



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MEDIO AMBIENTE**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**APROVECHAMIENTO DE LODOS PROCEDENTES DEL
PROCESAMIENTO DE HARINA DE PESCADO DE TADEL S.A. COMO
ALTERNATIVA EN RECUPERAR SUELOS PARA USO FORESTAL**

AUTORES:

**MARQUINEZ MONCAYO JULIO ABIGAIL
ZAMBRANO RIZO HÉCTOR ANDRÉS**

TUTOR:

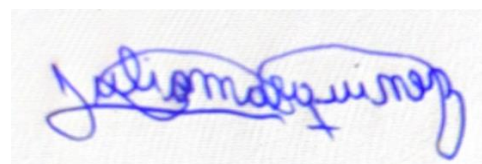
ING. JULIO ABEL LOUREIRO SALAVARRÍA Ms.C

CALCETA, FEBRERO 2021

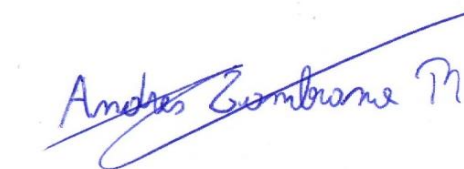
DERECHOS DE AUTORÍA

MARQUINEZ MONCAYO JULIO ABIGAIL con cédula de ciudadanía 1314141373, Y **ZAMBRANO RIZO HÉCTOR ANDRÉS** con cédula de ciudadanía 1314751973, declaran bajo juramento que el Trabajo de Titulación titulado: **APROVECHAMIENTO DE LODOS PROCEDENTES DEL PROCESAMIENTO DE HARINA DE PESCADO DE TADEL S.A. COMO ALTERNATIVA EN RECUPERAR SUELOS PARA USO FORESTAL** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



**JULIO ABIGAIL
MARQUINEZ MONCAYO**



**HÉCTOR ANDRÉS
ZAMBRANO RIZO**

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. JULIO ABEL LOUREIRO SALAVARRÌA, M.Sc, certifica haber tutelado el proyecto **APROVECHAMIENTO DE LODOS PROCEDENTES DEL PROCESAMIENTO DE HARINA DE PESCADO DE TADEL S.A. COMO ALTERNATIVA EN RECUPERAR SUELOS PARA USO FORESTAL**, que ha sido desarrollada por **JULIO ABIGAIL MARQUINEZ MONCAYO** y **HÉCTOR ANDRÉS ZAMBRANO RIZO**, previo a la obtención del título de ingeniero en medio ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



ING. JULIO ABEL LOUREIRO SALAVARRÌA, M.Sc

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **APROVECHAMIENTO DE LODOS PROCEDENTES DEL PROCESAMIENTO DE HARINA DE PESCADO DE TADEL S.A. COMO ALTERNATIVA EN RECUPERAR SUELOS PARA USO FORESTAL**, que ha sido propuesto, desarrollado por **JULIO ABIGAIL MARQUINEZ MONCAYO** y **HÉCTOR ANDRÉS ZAMBRANO RIZO**, previa la obtención del título de ingeniero en medio ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



ING. PATRICIO NOLES., M.Sc
MIEMBRO



ING. SERGIO ALCÍVAR., M.Sc
MIEMBRO



ING. FABRICIO ALCÍVAR., M.Sc
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

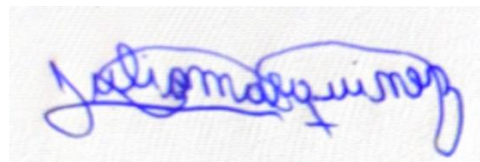
Nuestro agradecimiento en primer lugar es a Dios por estar con nosotros en todo momento de nuestra instancia de la vida universitaria.

A nuestras familias por siempre brindarnos apoyo en momentos cuando se necesitan, ya que por ellos cumplimos con todos nuestros logros, donde también incluimos este.

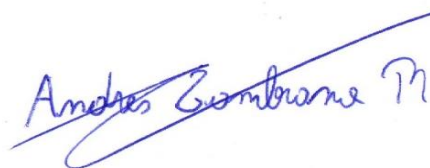
Al ingeniero Julio Loureiro, por guiarnos como tutor del tema y también por ser ejemplo de persona de profesional. Además, excelente amigo predispuesto por la realización y apoyo incondicional en la elaboración de esta tesis.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

A nuestros amigos y compañero de tesis, por esos de momentos de chistes, bromas, pero sobre todo son importantes para solucionar problemas que se presentaban en el aula de clase.



**JULIO ABIGAIL
MARQUINEZ MONCAYO**



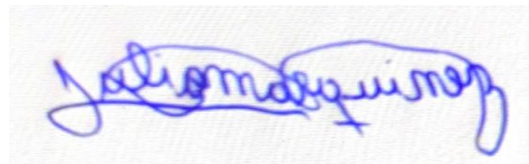
**HÉCTOR ANDRÉS
ZAMBRANO RIZO**

DEDICATORIA

A Dios, por estar en los momentos necesarios quien siempre me condujo al buen camino.

A mi madre Nieve Moncayo, por ser una mujer luchadora y admirable cuyos consejos me motivaron a alcanzar mis metas y ser un gran profesional.

A mi padre Abigail Marquinez, por ser el eje principal de mi familia y enseñarme a valorar cada esfuerzo y siempre tener ganas de ayudar al más necesitado.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Julio Abigail Marquinez Moncayo', written in a cursive style.

**JULIO ABIGAIL
MARQUINEZ MONCAYO**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a Dios, por tener con vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi vida.

A mi madre, que desde el cielo siempre me cuida y me la imagino muy orgullosa de mis logros.

A mi padre, que siempre se esmeró en darme lo que más pudo durante el tiempo de universidad, también con su apoyo incondicional para afrontar todas las pruebas que nos pone la vida.

A mi hermana y su familia por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en todo momento que los necesite.

A mis abuelos paternos, por formarme con valores, principios y sobre todo humildad.

A mis amigos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar como una persona de calidad.



**HÉCTOR ANDRÉS
ZAMBRANO RIZO**

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL	viii
CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
PALABRAS CLAVE	xiii
ABSTRACT.....	xiv
KEY WORDS.....	xiv
CAPITULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4 HIPÓTESIS.....	5
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 LODOS RESIDUALES.....	6
2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LODOS RESIDUALES	6
2.1.2 TIPOS DE LODOS RESIDUALES.....	7
2.1.3 ORIGEN DE LOS LODOS.....	8
2.1.4 NORMATIVAS INTERNACIONALES PARA MANEJO DE LODOS.....	8
2.1.5 CARACTERIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES.....	11
2.1.6 BIOSÓLIDOS	11

2.1.7	APROVECHAMIENTO DE LODO	11
2.2	SUELOS	12
2.2.1	USOS DE SUELOS.....	12
2.2.2	TIPOS DE SUELOS	13
2.2.3	SUELOS SALINOS	13
2.2.4	SUELOS DEGRADADOS.....	14
2.2.5	CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS.....	15
2.2.6	ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE NITRÓGENO	16
2.2.7	ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE FÓSFORO	16
2.3	PORCENTAJE DE GERMINACIÓN.....	17
2.3.1	ESPECIE FORESTAL MELINA.....	18
2.4	RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS CON LR EN OTROS PAISES	19
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....		21
3.1	UBICACIÓN.....	21
3.2	DURACIÓN DEL TRABAJO	21
3.3	FACTOR EN ESTUDIO	21
3.4	NIVELES DE ESTUDIO	22
3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22
3.6	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	23
3.7	VARIABLES EN ESTUDIO	24
3.7.1	VARIABLE DEPENDIENTE.....	24
3.7.2	VARIABLE INDEPENDIENTE	24
3.8	CUADRO DE VARIANTES	24
3.9	MÉTODOS Y TÉCNICAS	25
3.9.1	MÉTODOS.....	25
3.9.2	TÉCNICAS	26
3.10	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26
3.11	PROCEDIMIENTOS	26

3.11.1	FASE 1. CLASIFICACION DE LOS LODOS RESIDUALES DE TADEL S.A. MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE NORMAS INTERNACIONALES.	26
3.11.2	FASE 2. DETERMINACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO EN COMBINACIONES DE SUELO DEGRADADO CON EL LODO RESIDUAL DE TADEL S.A.....	29
3.11.3	FASE 3. ESTIMACIÓN DEL COSTO EN LA UTILIZACIÓN DEL LODO RESIDUAL DE TADEL S.A. PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS.....	32
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		33
4.1	FASE 1. CLASIFICACION DE LOS LODOS RESIDUALES DE TADEL S.A. MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE NORMAS INTERNACIONALES.	33
4.2	FASE 2. DETERMINACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO EN COMBINACIONES DE SUELO DEGRADADO CON EL LODO RESIDUAL DE TADEL S.A. 37	
4.3	FASE 3. ESTIMACIÓN DEL COSTO EN LA UTILIZACIÓN DEL LODO RESIDUAL DE TADEL S.A. PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS.....	44
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		33
5.1	CONCLUSIONES	33
5.2	RECOMENDACIONES	33
BILIOGRAFÍA		47
ANEXOS		53

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

Cuadro 2.1	Características típicas de los lodos residuales.....	7
Cuadro 2.2.	Límites máximos permisibles de categorización de biosólidos.....	9
Cuadro 2.3	Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos.....	10
Cuadro 2.4.	Concentraciones límites máximas permisibles de metales pesados en los lodos según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.	10

Cuadro 2.5 Concentraciones límites máximas permisibles de patógenos y parásitos en los lodos según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002	10
Cuadro 2.6. Comparación de parámetros entre lodos y biosólidos.....	11
Cuadro 2.7. Aprovechamiento de biosólidos.	12
Cuadro 2.8. Anexo 2 Tabla 2 del libro VI del TULSMA, Criterios de calidad del suelo. 16	
Cuadro 2. 9. Niveles de nitrógeno	16
Cuadro 2. 10. Niveles de Fósforo y Potasio.	17
Cuadro 2.11. Morfología de la especie Melina	19
Cuadro 3.1. Descripción del experimento.....	22
Cuadro 3.2. Niveles de la concentración de lodo residual.	22
Cuadro 3.3. Niveles de la concentración de NP de la mezcla lodo-suelo en cada unidad experimental.	22
Cuadro 3.4. Diseño experimental	23
Cuadro 3.5. Cuadro de variables.....	24
Cuadro 3.6. Materiales para determinación de porcentaje de humedad.....	27
Cuadro 3.7. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de pH y conductividad eléctrica.	28
Cuadro 3.8. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de nitrógeno y fosforo.....	28
Cuadro 3.9. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de Cd y Pb.	28
Cuadro 3.10. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de Coliformes fecales.	29
Cuadro 3.11. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de pH y conductividad eléctrica.....	30
Cuadro 3.12. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de pH y conductividad eléctrica.....	30
Cuadro 3.13. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de Cd y Pb.	31
Cuadro 4. 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	33
Cuadro 4. 2. Resultados de % humedad de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.....	34

Cuadro 4. 3. Resultados de pH y CE de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.	34
Cuadro 4. 4. Resultados de N y P de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.	35
Cuadro 4. 5. Resultados de Cd y Pb de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.	35
Cuadro 4. 6. Resultados de análisis microbiológicos de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.	36
Cuadro 4. 7. Comparación de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos de la PTAR con norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.....	36
Cuadro 4. 8. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	38
Cuadro 4. 9. Resultados de pH y CE del suelo degradado.....	39
Cuadro 4. 10. Resultados de N y P del suelo degradado.	39
Cuadro 4. 11. Resultados de Cd y Pb del suelo degradado.	40
Cuadro 4. 12. Valoración de la degradación del suelo.	40
Cuadro 4. 13. Diseño experimental	41
Cuadro 4. 14. Anova % Germinación de la especie <i>Gmelina arborea roxb.</i>	41
Cuadro 4. 15. Prueba de HSD Tukey.	42
Cuadro 4. 16. Mp= Materia prima.....	44
Cuadro 4. 17. Mod= Mano de obra directa	44
Cuadro 4. 18. Gp= Gasto de producción	44

IMÁGENES

Imagen 3. 1. Ubicación de los laboratorios agroindustriales.....	21
Imagen 4. 1 Mapa del sitio de muestreo de lodos residuales	33
Imagen 4. 2. Mapa del sitio de muestreo del suelo degradado.	38

GRÁFICOS

Gráfico 4. 1. Porcentaje de germinación de la especie <i>Gmelina arborea roxb.</i>	43
--	----

RESUMEN

La investigación consistió en el aprovechamiento de lodos procedentes del procesamiento de harina de pescado TADEL S.A. como alternativa en la recuperación de suelos para uso forestal. Se aplicó técnicas de observación y de campo para la caracterización del lodo residual, donde se midieron parámetros físicos (humedad, pH, CE), químicos (N, P, Cd, Pb) y microbiológicos (Coliformes fecales) que ayudó a determinar al lodo como Clase C, exclusivamente para uso forestal. Asimismo, se midió los parámetros físicos (pH, CE) y químicos (N, P, Cd, Pb) del suelo para conocer su degradación. Se realizó la mezcla del lodo con suelo degradado, se validó mediante un diseño experimental DCA de un solo factor con 4 tratamientos y 3 réplicas T1 (0% LR + 100% SD), T2 (10% LR + 90% SD), T3 (20% LR + 80% SD) y T4 (30% LR + 70% SD). Establecidas las combinaciones con la mezcla, se sembraron 25 semillas de la especie forestal *Gmelina arborea Roxb* en cada unidad experimental que, al transcurso de 30 días se constató que el T3 resultó con mayor eficiencia en el porcentaje de germinación. Además, el análisis de costo (\$37.10) de dicho tratamiento reveló que el uso del lodo, es una forma económica para la recuperar suelos degradados, y al mismo tiempo se considera la mejor forma para darle un correcto manejo y disposición final por parte de la empresa.

PALABRAS CLAVE

Lodos residuales, Normas internacionales, *Gmelina arborea Roxb*, Metales pesados.

ABSTRACT

The investigation consisted in the use of sludge from the processing of fishmeal TADEL S.A. as an alternative in the recovery of soils for forest use. Observation and field techniques were applied to characterize the residual sludge, where physical parameters (humidity, pH, EC), chemical (N, P, Cd, Pb) and microbiological (fecal coliforms) were measured, which helped to determine the sludge as Class C, exclusively for forestry use. Likewise, the physical parameters (pH, EC) and chemical (N, P, Cd, Pb) of the soil were measured to know its degradation. The mud was mixed with degraded soil and it was validated by a single factor DCA experimental design with 4 treatments and 3 replications T1 (0% LR + 100% SD), T2 (10% LR + 90% SD), T3 (20% LR + 80% SD) and T4 (30% LR + 70% SD). Once the combinations were established with the mixture, 25 seeds of the forest species *Gmelina arborea* Roxb were sown in each experimental unit which, after 30 days, it was found that T3 resulted with greater efficiency in the germination percentage. In addition, the analysis cost (\$ 37.10) of said treatment revealed that the use of sludge is an economical way to recover degraded soils, and at the same time it is considered the best way to give proper management and final disposal by the company.

KEY WORDS

Residual sludge, International standards, *Gmelina arborea* Roxb, Heavy metals.

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El procesamiento de harina de pescado alrededor del mundo está ocasionando graves problemas ambientales debido al proceso habitual que realizan, esto hace que se generen varios residuos como es el caso de los lodos residuales que son difíciles de tratar por su alto contenido en metales pesados, materia orgánica y elementos microbiológicos (AEMA, 2014).

A nivel mundial, los países donde se encuentran este tipo de industrias han resultado ser un problema en la actualidad para la parte ambiental y la salud pública, porque se han creado conflictos debido a la emisión de malos olores al momento de tratar el agua residual y darle un manejo inadecuado de los lodos que resultan de este proceso (Paredes, 2014). Sin embargo, los lodos, últimamente se han utilizado por su alto contenido en nutrientes para mejorar suelos degradados, pero la dificultad de su uso se presenta cuando se los aplica en cultivos para la alimentación humana, que necesitan ser previamente caracterizados y estabilizados, lo que no sucede con los cultivos forestales, que según la clasificación que tenga en normas en el manejo de lodos residuales, pueden ser utilizados sin previo tratamiento (Salcedo et al., 2007).

Según Paredes (2014) menciona que en Ecuador específicamente la economía del cantón Manta depende en gran parte del sector pesquero, debido a que en esta ciudad se desarrollan diferentes tipos de industria debido a su cercanía al mar, MW (2015) menciona que entre las que principalmente se encuentran las conservas de atún y el procesamiento de harina de pescado, siendo esta última un negocio rentable con aproximadamente el 28% de la economía del sector.

TADEL S.A se encuentra en el séptimo lugar del ranking hasta el 2017 según la clasificación del Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE), como la encargada del 5% de la producción nacional de harina de pescado, además de estar entre las cinco empresas de mayor exportación de este producto en el país (Solís, 2017). En consecuencia el proceso productivo genera aguas residuales (AR) que provienen de materia prima para la elaboración de sus productos, residuos o desechos que ya no serán

utilizadas en la elaboración de conservas de atún y que no son aptas para el consumo, según lo afirmado por Amador, Veliz, y Bataller (2015) son depuradas en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI), que en el tratamiento de las (AR) se producen lodos residuales (LR) que hasta la actualidad no han sido caracterizados ni clasificados, debido a que en el país no cuenta con una normativa ambiental para este tipo de residuos.

De manera que, la empresa deposita estos LR en suelos del sector forestal como disposición final, pero sin previo tratamiento por la inexistencia de criterios ambientales, por lo que provocan un problema ambiental causando primordialmente contaminación del suelo.

Por todo lo anterior mencionado el trabajo se tiene como importancia evaluar los lodos procedentes de PTARI de la empresa TADEL S.A. para recuperar suelos para uso forestal, que reducirá el impacto generado por estos residuos en los cuerpos receptores, entonces se formula la siguiente interrogante.

¿Los lodos procedentes del procesamiento de la harina de pescado de la empresa TADEL S.A. influyen como alternativa en la recuperación de suelos degradados para uso forestal?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los (LR) provenientes de la PTARI en este caso TADEL S.A. son vertidos directamente al suelo sin previo tratamiento llegan afectar la parte física, química y microbiológica de la zona, donde según Limón (2013) menciona que la necesidad de grandes extensiones de superficie para su disposición hace que la vida útil y el manejo del sitio se dificulte con el tiempo por la formación de lixiviados que provoca la presencia de microorganismos patógenos.

Por otra parte, Chicón (2007) indica que los metales pesados al ser persistentes y de difícil degradación hacen que el riesgo para el ambiente y la salud de las personas aumente y pueda causar daños de acuerdo a su concentración. También García (2016) menciona que el pH tiene un rol importante, debido a que estos lodos son generalmente alcalinos y al disponerlos en los suelos, producen que la capacidad de infiltración baje y que la permeabilidad sea vuelva más lenta dificultando la agricultura al momento que se lo requiera para cultivar.

Los lodos que produce TADEL S.A. deben cumplir con lo establecido en el principio 4 del artículo 9 del Código Orgánico Ambiental (COA) con la finalidad de una correcta disposición final, donde se menciona el que contamina paga. Es decir, quien realice o promueva una actividad que contamine o que lo haga en el futuro, deberá incorporar a sus costos de producción todas las medidas necesarias para prevenirla, evitarla o reducirla. Además, quien contamine estará obligado a la reparación integral y la indemnización a los perjudicados, adoptando medidas de compensación a las poblaciones afectadas y al pago de las sanciones que correspondan. Por esta razón, al no existir normas que ayuden al manejo adecuado, se debe utilizar como referencia normativa internacionales tales como la normativa colombiana, mexicana y la USEPA.

Las características de estos lodos pueden ser aprovechados en la recuperación de suelos agrícolas y forestales degradados, ya que tienen poder de brindar beneficios mejorando la parte química, física y microbiológica de estos suelos. En otros países los lodos han sido utilizados en suelos degradados, como es el caso de Perú donde mencionan Cupe y Juscamaita (2018) que los LR son de debida importancia, al tener

altos contenidos de nutrientes y microorganismos que ayudan a la descomposición de la materia orgánica, siendo esto favorable en la recuperación de suelos que carecen de nutrientes por un uso inadecuado.

De acuerdo a Paz, Henríquez y Freres (2007) los LR resultan ideales para todo tipo de agricultura, debido a que pueden servir como fertilizantes y lograr también la mejora de las propiedades físicas de los suelos que presentan altos niveles de acidez debido al uso de pesticidas. De manera que, la empresa podría empezar a comercializarlo e inclusive venderlo para generar ingresos económicos sin descuidar el cumplimiento con la legislación ambiental ecuatoriana, esto a su vez permite que el manejo de los lodos tenga importancia por el beneficio que causaría y al no seguir depositándolos en sus tierras aledañas a la industria como actualmente se lo sigue haciendo, contribuirá en gran forma con el ambiente.

Tomando en cuenta los antecedentes, el estudio busca el aprovechamiento de los lodos procedentes del procesamiento de harina de pescado (TADEL S.A) como alternativa en recuperar suelos para uso forestal, y de esta manera la empresa pueda cumplir con el principio de responsabilidad del Código Orgánico Administrativo y con el tiempo evitar sanciones. Por tal razón, esta investigación se llevó a cabo con el fin de que, las fábricas de Manabí donde se generan este tipo de residuos, puedan implementar tratamientos y así darle una mejor disposición final.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Aprovechar lodos procedentes del procesamiento de harina de pescado de TADEL S.A. como alternativa en la recuperación de suelos para uso forestal.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar el lodo residual de TADEL S.A. mediante la utilización de normas internacionales.
- Determinar el mejor tratamiento en combinaciones de suelo degradado con el lodo residual de TADEL S.A.
- Analizar el costo/beneficio de la utilización del lodo residual de TADEL S.A. para la recuperación de suelos degradados.

1.4 HIPÓTESIS

La utilización de lodos procedentes del procesamiento de harina de pescado de TADEL S.A sirve como alternativa para la recuperación de suelos degradados

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 LODOS RESIDUALES

La norma mexicana NOM-004-SEMARNT-2002 define que son sólidos con un contenido de humedad variable provenientes de plantas potabilizadoras, de plantas de tratamientos de aguas residuales, sistemas de alcantarillados urbanas que no han sido sometidas a procesos de estabilización.

También pueden considerarse LR a los residuos semisólidos provenientes de los procesos de tratamientos de aguas residuales, cuya composición se basa en microorganismos patógenos, compuestos no biodegradables potencialmente tóxicos como metales pesados y sales inocuas, materia orgánica que han sido removidas del tratamiento de aguas (Ortiz, Gutiérrez Y Sánchez, 1995).

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LODOS RESIDUALES

Las principales características del AR (Agua residual) en las PT (Planta de tratamiento) incluye basura, espuma, basuras y lodos, es así que el lodo producido depende de la característica del AR, de su tiempo y el proceso de tratamiento de la planta que lo genera. Este residuo es de gran importancia por su alto contenido de materia orgánica y energía que genera, no obstante, si no se cuenta con un manejo adecuado se convierte en un serio problema ambiental, debido a su alto contenido de metales pesados, patógenos y materia orgánica, por lo que se requiere un proceso de estabilización (Galvis y Rivera, 2013). La cantidad de lodo producido varía por muchos factores, depende del tratamiento, características del AR, del contenido de humedad, del tipo de equipo y método de remoción y la frecuencia de los mismos.

En la siguiente tabla 1 se presenta la composición química de los lodos.

Cuadro 2.1 Características típicas de los lodos residuales

CONCEPTO	UNIDADES	LODO PRIMARIO	LODO PRIMARIO DIGERIDO	LODO SECUNDARIO
Concentración de solidos	%	5-9	2-5	0.8-1.2
Solidos volátiles	% de ST	60-80	30-60	59-88
Proteína	% de ST	20-30	15-20	32-41
Nitrógeno	% de ST	1.5-4	1.6-3	2.4-5
Fosforo	% de ST	0.8-2.8	1.5-4	2.8-11
Oxido de potasio	% de ST	0-1	0-3	0.5-0.7
Celulosa	% de ST	8-15	8-15	-
Hierro	% de ST	2-4	3-8	-
Oxido de Silicio	% de ST	15-20	10-20	-
Ph	u.pH	5-8	6.5-7.5	6.5-8
Alcalinidad	Mg CaCO ₂ /l	500-1500	2500-3500	580-1100
Ácidos orgánicos	Mg HAc/l	200-2000	100-600	1100-1700
Contenido energético	KJ ST/Kg	23000-29000	9000-14000	1900-23000

Fuente. (Metcalf & Eddy,2003)

2.1.2 TIPOS DE LODOS RESIDUALES

En los procesos de separación de AR (Aguas residuales) tanto en tratamientos primarios y secundarios se encuentran finalmente los LR, más adelante los lodos generados dependen del nivel de tratamientos

- a) **Lodo crudo:** es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede ser extraído en las PTAR.
- b) **Lodos primarios:** son provenientes de la remoción de sólidos sedimentables que se extraen de la sedimentación primaria, son sólidos inorgánicos y orgánicos, también se encuentra arena fina (Cardoso & Ramirez,2000). Contiene un porcentaje de humedad entre 93 % y 97% de color marrón y gris, contienen gran cantidad de frutas, vegetales, es decir mucha materia orgánica, además se caracteriza por ser un fluido denso muy sépticos generando mal olor con gran facilidad.
- c) **Lodos secundarios:** en el tratamiento de AR secundaria biológicas son creados, incluyen material particulado en la conversión de sustratos solubles y sustratos de la biomasa y se incorporan a la misma (Cardoso & Ramirez,2000). Producen un olor tan fuerte como el lodo primario y son de color marrón, pero a diferencia del lodo primario no generan el olor con tanta rapidez (Valderrama,2013).

2.1.3 ORIGEN DE LOS LODOS

- a) **Lodos procedentes de PTARI:** la eliminación de lodos de aguas residuales industriales es cada vez menor, ya que las áreas para los sitios de disposición final y los problemas atmosféricos generados por la incineración de estos residuos y los métodos tradicionales de estos lodos son cada vez más completos y costosos existiendo una tendencia general para reducirlos y reutilizarlos. Son procedentes de la depuración de las aguas residuales de las industrias como, por ejemplo: alimenticia, papeleras, de metales entre otras (Lucía, 2011).

2.1.4 NORMATIVAS INTERNACIONALES PARA MANEJO DE LODOS

2.1.4.1 NORMATIVA COLOMBIANA DECRETO 1287

En Colombia se establecen normas para establecer criterios para uso de los biosólidos generados en una en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM), son tratamientos primarios y secundarios provenientes de procesos de tipo físico-químico y biológico, cuyos resultados son residuos considerados lodos residuales y biosólidos, para reducir la carga contaminante debe ser sometidos a un proceso de estabilización (MVCT, 2014).

Esta norma menciona que por lo menos siete submuestras deben ser tomadas del lugar donde se encuentra el lodo, para establecer una muestra de condiciones de calidad.

Para la clasificación de un biosólidos según la tabla 2.6 de esta norma que muestra los valores máximos permisibles de categorización de biosólidos para su uso, los que no cumplan los criterios en la tabla mencionada, deberán disponerse o ser tratados hasta cumplir con los valores establecidos en las categorías A y B.

Cuadro 2.2. Límites máximos permisibles de categorización de biosólidos.

CRITERIO	VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	CATEGORÍA BIOSÓLIDO Valores máximos permisibles	
			A	B
QUÍMICOS-METALES Concentración en máximas	Plomo(Pb)	mg/Kg	300	400
	Mercurio(Hg)		10	20
	Cadmio (Cd)		8	40
	Cobre (Cu)		100	1750
	Cromo(Cr)		100	1500
	Arsénico (As)		20	40
	Molibdeno(Mb)		18	75
	Níquel (Ni)		80	420
	Selenio(Se)		36	100
	Zinc(Zn)		200	2800
MICRO BIOLÓGICOS	Coliformes fecales	UFC/ g de biosólido (base seca)	<1 o +3	< 6
	Huevos de Helmintos viables	Huevos de Helmintos viables/4 g de biosólido (base seca)	<1	<10
	Salmonella sp.	UFC /en 25 g de biosólido (base seca)	Ausencia	<3
	Virus Entéricos	UFP /4 g de biosólido (base seca)	<1	-

Fuente: NORMATIVA COLOMBIANA DECRETO 1287.

2.1.4.2 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNT-2002

Con la finalidad de proteger al medio ambiente y la salud humana esta norma dicta los límites máximos permisibles para una adecuada disposición final, los cuales provienen de plantas de tratamientos de aguas potables y residuales (DOF, 2003).

Para obtener muestras representativas de lodos y biosólidos, y determinar su contenido de Coliformes fecales, Salmonella spp., huevos de helmintos, tasa específica de absorción de oxígeno, contenido de sólidos volátiles y totales, níquel, zinc, mercurio, plomo, cobre, arsénico y cadmio. Se debe tomar en cuenta:

- Recogedores como paletas esterilizadas
- Bolsas plásticas para el almacenamiento de preferencia oscuras para aislar de la luz solar
- Marcadores de tinta permanente para la rotulación

Cuadro 2.3 Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos

VOLUMEN GENERADO POR AÑO (TON/AÑO) EN BASE SECA	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	PARÁMETROS A DETERMINAR
Hasta 1500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1500 hasta 15000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

Fuente: NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNT-2002.

Así mismo Díaz et al., (2015) mencionan que la norma oficial mexicana, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos para su aprovechamiento y disposición. Los biosólidos se clasifican en: clases A, B C en función de su contenido de patógenos y parásitos, buenos y excelentes en función de su contenido de metales pesados, el aprovechamiento es en función del tipo y clase tal como se detalla en la tabla 2.5 y 2.6.

Cuadro 2.4. Concentraciones límites máximas permisibles de metales pesados en los lodos según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNT-2002.

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Fuente: NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNT-2002.

Cuadro 2.5 Concentraciones límites máximas permisibles de patógenos y parásitos en los lodos según la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNT-2002

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNT-2002.

2.1.5 CARACTERIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES

Para la caracterización de los lodos se aplican algunos procedimientos entre los más importantes encontramos:

- Para manipular la calidad de materia prima utilizada, se realiza un balance de masa del proceso, el cuál es denominado análisis de componente.
- Para analizar una muestra en un proceso de descomposición, utilizado en rellenos sanitarios, se analiza los procesos requeridos para su caracterización es Análisis de lixiviados (Toxicity Characteristic Leaching Procedure TCLP).

Los lodos producidos en una PTARI deben cumplir con normas oficiales, en este caso se especifican dos normas mexicanas y colombianas, para cumplir con lo especificado los lodos deben ser tratados antes de ser dispuestos a la disposición final (Limón, 2013).

2.1.6 BIOSÓLIDOS

Según Melo et al., (2017) los biosólidos por ser sometidos a un tratamiento o estabilización pueden diferenciarse de los lodos que proceden de PTAR, debido que permiten reducir el nivel de peligrosidad, se expone en la siguiente tabla 2.1 la comparación respectiva entre biosólidos y LR.

Cuadro 2.6. Comparación de parámetros entre lodos y biosólidos

PARÁMETRO	UNIDAD	LODO	BIOSÓLIDOS
pH	Unidad	5 - 8	6,5 - 7,5
Alcalinidad	m/g de CaCO ₃	500 - 1500	2500 - 3500
Nitrógeno	% de ST	1,5 - 4	1,6 - 6
Fósforo	P ₂ O ₃ % de ST	0,8 - 2,8	1,5 - 4
Aceites y grasas	% de ST	6 - 30	5 - 20
Proteínas	% de ST	20 - 30	15 - 20
Ácidos orgánicos	Mg/l Hac	6800 - 10000	2700 - 6800
Sólidos totales	%	2 - 8	06-dic
Sólidos volátiles	% de ST	60 - 80	30 - 60

Fuente: (Melo et al., 2017)

2.1.7 APROVECHAMIENTO DE LODO

El aprovechamiento de los biosólidos se establece según el tipo y clase, tal como se explica en la tabla 3 de la norma y su contenido de humedad no mayor al 80% según la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNT-2002.

Cuadro 2.7. Aprovechamiento de biosólidos.

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para clase B y C.
EXCELENTE O BUENO	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. Los establecidos para clase C.
EXCELENTE O BUENO	C	Usos forestales. Mejoramientos de suelos. Usos agrícolas.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNT-2002.

Los lodos de clase A podrían ser utilizados sin previo tratamiento debido a sus bajos niveles de contaminantes. Por otra parte, los lodos de clase B se les debe aplicar tratamiento antes de ser utilizados, debido a que pueden llegar a ser perjudiciales para la persona que tenga contacto directo con este lodo. Y por último los lodos de clase C dependerán de los niveles de contaminantes para darles un último manejo, porque si presentan estándares bajos se los aplica sin previo tratamiento, lo que no sucede cuando se encuentran elevados los niveles de contaminantes.

2.2 SUELOS

El suelo es el medio donde se desarrollarán las plantas para alimentar y vestir al mundo, se forma debido a la descomposición de la roca madre, por acción de los microorganismos del suelo, el clima, el tiempo, topografía y vegetación. La cantidad de arena, limo y arcilla determinan la textura (Velásquez, 2003).

Según FAO (2009) el suelo está compuesto por diminutos microorganismos vegetales y animales, aire, agua, por minerales y materia orgánica. Con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y viento se ha formado una capa delgada a través de los siglos, en el suelo se descomponen las plantas y animales por los microorganismos existentes, se convierten en materia orgánica y mezclados en el mismo.

2.2.1 USOS DE SUELOS

El suelo es donde se realizan todas las actividades antropogénicas en su gran mayoría, los usos más frecuentes son: para uso industrial, uso forestal, minero, agricultura entre

otros; en un recurso único, pero está sometido a una gran amenaza a cargo del ser humano. Normalmente el uso que se le da depende de cada término municipal, y los datos de van ampliando a nivel provincial, regional y nacional (Panos, 2014).

2.2.1.1 USO INDUSTRIAL

Según Jácome (2016) el suelo industrial se clasifica en los siguientes grupos: de bajo impacto, de mediano impacto, de alto impacto y de alto riesgo, esta clasificación está referida a la aplicación de la normativa ambiental. Por lo que UCO (2014) menciona que es importante los suelos de usos industriales, teniendo en cuenta el impacto ambiental y urbanístico que producen estos usos y establecer su concurrencia a los otros usos establecidos, se debe considerar las restricciones normativas, ambientales y técnicas que se imponen sobre el uso de dicho territorio, la cual la orientación de este uso también cuenta las peculiaridades, capacidades y circunstancias que se ofertan.

2.2.2 TIPOS DE SUELOS

Si un suelo tiene abundante arcilla, es textura arcillosa, si tiene partículas de tamaño de arena es textura arenosa, si son los limos es textura limosa, cuando encontramos un suelo que posee porciones ondas y selectas en fracciones apropiadas, es un suelo equilibrado, siendo ligero, aireado y permeable se le denomina suelo franco (FAO, 2009).

2.2.3 SUELOS SALINOS

Tienen un porcentaje de sodio menor al 15%, conductividad eléctrica mayor a 4000 S/m a 25° C, pH menor a 8,5, la concentración de sales en estos suelos puede llegar hasta 1% de su peso, su formación es debido a la falta de drenaje y elevado porcentaje de evaporación, lo cual origina la acumulación de sales. Contiene Potasio, sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos de sodio, calcio y magnesio, también pueden proceder de las sales contenidas en aguas que han atravesado capas geológicas ricas en ellas. (Ibañez, 2008)

2.2.4 SUELOS DEGRADADOS

Los suelos degradados son abundantes en todo el mundo y su aprovechamiento agropecuario se dificulta debido a sus bajos niveles en componentes bióticos y abióticos. El elemento de estabilización y protección de sitios inseguros como laderas de alta pendiente, costas de ríos, mares, dunas de arena y plantaciones forestales, todas estas son posibilidades para la utilización de suelos degradados (Ferrari, 2014).

2.2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE SUELOS DEGRADADOS

Las principales características del suelo degradado según (Murillo et al., 2006) es el impacto negativo de la compactación que consiste en la alteración de la porosidad, lo que reduce la permeabilidad del aire y la saturación de la conductividad hidráulica, alteran el hábitat del suelo y reducen la actividad biológica de la flora y la fauna, además las modificaciones producidas pueden generar procesos de pérdida de la cobertura vegetal y desencadenar la erosión, como resultado final, se produce la pérdida de la capacidad productiva del suelo, lo que tiene implicaciones negativas sobre el ambiente.

2.2.4.2 CAUSAS DE SUELOS DEGRADADOS

2.2.4.3 SUELOS CONTAMINADOS POR CADMIO

La movilidad del cadmio depende de varios factores, así como el pH, potencial redox y la cantidad de materia orgánica presente. Por lo general, el Cd se une con enlaces fuertes a la materia orgánica, donde la única forma que puede ser absorbido, es por las plantas que lo incorporan a la cadena trófica. Además, en suelos alcalinos el cadmio no es móvil debido a que se precipita en forma de carbonatos y fosfatos insolubles (Sánchez, 2016).

2.2.4.4 SUELOS CONTAMINADOS POR PLOMO

El poder amortiguador de un suelo es la capacidad para controlar los efectos negativos de los contaminantes y volverlos inofensivos o inactivarlos, pero todo depende de las propiedades del suelo. El aumento de la salinidad en el suelo puede aumentar la movilización de metales y su retención por dos formas. En primer lugar, los cationes Na y K pueden reemplazar a metales pesados donde exista intercambio catiónico. Y la

segunda forma, los aniones cloruro y sulfato pueden formar compuestos estables con metales como el Pb, Zn, Cu, Cd y Hg (Galán Y Romero, 2008).

2.2.4.4.1 PERDIDA FERTILIDAD

En una publicación realizada por (Ibarra, 2011) menciona que es un proceso donde se pierde total o en parte el potencial de producción, y esto ha desarrollado zonas áridas, semiáridas o subhúmedas de nuestro país, donde afecta al ecosistema en su totalidad. Y ocurre como consecuencia de la explotación por las actividades humanas en donde la fragilidad de los sistemas naturales no es tomada en cuenta, y se sobrepasa la capacidad productiva del sistema.

Para (Granados et al., 2013). El resultado final es el rendimiento de los cultivos, que son establecidas de condiciones más extremas que la natural. Las principales consecuencias de este proceso son la sequía, el desmonte descomedido y eliminación de la cobertura vegetal. El manejo inadecuado del agua y suelo son factores determinantes de su velocidad, ocurrencia y dirección.

2.2.4.4.2 EROSIÓN

La pérdida de minerales y materia orgánica, también la reducción de fertilidad es la erosión o degradación de suelos, específicamente por factores como las corrientes de aire y agua, como el hielo, terrenos secos, poca vegetación entre otros (EcuRed, 2014).

La erosión es el deterioro de rocas y suelos que producen distintos procesos en la superficie terrestre ya que implica transporte de material y sobre todo movimiento, también en ser unos de los principales factores del ciclo geográfico. Entre los agentes erosivos están la circulación de agua o hielo, el viento, o los cambios térmicos, pudiendo ser incrementada por actividades humanas (Piscitelli, 2015).

2.2.5 CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS

De acuerdo con Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente menciona en el libro VI Anexo 2 tabla 2 criterios de calidad del suelo, la cual el propósito de esta Norma, es mostrar niveles máximos permisibles de los contaminantes en el suelo. A continuación, se presentan los criterios de la calidad del suelo:

Cuadro 2.8. Anexo 2 Tabla 2 del libro VI del TULSMA, Criterios de calidad del suelo.

SUSTANCIA	UNIDADES (CONCENTRACIÓN EN PESO SECO)	SUELO
Parámetros Generales		
Mercurio	mg/kg	0,1
Plomo	mg/kg	25
Conductividad	dS/m	2
pH		6 a 8
Relación de Adsorción de Sodio (Índice SAR)		4 *
Parámetros Inorgánicos		
Bario	mg/kg	200
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	1
Cadmio	mg/kg	0,5
Cobalto	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	30
Cromo Total	mg/kg	20
Cromo VI	mg/kg	2,5
Cianuro (libre)	mg/kg	0,25
Estaño	mg/kg	5
Flúor (total)	mg/kg	200
Molibdeno	mg/kg	2
Níquel	mg/kg	20
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	25
Zinc	mg/kg	60

Fuente: TULSMA

2.2.6 ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE NITRÓGENO

De acuerdo MAGAP (2014) muestra la siguiente tabla se debe a la textura, pendiente del terreno y la precipitación:

Cuadro 2. 9. Niveles de nitrógeno

ETIQUETA	ÍNDICE
Alto	1
Medio	2
Bajo	3

Fuente: (MAGAP, 2014)

2.2.7 ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE FÓSFORO

Según Pérez (2008), menciona que en Colombia existen las cantidades ideales de fósforo y potasio:

Cuadro 2. 10. Niveles de Fósforo y Potasio.

Etiqueta	P	K
	Índice	Índice
Alto	>40	>0.4
Medio	25-40	0.3-0.4
Bajo	< 25	< 0.3

Fuente: (Pérez, 2008).

2.3 PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

Según FAO (2000) menciona que los ensayos de germinación tienen como finalidad estimar el número máximo de semillas que pueden germinar en las condiciones óptimas, luz temperatura, humedad, etc. Es decir, el surgimiento y desarrollo de la semilla, en estructuras fundamentales que indican la capacidad de la semilla para producir una planta.

Esto se efectuará por medio de cajas de germinación portátiles, que son un tipo de germinador sencillo y versátil que consiste en cajas generalmente de plástico transparente, con tapa transparente para que ingrese la luz solar vital para la germinación de las plantas.

Además, el recipiente ideal debe cumplir con las siguientes especificaciones:

1. Ser sencillo, cómodo y rectangular para reservar espacio.
2. tener bastante espacio y que las semillas estén bien extendidas, para que alcancen semillas de una réplica como 150, 100 o menor a 50.
3. Para que los gérmenes puedan desarrollarse para permitir una evaluación adecuada, es necesario tener un fondo y altura suficiente.
4. Tener una tapa que cierre hermético, para mantener alto el contenido de humedad del substrato y el aire circundante.
5. Ser transparente por lo menos la tapa, por si se necesita luz solar para la germinación

Las condiciones también son considerables para una germinación óptima, por lo que se tienen en cuenta:

- a) Un nivel de humedad entre el (50 – 60) %

- b) Separar las semillas entre 1 a 6 veces su tamaño al momento de colocarlas en el sustrato
- c) Al ser tierras bajas la temperatura puede oscilar entre 34°C y 24°C
- d) Luz solar sin tanta intensidad
- e) Para la lucha contra hongos, colocar las semillas en el espaciamiento adecuado, controlar la temperatura, retirar las semillas podridas, ventilar adecuadamente y mantener el sustrato con un nivel de humedad no tiene que ser muy elevado, porque después tendrá problemas al momento de la germinación.

2.3.1 ESPECIE FORESTAL MELINA

De acuerdo a EF (2020) la melina con nombre científico *Gmelina arborea Roxb*, es un árbol caducifolio que alcanza hasta los 30m de altura y 120cm de diámetro. Los colores de la madera que van desde blanco grisáceo a marrón amarillento, y su semilla tiene un tiempo de germinación de entre 15 a 20 días. Además, su taxonomía y morfología es la siguiente:

TAXONOMÍA

Familia: Verbenaceae

Reino: Plantae

Clase: Eudicotyledoneae

División: Angiospermae

Nombre Científico: *Gmelina arborea Roxb*

Género: *Gmelina*

Especie: *Gmelina arborea*

Nombre Común: Melina

Cuadro 2.11. Morfología de la especie Melina

MORFOLOGIA DE <i>GMELINA ARBOREA ROXB</i>	
Tronco	Sin defectos, llegando a ser casi recto
Copa	En forma de cúpula
La Raíz	Con la misma corteza suberosa de color pálido y aparecen a nivel del suelo
Corteza	Color gris pálido-fina y lisa con el paso del tiempo va obteniendo un tono marrón y se vuelve más rugosa
Hojas	Opuestas ampliamente ovadas, acuminadas, cordiformes glaucas por el envés. Las hojas caen entre enero y febrero, y las nuevas aparecen entre marzo - abril en su hábitat natural.
Flores	Color naranja brillante
Fruto	Drupa ovoide u oblonga, succulento de 2, 3 a 3 cm de largo, amarillo cuando maduro, con un pericarpio coriáceo lustroso, pulpa de sabor dulce y huesco de textura dura. En plantaciones los arboles empiezan a producir frutos de los tres a cuatro años de edad y la fructificación es regular y abundante cada año.
Requerimientos climáticos	Altitud 0 – 1.000 msnm Precipitación: 1.000 – 4.500 mm. Temperatura: 22 – 27 °C

Fuente: (EF, 2020).

2.4 RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS CON LR EN OTROS PAISES

Se realizó un experimento en un suelo volcánico ubicado en Jalisco, México, con LR en suelos agrícolas y forestales como una alternativa, según Salcedo et al., (2007) Se valoraron incomparables cantidades de lodos residuales sanitarias como abono orgánico en la producción de maíz y el desarrollo inicial de *Pinus douglasiana*. Los materiales se trataron igualmente sobre el suelo bajo un diseño experimental de bloques al azar con cinco repeticiones, en el cultivo de maíz se calcularon 9 y 25t-ha-1 de lodos estabilizados, se procedió a medir el rendimiento de grano y de forraje utilizando también 11 y 25t-ha-1 de compost de lodos combinados con despojos de jardinería, el rendimiento aumentó entre un 18 y 22%, mientras que se registró un 85% de resistencia en parcelas con mayor dosis de lodos en la plantación de *Pinus douglasiana* en 0,3,6 y 10% de lodos por árbol, el testigo tuvo una resistencia de casi 70%, en conclusión la aplicación de LR como abono orgánico mejoro el crecimiento del árbol forestal del Pino y por supuesto también la producción del maíz.

Además, Ortiz et al., (1999) realizo un trabajo experimental en campo, donde se aplicaron LR directamente en el suelo debido a su clasificación como uso directo sin previo tratamiento, aquí se pretendió introducir elementos potencialmente tóxicos a la cadena

alimenticia y probar su capacidad de administrar alimentos para el crecimiento de las plantas, antes de la adicción de LR al suelo, se analizó su composición química, anualmente el suelo fue cultivado con maíz durante dos años consecutivos, utilizando dosis de 1 y 5 ton/ha, la composición de LR fue de 4,93% de N total, 50% de materia orgánica y de diferentes concentraciones de Ca, Mg, Na, K, Fe, Al, Zn, Cu, Mn, Ni, Cr y Pb, también se evaluó la concentración disponible de estos elementos y se encontraron proporciones entre 1% y 10% de solubilidad, la aplicación de LR fue benéfica y proporcionó nutrientes adicionales y de materia orgánica, el pH bajó al final del trabajo experimental, con el objetivo de evaluar la absorción metales pesados por las plantas de maíz cultivadas, se tomaron muestras de tejidos vegetales, los nutrientes se encontraron en concentraciones normales, pero no se encontró acumulación de tejidos vegetales ni se observaron síntomas de deficiencia o toxicidad.

En Santiago de Chile en la actualidad Paz et al., (2007) se interesó por generación de LR para convertirlos en biosólidos, donde se registraron 75.555 ton/día en la Región, estos LR causan daño a la salud humana por que contienen patógenos y elementos metálicos, sin embargo cuentan con propiedades que permiten mejorar las características productivas y físicas de los suelos, debido a lo anterior se analizan aquellos suelos que pretendían ser receptores de estos lodos, para el análisis y muestreo se tomó en cuenta la inferior calidad de sus suelos, se realizó 12 muestras de suelos a los primeros 20 cm, con respecto de los valores de pH se encuentra en un nivel de ligera acidez con un valor de 5,9; la conductividad eléctrica demuestra que se encuentran en condiciones no salinas (0-2 mmhos/cm), la materia orgánica se considera baja con rango de 1,6 a 2,4%; los contenidos de NPK hay dos muestras que presentan valores de concentración significativamente mayores, sin embargo la mayor parte de las muestras analizadas presentan bajas concentraciones de nitrógeno, Los contenidos de potasio está entre 0,5 a 2,5%, en relación al fósforo se han determinado valores entre 730 y 1.290 mgkg⁻¹. Se obtuvo como resultado que la aplicación de LR como mejoramiento de suelos agrícolas actualmente es poco factible por el motivo contener metales y patógenos, pero la solución es que se deberían disponerse principalmente para recuperación de suelos que sean encaminados al uso forestal.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

La presente investigación se desarrolló (ex situ) de los lugares de toma de muestra, en los laboratorios agroindustriales de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Feliz López" como lo muestra la (Imagen 3.1) longitud de 590544 m este y latitud de 9908643 m Sur.



Imagen 3. 1. Ubicación de los laboratorios agroindustriales.

3.2 DURACIÓN DEL TRABAJO

La investigación tuvo una duración de 8 meses, a partir de la aprobación de la propuesta de titulación.

3.3 FACTOR EN ESTUDIO

F- Lodos residuales provenientes del procesamiento de harina de pescado.

3.4 NIVELES DE ESTUDIO

Se realizaron cuatro tratamientos, cada uno con tres repeticiones; lo que da un total equivalente a 12 unidades experimentales.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con un solo factor (composición másica) de diferentes niveles, cuatro tratamientos con tres repeticiones por cada tratamiento, donde se consiguió un total de 12 unidades con la mezcla lodo-suelo degradado), teniendo como variable respuesta el porcentaje de germinación.

Cuadro 3.1. Descripción del experimento.

Diseño experimental	DCA
Número de repeticiones	3 repeticiones
Número de tratamientos	4 tratamientos
Unidades experimentales	12 unidades experimentales

Fuente: Los autores

Cuadro 3.2. Niveles de la concentración de lodo residual.

FACTOR	NIVELES			
CONCENTRACIÓN	0	10	20	30
$\frac{\%m}{m^3}$				

Fuente: Los autores

Cuadro 3.3. Niveles de la concentración de NP de la mezcla lodo-suelo en cada unidad experimental.

TRATAMIENTOS REPLICAS	N	COMPONENTES	
		MEDIA P	MEDIA
T1			
T1			
T1			
T2			
T2			
T2			
T3			
T3			
T3			
T4			
T4			
T4			

Fuente: Los autores

Cuadro 3.4. Diseño experimental

UNIDAD ESPERIMENTAL	X_{Lodo} (%) p/p	X_{Suelo} (%) p/p	m_L (g)	m_S (g)	m_T (g)
T1	0	100	0	500	500
T2	10	90	50	450	500
T3	20	80	100	400	500
T4	30	70	150	350	500

Fuente: Los autores

T1. 0% de lodo y 100% de suelo degradado

T2. 10% de lodo y 90% de suelo degradado

T3. 20% de lodo y 80% de suelo degradado

T4. 30% de lodo y 70% de suelo degradado

3.6 UNIDAD EXPERIMENTAL

El experimento se realizó a escala laboratorio con una masa total de la muestra de 500g, que contuvo la mezcla de masa de lodo y masa de suelo degradado.

$$m_T = m_L + m_S \quad [3.1]$$

Donde:

m_T : masa total de la muestra g_T

m_L : masa del lodo g_L

m_S : masa del suelo g_S

$$X_{Lodo} = \frac{m_L}{m_T} * 100\% \quad [3.2]$$

Donde:

X_{Lodo} : composición másica g_L/g_T

m_L : masa del lodo g_L

m_T : masa total de la muestra g_T

$$X_{Suelo} = X_{Total} - X_{Lodo} \quad [3.3]$$

Donde:

X_{Suelo} : composición másica del suelo $g_T - g_L$

X_{Total} : composición másica del lodo $g_L + g_S$

3.7 VARIABLES EN ESTUDIO

3.7.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Recuperación de suelos degradados

3.7.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Lodos residuales

3.8 CUADRO DE VARIANTES

Cuadro 3.5. Cuadro de variables.

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADORES	INDICES	
VARIABLE DEPENDIENTE	Los lodos en suelos agrícolas como mejoradores de suelo, en la actualidad se ha convertido en una solución como disposición final de este residuo, al mismo tiempo de eliminar el producto, se reciclan nutrimentos y se mejora la capacidad productiva de los suelos, además de ser una opción de bajo costo para restaurar suelos degradados (Medina,2003).	FÍSICOS-QUÍMICOS		
Recuperación de suelos degradados		pH		
		Conductividad	S/m	
		N		
		P		
		Pb	mg/Kg	
		Cd	mg/Kg	
VARIABLE INDEPENDIENTE	Los lodos son residuos semisólidos provenientes de los procesos de tratamientos de aguas residuales, cuya composición se basa en microorganismos patógenos, compuestos no biodegradables potencialmente tóxicos como metales pesados y sales inocuas, materia orgánica que han sido removidas del tratamiento de aguas (Ortiz, Gutiérrez Y Sánchez, 1995).	FÍSICOS-QUÍMICOS		
Lodos residuales		pH		
		Conductividad	S/m	
		Humedad	%	
		N		
		P		
		Pb	mg/Kg	
			Cd	mg/Kg
			MICROBIOLÓGICOS	
			Coliformes fecales	UFC

Fuente: Los autores.

3.9 METODOS Y TÉCNICAS

3.9.1 METODOS

3.9.1.1 DESCRIPTIVA

Se aprovechará el método descriptivo, porque servirá para la resolución a los problemas que se encuentran en la empresa, por lo que la investigación busca mejoras que permitan reducir los impactos ambientales negativos, pero mantener el óptimo nivel de producción de la industria.

3.9.1.2 INFERENCIAL ESTADISTICO

Este método permitió crear la hipótesis para la comprobación del estudio; además ayudo de manera lógica a establecer cuál fue el mejor tratamiento de la mezcla de lodo residual con suelo degradado, partiendo de la observación directa de fenómenos o situaciones específicas que marcan el problema de la investigación; asimismo, gracias a esta aplicación se logró mediante estadísticas detectar el problema de manera efectiva y darle solución.

3.9.1.3 INDUCTIVO

Este método desarrollo temas específicos en base a los conocimientos generales. Dicho método se utilizó para explorar, observar e identificar el punto de origen, volúmenes y causas de los lodos que afectan al ambiente por las actividades realizadas en la Procesadora Industrial de Harina de Pescado Secada al Vapor TADEL S.A., además se empleó la observación directa para recopilar hechos que tienen acción repetitiva dentro de la planta.

3.9.1.4 ANALÍTICA

En la investigación se utilizó el método analítico, que contribuyo a la determinación del problema a través del respectivo análisis de los residuos en este caso los lodos que produce la planta harinera.

3.9.2 TÉCNICAS

Las técnicas que se utilizaron en esta investigación fueron analítico, deductivo e inductivo; a continuación, se definen cada uno de ellos.

3.9.2.1 OBSERVACIÓN

Se empleó con la finalidad de reconocer el área de estudio, permitiendo así el contacto directo con la industria y el personal que labora, se analizó de una mejor forma los problemas existentes dentro de la investigación, es por esto que la recopilación de información fue fundamental y verídica para su solución.

3.9.2.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se utilizó para la recopilación de información existente en libros, artículos científicos, revistas e Internet, la misma que ayudó en la elaboración del marco teórico.

3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron dos tipos de análisis estadísticos mediante el software estadístico SPSS.

- Análisis de la Varianza de un factor (ANOVA) DCA.
- Gráficos Estadísticos.

3.11 PROCEDIMIENTOS

3.11.1 FASE 1. CLASIFICACION DE LOS LODOS RESIDUALES DE TADEL S.A. MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE NORMAS INTERNACIONALES.

ACTIVIDAD 1. Georreferenciación del área de toma de muestra.

Se georreferenció el sitio de los puntos de muestreo para mostrar mediante mapa en el software Google Earth.

ACTIVIDAD 2. Toma de muestras de lodo.

La recolección de las muestras, se realizó dentro de la empresa TADEL S.A. que a simple vista se comprobó la expulsión del LR a un recipiente de forma cúbica con capacidad de 137,48 m³ provenientes de la sedimentación de la PTARI (**Anexo 4-A**).

Para la toma de muestra del lodo secundario, de acuerdo con Campos et al., (2009) y la normativa colombiana decreto 1287, se tomaron siete submuestras (1400g) que se colocaron en fundas plásticas oscuras esterilizadas para aislar de la luz solar y mantenerlas a temperatura ambiente, después se homogenizaron para formar una muestra de 10 Kg, y así facilitar el traslado a los laboratorios pertinentes.

ACTIVIDAD 3. Caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en muestras de lodos.

PARAMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

% HUMEDAD

Este análisis se determinó con el Método gravimétrico utilizando el secado en la estufa como lo muestra (**Cuadro 3.6**), que consistió en evaporar de manera continua la humedad de la muestra y registrar la pérdida de peso, hasta un determinado tiempo [3.4]. En primer lugar, se pesó 81.45g de la muestra de lodo en la balanza automática, luego se procedió a cerrar la estufa con una temperatura de 105 °C. Donde al cabo de 90 minutos mostró el resultado final.

$$\%Humedad = \frac{P_i}{P_f} \times 100 \quad [3.4]$$

Cuadro 3.6. Materiales para determinación de porcentaje de humedad.

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA	MÉTODO	AUTOR
Humedad	Estufa de secado	Método Gravimétrico	(Toledo, 2020)

Fuente: Los autores.

DETERMINACIÓN DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Para la toma de estos dos parámetros se utilizó el método del potenciómetro y conductímetro como lo indica (**Cuadro 3.7**), en la que se realizó la misma preparación de muestras, donde lo primero fue medir 10g en la balanza de muestra seca y molida, inmediatamente se colocó en un vaso precipitado de 50ml y se le agregó agua destilada 50ml para diluir la muestra, para una mejor homogenización de la muestra se agitó con la ayuda de una bala magnética y la plancha de agitación durante 30 minutos.

Después de los 30 minutos transcurridos, se procedió a determinar el pH, introduciendo al vaso de precipitación que contenía el líquido, el potenciómetro, el cual mostro el resultado final.

Para la determinación de la conductividad eléctrica de la muestra se utilizó la misma metodología anteriormente mencionada, con la diferencia que se empleará directamente el conductímetro.

Cuadro 3.7. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de pH y conductividad eléctrica.

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA	MÉTODO	AUTOR
Potenciómetro	Potenciómetro	Aplicación de potenciómetro	(Laboratorios Process, 2020)
Conductividad eléctrica	Conductímetro	Aplicación de conductímetro	(Karlanian, 2011)

Fuente: Los autores.

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO

Para la determinación de los macronutrientes (N y P) se aplicó el método cualitativo del Kit colorimétrico (**Cuadro 3.8**), donde se comparó al N con tablas impuestas por (MAGAP, 2014), y al P con índices dados por (Pérez, 2008).

Cuadro 3.8. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de nitrógeno y fosforo.

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA	MÉTODO	AUTOR
N	Kit colorimétrico por comparación	Método cualitativo	(HIE, 2020)
P	Kit colorimétrico por comparación	Método cualitativo	(HIE, 2020)

Fuente: Los autores.

METALES PESADOS

Para la determinación de los metales pesados (Pb y Cd) se realizó de acuerdo al requerimiento de normativa oficial mexicana. Donde las muestras fueron enviadas al Laboratorio INIAP estación experimental Pichilingue para obtener resultados bajo el método que muestra (**Cuadro 3.9**).

Cuadro 3.9. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de Cd y Pb.

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA	MÉTODO	AUTOR
Pb	Espectrofotómetro de plasma acoplado inductivamente	Horno de grafito acoplado a Espectrofotométrico de absorción atómica	(Murillo et al., 2013)
Cd	Espectrofotómetro de plasma acoplado inductivamente	Horno de grafito acoplado a Espectrofotométrico de absorción atómica	(Murillo et al., 2013)

Fuente: Los autores.

MICROBIOLÓGICOS

En la determinación del parámetro microbiológico (coliformes fecales) que normativa oficial mexicana recomienda para su clasificación, se enviaron las muestras al Laboratorio Agrícola-pecuaria de la ESPAM MFL para la obtención de resultados, como lo muestra (**Cuadro 3.10**).

Cuadro 3.10. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de Coliformes fecales.

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA	MÉTODO	AUTOR
Coliformes fecales	Conteo de colonias en placa Petri	Conteo de UFC	(Camacho et al., 2009)

Fuente: Los autores.

ACTIVIDAD 4. Comparación con las normas ambientales internacionales (norma de la directiva europea y la norma oficial mexicana).

Para realizar esta actividad fue necesario tomar como referencia tablas de los límites máximos permisibles de la normativa oficial mexicana y comparar los parámetros químicos (Cd, Pb) y microbiológicos (Coliformes fecales). Esto ayudó a que los LR analizados se puedan clasificar, además conocer el uso que se les podía dar.

3.11.2FASE 2. DETERMINACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO EN COMBINACIONES DE SUELO DEGRADADO CON EL LODO RESIDUAL DE TADEL S.A.

ACTIVIDAD 5. Toma de muestra de suelo.

De acuerdo a los antecedentes expuestos por Álava y Haz (2017), se eligió el lugar a muestrear donde se consideró la opinión de la población del sitio Correaguas y aspectos como la carencia de vegetación, apariencia del suelo y accesibilidad al lugar.

La muestra se tomará en el área con mayor afectación. Se selecciona el método de muestreo de suelos la bandera inglesa Sosa (2012), donde se seleccionarán 20 puntos, estas 20 submuestras de suelo (500g) se tomarán a una profundidad de 5 - 30 cm, luego se mezclan entre sí (Fals et al., 2015), hasta obtener una muestra homogénea de aproximadamente 10kg, que se lo depositara en fundas plásticas oscuras con el fin de aislar de la luz solar. Ya obtenida la muestra se rotula y se las traslada al área de los laboratorios pertinentes, para los análisis físicos-químicos correspondientes.

ACTIVIDAD 6. Caracterización del suelo.

PARAMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

DETERMINACIÓN DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Para la toma de estos dos parámetros se utilizó el potenciómetro y conductímetro como lo indica (**Cuadro 3.11**), en la que se realizó la misma preparación de muestras, donde lo primero que se hizo fue medir 10g en la balanza de muestra seca y molida, inmediatamente se colocó en un vaso precipitado de 50ml y se le agregó agua destilada aproximadamente 50ml para diluir la muestra, para una mejor homogenización de la muestra se agitó con la ayuda de una bala magnética y la plancha de agitación durante 30 minutos.

Después de los 30 minutos transcurridos, se procedió a determinar su pH, introduciendo al vaso de precipitación que contenía el líquido, el potenciómetro, el cual arrojó el resultado final.

Para la determinación de la conductividad eléctrica de la muestra se utilizó la misma metodología anteriormente mencionada, con la diferencia que se utilizó directamente el conductímetro.

Cuadro 3.11. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de pH y conductividad eléctrica.

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA	MÉTODO	AUTOR
pH	Potenciómetro	Método directo	(Laboratorios Process, 2020)
Conductividad eléctrica	Conductímetro	Método directo	(Karlarian, 2011)

Fuente: Los autores.

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO

Para la determinación de los macronutrientes (N y P) se aplicó el método cualitativo del Kit colorimétrico (**Cuadro 3.12**), donde se comparó al N con tablas impuestas por (MAGAP, 2014), y al P con índices dados por (Pérez, 2008).

Cuadro 3.12. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de pH y conductividad eléctrica.

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA	MÉTODO	AUTOR
N	Kit colorimétrico por comparación	Método cualitativo	(HIE, 2020)
P	Kit colorimétrico por comparación	Método cualitativo	(HIE, 2020)

Fuente: Los autores.

METALES PESADOS

Para la determinación de los metales pesados (Pb y Cd) se realizó de acuerdo a la exigencia de la tabla 2 Criterios de Calidad de Suelo Libro VI anexo 2 del TULSMA Acuerdo Ministerial 097-A. Donde las muestras fueron enviadas al Laboratorio INIAP estación experimental Pichilingue para obtener resultados bajo el método que muestra **(Cuadro 3.13)**

Cuadro 3.13. Tipos de métodos y tecnologías para la determinación de Cd y Pb.

PARÁMETRO	TECNOLOGÍA	MÉTODO	AUTOR
Pb	Espectrofotómetro de plasma acoplado inductivamente	Horno de grafito acoplado a Espectrofotométrico de absorción atómica	(Murillo et al., 2013)
Cd	Espectrofotómetro de plasma acoplado inductivamente	Horno de grafito acoplado a Espectrofotométrico de absorción atómica	(Murillo et al., 2013)

Fuente: Los autores.

ACTIVIDAD 7. Valorar la degradación del suelo.

Para esta actividad fue necesario tomar como referencia los datos obtenidos en los análisis físicos (pH, CE) y químicos (Pb, Cd) realizados en los laboratorios correspondientes. A partir de esto, se determinó la degradación del suelo según lo establecido por la tabla 2 Criterios de Calidad de Suelo Libro VI anexo 2 del TULSMA Acuerdo Ministerial 097-A.

ACTIVIDAD 8. Aplicación del diseño experimental.

Dentro de la investigación se realizó un diseño experimental completamente al azar con un solo factor, contando con cuatro tratamientos y tres repeticiones por cada tratamiento, donde se obtuvo un total de 12 unidades experimentales en total, como lo recomienda Salcedo et al., (2007) y modificado por los autores.

Con guía de FAO (2000) se utilizó recipientes rectangulares de aluminio con orificios a los costados para una correcta ventilación, con medidas de aproximadamente (15x10x8) cm donde caben 0,001 m³, que contuvo la mezcla total de la muestra.

Al tener listo los 12 recipientes con la mezcla total de la muestra, se sembraron por su tamaño 25 semillas de la especie forestal *Gmelina arborea roxb*. Se verificó desde el principio, que la temperatura y la luz fueran constantes para que ocurra la germinación

durante el transcurso de los 30 días, además se realizó el riego con un aspersor manual para no llegar a inundar la unidad y mantenerla siempre hidratada (FAO, 2000).

Transcurridos los 30 días, se procedió a obtener el porcentaje de germinación con la fórmula [3.5], con el fin de facilitar la elección del mejor tratamiento de la mezcla de lodo procedente del procesamiento de harina de pescado con suelo degradado, debido a que el tratamiento que presento mayor número de semillas germinadas, es donde el lodo tuvo mayor efectividad.

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Total de semillas sembradas}} \times 100 \quad [3.5]$$

ACTIVIDAD 9. Análisis estadístico

Se le realizó los análisis correspondientes, ya indicados en los análisis estadísticos.

3.11.3FASE 3. ESTIMACIÓN DEL COSTO EN LA UTILIZACIÓN DEL LODO RESIDUAL DE TADEL S.A. PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS.

ACTIVIDAD 10. Aplicación de costo/beneficio.

Se efectuó el análisis de costo del mismo para generar un presupuesto en la utilización de lodo residual de TADEL S. A. a través del método impuesto por (Vinza, 2012), tomando en cuenta para ello 3 factores: costo de los materiales a emplear, gastos en construcción y gastos en el mantenimiento generando una sumatoria total a partir de la siguiente ecuación:

$$CP = (M_p + M_{od} + G_p) \quad [3.5]$$

Dónde:

CP= Costo de producción

Mp= Materia prima

Mod= Mano de obra directa (Técnicos)

Gp= Gasto de producción (Materiales, transporte, insumos)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FASE 1. CLASIFICACION DE LOS LODOS RESIDUALES DE TADEL S.A. MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE NORMAS INTERNACIONALES.

ACTIVIDAD 1. Georreferenciación del área de toma de muestra.

A continuación, se muestra las coordenadas geográficas proyectadas en UTM y mapa de ubicación donde se estableció el sitio de muestreo del lodo residual:

Cuadro 4. 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

SITIO	COORDENADAS	
	X	Y
PTAR TADEL	540606	9892172

Fuente: Los autores

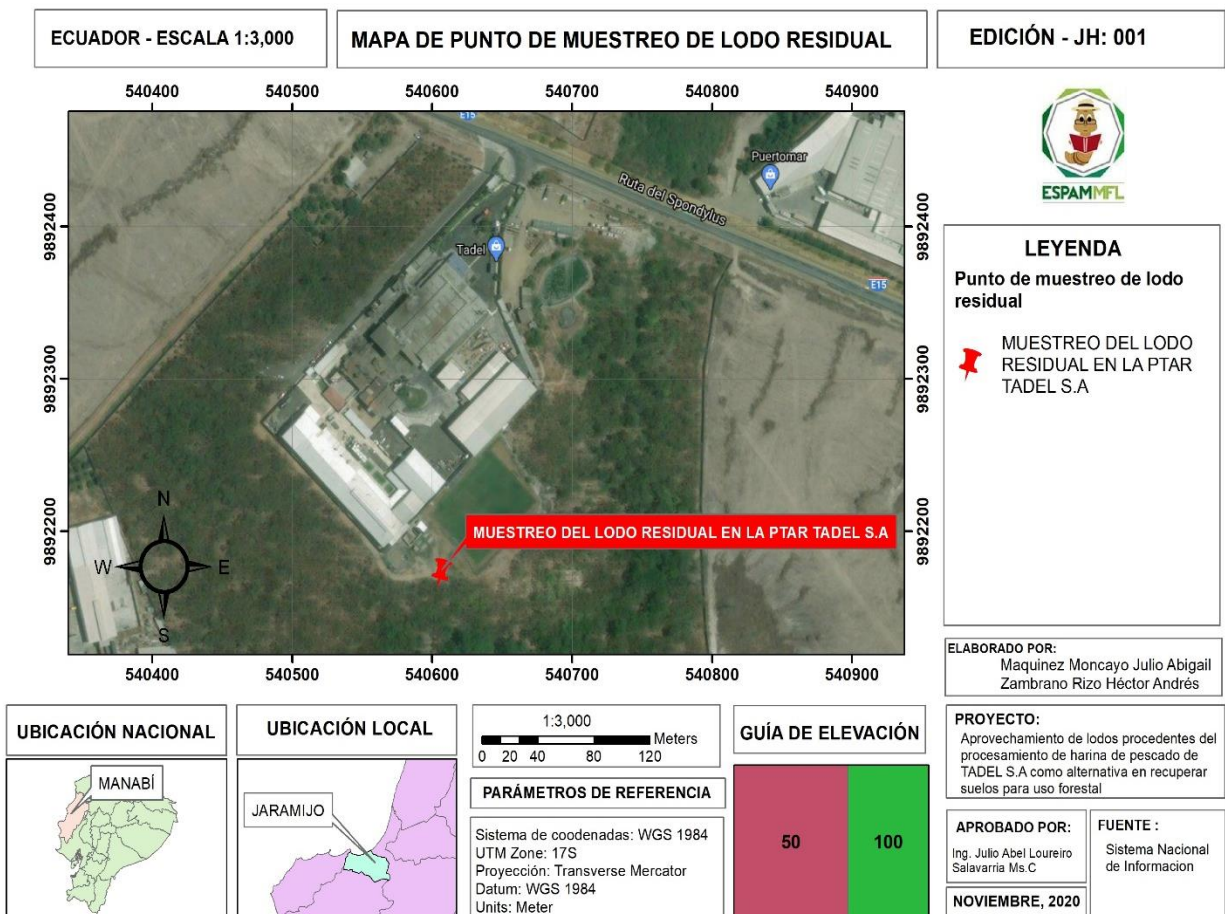


Imagen 4. 1 Mapa del sitio de muestreo de lodos residuales

ACTIVIDAD 2. Toma de muestras de lodo.

Para la extracción de la muestra, fue necesario visitar la PTAR de TADEL S.A. donde se encuentra el recipiente que contiene el lodo residual de la empresa. Además, con la guía de la normativa colombiana decreto 1287 y del autor Campos *et al.*, (2009) se realizó la extracción de submuestras del lodo hasta formar 10kg de la muestra.

ACTIVIDAD 3. Caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en muestras de lodos.

ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS

% HUMEDAD

Cuadro 4. 2. Resultados de % humedad de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.

MUESTRA	CRITERIO	RESULTADO
LODO RESIDUAL	HUMEDAD(%)	31.79

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.2 muestra las medias del porcentaje de humedad (31.79%) para más información ver (**Anexo 4-B**). Por lo que, Silva *et al.*, (2013) mencionan que las altas humedades superan al 50% en los lodos promueven el crecimiento exponencial de microorganismos, lo que se deduce a la presencia de patógenos que elevan pH y esto conlleva a una posible formación de biosidas perjudiciales para el lugar de disposición final. Además, al mostrar baja humedad Torres *et al.*, (2005) señala que no hay necesidad de aplicar métodos de estabilización como deshidratación, aplicación de cal o algún tipo de higienización para su disposición final.

DETERMINACIÓN DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Cuadro 4. 3. Resultados de pH y CE de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.

MUESTRA	CRITERIO	RESULTADO
LODO RESIDUAL	pH	7.2
	CE (dS/m)	0.34

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.3 muestra las medias de pH (7.2) y CE (0.34 dS/m) más información se puede ver (**Anexo 4-C**). El pH del lodo se tiene que es neutro ligeramente alcalino. Por lo que, Gómez y Merchán (2016) indican que esto es causado por la alta presencia de

materia orgánica, baja solubilidad de P, lo que ocasiona la capacidad de intercambiar iones con las sales presentes en el lodo.

La CE está en un rango bajo debido a la baja presencia de sales. Así que, Torres (2010) señala que los lodos tienden a ser ligeramente alcalinos por la presencia alta de patógeno y metales pesados, por lo cual, el rango oscilara entre 6,5 - 7,5.

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO

Cuadro 4. 4. Resultados de N y P de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.

MUESTRA	CRITERIO	RESULTADO
LODO	N	BAJO
RESIDUAL	P	ALTO

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.4 muestra que los lodos se encuentra en cuanto al N (BAJO) y P (ALTO). El N resultó en niveles bajos como indica tabla impuesta por (MAGAP, 2014). Por lo que, Hernández *et al.*, (2008) señalan que, debido a estos niveles no es muy favorable el desarrollo de las plantas, además, los tallos tienden a arquearse debido a la falta de este mineral en suelo.

Por otro lado, el P resultó en niveles altos como muestra el índice (Pérez, 2008). Por lo cual, Espinoza *et al.*, (2018) mencionan que el P es muy raro encontrarlos en los suelos debido a esto, la cantidad que se encuentra presente en los lodos, los hace óptimos para utilizarlos en cultivos agronómicos, pastos, y para cultivos más exigentes como los frutales y vegetales.

METALES PESADOS

Cuadro 4. 5. Resultados de Cd y Pb de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.

MUESTRA	CRITERIO	RESULTADO
LODO RESIDUAL	Pb (mg/Kg)	1.93
	Cd (mg/Kg)	0.50

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.5 muestra los resultados que emitió la estación experimental INIAP Pichilingue sobre los metales pesados Cd (1.93 mg/Kg) y Pb (0.50 mg/Kg) para más información ver (**Anexo 3-A**). Por lo que, Pérez y Azcona (2012) mencionan que el bajo nivel de cadmio facilita el manejo de los lodos, y así evita algunos de los efectos que tiene sobre la salud humana como el daño renal, osteoporosis y mayormente cáncer.

Debido al valor de Pb, Olivares *et al.*, (2013) señalan que los niveles al no superar los valores impuestos por las normas, se podrían utilizar en la producción de hortalizas para el consumo humano o en cultivos forestales. Además, González *et al.*, (2011) indican el pH al encontrarse alcalino (ligeramente) inhibe la velocidad de dispersión del metal.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Cuadro 4. 6. Resultados de análisis microbiológicos de los lodos provenientes de la PTAR TALDEL S.A.

MUESTRA	CRITERIO	RESULTADO
LODO RESIDUAL	COLIFORMES FECALES (UFC/g)	221×10^3

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.6 muestra los resultados que emitió el Laboratorio Agrícola-Pecuaria de la ESPAM MFL sobre los coliformes fecales (221×10^3 UFC/g) para más información ver (**Anexo 3-B**). Por lo que, Medina (2003), señala que al presentar niveles altos de coliformes, se puede utilizar sin previo tratamiento para la recuperación de áreas degradadas y así procurar la reducción de los costos que implican la disposición final. Pero Castillo *et al.*, (2020) mencionan que al tener presencia alta del contaminante fecal se limita su aprovechamiento por un cierto tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo debido a que se le debe realizar una previa estabilización para certificar su uso.

ACTIVIDAD 4. Comparación con las normas ambientales internacionales (norma mexicana).

Cuadro 4. 7. Comparación de resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos de la PTAR con norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

PARÁMETRO	CRITERIO	UNIDAD	CANTIDAD	NORMA OFICIAL MEXICANA
FISICOQUÍMICOS	Cadmio	mg/Kg	0.50	39 - 85
	Plomo	mg/Kg	1.93	300 - 840
	Coliformes fecales	UFC/g	221×10^3	Clase A: <1000 Clase B: <1000 Clase C: < 2×10^6

Fuente: Los autores

El cuadro 4.7 muestra que el valor de Cadmio se encuentra dentro de los límites permisibles (39-85) mg/Kg de la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Así mismo, el valor de Plomo se encuentra dentro de los límites permisibles (300-840) mg/Kg de la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

El valor de coliformes fecales de la muestra, ayudó a clasificar al lodo como clase C específicamente para uso forestal, dentro de la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Infiriendo así, que los lodos por la baja presencia de metales pesados (Cd y Pb) se encuentran en excelente estado. Pero, la parte microbiológica implica cierto riesgo al presentar valores elevados de los coliformes fecales. Por lo que, la norma sugiere que es importante realizarle una previa estabilización si se destina a cultivos de consumo directo, como no ocurre en el uso forestal.

4.2 FASE 2. DETERMINACIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO EN COMBINACIONES DE SUELO DEGRADADO CON EL LODO RESIDUAL DE TADEL S.A.

ACTIVIDAD 5. Toma de muestra de suelo.

A continuación, se muestra las coordenadas geográficas proyectadas en UTM donde se estableció el sitio de muestreo:

Cuadro 4. 8. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

LUGAR	COORDENADAS	
	X	Y
P1	553840	9897562
P2	553826	9897549
P3	553820	9897540
P4	553810	9897534
P5	553800	9897537
P6	553790	9897546
P7	553779	9897549
P8	553774	9897556
P9	553785	9897566
P10	553798	9897574
P11	553808	9897586
P12	553820	9897586
P13	553825	9897577
P14	553833	9897568
P15	553824	9897561
P16	553812	9897571
P17	553795	9897556
P18	553804	9897545
P19	553809	9897560
P20	553811	9897553

Fuente: Los autores

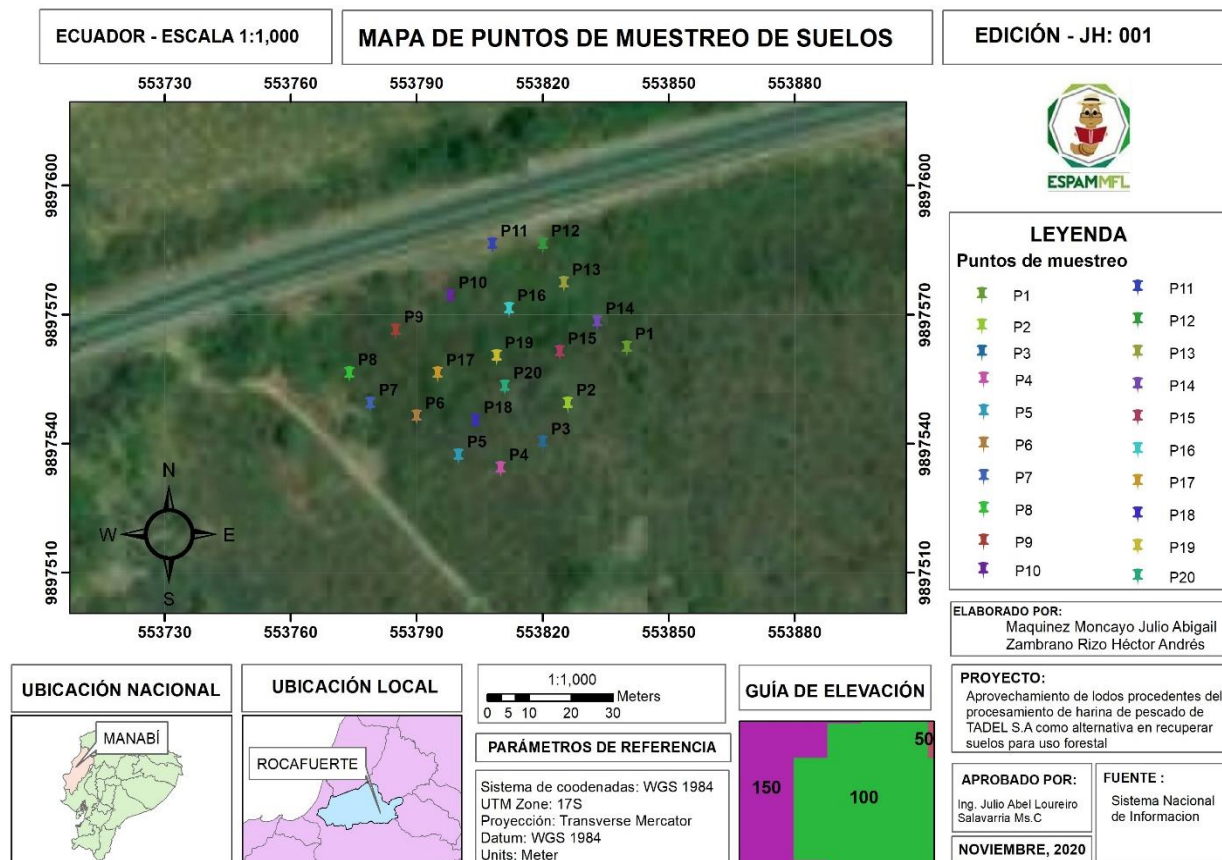


Imagen 4. 2. Mapa del sitio de muestreo del suelo degradado.

En la toma de muestra se constató que el área luciera sin vegetación, para luego tomar 20 submuestras y homogenizarlas formando 1 sola muestra como lo indica (Sosa, 2012).

ACTIVIDAD 6. Caracterización del suelo.

PARAMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

DETERMINACIÓN DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Cuadro 4. 9. Resultados de pH y CE del suelo degradado.

MUESTRA	CRITERIO	RESULTADO
SUELO	pH	8.10
DEGRADADO	CE (dS/m)	4.20

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.9 muestra las medias de pH (8.10) y CE (4.20 dS/m) para más información ver (**ANEXO 4-D**). El pH que tiende a ser un suelo alcalino (ligeramente) debido a que simple vista presenta dificultades de permeabilidad, además se presume que la asimilación del fósforo disminuye por la presencia de carbonatos sódicos (Andrades y Martínez, 2014). Así mismo, los autores mencionan que la CE se encuentra en el rango de un suelo salino por presentar niveles altos de cationes que promueven el origen de salinidad y así impedir el crecimiento de vegetación.

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO

Cuadro 4. 10. Resultados de N y P del suelo degradado.

MUESTRA	CRITERIO	RESULTADO
SUELO	N	BAJO
DEGRADADO	P	ALTO

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.10 muestra que el suelo se encuentra en cuanto al N (BAJO) y P (ALTO). El N resulto en niveles bajos como indica tabla impuesta por (MAGAP, 2014). Por lo que, Hernández *et al.*, (2008) indican que para mostrar aumento de este macronutriente se debe aplicar abonos, sustancias o alguna alternativa que aporten nitrógeno al suelo para suplir aquel déficit.

Por otra parte, el P resulto en niveles altos como indica (Pérez, 2008). De acuerdo Álava y Haz (2017) mencionan que se le atribuye al posible uso (agrícola) que anteriormente que se le daba al suelo, además de la presencia de salinidad.

METALES PESADOS

Cuadro 4. 11. Resultados de Cd y Pb del suelo degradado.

MUESTRA	CRITERIO	RESULTADO
SUELO	Cd (mg/Kg)	2.05
DEGRADADO	Pb (mg/Kg)	4.13

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.11 muestra los resultados que emitió la estación experimental INIAP Pichilingue sobre los metales pesados Cd (2.05 mg/Kg) y Pb (4.13 mg/Kg) para más información ver (**Anexo 3-A**). El valor de Cd se debe, a que se presume que en la zona existía el uso intensivo de fertilizantes fosforados (Álava y Haz, 2017), debido a que, al tener cadmio en su composición química, perjudica con el tiempo al suelo al momento de su aplicación (Bonomelli *et al.*, 2003).

Infiriendo así que el valor de Pb, se debe a la salinidad en el suelo por retener al metal por dos formas. En primer lugar, los cationes Na y K pueden reemplazar a metales pesados donde exista intercambio catiónico. Y la segunda forma, los aniones cloruro y sulfato pueden formar compuestos estables con el metal (Galán Y Romero, 2008).

ACTIVIDAD 7. Valorar la degradación del suelo.

Cuadro 4. 12. Valoración de la degradación del suelo.

PARÁMETRO	CRITERIO	UNIDAD	CANTIDAD	TULSMA LIBRO VI ANEXO 2
Fisicoquímicos	pH	-	8.1	6 a 8
	Conductividad eléctrica	dS/m	4.20	2
	Cadmio	mg/kg	2.05	0.5
	Plomo	mg/kg	4.13	25

Fuente: Los autores.

El Cuadro 4.12 muestra que el pH de la muestra, supera ligeramente los límites máximos permisibles (6 a 8) de la tabla 2 Libro VI anexo 2 del TULSMA (Criterios de Calidad de Suelo) Acuerdo Ministerial 097-A.

El valor de la Conductividad eléctrica de la muestra, supera los limite máximos permisibles (2) la tabla 2 Libro VI anexo 2 del TULSMA (Criterios de Calidad de Suelo) Acuerdo Ministerial 097-A.

El valor de Cadmio de la muestra supera los límites máximos permisibles (0.5 mg/kg) de la tabla 2 Libro VI anexo 2 del TULSMA (Criterios de Calidad de Suelo) Acuerdo Ministerial 097-A.

El valor de Plomo en la muestra de suelo se encuentra en niveles tolerables dentro de los límites permisibles (25 mg/kg) de la tabla 2 Libro VI anexo 2 del TULSMA (Criterios de Calidad de Suelo) Acuerdo Ministerial 097-A.

Por lo que se infiere que, el suelo al mostrar que el pH, CE y Cd sobrepasan evidentemente los límites permisibles de la norma ecuatoriana, se indica que la degradación del suelo es evidente, por lo que se considera una remediación.

ACTIVIDAD 8. Aplicación del diseño experimental.

Cuadro 4. 13. Diseño experimental

UNIDAD ESPERIMENTAL	X_{Lodo} (%) p/p	X_{Suelo} (%) p/p	GERMINACIÓN (%)
T1	0	100	23
T2	10	90	32
T3	20	80	72
T4	30	70	75

Fuente: Los autores.

El cuadro 4.13 muestra los valores de los resultados de las medias del porcentaje de germinación para los 4 tratamientos para más información ver (**Anexo 4-E**).

ACTIVIDAD 9. Análisis estadístico

El cuadro 4.14 refleja los valores del Anova para más información ver los supuestos prueba de homogeneidad de varianzas (**Anexo 4-G**) y pruebas de normalidad. (**Anexo 4-H**).

Cuadro 4. 14. Anova % Germinación de la especie *Gmelina arborea roxb.*

	SUMA DE CUADRADOS	GL	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIG.
Entre grupos	405,583	3	135,194	81,117	,000
Dentro de grupos	13,333	8	1,667		
Total	418,917	11			

Fuente: Los autores.

Además, el cuadro 4.14, muestra que existe diferencia significativa entre la media del porcentaje de germinación de la especie *Gmelina arborea roxb.* entre un nivel de

tratamientos y otro, con un nivel del 95% de confianza, dado que el valor de SIG de la prueba-F es menor que 0,05.

El cuadro 4.15 refleja los valores de la prueba Tukey para más información ver (**Anexo 4-I**)

Cuadro 4. 15. Prueba de HSD Tukey.

% Germinación			
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1	3	22,67	
T2	3	32,00	
T3	3		72,00
T4	3		74,67
Sig.		,199	,919

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Fuente: Los autores.

Mediante la prueba de Tukey aplicada a los tratamientos, se logró identificar dos subconjuntos homogéneos el número 1 (T1 y T2) que se diferencian significativamente con el número 2 (T3 y T4). Por lo que, conociendo los resultados del Anova y la prueba del Tukey se puede concluir que la variación del porcentaje de la composición másica de lodo en la mezcla lodo-suelo degradado influye en el porcentaje de germinación de la especie *Gmelina arborea roxb.*

El Gráfico 4.1 muestra el porcentaje de germinación de la especie *Gmelina arborea roxb* por cada tratamiento

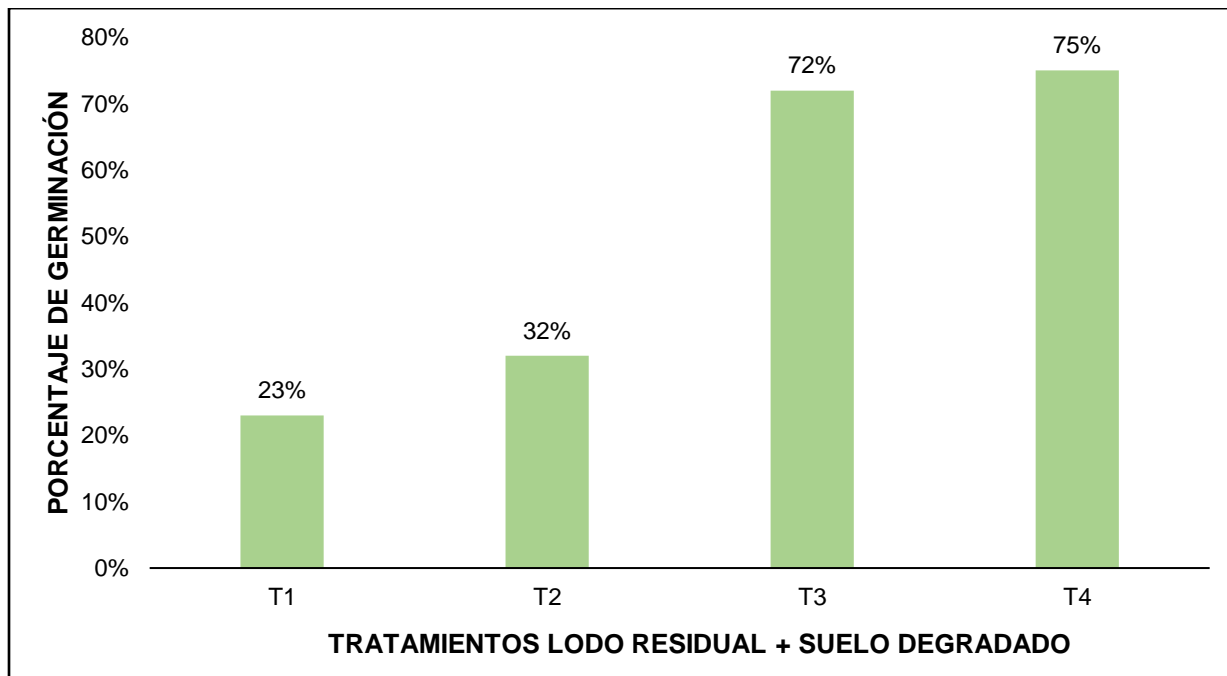


Gráfico 4. 1. Porcentaje de germinación de la especie *Gmelina arborea roxb.*

En el Gráfico 4.1 se muestra que los tratamientos T1, T2, T3, T4 respectivamente (23%, 32%, 72%, 75%), lograron el porcentaje de germinación de las semillas de la especie forestal *Gmelina arborea roxb.* De acuerdo con el análisis de la varianza obtenido, se determinó que existe diferencia significativa en la aplicación del lodo residual en el suelo degradado.

Además, el Gráfico 4.1 muestra que el (T1 y T2), tienen una leve diferencia entre el porcentaje de germinación. Por otro lado, el (T3 y T4) se mantienen muy parecidos, como no sucede con los dos primeros tratamientos. Siendo T4, el mejor agrónomicamente por mostrar mayor porcentaje de germinación. Por lo que, Salcedo et al., (2007) comprobaron en su investigación sobre la evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco que, a mayor porcentaje de lodo en sus mezclas, mayor fue el % supervivencia de su especie (Pino). Álvaro (2019) indica que esto se debe al alto nivel de fósforo, debido a que este macronutriente favorece el crecimiento de las plantas y ayudar a que se reproduzcan de forma óptima, además, provoca el aumento de la resistencia a enfermedades de plantas en lugares fríos.

4.3 FASE 3. ESTIMACIÓN DEL COSTO EN LA UTILIZACIÓN DEL LODO RESIDUAL DE TADEL S.A. PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS.

ACTIVIDAD 10. Aplicación de costo/beneficio.

Esta actividad se estableció bajo el estudio de Vinza (2012) en el que se consideraron los precios unitarios de la materia prima, mano de obra y gasto de producción (**ECUACIÓN 3.5**) para estimar el gasto del T3 que fue el mejor al presentar mayor porcentaje de germinación.

Cuadro 4. 16. Mp= Materia prima

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
LODO RESIDUAL	0	0	0
SUELO DEGRADADO	0	0	0
TOTAL			0

Fuente: Los autores.

Cuadro 4. 17. Mod= Mano de obra directa

MANO DE OBRA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
JULIO ABIGAIL MARQUINEZ MONCAYO	1	\$15	\$15
HECTOR ANDRES ZAMBRANO RIZO	1	\$15	\$15
TOTAL			\$30

Fuente: Los autores.

Cuadro 4. 18. Gp= Gasto de producción

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
FUNDAS PLASTICAS	4	\$0.02	\$0.08
RECIPIENTE PARA LA MUESTRA	3	\$0.10	\$0.30
TRANSPORTE	1	\$6	\$6
TOTAL			\$7.10

Fuente: Los autores.

Teniendo los valores se remplazan:

$$CP = (M_p + M_{od} + G_p)$$

$$CP = (0 + \$30 + \$7.10)$$

$$CP = \$37.10$$

El costo para preparar el T3 con tres repeticiones fue de treinta y siete dólares con diez centavos (\$37.10), teniendo en cuenta que el mayor costo se generó en la mano de obra,

por lo que, el valor total (**Costo de producción**) se considera accesible, es decir, el lodo residual de procedentes de la PTARI de TADEL S.A. puede ser utilizado en la recuperación de suelos degradados. Pero surgen inconvenientes en la parte económica, debido a que, desde un inicio para su uso, se le debe realizar análisis previos (físicos, químicos y microbiológicos) a los lodos para conocer su composición, con el fin de poderles dar un correcto manejo y aprovechamiento agroecológico. Además, se infiere que el transporte puede llegar a ser el mayor gasto a futuro, debido a que, si se lo utiliza a gran escala se elevará el precio cuando se necesite mover de un lugar a otr

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los datos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de los lodos residuales procedentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), fueron humedad (31.79%), pH (7.2), conductividad eléctrica (0.34 dS/m), nitrógeno (bajo), fosforo (alto), cadmio (0.50 mg/Kg), plomo (1.93 mg/Kg) y coliformes fecales (221×10^3 UFC), encontrándose este último valor elevado causando que se clasifiquen los lodos como Clase C de acuerdo a la normativa oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.
- En los análisis de los parámetros físicos y químicos del suelo originarios del sitio Correagua, Manabí, el suelo se encuentra con altos niveles de cadmio (2.05 mg/Kg) superando los límite máximos permisibles de la tabla 2 Libro VI anexo 2 del TULSMA (Criterios de Calidad de Suelo) Acuerdo Ministerial 097-A. Luego se realizó las combinaciones de lodo residual y suelo degradado, para comprobar que el T4 fue el mejor tratamiento por presentar el (75%) de porcentaje de germinación de la especie *Gmelina arborea roxb.*
- El uso de los lodos residuales es una forma económica para aportar nutrientes principalmente (P) a los suelos destinados al uso forestal, en donde el costo es (\$37,10) para la preparación del (T3) con sus tres repeticiones. Por lo que, la comercialización de los lodos podría generar a futuro ganancias significativas a la empresa.

5.2 RECOMENDACIONES

- Incentivar a que se siga con estudios en el aprovechamiento de los lodos residuales, debido a que presentan en su composición química altos niveles de fosforo que no es muy común encontrarlo en los suelos.
- Evaluar más tratamientos con el fin de corroborar que se puede utilizar en menor cantidad el lodo, y así buscar un equilibrio entre la parte económica y agronómica.
- Proponer que las autoridades ambientales del país, establezcan normas para un correcto manejo y disposición final de los lodos.

BILIOGRAFÍA

- AEMA (Especialistas en soluciones al ciclo integral del agua). (2014). Control Analítico e Inspección de Vertidos. Obtenido de <http://aguasindustriales.es/tag/aguas-residuales-de-harinas-de-pescado/>
- Álava, D., & Haz, E. (2007). Aplicación de cocteles microbiano y bovinazacascarilla de arroz para la recuperación de muestras de suelos salinos del sitio Correagua, Manabí (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Felix López, Calceta, Ecuador
- Álvaro, G. (2019). El fósforo y su importancia en el crecimiento vegetal. Obtenido de <https://www.fertibox.net/single-post/fosforo-agricultura>
- Amador, A., Veliz, E., & Batalle, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. CENIC. Ciencias Químicas, 1-10.
- Andrades, M., & Martínez, M. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/download/libro/267902.pdf>
- Arrieche, & Mora. (2015). EFECTO DE LA APLICACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS. Bioagro, 155-159.
- Bonomelli, C., Bonilla, C., & Valenzuela, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. Pesq. agropec. bras., 1179-1186.
- Campos, E., García, N., Velásquez, A., y García. M. (2009). Análisis básico del reuso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del parque nacional nevado de Toluca. Quivera, 35-51.
- Cardoso, A., y Ramírez, E. (2000). Identificación de tratamientos de lodos residuales, Comisión nacional del agua, subdirección general de administración del agua. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/lodosresidual.pdf>
- Castillo, G., Balarezo, L., Vinces, B., & Zambrano, H. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. RIEMAT, 4.
- Chicón, L. (2007). Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Obtenido de <http://ambientis.org/lodos.html>
- Cupe, C., & Juscamaita, J. (2018). TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA CERVECERA A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN HOMOLÁCTICA PARA LA PRODUCCIÓN ACELERADA DE ABONO ORGÁNICO. Ecología Aplicada, 5-13.

- Díaz, A., Veliz, L., y Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. CENIC, 1-10
- DOF (Diario Oficial de la Federación Mexicana). (2003). NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003.
- EcuRed. (4 de Abril de 2014). Erosión del suelo. Obtenido de EcuRed: https://www.ecured.cu/Erosi%C3%B3n_del_suelo
- EF (Ecuador Forestal). (2020). Melina. Obtenido de <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-3-melina/>
- Espinoza, L., Slaton, N., & Mozaffari, M. (2018). Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. Obtenido de <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf>
- Fals, E., Molina, L., Rizo, M. y Vuelta, D. (2015). Evaluación de la solarización, la biofumigación y la biosolarización en el control de nematodos en el cultivo de la habichuela (*vigna unguiculata*). Vuelta-Lorenzo, 26–36
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2000). Ensayos de germinación. Obtenido de <http://www.fao.org/3/AD232S/ad232s12.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2009). Estado Mundial del estado suelo. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Ferrari, A. (2014). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. Facultad de Agronomía, 20-25.
- Galán, E., Y Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Obtenido de http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- Galvis, J., y Rivera, X. (2013). Característica físico-química y microbiológica de los lodos presentes en la tabla de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa Jugos HIT de la ciudad de Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3898/62839G182.pdf?sequence=1>
- García, M. (2016). Tratamiento de agua residuales. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12044/1/UPS-CT005866.pdf>
- Gomez, L., & Merchan, A. (2016). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS LODOS PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE UNA EMPRESA DE CAFÉ DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS. Obtenido de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1305/Laura%20Lizeth%20Gomez%20Molina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- González, E., Tornero, M., Sandoval, E., Pérez, A., & Gordillo, A. (2011). BIODISPONIBILIDAD Y FRACCIONAMIENTO DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS ENMENDADOS CON BIOSÓLIDOS DE ORIGEN MUNICIPAL. *Int. Contam. Ambie.*, 291-301.
- Granado, D., Hernández, M., Vásquez, A., y Ruis, P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/629/62926254004.pdf>
- Gutiérrez, F., Guachamin, D., & Portillo, A. (2017). VALORACIÓN NUTRICIONAL DE TRES ALTERNATIVAS ALIMENTICIAS EN EL CRECIMIENTO Y ENGORDE DE CERDOS (*Sus scrofa domestica*). Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4760/476052525013/index.html>
- Hernández, M., Marrero, V., González, M., Salgado, J., & Ojeda, A. (2008). Niveles de nitrógeno y su fraccionamiento en el cultivo del gladiolo para suelos Ferralíticos Rojos. *Pesq. agropec. bras*, 21-27.
- HIE (HANNA INSTRUMENTS ECUADOR). (2020). Kit químico de pruebas de suelo para NPK. Obtenido de <https://hannainst.ec/productos/linea/agricultura-e-hidroponia/kit-quimico-de-pruebas-de-suelo-para-npk-25-pruebas-de-cada-una/>
- Ibañez, J. (2008). Tipos de suelos salinos. Obtenido de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/04/81822>
- Ibarra, J. (2011). Degradación del suelo y sus efectos sobre la población. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5654360>
- Jácome, M. (2016). Ordenanza que reglamenta el uso de suelo y el cobro de tasas por dicho concepto en la jurisdicción del cantón Nobol. Obtenido de <http://www.nobol.gob.ec/ordenanzas2016/Ordenanza%20uso%20de%20suelo%2027-12-2016.pdf>
- Limon, J. (2013). LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO? Obtenido de http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- Limon, J. (2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?. Obtenido de http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- Lucía, M. (2011). Lodos de aguas residuales industriales. Obtenido de <https://es.slideshare.net/marthaluciv25/lodos-industriales>
- MAE. (2004). Ley de prevención y control de las contaminación ambiental. Obtenido de <http://web.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/07.+Normativa+Acuerdo+Ministerial+142+-+Listados+SQP,%20DP+y+DE.pdf/20d40036-7aa9-4465-b295-e5c6e8dbbfa6;jsessionid=MfOgVh6yCXIziSI9Rtb6hznzf?version=1.0>

- MAGAP (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2014). Proyecto de generación del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/USO%20DE%20LA%20TIERRA/01-METODOLOGIA_MAPA_COBERTURA_USO.pdf
- Medina, J. (2003). LODOS RESIDUALES COMO ALTERNATIVA PARA LA RECUPERACION DE SUELOS. Obtenido de <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/unarrow/0092.pdf>
- Melo, A., Rodríguez, A., y González, J. 2017. Manejo de Biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay. *Investigación Agraria y Ambiental*, 217-226
- Metcalfy, & Eddy. (1998). Pretatamiento con Cal. Mexico: UDLAP.
- Montenegro, J. (2014). BORRADOR DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EX-POST PLANTA DE PRODUCCION DE HARINA DE PESCADO "BERACAMAR S.A". Obtenido de https://maesantaelena.files.wordpress.com/2014/06/borrador_esia_beracamarsa_mae.pdf
- Murillo, J., Rodríguez, G., Roncallo, B., Rojas, L., y Bonilla, R. (2006). Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*, 270-278
- Murillo, L., Dominguez, J., Fernandez, L., y Alvarado, J. (2013). Diseño y optimización de una celda para generar vapor frio de mercurio y su determinación por Espectroscopia de Absorción Atómica. *Avances en Química*, 153-156
- MVCT (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio). (2014). Criterios para el uso de los biosólidos generados en. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>
- MW (Market Watch). (2015). Análisis de las principales actividades económicas en las ciudades de Manta y Portoviejo. Obtenido de <http://marketwatch.com.ec/2016/06/analisis-de-las-principales-actividades-economicas-en-las-ciudades-de-manta-y-portoviejo-a-dic-2015/>
- Olivares, S., García, D., Lima, L., Saborit, I., Lliza, A., & Pérez, P. (2013). Niveles de cadmio, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la Habana, Cuba. *Internacional de contaminación ambiental*, 188-499.
- Oropeza, N. (2016). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 51-58.
- Ortiz, L., Gutiérrez, M., y Sánchez, E. (1995). Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca. Estado de Morelos, México. *Contaminación ambiental*, 105-115

- Ortíz, L., Sánchez, E., y Gutiérrez, M. (1999). Efecto de la adicción de lodos residuales sobre un suelo agrícola y cultivo de maíz. *Contaminación ambiental*, 69-77.
- Panos, A. (2014). El sustrato de la vida, el suelo. *Catedu educativa*, 2-5.
- Paredes, P. (2014). Estudio de aguas residuales de laguna de oxidación e incidencia en la contaminación y desarrollo turístico de la playa Tarqui-Manta. Centro de estudios de postgrado investigaciones, relaciones y cooperación internacional, 11-12.
- Paz, C., Henríquez, O., y Freres, R. (2007). Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. *Geografía Norte Grande*, 35-45
- Pérez, P; Azcona, M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 199-205
- Pérez, L., Rodríguez, L., & Gómez, M. (2008). Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*, 477-486.
- Piscitelli, M. (2015). Degradación de suelos. Obtenido de UNICEN:
<https://www.unicen.edu.ar/content/degradaci%C3%B3n-de-suelos>
- Salcedo, E., Vázquez, A., Krishnamurthy, L., Zamora, F., Hérnadez, E., y Rodríguez, R. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco. *Asociación Interciencia*, 115-120.
- Sánchez, G. (2016). ECOTOXICOLOGÍA DEL CADMIO. Obtenido de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>
- Silva, J., Bedoya, D., & Torres, P. (2013). Efecto del secado térmico y el tratamiento alcalino en las características microbiológicas y químicas de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Química Nova*, 207-214.
- Solís, J. 2017. Ecuador logra record de exportaciones en el 2016 de harina de pescado. *Ecuador pesquero*. 10-12
- Sosa, D. (2012). Técnicas de toma y remisión de muestras de suelos. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-tnicas_de_toma_y_remisin_de_muestras_de_suelos.pdf
- Toledo, M. (2020). Determinación del contenido de humedad. Obtenido de https://www.mt.com.mx/es/home/applications/Laboratory_weighting/moisture-content-determination.html
- Torres, E. (2010). Reutilización de aguas y lodos residuales. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>

- Torres, P., Marmolejo, L., & Botina, A. (2005). Mejoramiento del potencial agrícola de lodos digeridos anaeróbicamente con el uso de cal. *Agronomía*, 310-316.
- TULSMA. (2016). Norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes. Límites de Parámetros para descargas de agua dulce, 45-47.
- UCO (UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ORIENTE). Clasificación de los usos industriales; impactos urbanísticos y ambientales. UCO, 23-25
- Valarezo, & Vilamagua. (2016). RESPUESTA DEL PACHACO (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) Y LA MELINA (*Gmelina arborea* Roxb.) A LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN Y FERTILIZACIÓN EN EL SUR DE LA AMAZONIA ECUATORIANA. *Revista UNL*, 1390-3683.
- Valderrama, M. (2013). Factibilidad de aprovechamiento de los lodos de la PTAR del municipio de Chinavita (Boyacá). Obtenido de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/handle/6789/944>
- Valdéz. (2018). Estimación de la resistencia a la penetración de suelos usando. *Acta Agronómica*, 0120-2812.
- Velasquez, J. (2003). El suelo. Obtenido de <http://www.psi.gob.pe/wp->
- Velázquez, M., Equihua, J., Venegas, J. M., Pimente, J., & Muñoz, M. (2019). Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. *Terra Latinoamericana*, 243-251.
- Villagaray. (2015). Recuperación de terrenos degradados por el cultivo de coca (*Erythroxylon coca*) En VRAEM, Perú, con aplicación de Tecnología Agroforestal. *Acta Nova*, 1683-0789.
- Villamagua. (2016). ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y EVOLUCIÓN DE LA FERTILIDAD DE. *Nutrición Vegetal*, 70-98.
- Vinza, S. (2012). Propuesta para la aplicación del método de costo. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/165/1/T-UC-0005-20.pdf>
- Yáñez, W., Núñez, O., Yáñez, D., Rivera, V., López, I., & Velástegui, G. (2017). Niveles de nitrógeno en suelos del cantón Chambo, provincia de Chimborazo. 152-159. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v5n2/v5n2_a10.pdf
- Zuñiga, Osorio, & Cuero. (2018). Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de Suelos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* -, 5769-5779

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de los lodos residuales de TADEL S.A**Anexo 1-A** Toma de muestras de lodo**Anexo 1-B** Determinación de humedad.**Anexo 1-C** Determinación pH y CE.**Anexo 1-D** Determinación de N y P.

Anexo 2. Determinación del mejor tratamiento en combinaciones de suelo degradado con el lodo residual de TADEL S.A.



Anexo 2-A Toma de muestra



Anexo 2-B Determinación de pH y CE.



Anexo 2-C Determinación de N y P



Anexo 2-D Aplicación del diseño experimental.




Anexo 2-E Aplicación de semillas.



Anexo 2-F Semillas germinadas.


Anexo 3. Resultados de los laboratorios certificados.


 ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE" LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24 Quevedo - Ecuador Teléfonos: 783044 783128 Ext. 201			
Nombre del Propietario :	Zambrano Rizo Héctor Andrés	Telef : 0983370531	Reporte N° : 7372
Nombre de la Propiedad :	Cultivo :		Fecha de muestreo : 19/06/2020
Localización :	Calceta	Bolívar	Manabí
	Parroquia	Carbón	Provincia
			Fecha de ingreso : 28/06/2020
			Fecha salida resultados : 18/09/2020

RESULTADOS DE ANÁLISIS ESPECIAL DE PLOMO Y CADMIO SEMITOTAL EN SUELO


Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	Pb	Cd
		mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
426	Andrés Zambrano M1	1.93	0.50
427	Andrés Zambrano M2	4.13	2.05

Instrumento de análisis: EAA-HGA (Horno de Grafito acoplado a Espectrómetro de Absorción Atómica)
Límite de detección (LD): 0.18 ug L ⁻¹ Cd
Límite de cuantificación (LC): 0.60 ug L ⁻¹ Cd
Límite de detección (LD): 2.57 ug L ⁻¹ Pb
Límite de cuantificación (LC): 8.55 ug L ⁻¹ Pb
Nivel crítico en suelos agrícolas: (Cd) 2 mg kg ⁻¹ , (Pb) 35 mg kg ⁻¹ (TULA, acuerdo No. 061, Año II- N-316, mayo de 2015)


 RESPONSABLE DPTO.


 ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
 QUEVEDO

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Después de este tiempo se aceptará el resultado de la muestra.


 LABORATORISTA

Anexo 3-A Resultados de metales pesados Lodo (M1) y suelo(M2).



Laboratorio
de
Microbiología



ESPAM MFL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ



Laboratorio
de
Microbiología

REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS EN TESIS

ESTUDIANTES:	Marquinez Moncayo Julio Abigail Zambrano Rizo Héctor Andrés	C.I.:	1314141373 1314751973
DIRECCIÓN:	Caiceta	N° DE ANÁLISIS	020
TELÉFONO:	0983370531	FECHA DE RECIBIDO	24/08/2020
NOMBRE DE LA MUESTRA:	Muestra de suelo (Lodo residual)	FECHA DE ANÁLISIS	24/08/2020
CANTIDAD RECIBIDA:	318,5 g	FECHA DE MUESTREO	25/08/2020
OBJETIVO DEL MUESTREO:	Control de calidad	FECHA DE REPORTE	26/08/2020

RESULTADOS

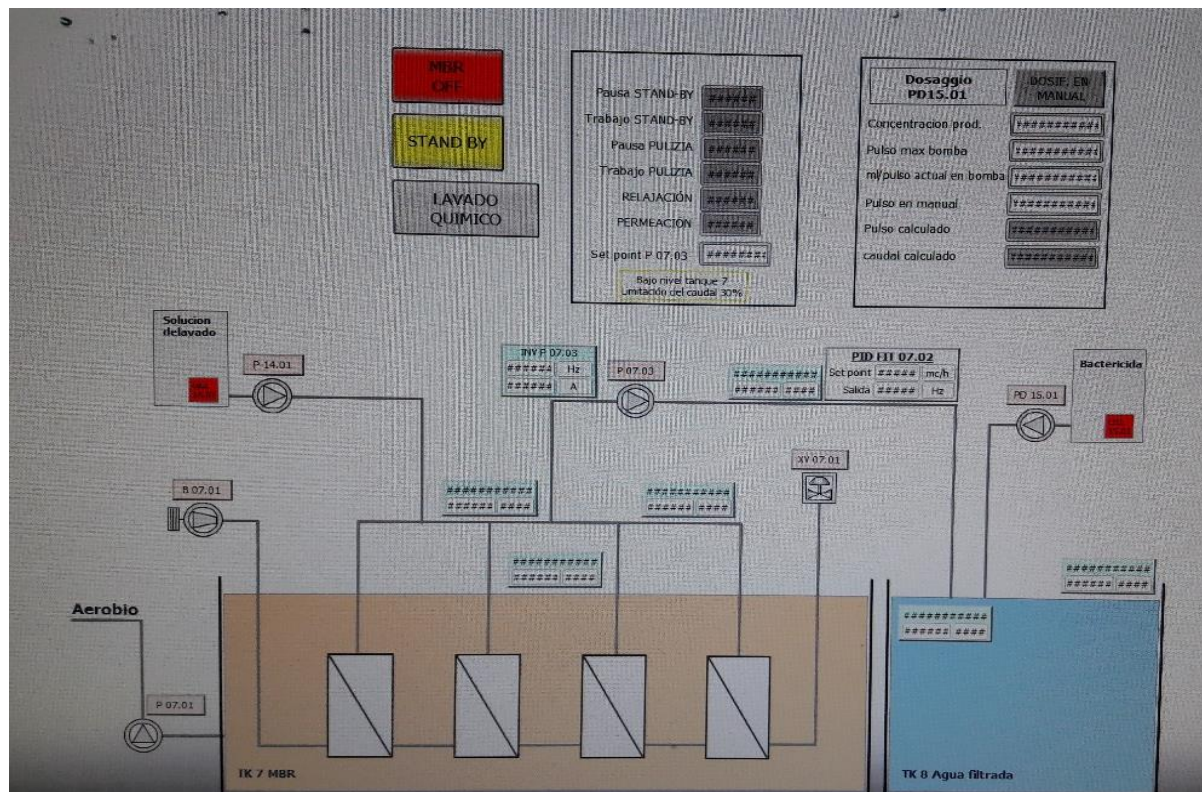
MUESTRA POR TRATAMIENTO	PRUEBAS SOLICITADAS ACEPTABLE NO ACEPTABLE	RESULTADOS	
		MUESTRA DE SUELO (Lodo residual)	Determinación de Coliformes fecales ufc/g



Bigo. Johnny Navarrete A.
COORDINADOR DEL LAB. DE MICROBIOLOGÍA

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DEL ÁREA AGROPECUARIA DE LA ESPAM MFL
Correo: labmicrobiologiamv@espam.edu.ec

Anexo 4. Base de datos.



Anexo 4-A PTARI de TADEL S.A.

MUESTRA	PESO INICIAL(g)	PESO FINAL(g)	% HUMEDAD	MEDIA
1	81.45	55.56	31.79	31.79
2	83.65	57.06	31.79	

Anexo 4-B Matriz de media del % humedad del lodo residual.

MUESTRA	pH		CE (dS/m)	
	REPETICIÓN	MEDIA	REPETICIÓN	MEDIA
1	7.4	7.2	0.34	0.34
2	7.1		0.33	
3	7.1		0.34	

Anexo 4-C Matriz de media del pH y CE del lodo residual.

MUESTRA	pH		CE (dS/m)	
	REPETICIÓN	MEDIA	REPETICIÓN	MEDIA
1	8.15		4.13	
2	7.9	8.1	4.23	4.20
3	8.25		4.23	

Anexo 4-D Matriz de media del pH y CE del suelo degradado.

UNIDAD ESPERIMENTAL	LODO (%)	SUELO DEGRADADO (%)	SEMILLAS GERMINADAS (#)			TOTAL DE SEMILLAS SEMBRADAS(#)	GERMINACIÓN (%)			MEDIA (%)
			R1	R2	R3		R1	R2	R3	
T1	0	100	5	5	7	25	20	20	28	23
T2	10	90	8	7	9	25	32	28	36	32
T3	20	80	20	17	17	25	80	68	68	72
T4	30	70	18	18	20	25	72	72	80	75

Anexo 4-E Matriz de media del % de germinación de Gmelina.

N	MEDIA	DES. DESVIACIÓN	DES. ERROR	95% DEL INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA		MÍNIMO	MÁXIMO	
				LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR			
T1	3	22,67	4,619	2,667	11,19	34,14	20	28
T2	3	32,00	4,000	2,309	22,06	41,94	28	36
T3	3	72,00	6,928	4,000	54,79	89,21	68	80
T4	3	74,67	4,619	2,667	63,19	86,14	72	80
Total	12	50,33	24,685	7,126	34,65	66,02	20	80

Anexo 4-F Descriptivos.

		ESTADÍSTICO DE LEVENE	GL1	GL2	SIG.
GERMINACION	SE BASA EN LA MEDIA	,974	3	8	,451
	SE BASA EN LA MEDIANA	,056	3	8	,982
	SE BASA EN LA MEDIANA Y CON GL AJUSTADO	,056	3	5,684	,981
	SE BASA EN LA MEDIA RECORTADA	,803	3	8	,526

Anexo 4-G Prueba de homogeneidad de varianzas.

TRATAMIENTO	KOLMOGOROV-SMIRNOVA			SHAPIRO-WILK			
	ESTADÍSTICO	GL	SIG.	ESTADÍSTICO	GL	SIG.	
GERMINACION	T1	,385	3	,750	,750	3	,000
	T2	,175	3	1,000	1,000	3	1,000
	T3	,385	3	,750	,750	3	,000
	T4	,385	3	,750	,750	3	,000

Anexo 4-H Pruebas de normalidad.

(I) TRATAMIENTO		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T1	T2	-9,333	4.216	0.199	-22.84	4.17
	T3	-49,333*	4.216	0.000	-62.84	-35.83
	T4	-52,000*	4.216	0.000	-65.50	-38.50
T2	T1	9,333	4.216	0.199	-4.17	22.84
	T3	-40,000*	4.216	0.000	-53.50	-26.50
	T4	-42,667*	4.216	0.000	-56.17	-29.16
T3	T1	49,333*	4.216	0.000	35.83	62.84
	T2	40,000*	4.216	0.000	26.50	53.50
	T4	-2,667	4.216	0.919	-16.17	10.84
T4	T1	52,000*	4.216	0.000	38.50	65.50
	T2	42,667*	4.216	0.000	29.16	56.17
	T3	2,667	4.216	0.919	-10.84	16.17

Anexo 4-I Comparaciones múltiples.