en los tipos de aguas residuales y en el diseño y operación de las PTAR. La principal diferencia entre los lodos de distintas plantas se observa en el lodo primario. Los distintos hábitos, la climatología, el componente industrial y el propio urbanismo de las cuencas de recogida de aguas implican unos perfiles, tanto de caudal como de contenido orgánico y contaminación, muy diferentes para los residuos obtenidos en el pretratamiento y en el tratamiento primario de las plantas depuradoras (MARN-CENTA 2015).

## **2.10. Clasificación de los lodos**

Los lodos pueden ser de dos tipos: ordinarios o especiales; los ordinarios comprenden los lodos sanitarios y los sépticos, los primeros son generados en una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario y los segundos son generados en los tanques sépticos.

Los lodos especiales son lodos generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo especial así como del tratamiento de aguas residuales y lodos con productos químicos tales como coagulantes, polímeros y floculantes.

Una vez que los lodos han sido tratados se les conoce como biosólidos. Estos han sido sometidos a procesos de tratamiento para que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después del tratamiento puedan ser aprovechados. Los biosólidos de tipo ordinario y aquellos que provengan de actividades agropecuarias, son los únicos que pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios o suelos directamente; el resto de biosólidos especiales deben ser dispuestos como residuo peligroso (Rodríguez Pérez 2015).

### **2.10.1. Tratamiento de lodos**

El lodo es un subproducto que se genera en todos los procesos de tratamiento de aguas residuales. Los lodos que se extraen de los procesos de pre-tratamiento, tratamiento primario y secundario, consisten de 80-99% de agua por peso, son donde se concentran los patógenos y necesitan tratamiento o estabilización para reducir patógenos y eliminar olores ofensivos. El “lodo estabilizado” generado del tratamiento de las aguas residuales es valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo, puede emplearse en agricultura o como fertilizante de estanques empleados en acuicultura. El uso de los lodos debe de fomentarse en donde sea posible, siempre y cuando se provea de la debida protección de la salud (PROARCA 2003).

#### **2.10.1.1. Digestor de lodos**

Este dispositivo se encarga de estabilizar los lodos provenientes de la sedimentación primaria y secundaria a través de la descomposición anaerobia de éstos en el tanque. Los lodos separados de las aguas residuales provenientes de los tanques de sedimentación están constituidos por un alto contenido de materia orgánica y agua lo que los hace

voluminosos y putrescible. Para su tratamiento, generalmente se dispone de un tanque circular con fondo en forma de cono en donde la materia orgánica de los lodos es convertida en residuos relativamente estables (Gálvez Martínez *et al.* 2005).

Para condiciones climáticas tropicales la estabilización se da a temperatura ambiente después de 20 a 30 días de almacenamiento. El lodo se descompone activamente y libera gas, cuando el gas sube hacia la superficie, arrastra consigo partículas de lodo y de otras materias tales como grasas y aceites, dando lugar a la formación de una capa sobrenadante, la cual debe tenerse el cuidado de no romper. Como resultado de la digestión el lodo se vuelve más mineralizado y se espesa por acción de la gravedad. El período de digestión es de 20 a 30 días al cabo de los cuales el lodo se encuentra estabilizado. Los lodos bien digeridos son de color negro y olor no desagradable, estos son sacados y llevados a los patios de secado para su deshidratación, generalmente el agua proveniente del tanque es recirculada hacia la entrada de la planta de tratamiento (Gálvez Martínez *et al.* 2005).

#### **2.10.1.2. Patios de secado**

Los patios de secado son sistemas de deshidratación en los que se tratan los lodos estabilizados, bien procedentes de un tanque Imhoff o de un digester anaerobio de lodos. Es importante que el lodo esté bien estabilizado antes de disponerlo en los patios de secado, ya que si no, la deshidratación será muy lenta y se generarán problemas de olores y atracción de vectores. Estos sistemas están conformados por un lecho relleno de material permeable, en cuya superficie se deposita el lodo, en el que la deshidratación se produce por el drenaje del agua (percolación) a través de la masa de lodo y del medio filtrante, y por evaporación a través de la superficie expuesta al aire (MARN-CENTA 2015).

Como su nombre lo indica, los patios o lechos de secado tienen como función secar el lodo digerido proveniente de los digestores de lodos antes de su disposición final. Están formados por un medio secante o filtrante generalmente constituido por arena y grava, y un sistema para la recolección del agua proveniente del secado del lodo, comúnmente utiliza tubería de PVC perforada. El lodo se dispone en una capa de 30 cm aproximadamente sobre el medio filtrante y por acción del medio ambiente, el agua contenida se evapora o baja al sistema de recolección (Gálvez Martínez *et al.* 2005).

## 2.11. Tratamiento o estabilización de lodos

Para poder reutilizar los lodos es necesario aplicar diversos procesos de tratamiento cuyo objetivo es producir un lodo con características tales que su último uso sea aceptable en términos de impacto ambiental y salud pública. Existen diversos procesos de estabilización de lodos dentro de los cuales se encuentran los convencionales que son los más utilizados e incluyen la digestión aerobia, la digestión anaerobia, la producción de composta y la estabilización alcalina. Sin embargo, como una opción a los procesos convencionales se han desarrollado nuevas tecnologías denominadas no convencionales, que han sido operadas en demostraciones de laboratorio, campo o pruebas piloto (González *et al.* 2010).

Dentro de estos últimos se encuentra la estabilización ácida, la cual es un proceso que ya ha sido reportado esporádicamente en la literatura pero sin que haya sido estudiado a fondo para establecer las condiciones de operación o el tipo de reactivo a utilizar. Los ácidos que se han probado para estabilizar lodos incluyen sulfúrico, perclórico, peracético, acético, propiónico, iso-butírico, n-butírico e iso valérico. De ellos, el ácido peracético ya ha sido utilizado para estabilizar lodos con fines de reúso en pruebas de campo y piloto obteniendo muy buenos resultados y se ha aplicado incluso en la desinfección de agua residual (Fraser *et al.* 1984 citado por Barrios Pérez *et al.* 2002).

González *et al.* (2010) evaluaron el efecto de dos ácidos orgánicos sobre los microorganismos del lodo a través del tiempo. Los ácidos utilizados fueron el acético a una dosis de 18,000 ppm y el peracético a 550 ppm en distintos tiempos de contacto (30 minutos; 1.5 horas; 8, 21 y 42 días). De acuerdo con los resultados, estabilizando los lodos con ácido acético se logró reducir los Coliformes Fecales de  $2.5 \times 10^8$  a 16 NMP/g ST; por su parte, con ácido peracético se logró reducir de  $2.5 \times 10^8$  a  $2.3 \times 10^1$  NMP/g ST en Coliformes Fecales.

### 2.11.1. Ácido peracético

También conocido como ácido peroxiacético, es un compuesto orgánico con la fórmula  $\text{CH}_3\text{CO}_3$ . El ácido peracético es un eficaz desinfectante que consiste en una solución de equilibrio cuaternaria (ácido acético, ácido peracético, peróxido de hidrógeno y agua). Este actúa de una manera similar a la de los clorógenos, es decir, con un amplio poder oxidante, pero, a diferencia de los primeros, su acción es mucho menos corrosiva, posee un mayor espectro de acción y es efectivo en presencia de materia orgánica y de aguas duras.



Asimismo, el ácido peracético no afecta al medio ambiente y se descompone en poco tiempo dejando como residuo agua, oxígeno y ácido acético. Además, por requerir bajas concentraciones su costo es moderado. El ácido peracético no mancha y si se almacena concentrado resulta estable durante largo tiempo (SENASA 2006).

El ácido peracético se presenta como una nueva alternativa “ecológica” para los procesos de desinfección de efluentes urbanos, ya que no genera subproductos de descomposición tóxicos, además de ser económico y compatible con otros procesos de tratamientos. Su uso para el proceso de desinfección en agua y sustratos surge debido a su marcado poder oxidante y su amplio espectro biocida aun en presencia de materia orgánica, cuya eficacia ha sido comprobada ante bacterias, hongos, virus y esporas. El ácido peracético, a diferencia del cloro y sus derivados, es reconocido además por no generar subproductos de descomposición carcinogénicos, mutagénicos ni tóxicos, por lo que se ha definido como “amigable al ambiente”. Su acción desinfectante no se ve afectada por los sólidos suspendidos, presenta una muy baja dependencia del pH, tiempos de contacto cortos y efectividad en tratamiento de efluentes primarios y secundarios (Flores *et al.* 2008).

#### **2.11.2. Ácido peroxiacético (BioSide™ HS 15%)**

Este producto tiene por nombre comercial BioSide™ HS 15% se utiliza en tratamientos de agua en torres de enfriamiento, agua de proceso, tuberías para agua de bebida en galpones y tratamiento de aguas residuales. Además de usos primarios para control de cienos y suciedad biológica en la industria de pulpa y papel. BioSide™ HS 15% (PAA) es un excelente inhibidor y oxidante de sulfuros, como agente contra malos olores, limpiador y desinfectante, tiene un elevado potencial de oxidación y es muy reactivo. Presenta una excelente actividad bactericida y fungicida contra una amplia gama de microorganismos. BioSide™ HS 15% (PAA) es una solución en equilibrio de ácido peracético, peróxido de hidrógeno, ácido acético, ingredientes patentados y agua (EnviroTech 2016).

#### **2.12. Estabilización enzimática de rastros**

Los digestores enzimáticos de rastros producen tres efectos específicos: liberación de la energía carbohidratada para acelerar los procesos de crecimiento bacterial; reduce las necesidades de aumento de nitrógeno para la digestión de los desechos residuales; incrementa la actividad de las bacterias del suelo (Aguillón Martínez *et al.* 1993).

Rivera *et al.*(1991) realizaron un tratamiento de pulpa de café con un digestor enzimático de rastros para su conversión en abono orgánico, obteniendo como resultado, que a los 80 días la pulpa ya degradada presentó una gran concentración de los valores nutricionales que las plantas necesitan y una disminución del pH.

### **2.12.1. Digestor de rastros (Ecodigestor)**

Este digestor de rastros con nombre comercial Ecodigestor contiene materias primas grado alimenticio como ácidos orgánicos y polisacáridos, además de contener cierta cantidad de macro y micro nutrientes que alimentan a los microorganismos benéficos. Esta energía promueve desde una perspectiva ecológica balanceada hasta una rápida degradación de los residuos orgánicos provenientes de las cosechas y otros subproductos orgánicos (pulpa, estiércol, aguas residuales, otros), convirtiéndolos en un invaluable humus para el suelo (Cinco hache 2015).

Los beneficios que se obtienen al aplicar el ecodigestor son:

- Estimula el crecimiento y actividad de varios grupos de microorganismos benéficos.
- Mejora la estructura del suelo y la aireación.
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CICE).
- Incrementa la capacidad de mantener el agua en el suelo y reduce la erosión.
- Promueve una inversión de nutrientes en el suelo, en particular el nitrógeno (Cinco hache 2015).

### **2.12.2. Uso y manejo del digestor de rastros**

El uso y manejo del digestor enzimático de rastros es sencillo, ya que con 100 cc de producto diluido en 20 litros de agua puede tratarse una tonelada de material para su descomposición usando una bomba o aplicador convencional. Luego de la aplicación, con un mínimo de 10 días se eliminan los malos olores e insectos, transcurridos 60 días puede agregarse al suelo el producto descompuesto (Cinco hache 2015).

### **2.13. Reutilización de lodos**

La producción de lodos en una planta de tratamiento trae consigo ciertos beneficios dependiendo del tratamiento o destino que se les dé. Las principales formas de aprovechamiento son como fuente de energía o mejoradores de suelo en la agricultura (Limón Macías 2013).

De las opciones disponibles para la disposición final de los lodos tratados, su uso como mejorador de suelos es el más eficiente, dado que este residuo encierra en su composición materia orgánica, macro y micro nutrientes, que hacen que su contribución en el suelo sea de suma importancia en lo que respecta al ahorro de recursos en la compra de fertilizantes, además de proporcionar una mejora en las características físicas, químicas y biológicas del suelo que lo recibe, lo que se traduce en bajos costos de disposición final e impactos positivos al ambiente por el reciclaje de nutrientes en el suelo. En otras palabras, el material resultante del tratamiento de los lodos puede ser empleado en actividades agrícolas, de jardinería, en campos deportivos y en la recuperación de suelos deteriorados, entre otros usos (Trejos Vélez y Agudelo Cardona 2012).

### **2.13.1. Producción de Energía**

Una forma de aprovechar los lodos producidos en una planta de tratamiento es por medio del biogás que se obtiene como subproducto en la digestión anaerobia de los lodos. La digestión anaerobia es un proceso de estabilización, en el cual se lleva a cabo la destrucción de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno. En plantas de tratamiento de tamaño grande se pueden obtener grandes beneficios derivados del aprovechamiento del biogás, el cual puede llegar a producir entre 50% y 100% de la energía requerida en un tratamiento biológico convencional (Limón Macías 2013).

Se puede aprovechar el biogás en un sistema de cogeneración, que genera electricidad y energía térmica simultáneamente, logrando una eficiencia global mayor a la que se obtiene cuando se utilizan sistemas separados con el mismo propósito. Durante la cogeneración se utiliza el biogás para alimentar un motor-generator para generar electricidad, el agua de enfriamiento que se descarga del motor, a una temperatura de 70° a 82° C, y el gas de escape caliente del motor se pueden utilizar para calentamiento mediante un intercambiador de calor (Limón Macías 2013).

#### **2.13.1.1. Cogeneración de energía eléctrica**

Los componentes de un sistema de cogeneración incluyen el motor, el generador, la recuperación de calor y la interconexión eléctrica, integrados en un solo sistema. Aunque la energía mecánica del motor normalmente se utiliza para generar electricidad, también se puede utilizar para impulsar equipo rotatorio como compresores, bombas y sopladores. La energía térmica del proceso se puede utilizar en aplicaciones directas en proceso o

indirectas para producir vapor, agua caliente, aire caliente para secado o agua fría para enfriamiento de proceso (García 2015).

Los principales beneficios de la cogeneración son:

- Mayor eficiencia en la conversión y uso de energía.
- Menos emisiones al ambiente.
- El aprovechamiento de combustibles alternos disminuye costos, reduce la necesidad de disponer del residuo y proporciona competitividad económica.
- El empleo de formas de generación de electricidad descentralizadas con alta eficiencia evita pérdidas por transmisión y aumenta la flexibilidad en el uso del sistema (García 2015).

El interés de utilizar sistemas de cogeneración en las plantas de tratamiento de aguas residuales ha crecido en los últimos años. Algunos de los factores que lo promueven son: tener energía de respaldo (proporcionan confianza durante cortes en el suministro de energía), la disponibilidad de combustible gratuito comparado con los altos costos del gas natural, el interés en el uso de fuentes renovables de energía y los incentivos que ofrece el gobierno (energías limpias). Las tecnologías de cogeneración que actualmente se consideran para utilizar el biogás son los motores de combustión interna, las microturbinas, las turbinas de gas, las celdas de combustible y los motores Stirling. Los motores de combustión interna son la tecnología más comúnmente usada en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Estos motores ofrecen la ventaja de su baja emisión de óxidos de nitrógeno que puede cumplir con las regulaciones de emisiones a la atmósfera. Normalmente se utilizan en tamaños de 250 a 2,500 kW. La principal dificultad que se presenta al aprovechar el biogás es que puede requerir un extenso pretratamiento previo a su aprovechamiento para evitar daños al equipo. El nivel de tratamiento requerido es variable, depende de las necesidades de la tecnología de cogeneración utilizada. Se deben eliminar siloxanos, sulfuro de hidrógeno, contenido de humedad y elementos traza (Limón Macías 2013).

### **2.13.2. Uso en la Agricultura**

Un ejemplo benéfico de los diversos usos de los lodos es la incorporación al suelo para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno. Los lodos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo o en terrenos alterados

que necesitan recuperación. El reciclaje de los lodos a través de la aplicación al suelo tiene varios propósitos, estos mejoran las características del suelo, así como la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. También provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los lodos pueden servir también como una alternativa o sustituto al menos parcial de los fertilizantes químicos (Limón Macías 2013).

#### **2.13.2.1. Compostaje**

El compostaje es una técnica que los agricultores realizan con la finalidad de aprovechar los residuos propios de la actividad agrícola. Es una manera racional, económica y segura de obtener un abono a partir de residuos de origen orgánico, conservando y aprovechando al máximo los nutrientes presentes en los materiales de partida. Es un proceso biooxidativo controlado en el que intervienen numerosos y variados microorganismos que requieren humedad y temperaturas adecuadas, dando al final la producción de dióxido de carbono, agua, minerales y una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura, sin que provoque fenómenos adversos (Torres Carranza 2000).

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 voltea periódicamente la masa para lograr una buena aireación y control de la humedad y temperatura.
- Sistemas cerrados, involucran el uso de reactores de diferentes tipos y dimensiones, este tipo de proceso es rápido pero su mantenimiento es costoso y las descargas del compost son muy complicadas (Torres Carranza 2000).

#### **2.14. Legislación sobre lodos en El Salvador**

Hasta el 2012 no ha existido un Plan de inversión nacional ni una política común respecto al tratamiento de aguas residuales y lodos. La Estrategia Nacional de Medioambiente (ENSA) del MARN creada en el año 2012, es uno de los instrumentos de la política nacional para la protección del medioambiente y la reducción de la vulnerabilidad frente al cambio climático.

La ENSA se compone de tres ejes fundamentales con sus líneas prioritarias de acción, cinco temas críticos y cinco requerimientos institucionales necesarios para la ejecución de las acciones. Los tres ejes son:

1. Manejo integral de residuos sólidos, materiales peligrosos y descontaminación de suelos.
2. Tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas.
3. Saneamiento básico para las zonas periurbanas y rurales del país (MARN 2013).

En El Salvador no existe una Norma sobre lodos procedentes de depuradoras, ni caracterización de los mismos, pero existen Normas internacionales, tal es el caso de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

**2.14.1. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.**

Esta Norma es referida a lodos y biosólidos, y presenta las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

En el cuadro 1 se clasifican los biosólidos en base a los límites máximos permisibles de metales pesados en dos categorías: excelente y bueno, en miligramos por kilogramo en base seca. Así mismo, se clasifican los biosólidos en A, B y C según el contenido de parásitos y de patógenos. En el cuadro 2 se presenta el uso de los biosólidos tomando como referencia la clasificación mostrada en el cuadro 1 (SERMANAT 2003).

Cuadro 1. Clasificación de biosólidos respecto a límites máximos permisibles de metales pesados.

Contaminante	Clasificación	
	Excelente (mg/kg en base seca)	Bueno (mg/kg en base seca)
Metales pesados Determinados en forma total		
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1,200	3,000
Cobre	1,500	4,300
Plomo	300	840

Continuación del cuadro 1

Contaminante	Clasificación		
	Excelente (mg/kg en base seca)	Bueno (mg/kg en base seca)	
<b>Metales pesados Determinados en forma total</b>			
Mercurio	17	57	
Níquel	420	420	
Zinc	2,800	7,500	
<b>Patógenos (NMP/g en base seca)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Coliformes fecales	Menor 1,000	Menor 1,000	Menor 2,000,000
<i>Salmonella spp</i>	Menor 3	Menor 3	Menor 300
Huevos de helminto	Menor 1	Menor 10	Menor 35

Fuente: SERMANAT 2003: 22.

Cuadro 2. Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación y los establecidos para clase B y C.
Excelente o Bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación y los establecidos para clase C.
Excelente o Bueno	C	Usos forestales, mejoramientos de suelos y usos agrícolas.

Fuente: SERMANAT 2003: 23.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES), ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de la Paz, con coordenadas Latitud Norte 13° 06' y Longitud Oeste 89° 06' (figura 2), a una elevación de 48 metros sobre el nivel del mar (msnm), con precipitación media anual de 1,700 mm, temperatura anual de 28° C, humedad relativa de 76% y una velocidad del viento de 8 km/h (Martínez *et al.* 2005).

#### 3.2. Descripción del estudio

Se evaluaron 48 unidades experimentales con lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de San Juan Talpa, la cual es administrada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANANDA). La planta se ubica en el cantón Veracruz de dicho municipio en el departamento de La Paz (figura 2). La fase de laboratorio se realizó en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencia Agronómicas de la UES, donde se realizaron análisis de los parámetros físicos (temperatura, porcentaje de humedad y pH); y los análisis de Coliformes Fecales se realizaron en el laboratorio de Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI) ubicado en San Salvador. Esta investigación se realizó en el periodo de julio a diciembre de 2016.

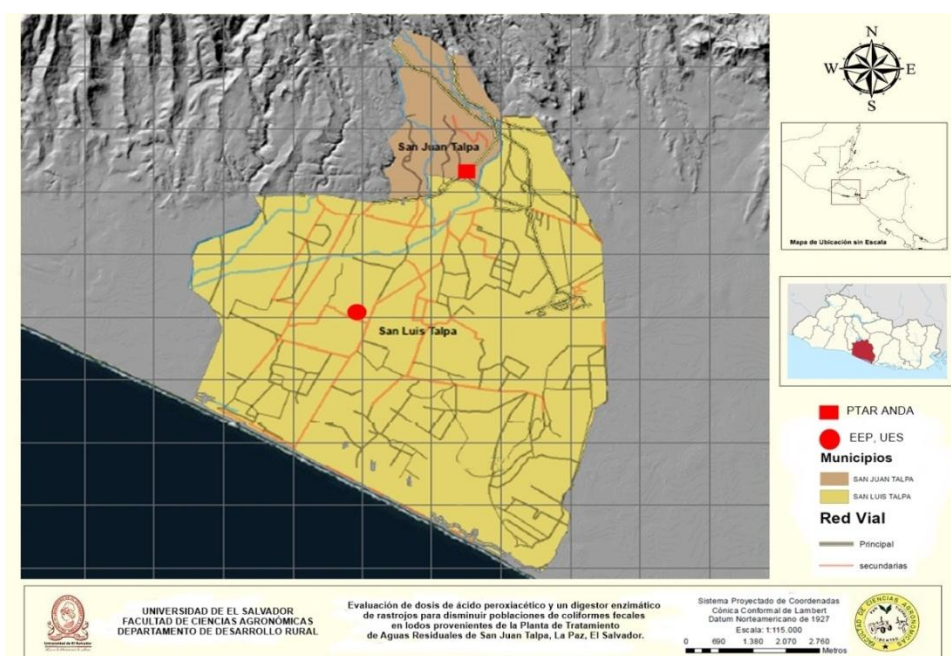


Figura 2. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Juan Talpa y de la Estación Experimental y de Prácticas de la UES, en San Luis Talpa, La Paz.



### 3.3. Metodología de campo

#### 3.3.1. Toma de muestras de lodo para análisis inicial

Se utilizó el método del cuarteo descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, el cual consistió en tomar ocho muestras de lodo al azar en los patios de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (figura 3), los cuales se colocaron en bolsas de polietileno con capacidad de una libra, las muestras de lodos se tomaron con una pala y posteriormente se trasladaron a un área plana donde se mezcló el material con palín, para obtener una muestra homogénea. Luego se dividió en cuatro partes iguales: A, B, C y D, y se eliminaron las partes opuestas, se repitió hasta dejar aproximadamente una libra de lodo.



Figura 3. Toma de muestra para análisis inicial de coliformes fecales.

La muestra se colocó en una bolsa de polietileno identificada con el lugar, fecha, hora y nombre del recolector (figura 4). Posteriormente se llevó al laboratorio privado Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI) ubicado en San Salvador, donde se analizó el contenido de coliformes fecales.



Figura 4. Muestra inicial de lodo para análisis de coliformes fecales.

### 3.3.2. Recolección de lodos

Se necesitaron 288 kilogramos de lodos para el montaje del ensayo, estos fueron colectados de los patios de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de San Juan Talpa, con 30 días de deshidratación, para lo cual se necesitaron 10 sacos con capacidad de 100 libras cada uno. La extracción y llenado se hizo con palas, y se usó equipo de bioseguridad (botas de hule, mascarilla, guantes); posteriormente se trasladaron hacia la Estación Experimental y de Prácticas (EEP) de la UES (figura 5).



Figura 5. Llenado de sacos con lodos para posterior traslado a la EEP, UES.

### 3.3.3. Montaje de la investigación

Se utilizaron 48 cajas de durapax (poliestireno) con dimensiones de 60 cm x 40 cm x 10 cm, que representan las 48 unidades experimentales, las cuales fueron colocadas bajo techo en el lote La Bomba de la EEP de la UES. Se utilizaron cuatro dosis del digestor de rastrojos con nombre comercial Ecodigestor: 0 cc/t (Testigo); 100 cc/t diluidos en 20 litros de agua (dosis recomendada por la empresa fabricante Cinco hache), 150 cc/t en 20 litros de agua y 200 cc/t en 20 litros de agua. Se colocaron 6 kg de lodos en cada caja, los cuales se pesaron en una balanza. Las dosis de cada tratamiento se aplicaron con atomizadores manuales. El lodo con digestor de rastrojos (Ecodigestor) permaneció en las cajas 45 días.

Se usaron cuatro dosis de ácido peroxiacético (BioSide™ HS 15%): 0 cc/t (Testigo); 250 cc/t (dosis recomendada por la empresa fabricante EnviroTech), 350 cc/t y 450 cc/t. El tiempo que pasaron los lodos con el BioSide™ HS 15% fue de 45 días (figura 6). Antes de aplicar los productos se humedeció el lodo hasta llevarlo a un punto de saturación, luego se dejó drenando durante 20 minutos y posteriormente se aplicó cada dosis. Los tratamientos se resumen en el cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos bajo el diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 4x4.

		Dosis de Ecodigestor (E)			
		D0 (0 cc/t)	D1 (100 cc/t)	D2 (150 cc/t)	D3 (200 cc/t)
Dosis de Ácido peroxiacético	A0 (0 cc/t)	A0, D0	A0, D1	A0, D2	A0, D3
	A1 (250 cc/t)	A1, D0	A1, A1	A1, D2	A1, D3
	A2 (350 cc/t)	A2, D0	A2, A1	A2, D2	A2, D3
	A3 (450 cc/t)	A3, D0	A3, A1	A3, D2	A3, D3

cc/t = centímetros cúbicos por tonelada métrica de lodos.



Figura 6. Aplicación de productos a los lodos con asperjadora manual.

### 3.4. Metodología de laboratorio

Se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos, los cuales se detallan a continuación:

#### 1) Análisis físicos

Para medir la humedad de los lodos se utilizó el método gravimétrico. Según Bonilla *et al.* (2010), a los cero días se realizó una sola medición de este parámetro, ya que los lodos estaban mezclados y presentaban la misma humedad (anexo 3); posteriormente se midió por tratamiento a los 15, 30 y 45 días. También se midió la temperatura utilizando un termómetro, la toma de datos se realizó a los 0, 15, 30 y 45 días.

#### 2) Análisis químicos

Se midió el pH a los cero días utilizando el método potenciométrico (anexo 4), debido a que los lodos estaban mezclados, luego se midió por tratamiento cada 15 días.

### 3) Análisis microbiológicos

El contenido de Coliformes Fecales se midió con el método de Análisis Standard Methods, APHA AWWA WEF Ed 21 2005. 9221B - Técnica fermentación en tubos múltiples (SISS 2007), al inicio y 45 días después de haber aplicados los tratamientos.

### 3.5. Metodología estadística

Se evaluaron 48 unidades experimentales en un Diseño Experimental Completamente al Azar con arreglo factorial 4 x 4. Se tuvo dos factores con cuatro dosis cada uno, siendo para el digestor de rastrojos (Ecodigestor) 0 cc/t, 100 cc/t, 150 cc/t, 200 cc/t y para el ácido peroxiacético (BioSide™ HS 15%) 0 cc/t, 250 cc/t, 350 cc/t, 450 cc/t (anexo 5). De las combinaciones se obtuvieron 16 tratamientos con tres repeticiones, las cuales se detallan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Dosis por tonelada métrica		Dosis por Unidad experimental		Nomenclatura
	Ácido Peroxiacético (15%)	Digestor de rastrojos	Ácido Peroxiacético (15%)	Digestor de rastrojos	
T1	0 cc	0 cc	0 cc	0 cc	A1,D1
T2	0 cc	100 cc	0 cc	0.6 cc	A1,D2
T3	0 cc	150 cc	0 cc	0.9 cc	A1,D3
T4	0 cc	200 cc	0 cc	1.2 cc	A1,D4
T5	250 cc	0 cc	1.5 cc	0 cc	A2,D1
T6	250 cc	100 cc	1.5 cc	0.6 cc	A2,D2
T7	250 cc	150 cc	1.5 cc	0.9 cc	A2,D3
T8	250 cc	200 cc	1.5 cc	1.2 cc	A2,D4
T9	350 cc	0 cc	2.1 cc	0 cc	A3,D1
T10	350 cc	100 cc	2.1 cc	0.6 cc	A3,D2
T11	350 cc	150 cc	2.1 cc	0.9 cc	A3,D3
T12	350 cc	200 cc	2.1 cc	1.2 cc	A3,D4
T13	450 cc	0 cc	2.7 cc	0 cc	A4,D1
T14	450 cc	100 cc	2.7 cc	0.6 cc	A4,D2
T15	450 cc	150 cc	2.7 cc	0.9 cc	A4,D3
T16	450 cc	200 cc	2.7 cc	1.2 cc	A4,D4

cc = centímetro cubico; D = digestor de rastrojos; A = ácido peroxiacético.

A los datos obtenidos de los factores físicos y químicos se les realizó un Análisis de Varianza (ANVA) con un nivel de significancia del 5%, utilizando el software Infostat, mientras que los resultados de los análisis microbiológicos se compararon con los parámetros de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, para así determinar cómo se comportan, si se encuentran bajo la Norma o si la exceden.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Cuento inicial de Coliformes Fecales

Los Coliformes Fecales son empleados como indicadores de contaminación fecal en agua y lodos debido a que sus características incluyen una mayor densidad y persistencia a diferencia de otros microorganismos patógenos presentes en las heces fecales (Barrios *et al.* 2000).

El conteo inicial de Coliformes Fecales en los lodos de los patios de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa fue de 1,414,214 NMP/g (anexo 6). Según la Norma Internacional Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, para que un lodo sea manipulado de forma directa debe de estar por debajo de 1,000 NMP/g en base seca. El contenido de Coliformes Fecales depende del tipo de lodo tratado ya que puede cambiar de una planta a otra.

### 4.2. Resultados finales de Coliformes Fecales

Los análisis de laboratorio se realizaron a los 45 días después de aplicar los tratamientos en el laboratorio CCCI. Los resultados se muestran en los cuadros 5, 6 y 7.

Cuadro 5. Resultados de Coliformes Fecales en lodos de la PTAR de San Juan Talpa, 45 días después de aplicados los tratamientos en la repetición 1.

Tratamientos	Repetición 1	
	NMP/g en base seca	Clase
T1 = 0 cc/t A+ 0cc/t D	54,000	C
T2 = 0 cc/t +100 cc/t D	9,400	C
T3 = 0 cc/t A+150 cc/t D	3,900	C
T4 = 0 cc/t A+ 200 cc/t D	17,000	C
T5 = 250 cc/t A+0cc/t D	11,000	C
T6 = 250 cc/t A+100 cc/t D	43,000	C
T7 = 250 cc/t A+150 cc/t D	8,400	C
T8 = 250 cc/t A+200 cc/t D	28,000	C
T9 = 350 cc/t A+0cc/t D	5,800	C
T10 = 350 cc/t A+100 cc/t D	6,300	C
T11 = 350 cc/t A+150 cc/t D	6,300	C
T12 = 350 cc/t A+200 cc/t D	6,300	C
T13 = 450 cc/t A+0cc/t D	3,100	C

Continuación del cuadro 5

Tratamientos	Repetición 1	
	NMP/g en base seca	Clase
T14 = 450 cc/t A+100 cc/t D	17,000	C
T15 = 450 cc/t A+150 cc/t D	6,300	C
T16 = 450 cc/t A+200 cc/t D	4,000	C

D = digestor enzimático de rastros; A = ácido peroxiacético; cc/t = centímetro cúbico por tonelada métrica.

En la repetición 1, todos los lodos se clasifican en clase C, ya que todos los tratamientos fueron mayores a 1,000 NMP/g en base seca para el parámetro Coliformes Fecales, según la “Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final”, lo cual indica un uso restringido y sin contacto directo por el público.

Cuadro 6. Resultados de Coliformes Fecales en lodos de la PTAR de San Juan Talpa, 45 días después de aplicados los tratamientos en la repetición 2.

Tratamientos	Repetición 2	
	NMP/g en base seca	Clase
T1 = 0 cc/t A+ 0cc/t D	54,000	C
T2 = 0 cc/t +100 cc/t D	9,400	C
T3 = 0 cc/t A+150 cc/t D	1,000	A
T4 = 0 cc/t A+ 200 cc/t D	12,000	C
T5 = 250 cc/t A+0cc/t D	11,000	C
T6 = 250 cc/t A+100 cc/t D	17,000	C
T7 = 250 cc/t A+150 cc/t D	8,400	C
T8 = 250 cc/t A+200 cc/t D	4,100	C
T9 = 350 cc/t A+0cc/t D	5,800	C
T10 = 350 cc/t A+100 cc/t D	6,300	C
T11 = 350 cc/t A+150 cc/t D	240	A
T12 = 350 cc/t A+200 cc/t D	14,000	C
T13 = 450 cc/t A+0cc/t D	1,000	A
T14 = 450 cc/t A+100 cc/t D	17,000	C
T15 = 450 cc/t A+150 cc/t D	6,300	C
T16 = 450 cc/t A+200 cc/t D	4,000	C

En la repetición 2, el tratamiento 3 (150 centímetros cúbicos de digestor de rastros por tonelada métrica) (anexo 7), el tratamiento 11 (350 cc/t de ácido peroxiacético + 150 cc/t de



digestor de rastrojos) (anexo 8) y el tratamiento 12 (450 cc/t ácido peroxiacético) (anexo 9), permiten clasificar los lodos en clase A para el parámetro de Coliformes Fecales, según la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, por lo que los lodos podrían aprovecharse en la agricultura, siempre y cuando cumplan también con los parámetros de *Salmonella sp* y Huevos de Helmintos.

Cuadro 7. Resultados de Coliformes Fecales en lodos de la PTAR de San Juan Talpa, 45 días después de aplicados los tratamientos en la repetición 3.

Tratamientos	Repetición 3	
	NMP/g en base seca	Clase
T1 = 0 cc/t A+ 0cc/t D	92,000	C
T2 = 0 cc/t +100 cc/t D	12,000	C
T3 = 0 cc/t A+150 cc/t D	9,2	A
T4 = 0 cc/t A+ 200 cc/t D	1,000	A
T5 = 250 cc/t A+0cc/t D	12,000	C
T6 = 250 cc/t A+100 cc/t D	6,300	C
T7 = 250 cc/t A+150 cc/t D	7,900	C
T8 = 250 cc/t A+200 cc/t D	4,800	C
T9 = 350 cc/t A+0cc/t D	3,100	C
T10 = 350 cc/t A+100 cc/t D	4,5	A
T11 = 350 cc/t A+150 cc/t D	2,600	C
T12 = 350 cc/t A+200 cc/t D	32	A
T13 = 450 cc/t A+0cc/t D	4,5	A
T14 = 450 cc/t A+100 cc/t D	17	A
T15 = 450 cc/t A+150 cc/t D	2	A
T16 = 450 cc/t A+200 cc/t D	17,000	C

Los tratamientos 3, 4, 10, 12, 13, 14 y 15 (anexos 10 al 16) contribuyen a clasificar los lodos en clase A, para el parámetro de Coliformes Fecales, según la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, lo que permite que los lodos puedan ser manipulados por contacto directo por las personas y ser usados en la agricultura, siempre y cuando cumplan también con los parámetros de *Salmonella sp* y Huevos de Helmintos.

En la figura 7 se presenta el promedio de las tres repeticiones de Coliformes Fecales, donde se observa que todos los lodos son clasificados en clase C para este parámetro, debido a que los resultados de laboratorio después de aplicados los tratamientos fueron mayores a



1,000 NMP/g en base seca; los resultados más bajos se obtuvieron en el tratamiento T13 con 1,368 NMP/g, el T3 con 1,636 NMP/g y el T11 con 3,046 NMP/g.

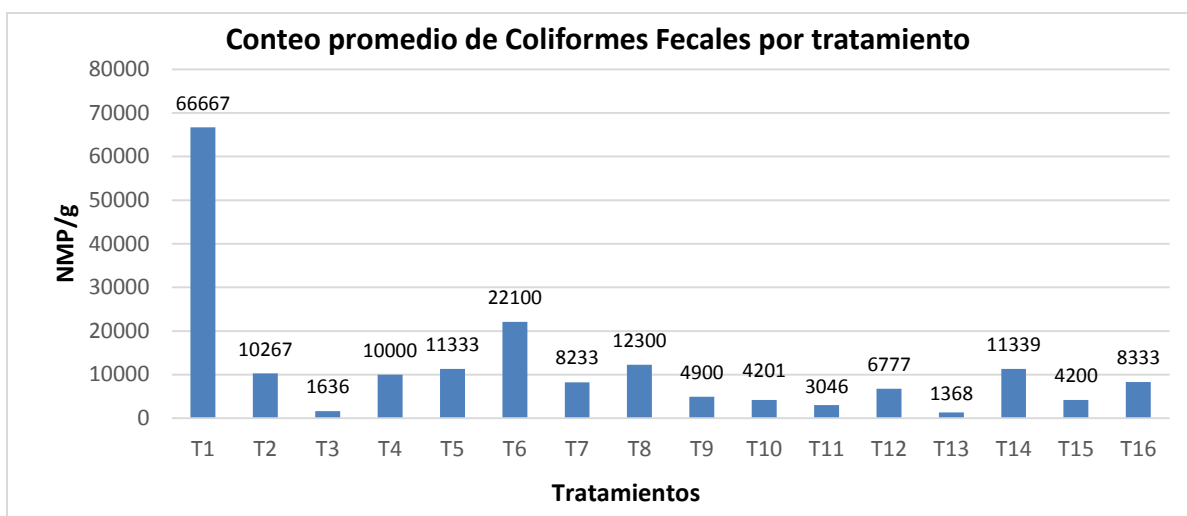


Figura 7. Resultados de Coliformes Fecales por repetición.

Barrios *et al.* (2000) reporta que el ácido peracético logra disminuir la densidad de Coliformes Fecales con dosis mínimas de 500 ppm en comparación con las dosis de ácidos sulfúrico (4,400 - 57,600 ppm), perclórico (2,600-39,200) y acético (3,700-22,000). Aparentemente, esto se debe a que al descomponerse se libera una gran cantidad de oxígeno activo que combinada con la acción oxidante del peróxido de hidrógeno contenido actúan sobre los grupos funcionales de las enzimas de los microorganismos destruyendo la membrana de los mismos.

González *et al.* (2010) al tratar los lodos con ácido acético y peracético obtuvo que la reducción de Coliformes fecales llevada a cabo por cada ácido es muy similar, aunque el ácido peracético tuvo una mejor remoción en tiempos cortos que la alcanzada con ácido acético ya que redujo de  $2.5 \times 10^8$  a 81 NMP/g ST en solo 30 minutos y en el tiempo total de la prueba logra reducir la concentración hasta 23 NMP/g ST, mientras que el ácido acético logra reducir a 520 NMP/g ST en los primeros 30 minutos.

### 4.3. Humedad, pH y temperatura de los lodos

Las características del lodo en términos de humedad, pH y temperatura tienen un efecto importante en la supervivencia y el crecimiento de microorganismos bacterianos. Por esta razón, fue necesario observar durante el proceso el número de bacterias y las variables como pH, contenido de agua y temperatura en los lodos. El crecimiento de Coliformes Fecales puede ser favorecido debido a que la combinación de variables climatológicas como temperatura y humedad pueden propiciar condiciones óptimas de incubación (Cota Espericueta y Ponce Corral 2008).

#### 1) Humedad

La humedad de los lodos se fue reduciendo a lo largo de todo el experimento, en el cuadro 9 se muestra el porcentaje de humedad que se obtuvo a los 0, 15, 30 y 45 días.

Cuadro 8. Humedad de los lodos.

Tratamientos	Humedad			
	0 días	15 días	30 días	45 días
T1	46.5 %	20,6%	10,6%	5,8%
T2	80 %	49,0%	35,4%	31,0%
T3	80 %	56,6%	40,1%	37,9%
T4	80 %	52,8%	44,5%	34,5%
T5	80%	54,0%	46,5%	39,0%
T6	80%	51,4%	46,3%	42,5%
T7	80%	54,3%	50,1%	48,0%
T8	80%	51,0%	42,1%	33,5%
T9	80%	47,9%	38,0%	28,1%
T10	80%	56,9%	51,6%	46,4%
T11	80%	54,4%	47,4%	40,4%
T12	80%	56,1%	51,4%	46,6%
T13	80%	53,4%	39,4%	25,4%
T14	80%	54,4%	43,0%	31,6%
T15	80%	54,4%	44,1%	33,7%
T16	80%	58,5%	50,4%	42,2%

En la figura 9 se muestra el comportamiento de la pérdida de humedad en los lodos según cada tratamiento, la cual se fue reduciendo gradualmente desde el 80% hasta el 37% en promedio durante los 45 días que duró la investigación, la pérdida de humedad en los lodos resulta favorable para la inactivación de microorganismos patógenos en los lodos.

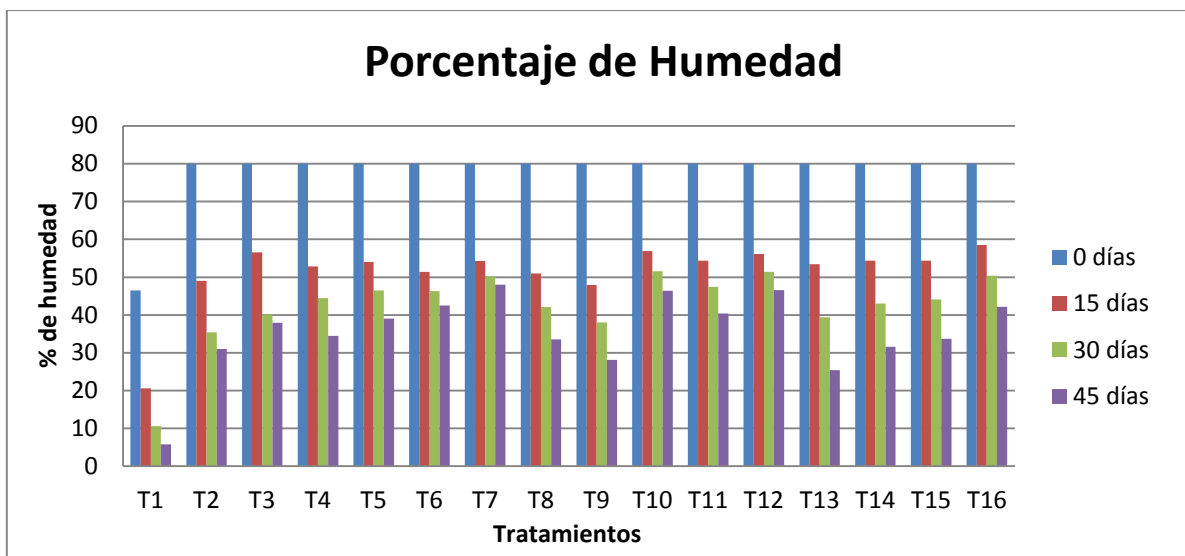


Figura 8. Porcentaje de humedad de los lodos.

En el cuadro 10 se presenta el Análisis de Varianza realizado a la variable humedad, donde puede observarse que el ácido peroxiacético, el digestor de rastros y la interacción de ambos producen efectos significativos en la disminución de las poblaciones de Coliformes Fecales, con p-valor de <0.0043, <0.0018 y <0.0286 respectivamente, es decir, que al utilizar los productos por separado y en combinación, la humedad se ve afectada.

Cuadro 9. Análisis de Varianza de la Humedad.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	14281.40	17	840.08	2.85	0.0003
<b>Ácido peroxiacético</b>	4010.45	3	1336.82	4.54	<0.0043
<b>Digestor de rastros</b>	4604.29	3	1534.76	5.22	<0.0018
<b>Ácido*Digestor</b>	5666.67	9	629.63	2.14	<0.0286
<b>Error</b>	51204.98	174	294.28		
<b>Total</b>	65486.38	191			

Debido a que los tratamientos con ácido peroxiacético presentan diferencias significativas, se les aplicó la prueba de Contrastes Ortogonales con un nivel de significancia del 5% (cuadro 11).

Se comparó el testigo con las dosis 1 (250 cc/t), 2 (350 cc/t) y 3 (450 cc/t), produciendo efectos significativos con p-valor 0.0135 en la disminución de Coliformes Fecales, siendo mejor las tres dosis en 6.23 unidades más que el testigo.

Se comparó la dosis 1 (250 cc/t) con las dosis 2 (350 cc/t) y 3 (450 cc/t), produciendo efectos significativos con p-valor 0.0094 en la disminución de Coliformes Fecales, siendo mejor las dosis 2 y 3 en 6.90 unidades más que la dosis 1.

Se comparó la dosis 2 con la dosis 3, produciendo efectos no significativos con p-valor 0.4790 en la disminución de Coliformes Fecales.

Cuadro 10. Contrastes Ortogonales aplicados a los tratamientos con ácido peroxiacético para Humedad.

Ácido peroxiacético	Contraste	E.E	SC	gl	CM	F	p-valor
Testigo con dosis 1, 2 y 3	27.63	11.07	1832.37	1	1832.37	6.23	0.0135
Dosis 1 con dosis 2 y 3	-13.01	4.95	2029.95	1	2029.95	6.90	0.0094
Dosis 2 con dosis 3	7.86	11.07	148.13	1	148.13	0.50	0.4790
Total			4010.45	3	1336.82	4.54	0.0043

Debido a que los tratamientos con Digestor de rastrojos presentan diferencias significativas, se les aplicó la prueba de Contrastes Ortogonales con un nivel de significancia del 5% (cuadro 12).

Se comparó el testigo con las dosis 1 (100 cc/t), 2 (150 cc/t) y 3 (200 cc/t), produciendo efectos significativos con p-valor 0.0011 en la disminución de Coliformes Fecales, siendo mejor las tres dosis en 10.98 unidades más que el testigo.

Se comparó la dosis 1 (100 cc/t) con las dosis 2 (150 cc/t) y 3 (200 cc/t), produciendo efectos significativos con p-valor 0.0423 en la disminución de Coliformes Fecales, siendo mejor las dosis 2 y 3 en 4.19 unidades más que la dosis 1.

Se comparó la dosis 2 con la dosis 3, produciendo efectos no significativos con p-valor 0.4895 en la disminución de Coliformes Fecales.

Cuadro 11. Contrastes Ortogonales aplicados a los tratamientos con Digestor de rastrojos para Humedad.

Digestor de rastrojos	Contraste	E.E	SC	gl	CM	F	p-valor
Testigo con dosis 1, 2 y 3	36.69	11.07	3231.44	1	3231.44	10.98	0.0011
Dosis 1 con dosis 2 y 3	-10.13	4.95	1231.71	1	1231.71	4.19	0.0423
Dosis 2 con dosis 3	7.67	11.07	141.14	1	141.14	0.48	0.4895
Total			4604.29	3	1534.76	5.22	0.0018

Al inicio de la investigación se obtuvo una humedad del 80%, conforme transcurrió el tiempo los lodos fueron disminuyendo en humedad, a los 45 días presentaron una humedad promedio de 37%. Según Lares Mena (2007) a humedades altas mejor será el ambiente para el desarrollo de las bacterias por lo que la pérdida de agua en los lodos mostró efectividad en la eliminación de patógenos.

Araujo *et al* (2000) evaluaron durante 9 semanas, los valores de Coliformes Totales, Coliformes Fecales y Salmonella en lodos de una laguna de estabilización, los cuales fueron disminuyendo progresivamente, excepto en la séptima semana donde se presentó un incremento de estos valores, debido a precipitaciones ligeras desde la sexta semana las cuales aumentaron en la séptima semana. Los resultados mostraron que la disminución del porcentaje de humedad fue directamente proporcional al porcentaje de sólidos totales y al contenido de Coliformes Fecales y *Salmonella*.

## 2) pH

El pH del lodo afecta de manera directa la destrucción y el recrecimiento de microorganismos, aparentemente desnaturalizando las enzimas, impidiendo la supervivencia de la mayoría de ellos a pH por debajo de 4 unidades (McKinney 1962 citado por Barrios *et al.* 2000). Por lo anterior, es indispensable evaluar el pH del lodo estabilizado para determinar su influencia en la estabilización.

Durante la investigación los valores de pH en los tratamientos se mantuvieron en el rango de 5.8 a 6.4 (cuadro 13), su comportamiento se ve reflejado en la figura 10.

Cuadro 12. pH de lodos de la PTAR San Juan Talpa.  
pH

Tratamientos	0 días	15 días	30 días	45 días
T1	5,8	5,7	6,5	6,7
T2	5,8	6,2	6,2	6,2
T3	5,8	5,9	6,0	6,3
T4	5,8	6,1	6,3	5,8
T5	5,8	6,4	6,3	5,7
T6	5,8	5,9	6,0	5,3
T7	5,8	6,1	5,9	5,3
T8	5,8	6,2	5,9	5,4
T9	5,8	6,3	6,0	5,6
T10	5,8	5,9	5,9	5,3
T11	5,8	6,3	6,2	5,9
T12	5,8	5,8	6,2	5,3
T13	5,8	6,0	6,0	6,1
T14	5,8	6,3	6,1	6,2
T15	5,8	6,0	6,1	6,0
T16	5,8	6,2	5,9	5,4

Después de 45 días de aplicados los tratamientos y según los datos de pH tomados en cada muestra, se tuvo una disminución del pH, siendo menor en los tratamientos 8 (250 cc/t de ácido peroxiacético + 100 cc/t de digestor de rastrojos), 9 (250 cc/t de ácido peroxiacético + 150 cc/t de digestor de rastrojos), 11 (350 cc/t de ácido peroxiacético + 100 cc/t de digestor de rastrojos) y 13 (350 cc/t de ácido peroxiacético + 200 cc/t de digestor de rastrojos).

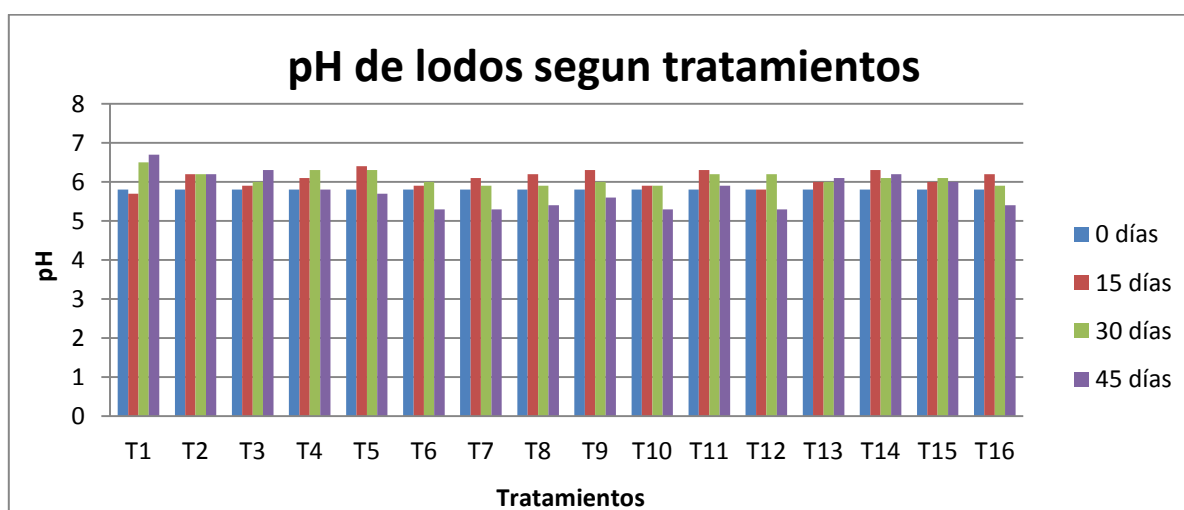


Figura 9. pH de lodos según tratamiento.

En el cuadro 14 se muestra el Análisis de Varianza aplicado a la variable pH, en el cual se observan diferencias significativas en todos los tratamientos, es decir, que al utilizar tanto los productos por separado como con la combinación de ambos, el pH se ve afectado.

Cuadro 13. Análisis de Varianza de pH.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	3.80	17	0.22	2.91	0.0002
<b>Ácido peroxiacético</b>	1.47	3	0.49	6.37	0.0004
<b>Digestor de rastros</b>	0.83	3	0.28	3.58	0.0150
<b>Bioside*Ecodigestor</b>	1.43	9	0.16	2.06	0.0353
<b>Error</b>	13.36	174	0.08		
<b>Total</b>	17.15	191			

Debido a que los tratamientos presentan diferencias significativas se les aplicó la prueba de Contrastes Ortogonales con un nivel de significancia del 5% (cuadro 15).

Se comparó el testigo con las dosis 1 (250 cc/t), 2 (350 cc/t) y 3 (450 cc/t), produciendo efectos no significativos con p-valor 0.1150 en la disminución de Coliformes Fecales.

Se comparó la dosis 1 (250 cc/t) con las dosis 2 (350 cc/t) y 3 (450 cc/t), produciendo efectos significativos con p-valor 0.0001 en la disminución de Coliformes Fecales, siendo mejor las dosis 2 y 3 en 15.67 unidades más que la dosis 1.

Se comparó la dosis 2 con la dosis 3, produciendo efectos no significativos con p-valor 0.3408 en la disminución de Coliformes Fecales

Cuadro 14. Contrastes Ortogonales aplicados a los tratamientos con Ácido peroxiacético para pH.

Ácido peroxiacético	Contraste	E.E	SC	gl	CM	F	p-valor
Testigo con dosis 1, 2 y 3	-0.28	0.18	0.19	1	0.19	2.51	0.1150
Dosis 1 con dosis 2 y 3	0.32	0.08	1.20	1	1.20	15.67	0.0001
Dosis 2 con dosis 3	-0.17	0.18	0.07	1	0.07	0.91	0.3408
<b>Total</b>			1.47	3	0.49	6.37	0.0004

Debido a que los tratamientos con Digestor de rastros presentan diferencias significativas, se les aplicó la prueba de Contrastes Ortogonales con un nivel de significancia del 5% (cuadro 16).

Se comparó el testigo con las dosis 1 (100 cc/t), 2 (150 cc/t) y 3 (200 cc/t), produciendo efectos significativos con p-valor 0.0047 en la disminución de Coliformes Fecales, siendo mejor las tres dosis en 8.21 unidades más que el testigo.

Se comparó la dosis 1 (100 cc/t) con las dosis 2 (150 cc/t) y 3 (200 cc/t), produciendo efectos no significativos con p-valor 0.6774 en la disminución de Coliformes Fecales.

Se comparó la dosis 2 con la dosis 3, produciendo efectos no significativos con p-valor 0.1260 en la disminución de Coliformes Fecales

Cuadro 15. Contrastes Ortogonales aplicados a los tratamientos con Digestor de rastrojos para pH.

Digestor de rastrojos	Contraste	E.E	SC	gl	CM	F	p-valor
Testigo con dosis 1, 2 y 3	-0.51	0.18	0.63	1	0.63	8.21	0.0047
Dosis 1 con dosis 2 y 3	0.03	0.08	0.01	1	0.01	0.17	0.6774
Dosis 2 con dosis 3	-0.27	0.18	0.18	1	0.18	2.36	0.1260
Total			0.83	3	0.28	3.58	0.0150

Durante la investigación los valores de pH se mantuvieron dentro del rango de 5.8 a 6.4. De acuerdo a lo reportado por Madigan *et al.* (2004), Metcalf & Eddy (2003), Perry *et al.* (1999), Levett (1990) citados por Figueroa Hernández (2007), éste pH resulta favorable para el crecimiento de los Coliformes Fecales. Por lo tanto, el pH no contribuyó a la eliminación de los Coliformes Fecales, únicamente favoreció las condiciones de incubación y multiplicación.

Según Cota Espericueta y Ponce Corral (2008) en pH ácidos menores de 6.0, los Coliformes Fecales no son favorecidos en su reproducción y esta condición contribuye a su inactivación. Mientras que los pH en el rango ácido-neutro, arriba de 6.2, reflejan condiciones favorables para su supervivencia.

### 3) Temperatura

La temperatura ambiente del lugar donde se realizó la investigación fue de 34° C a los 0 días de aplicar los tratamientos, 32° C a los 15 días, 31° C a los 30 días y 32° C a los 45 días. En el cuadro 17 se presentan las temperaturas según tratamiento a los 0, 15, 30 y 45 días.



Cuadro 16. Temperaturas promedio según tratamientos.

Tratamientos	Temperatura			
	0 días	15 días	30 días	45 días
T1	29,2° C	27,1° C	27,2° C	28,7° C
T2	29,0° C	27,7° C	27,9° C	28,0° C
T3	28,7° C	27,3° C	27,7° C	27,6° C
T4	29,4° C	27,1° C	27,5° C	27,7° C
T5	29,0° C	27,3° C	27,5° C	27,3° C
T6	29,3° C	27,4° C	27,5° C	27,9° C
T7	29,3° C	27,7° C	27,4° C	27,3° C
T8	29,5° C	27,9° C	28,0° C	27,8° C
T9	29,4° C	27,4° C	27,7° C	27,8° C
T10	29,0° C	28,0° C	27,7° C	27,8° C
T11	29,4° C	28,0° C	27,2° C	27,7° C
T12	28,9° C	27,3° C	27,8° C	27,7° C
T13	29,1° C	27,8° C	27,6° C	28,0° C
T14	29,3° C	28,0° C	28,0° C	27,9° C
T15	29,0° C	27,7° C	27,8° C	27,7° C
T16	29,3° C	27,7° C	27,8° C	28,0° C

Las temperaturas obtenidas en cada tratamiento fueron menores a la temperatura ambiente debido a que estaban bajo techo, el comportamiento de cada tratamiento se muestra en la figura 11.

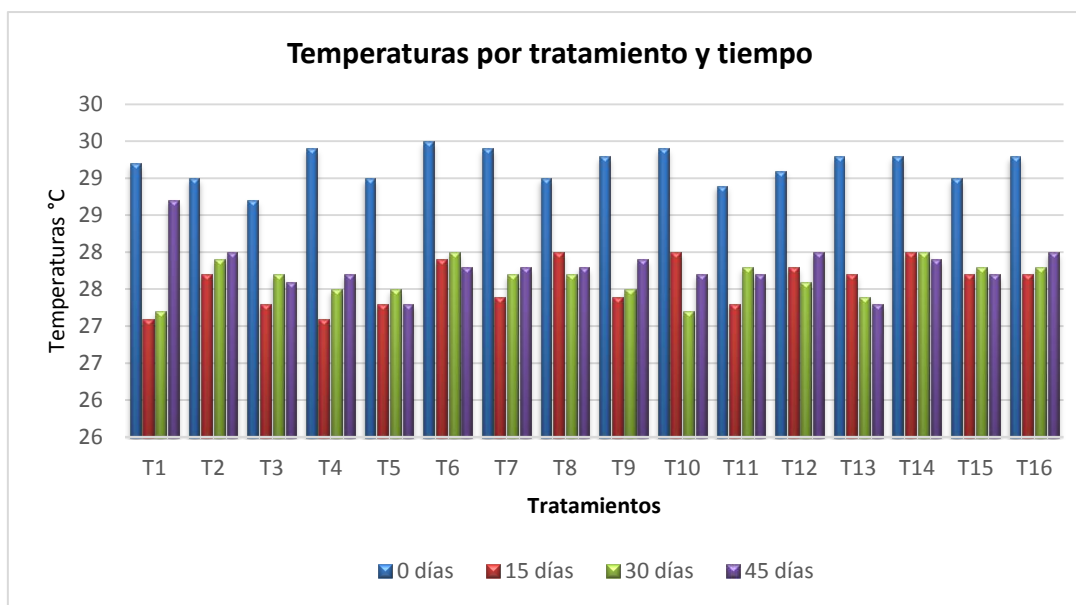


Figura 10. Comportamiento de la temperatura según tratamientos.

En el cuadro 18 se presenta el Análisis de Varianza de la variable temperatura. Según Cota Espericueta y Ponce Corral (2008) los Coliformes Fecales son organismos mesofílicos cuyo crecimiento óptimo se encuentra entre 25° y 40° C; a temperaturas menores de 20° C se hallan en estado de latencia y a temperaturas mayores de 50° C mueren. Las temperaturas promedio en las que se mantuvieron los lodos fue de 27° C – 28° C, volviéndose temperaturas óptimas para el crecimiento y desarrollo de los coliformes fecales.

Cuadro 17. Análisis de Varianza de Temperatura.

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	9.72	17	0.57	0.86	0.6163
<b>Ácido peroxiacético</b>	0.55	3	0.18	0.28	0.8433
<b>Digestor de rastros</b>	2.25	3	0.75	1.14	0.3363
<b>Bioside*Ecodigestor</b>	1.37	9	0.15	0.23	0.9898
<b>Error</b>	115.04	174	0.66		
<b>Total</b>	124.76	191			

Estadísticamente puede observarse efectos no significativos sobre los tratamientos, esto quiere decir, que independientemente del producto utilizado y de la combinación de ambos, se obtienen los mismos resultados, por lo que la temperatura no se ve afectada.

## 5. CONCLUSIONES

El tratamiento con ácido peroxiacético que mayor reducción de Coliformes Fecales obtuvo fue el T13 (dosis de 450 cc/t), disminuyendo las poblaciones de Coliformes Fecales desde 1,414,214 NMP/g hasta 1,368 NMP/g, clasificando los lodos en clase C según la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, para este parámetro.

El tratamiento con digestor de rastrojos que mayor reducción de Coliformes Fecales obtuvo fue el T3 (dosis de 150 cc/t), disminuyendo las poblaciones de Coliformes Fecales desde 1,414,214 NMP/g hasta 1,636 NMP/g, clasificando los lodos en clase C según la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, para este parámetro.

La mejor combinación de los tratamientos fue el T11 (dosis de 350 cc/t Ácido Peroxiacético + 150 cc/t de Digestor de rastrojos), disminuyendo las poblaciones desde 1,414,214 NMP/g hasta 3,046 NMP/g, clasificando los lodos en clase C según la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, para este parámetro.

El tratamiento que presentó mayor cantidad promedio de Coliformes Fecales fue el T1 (testigo) con 66,667 NMP/g, y se clasifica en C por la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002 según este parámetro.

Según los resultados promedios de Coliformes Fecales de cada tratamiento, estos se clasifican en C para este parámetro; bajo la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002, en esta categoría; si los lodos cumplen además con los requerimientos para *Salmonella sp* y Huevos del Helminthos, pueden utilizarse restringidamente, sin haber contacto directo por el público, pudiendo aprovecharse como mejoradores de suelo, en usos agrícolas y usos forestales.

La disminución de pH, las temperaturas altas y la pérdida de agua durante los tratamientos favorecen la eliminación de los coliformes fecales, en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa.

## 6. RECOMENDACIONES

Realizar análisis de contenido de *Salmonella* y Huevos de Helmintos a los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa, para saber si cumplen con los límites máximos permisibles de la Norma NOM-004-SEMARNAT-2002 y con ello puedan ser utilizados en agricultura.

Utilizar el digestor de rastrojos y el ácido peroxiacético por separado, debido a que presentan una mayor efectividad al utilizarlos de forma separada que combinados y al mismo tiempo facilita su manejo.

El ácido peroxiacético y el digestor de rastrojos deben de aplicarse en lodos con bastante humedad para que tengan mayor superficie de contacto y sean más efectivos, permitiendo que actúen de forma más rápida en la eliminación de microorganismos patógenos.

Hacer más investigaciones para conocer que otras dosis de los productos utilizados puedan resultar más efectivas para la rápida eliminación de los coliformes fecales.

Hacer investigaciones aplicando los productos directamente en los patios de secado, para evaluar su efectividad por los periodos de contacto como por la temperatura y la radiación solar.

Realizar análisis de nutrientes a los lodos de la PTAR de San Juan Talpa, para conocer su composición y utilizarlos como enmiendas en suelos agrícolas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Aguillón Martínez, JR; Escobar Portillo, JR; Romero Torres, RP. 1993. Evaluación de tres dosis de un digestor enzimático de rastros para la producción de abono orgánico a partir de estiércol de ganado bovino. Tesis Ing. Agr. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. 62 p.
- ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados). 2015. Boletín Estadístico 2015. San Salvador, El Salvador. No. 37.
- Araujo, I; Méndez, MA; Senior, A; Delgado, JG; Cárdenas, C; Navarro, J. 2010. Determinación de *Salmonella* en lodos flotantes y su Influencia en el tratamiento de aguas servidas del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. 7 p.
- Barrios Pérez, JA; Jiménez, B; Gonzáles, O; Salgado, G; Sanabria, L; Iturbe, R. 2000. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida. Distrito Federal, México. 10 p.
- Barrios Pérez, JA; Jiménez Cisneros, BE; Maya Rendón, C. 2002. Tratamiento ácido de lodos residuales fisicoquímicos para reducir el contenido de microorganismos. Coyoacán, México. 7 p.
- Bonilla de Torres, BL; Carranza Estrada, FA; Arias de Linares, AY; Flores Tensos, JM. 2010. Manual de química analítica y química agrícola para: Medicina Veterinaria, Ingeniería Agronómica e Ingeniería Agroindustrial. Ciudad universitaria, Universidad de El Salvador. 74 p.
- Campos, R. 2014. Estudio de caso de la operación, mantenimiento y re-uso en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Suchitoto (diapositiva). San Salvador, El Salvador. 34 diapositivas, color.

- Cota Espericueta, AD; Ponce Corral, C. 2008. Eliminación de bacterias patógenas en lodos residuales durante el secado solar. *Revista Internacional de Contaminación*. 24 (4): 161-170.
- Cinco hache (5h). 2015. *Ecodigestor: digestor ecológico balanceado*. El Salvador. 4 p.
- EnviroTech. 2016. *BioSide™ HS 15% (Ácido Peroxiacético/PAA)*. El Salvador. 1 p.
- Espigares García, M; Pérez López, JA. 1995. *Aguas residuales: Composición*. Granada, España. 22 p.
- Figuroa Hernández, C. 2007. *Cuantificación de coliformes fecales en lodos residuales durante el procesado de secado solar*. Tesis Lic. Juárez, México. Instituto de Ciencias Biomédicas. 38 p.
- Flores, M; Nieres, P; Cassano, AE; Labas, MD. 2008. *Desinfección de agua con ácido peracético: una alternativa económica y ecológica*. Santa Fe, Argentina. 4 p.
- Gálvez Martínez, RA; Hernández Realegeño, LA; Pichinte Serrano, DA. 2005. *Diagnóstico del funcionamiento actual de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas en el área metropolitana de San Salvador construidas desde 1990*. Tesis Ing. Civil. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. 292 p.
- García, C. 2015. *Cogeneración (en línea)*. Colombia. Consultado: 03 nov 2016. Disponible en <http://ingenieriamecanicacol.blogspot.com/2015/05/rankinecogeneradorankinecogenerated.html>.
- Gonzáles, A; Rodríguez, A; Barrios, J; Maya, C; Jiménez, B. 2010. *Evaluación del tratamiento de lodo fisicoquímico con ácido acético y peracético para producir biosólidos*. UNAM. Coyoacán, México. 11 p.
- GWP Centroamérica (Global Water Partnership Centroamérica, Honduras). 2013. *Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal*. Tegucigalpa, Honduras. 76 p.

- GWP (Global Water Partnership, Francia); INBO (International Network of Basin Organizations, Francia). 2009. Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Empresa grafica Mosca DL. 112 p.
- Lares Mena, JG. 2007. Cuantificación de *Salmonella spp* durante el proceso de secado solar de lodos generados en plantas tratadoras de aguas residuales. Tesis Lic. Qca. Juárez, México. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 46 p.
- Limón Macías, JG. 2013. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o Recurso?. Guadalajara, Jalisco, México. 45 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2013. Estrategia Nacional de Saneamiento Ambiental (en línea). Consultado 15 dic. 2015. Disponible en [http://www.marn.gob.sv/descarga/documentos/ENSA\\_separata.pdf](http://www.marn.gob.sv/descarga/documentos/ENSA_separata.pdf).
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador); CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 2015. Curso de capacitación sobre recomendaciones para la selección de tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas: Tratamiento de lodos (diapositivas). 19 diapositivas.
- Martínez Argueta, AA; Zelada Guevara, CA; Herrera Martínez, ME. 2005. Creación de un modelo de Sistemas de Información Geográficos (SIG) para una finca, caso Campo Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Tesis Ing. Agr. El Salvador. Universidad de El Salvador. 98 p.
- Mendoza, MV; Vigíl Sánchez, JA. 2012. Evaluación Físico - Química y Microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. Tesis Ing. Agr. El Salvador. Universidad de El Salvador. 133 p.
- ONU Women (Organización de las Naciones Unidas Mujeres, Estados Unidos). 2015. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (en línea). Consultado 26 feb. 2016. Disponible en <http://www.unwomen.org/es/what-we-do/post-2015>.

ONU (Organización de las Naciones Unidas, Estados Unidos). 2015. Objetivo 14: Vida submarina (en línea). Consultado 14 jul. 2016. Disponible en <http://onu.org.pe/ods-14>.

Oropeza García, N. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo. Revista Caos conciencia. 1: 51-58.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos). 2015. Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento (en línea). Consultado 15 dic. 2015. Disponible en <http://www.undp.org/content/undp/es/home/mdgoverview/post2015developmentagenda/goal-6.html>

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos). 2016. Objetivo 3: Buena salud (en línea). Consultado 14 jul. 2016. Disponible en <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/post2015developmentagenda/goal-3.html>

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos). 2016. Objetivo 15: Vida en la tierra (en línea). Consultado 14 jul. 2016. Disponible en <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/post2015developmentagenda/goal-15.html>

PROARCA (Programa Ambiental Regional para Centroamérica, El Salvador). 2003. Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales. Guatemala. 77 p.

Rivera, ME; Perla, GM; Orellana, GA. 1991. Tratamiento de la pulpa de café con un digestor enzimático para su conversión en abono orgánico. Revista Abecafé nov 1991. 22-26.

Rodríguez Pérez, CA. 2015. Reglamento para el manejo y disposición final de lodos y biosólidos n° 234. Diario oficial La Gaceta. Costa Rica. 2 dic. 2015.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México). 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos (en línea). México. 44 p. Consultado 06 feb. 2016. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/200610lodos.pdf>



SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, Argentina). 2006. El ácido peracético (en línea). Consultado 01 jun. 2016. Disponible en <https://viejaweb.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=888&io=4117#>.

Torres Carranza, E. 2000. Reutilización de aguas y lodos residuales (en línea). Consultado 06 ene. 2016. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>

Trejos Vélez, M; Agudelo Cardona, N. 2012. Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa "Comestibles La Rosa" como alternativa para la generación de biosólidos. Tesis Admón. Ambiental. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. 104 p.

UN (Naciones Unidas, Estados Unidos). 2015. Objetivo 2: Hambre cero (en línea). Consultado 14 jul. 2016. Disponible en <http://www.un.org/es/zerohunger/challenge.shtml>

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Composición de lodos residuales.

Concepto	Unidades	Lodo primario	Lodo primario digerido	Lodo secundario
Concentración de sólidos	%	5 - 9	2 - 5	0.8 - 1.2
Sólidos volátiles	% de ST <sup>1</sup>	60 - 80	30 - 60	59 - 88
Proteína	% de ST	20 - 30	15 - 20	32 - 41
Nitrógeno (N)	% de ST	1.5 - 4	1.6 - 3	2.4 - 5
Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	% de ST	0.8 - 2.8	1.5 - 4	2.8 - 11
Oxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	% de ST	0 - 1	0 - 3	0.5 - 0.7
Celulosa	% de ST	8 - 15	8 - 15	-
Hierro	% de ST	2 - 4	3 - 8	-
Óxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	% de ST	15 - 20	10 - 20	-
pH	u. pH	5 - 8	6.5 - 7.5	6.5 - 8
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /l	500 - 1,500	2,500 - 3,500	580 - 1,100
Ácidos orgánicos	mg HAc/l	200 - 2,000	100 - 600	1,100 - 1,700
Contenido energético	kJ ST/kg	23,000 - 29,000	9,000 - 14,000	19,000 - 23,000

Fuente: Elaborado con base en Metcalf & Eddy (2003) citado por Limón Macías (2013).

<sup>1</sup>ST = Sólidos totales.

Anexo 2. Indicadores comunes de contaminación fecal.

Organismo indicador	Características
Coliformes totales	Bacilos gram negativos fermentadores de lactosa y producción de gas a 35° C de 24 a 48 horas. Incluye los géneros de <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Enterobacter</i> y <i>Citrobacter</i> .
Coliformes fecales	Producen gas a 44.5° C en 24 horas. Incluye los géneros de <i>Escherichia coli</i> (aprox. 90%), <i>Klebsiella</i> y <i>Citrobacter</i> .
<i>Escherichia coli</i>	Coliformes totales, termotolerantes con crecimiento a 35° C en 24 horas.
<i>Klebsiella</i>	Es el coliforme más representativo del grupo fecal.
Bacteroides	Organismos anaeróbicos indicadores específicos de contaminación humana.
<i>Streptococo fecal</i>	Utilizado para determinación de contaminación fecal reciente.
Enterococo	Organismo presente a concentración baja pero resistente en aguas de mar.
<i>Clostridium perfringens</i>	Organismo esporulado anaeróbico persistente.
<i>P. aeruginosa</i> y <i>A. hydrophyla</i>	Organismos presentes en aguas residuales domésticas en concentraciones altas.

Fuente: Elaborado con base en Metcalf & Eddy (2003) citado por Limón Macías (2013).

### Anexo 3. Determinación de humedad total

#### **Introducción**

La humedad total se determina en muestras como: melaza, concentrados, harinas de origen vegetal, tejidos vegetales, tejidos animales, miel, otras. Esta técnica elimina el agua fuertemente enlazada a la muestra y sirve el valor para reportar los datos del análisis en base seca.

#### **Fundamento del método**

La cantidad de agua se elimina por calentamiento de la muestra en una estufa de vacío a temperatura de 105° C durante cinco horas y presión de 100 mm de Hg.

#### **Equipo**

- Estufa de vacío
- Balanza analítica
- Desecador de gabinete con desecante

#### **Materiales**

- Caja de aluminio para humedad
- Pinza tipo tijera de acero inoxidable
- Termómetro graduado 0 – 150° C

#### **Procedimiento**

- Calentar a 105° C en una estufa corriente la caja de aluminio durante un período de 2 horas. Enfriar en desecador 30 minutos, pesar en balanza analítica (anotar el peso).
- En la misma caja pesar más o menos dos gramos de muestra previamente homogenizada (anotar el peso).
- Colocar destapada la caja de aluminio más muestra en la estufa de vacío, previamente calentada a 105° C, durante 5 horas. Ajustar bien la presión del vacío.
- Retirar la caja de la estufa, tapar y poner en desecador para que enfríe durante 30 minutos (anotar el peso).

**Cálculos**

- a) Peso de muestra = (Peso de caja + muestra antes de secar) – peso de caja vacía
- b) Pérdida de peso = (Peso de caja + muestra antes de secar) – (Peso de caja + muestra después de secar)

**Fórmula para calcular porcentaje de humedad total**

$$\% \text{ de humedad total} = \frac{\text{Pérdida de peso } g}{\text{Peso de muestra } g} \times 100$$

## Anexo 4. Determinación de pH bajo el método potenciométrico

### Introducción

La determinación de pH es de gran importancia en el campo agropecuario, esta técnica analítica se utiliza para conocer el pH de muestras de suelos, agua, jugos de fruta, leche, miel, ensilaje, otras. Esta determinación se considera como un método electroanalítico y se refiere a la concentración de iones hidrogeno libre y es la aplicación más común de las celdas electroquímicas.

### Componente de una celda:

- Un electrodo indicador de potencial variable
- Un electrodo de referencia de potencial constante
- Un puente salino, permite que se transfieran cargas de una solución a otra sin que dichas soluciones se mezclen, generalmente es un tubo de vidrio lleno de solución de cloruro de potasio.
- Dos semiceldas con soluciones electrolíticas en las que están sumergidas los electrodos.

### Formas de determinar el pH

#### Colorimétricamente

Utilizando colorantes orgánicos llamados indicadores que presentan colores diferentes en la forma disociada y sin disociar en presencia de una sustancia ácida o alcalina.

#### Electrométricamente

Midiendo la fuerza electromotriz (fem) de una celda galvánica a través de la cual la corriente que pasa es virtualmente cero, por lo que no tienen lugar cambios importantes en la concentración de las especies electroactivas. La variable que nos interesa es la modificación del potencial de un electrodo sencillo o semicelda en que tienen lugar variaciones de la concentración de uno o ambos componentes.

En esta técnica se utilizan los siguientes componentes:

1. Un electrodo de referencia cuyo potencial es constante, este electrodo puede ser de plata/cloruro de plata (AgCl) o de Calomel, entre los que tenemos tres clases que son: el

Electrodo de Calomel saturado (ECS), el Electrodo de Calomel Normal (ECN) y el Electrodo de Calomel Décimonormal (ECD).

2. Un electrodo indicador cuyo potencial es variable, para determinación de pH, universalmente se utiliza el electrodo de vidrio, es decir, que es el responsable directo de la medición del pH y que responde solamente a los iones hidrogeno presentes en una solución de muestra; funciona este electrodo a un rango de pH de 0 a 14 y su potencial no se ve afectado por la presencia de sustancias reductoras u oxidantes.

### **Componentes básicos del electrodo de vidrio**

- Un electrodo de referencia interna (Ag/AgCl)
- Solución electrolítica de ácido clorhídrico en la que está sumergido el electrodo de referencia interna y cuya concentración es conocida.
- Un bulbo de vidrio sensible a los iones hidrogeno constituido de tres membranas llamadas: membrana externa hidratada (que está en contacto con la muestra), membrana intermedia seca y membrana interna hidratada en contacto con la solución de ácido clorhídrico. A través de estas es que se lleva a cabo durante la determinación de pH el intercambio iónico.

### **Materiales:**

- Beaker de 100 ml
- Frasco lavador
- Beaker de 400 ml
- Probeta de 50 ml

**Reactivos:** Soluciones buffer pH 7.0, pH 4.0

### **Equipo:**

- Balanza semianalítica
- Agitador eléctrico de vaivén horizontal
- Potenciómetro completo con electrodos

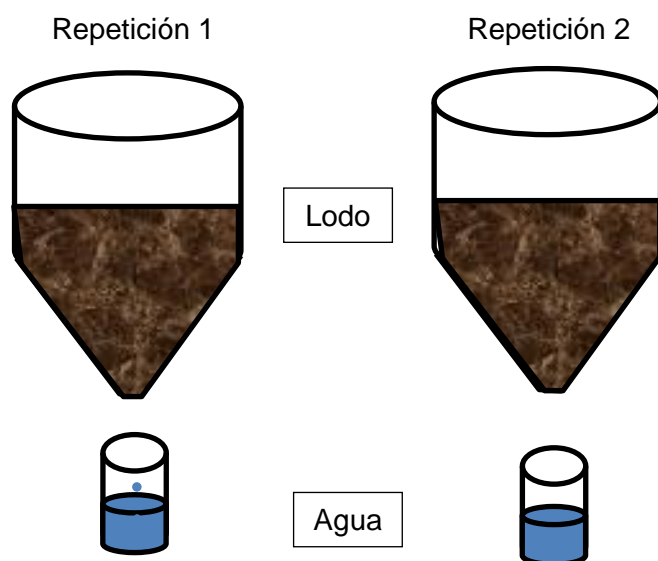
**Procedimiento:**

- En un beaker de 100 ml pesar en balanza semianalítica 5 gramos de suelo secado al aire y tamizado a través de un tamiz N° 10.
- Agregar con probeta 25 ml de agua destilada.
- Agitar durante 5 minutos con agitador eléctrico o 30 minutos si la agitación es manual. Leer inmediatamente en el potenciómetro. Anotar la lectura

### Anexo 5. Cálculo de dosis de Ácido Peroxiacético

El ácido peroxiacético se evaluó bajo tres concentraciones en partes por millón (ppm): 550, 800 y 1,000 ppm. El producto comercial utilizado BioSide posee una concentración de ácido peroxiacético del 15%, de los cuales se determinaron las diferentes dosis utilizadas en los tratamientos.

Este producto es un desinfectante que se utiliza en soluciones y se aplica bajo concentraciones determinadas y para que el producto pueda reaccionar debe de entrar en contacto directo con el material. Para definir cuanto se utilizaría de este producto se realizaron pruebas de saturación en dos repeticiones en las cuales se agregó 1 kg de lodo en un recipiente cónico.



Luego se aplicó agua hasta saturar el material (hasta que escurrió o salieron gotas de agua), luego se dejó estabilizar el drenaje durante 10 minutos; transcurrido el tiempo se volvió aplicar agua con volúmenes conocidos hasta que salían nuevamente gotas de agua. El agua agregada es igual a la cantidad de agua retenida por el material. Posterior a la primera medición se dejó reposar el material 20 minutos y se realizó otra lectura, de la misma manera se hizo con 30 y 60 minutos, obteniendo las siguientes cantidades:



Tiempo	Promedio
10 minutos	66 cc /kg
20 minutos	66 cc /kg
30 minutos	66 cc /kg
60 minutos	70 cc /kg

Se determinó que 1 kg de lodo al saturarlo con agua y dejarlo drenar durante 30-60 minutos, este estabiliza su drenaje y retiene 66 cc/kg en promedio. Esta cantidad es la que entra en contacto con todo el material.

66 cc por kg de lodo x 6 kg de lodo por caja = 396 cc/caja. A partir de este valor se calcularon la cantidad de producto comercial BioSide que se utilizó en los tratamientos. Se debe de recordar que este producto se utiliza en partes por millón (ppm) según recomendación dada por sus distribuidores basadas en estudios previos.

Para una tonelada

6 kg de lodo-----396 ml
1,000 kg de lodo-----X
66,000 ml/1,000 ml= <b>66 Litros</b>

#### Dosis de 550 ppm

1 L de BioSide 15%----- 150,000 ppm

X----- 550 ppm

$X=550 \cdot 1/150,000 = 0.0036$  litros x 1000 ml = 3.6 ml.

Se necesitan 3.6 ml de BioSide para preparar un litro de solución con una concentración de 550 partes por millón. Para una caja necesitan 396 ml de solución con 550 ppm.

#### Para una Caja

3.6 ml de BioSide-----1,000 L de solución con 550 ppm

X-----396 ml de solución con 550 ppm

**X= 1.5 ml de BioSide** para preparar 396 ml de solución con 550 ppm para **una caja**.

### Para una Tonelada

A cada caja se le colocaron 6 kg

6 kg lodo -----1.5 ml de BioSide

1,000 kg de lodo ----- X

**X= 250 ml de BioSide/ tonelada.**

\*Para una Tonelada se necesitan 250 ml de BioSide diluidos en 66 litros de agua, y así obtener una solución con una concentración de 550 ppm.

1 L de Bioside 15%-----150,000 ppm

X----- 800 ppm

$X=800*1/150,000 = 0.0053 \text{ litros} \times 1,000 \text{ ml} = \mathbf{5.3 \text{ ml BioSide}}$

Se necesitan 5.3 ml de BioSide para preparar un litro de solución con una concentración de 800 partes por millón.

### Para una Caja

5.3 ml de BioSide-----1,000 L de solución con 800 ppm

X-----396 ml de solución con 800 ppm

**X= 2.1 ml de BioSide** para preparar 396 ml de solución con 800 ppm para **una caja.**

### Para una Tonelada

Se necesitan 2.1 ml de BioSide para preparar 396 ml de solución para 6 kg de lodo.

2.1 ml de BioSide-----6 kg lodo

X-----1,000 kg de lodo.

**X= 350 ml de BioSide/ tonelada.**

\*Para una Tonelada se necesitan 350 ml de BioSide diluidos en 66 litros de agua, y así obtener una solución con una concentración de 800 ppm.

### Dosis de 1,000 ppm

1 L de Bioside 15%-----150,000 ppm

X-----1,000 ppm

$X=1000*1/150,000 = 0.0066 \text{ litros} \times 1,000 \text{ ml} = \mathbf{6.7 \text{ ml BioSide}}$

Se necesitan 5 ml de BioSide para preparar un litro de solución con una concentración de 1,000 partes por millón. Una caja necesita 396 ml de solución entonces

#### Para una Caja

6.7 ml de BioSide-----1,000 L de solución con 1,000 ppm

x-----396 ml de solución con 1,000 ppm

X= 2.7 ml de BioSide para preparar 396 ml de solución con 1,000 ppm para **una caja**.

#### Para una Tonelada

Se necesitan 2.7 ml de BioSide para preparar 396 ml solución para 6 kg de lodo.

2.7 ml de BioSide----- 6 kg lodo

X-----1,000 kg de lodo.

X= **450 ml de BioSide/ tonelada**.

\*Para una Tonelada se necesitan 450 ml de BioSide diluidos en 66 litros de agua, y así obtener una solución con una concentración de 1,000 ppm.

#### Cálculo de dosis del Digestor de rastrojos

El producto comercial que se utilizó fue Ecodigestor, las dosis utilizadas son 100, 150 y 200 cc por tonelada métrica.

##### Dosis 100 cc/ t

1,000 kg de lodo-----100 cc de producto

6 kg-----x

X = 0.6 cc

##### Cálculo de Agua

100 cc-----20 litros

0.6 cc-----X

X = litros x 1,000 = 120 cc de Agua.

##### Dosis 150 cc/ t

1,000 kg de lodo-----150 cc de producto

6 kg-----x

X = 0.9 cc

##### Cálculo de Agua

150 cc-----20 litros

0.9 cc-----X

X = 0.12 litros x 1,000 = 120 cc de Agua.

**Dosis 200 cc/ t**

1,000 kg de lodo-----200 cc de producto

6 kg-----x

X = 1.2 cc

**Cálculo de Agua**

200 cc-----20 litros

1.2 cc-----X

X = 0.12 litros x 1,000 = 120 cc de Agua.

## Anexo 6. Análisis microbiológico de Coliformes Fecales inicial.

San Salvador, 13 de mayo de 2016

N° de Solicitud: SA0783	N° de Reporte: RA3037
<b>Datos del cliente</b>	
Empresa:	UES Facultad de Ciencias Agronómicas
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	Final 25 avenida norte, San Salvador
Celular:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Planta San Juan Talpa
Fecha de ingreso:	04/05/2016
Hora de ingreso:	03:5 pm
Fecha de análisis:	05/04/2016 al 11/05/2016
Recolectado por:	Ciente

## REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION	RESULTADO	METODO DE ANALISIS*	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS**
Coliformes Fecales NMP/g	1,414,214	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

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

\*\*PROUESTA: \*REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS

Menor a lÍmite mínimo = Excelente

Entre Mínimo a Máximo= Bueno

Mayor al lÍmite = Deficiente

NMP/g: Numero más Probable por gramo    NMP/4g: Numero más probable por 4 gramos    mg/Kg: miligramo por Kilogramo

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo granoso de aspecto húmedo, color negro y olor terreo. Recibido en bolsa plástica.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con una norma de referencia. Pero anexamos la propuesta del reglamento especial para los lodos. Para que puedan comparar los resultados.

**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

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



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO-IEC-17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL

**CCCI**  
ENSAYOS  
LEA-15:07

\*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 1

## Anexo 7. Tratamiento 3, Repetición 2.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5146
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Mx. 11 T3R2
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

## REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	1,000	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

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

\*\*\*PROPUESTA: "REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS  
NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólido, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

**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

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



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO 9001:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL

ENSAYOS  
LEA-15:07

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 1

## Anexo 8. Tratamiento 7 Repetición 2.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5128
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Mx. 29 T7 R2
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

### REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	1,000	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

\*\*Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 21 Th. Edition  
 \*\*\*PROPUESTA: REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS  
 NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólido, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

**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**

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

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

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

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 1



## Anexo 9. Tratamiento 12, Repetición 2

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5156
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Mx. 1 T12R 2
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

## REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	240	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

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

\*\*\*PROPUESTA: \*REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS  
NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólido, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

**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

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

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL

**CCCI**  
ENSAYOS  
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, laboratorio@ccci.com.sv  
Página Web: ccci.com.sv

Página 1 de 1



## Anexo 10. Tratamiento 3, Repetición 3.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5110
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Mx. 47 T3R3
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

### REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	9.2	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

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

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

NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólidos, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

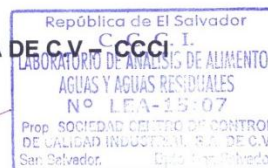
**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

**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**

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



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



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 1

## Anexo 11. Tratamiento 4, Repetición 3

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5150
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Mx. 7 T4R3
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

## REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	1,000	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

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

\*\*\*PROPUESTA: \*REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS  
NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólido, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

**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

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



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL

Pruebas Acreditadas Bajo Norma ISO 17025:2005 en el Ámbito del Alcance  
LEA-15:07

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

## Anexo 12. Tratamiento 7, Repetición 3.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5112
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

<b>Datos Muestra</b>	
Naturaleza	Lodo Mx. 45 T7R3
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

**REPORTE DE ANALISIS**

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	4.5	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

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

\*\*\*PROPUESTA: "REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólidos, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

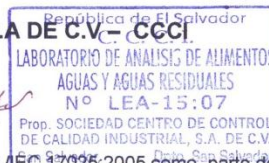
**Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.**

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**

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

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

**CCCI**  
ENSAYOS  
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, laboratorio@ccci.com.sv  
Pagina Web: ccci.com.sv



## Anexo 13. Tratamiento 11, Repetición 3.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5112
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

<b>Datos Muestra</b>	
Naturaleza	Lodo Mx. 45 T11 R3
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

**REPORTE DE ANALISIS**

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	4.5	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

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

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

NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólidos, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

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

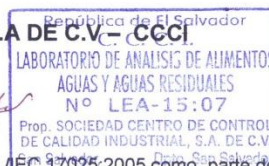
Los resultados del presente reporte corresponden en procedencia y código a la muestra indicada. Por políticas de confidencialidad y derechos de autor, la reproducción total de este reporte debe ser autorizada por el cliente; el Centro de Control de Calidad Industrial no autoriza la copia parcial del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

Atentamente,

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

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

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**

**CCCI**  
ENSAYOS  
LEA-15:07

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

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 1

## Anexo 14. Tratamiento 13, Repetición 3.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5113
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

<b>Datos Muestra</b>	
Naturaleza	Lodo Mx. 44 T13R3
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

**REPORTE DE ANALISIS**

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	32	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

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

\*\*\*PROPUESTA: "REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólidos, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

**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

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



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL

**OSA**  
ENSAYOS  
LEA-15:07

\*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

## Anexo 15. Tratamiento 14, Repetición 3.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5111
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Mx. 46 T14R3
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

## REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	17	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

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

\*\*\*PROPUESTA: "REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólidos, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

**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

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



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL



\*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, laboratorio@ccci.com.sv  
Página Web: ccci.com.sv

Página 1 de 1



## Anexo 16. Tratamiento 15, Repetición 3.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5124
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Mx. 33 T15 R3
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

### REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	2	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

\*\*Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 21 Th. Edition  
 \*\*\*PROPUESTA: 'REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS  
 NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólido, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

**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**

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



El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



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 1

## Anexo 17. Testigo - Tratamiento 1, Repetición 1.

San Salvador, 18 de agosto de 2016

N° de Solicitud: SA1289	N° de Reporte: RA5143
<b>Datos del cliente</b>	
Responsable:	Valery Denise Nájera Abarca
Dirección:	San Salvador
Teléfono:	7096-0465
Email:	vale_risa93@hotmail.com

Datos Muestra	
Naturaleza	Lodo Mx. 14 T1 R3
Fecha de ingreso:	27/07/2016
Hora de ingreso:	02:12 pm
Fecha de análisis:	28/07/2016 a 30/07/2016
Recolectado por:	Cliente

## REPORTE DE ANALISIS

DETERMINACION MICROBIOLÓGICA	RESULTADO	METODO DE ANALISIS**	TABLA 1. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES MÁXIMOS DE LODOS***
Coliformes Fecales NMP/g	92,000	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

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

\*\*\*PROPUESTA: "REGLAMENTO ESPECIAL SOBRE LA GESTION INTEGRAL DE LODOS NMP/g: Numero más Probable por gramo

**CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:** Lodo sólido, color café y olor característico. Recibido en bolsa plástica con cierre hermético.

**OBSERVACIÓN:** No se cuenta con norma Salvadoreña para Lodos, sin embargo anexamos la Propuesta Reglamento especial sobre la gestión integral de lodos para que pueda hacer comparación de los resultados.

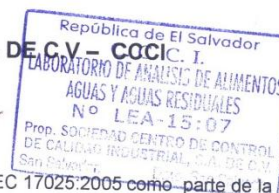
**Su muestra se conservará por 24 horas después de la recepción del presente informe, para atender cualquier necesidad adicional.**

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 - CCCIC. I.**

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

El CCCI trabaja con un sistema de Calidad Implementado bajo la Norma NTS ISO /IEC 17025:2005 como parte de la garantía de la calidad de nuestros procesos dirigida a nuestros clientes



ANALIZANDO Y ASESORANDO PARA UNA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE

**CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL**



\*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, laboratorio@ccci.com.sv  
Pagina Web: ccci.com.sv

Página 1 de 1



## Anexo 18. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan Talpa.



## Anexo 19. Digestor de lodos de PTAR de San Juan Talpa.





Anexo 20. Patios de secado de la PTAR de San Juan Talpa.



Anexo 21. Tratamientos establecidos en la EEP.



Anexo 22. Toma de muestras para análisis finales.



Anexo 23. Muestras para ser enviadas al laboratorio CCCI para análisis finales,

