



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE COMPOSTAJES ORGÁNICOS Y *Trichoderma harzianum* CON PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS DE CULTIVO DE CACAO  
TRABAJO EXPERIMENTAL**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la  
obtención del título de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES**

**SÁNCHEZ MOROCHO MÓNICA PAOLA  
DE LA TORRE CARABAJO JIMMY ISAAC**

**TUTOR**

**ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO, M.Sc**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2021**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE COMPOSTAJES ORGÁNICOS Y *Trichoderma harzianum* CON PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS DE CULTIVO DE CACAO**, realizado por la estudiantes **DE LA TORRE CARABAJO JIMMY ISAAC**; con cédula de identidad N°092248555-2 y **SÁNCHEZ MOROCHO MÓNICA PAOLA** con cedula de identidad N°0750776320, de la carrera INGENIERIA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

**ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO,**

Guayaquil, 15 de noviembre del 2021



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE COMPOSTAJES ORGÁNICOS Y *Trichoderma harzianum* CON PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS DE CULTIVO DE CACAO**”, realizado por los estudiantes **DE LA TORRE CARABAJO JIMMY ISAAC** y **SÁNCHEZ MOROCHO MÓNICA PAOLA**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

Ing. Vanessa Vergara Lozano, M.Sc.  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Viviana Montoya Pibaque, M.Sc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Fernando González Soto, M.Sc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

ARCOS JÁCOME DIEGO, M.Sc.  
**EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 12 de noviembre del 2021

### **Dedicatoria**

Esta tesis va dedicada a nuestros seres queridos que ya no están con nosotros, pero viven en la eternidad de nuestros recuerdos. A mis padres por su apoyo incondicional y motivación todos los días, que a pesar de las dificultades me brindaron el regalo más grande de la educación.

**ISAAC DE LA TORRE CARABAJO**

### **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtención de uno de los anhelos más deseados, a mis padres: Segundo y Luz, mi pilar fundamental en mi vida, los que me guían, apoyan en cada decisión o paso que quiera tomar, los que están conmigo siempre en las buenas también en las malas de todo el proceso de mi vida universitaria, a mis hermanos Patricio y Elizabeth por ser mi guía durante todo este proceso de mi vida por siempre darme la mano cuando los necesitaba y sobre todo por el gran amor que nos tenemos, mis cuñados Rolando y Carolina por las ideas y apoyo durante este proceso, mi sobrina Luciana por ser la luz cuando sentía que no podía más ahí estaba ella para sacarme una sonrisa.

**MÓNICA SÁNCHEZ MOROCHO**

### **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por brindarnos vida todos los días, por siempre acompañarme y guiarnos en el camino correcto.

A mis padres Susana Carabajo Q. y Jimmy De La Torre C. por encaminarme siempre de la manera correcta, apoyándome a tomar las decisiones correctas, por ser los guías en mi vida, por permitirme tenerlos siempre a mi lado escuchando sus consejos, a mis hermanos y tíos por siempre brindarme tiempo y sus sabios consejos que todos los días me ayudan. A mi compañera y amiga Monica Paola por ser un gran pilar en muchos momentos, teniéndome paciencia; a la familia Sanchez-Morocho por recibirme de la manera más cordial en su hogar y recibirme como un miembro más de la familia.

Agradezco a nuestro tutor por brindarnos la sabiduría, conocimientos y consejos necesarios para desarrollar la tesis. A mis amigos por confiar en mi permitiéndome seguir adelante con todas las metas que me proponga.

**ISAAC DE LA TORRE CARABAJO**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, sabiduría, por ser mi guía en mi vida por ser mi apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Luz Morocho y Segundo Sánchez por ser los principales promotores de mis sueños, a mis hermanos, cuñados y sobrina por estar conmigo y apoyo brindado, a mi compañero de tesis Jimmy Isaac por la paciencia y tiempo brindado sobre todo por el compañerismo durante estos años de estudio y compromiso que se ve reflejada en nuestra tesis, a la familia De La Torre y Carabajo por el cariño brindado sobre todo a la Sra. Susana Carabajo por abrirme las puertas de su casa y brindarme en todo momento su apoyo y confianza, a mi tutor de tesis por brindarme sus conocimientos y consejos para mi vida y tesis, mis compañeros y amigos que siempre necesite algo me supieron ayudar y brindar su apoyo, a cada uno de los docentes les agradezco por haber compartido su conocimiento con nosotros y tener la predisposición de ayudarnos y como no agradezco a la Universidad Agraria Del Ecuador por haberme abierto sus puertas durante mis años de estudio

**MÓNICA SÁNCHEZ MOROCHO**

## **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo **DE LA TORRE CARABAJO JIMMY ISAAC**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“EVALUACIÓN DE COMPOSTAJES ORGÁNICOS Y *Trichoderma harzianum* CON PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS DE CULTIVO DE CACAO”** para optar el título de **INGENIERO AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 15 de noviembre de 2021

**DE LA TORRE CARABAJO JIMMY ISAAC**

C.I. 092248555-2



## **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo **SÁNCHEZ MOROCHO MÓNICA PAOLA**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“EVALUACIÓN DE COMPOSTAJES ORGÁNICOS Y *Trichoderma harzianum* CON PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS DE CULTIVO DE CACAO”** para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 15 de noviembre de 2021

**SÁNCHEZ MOROCHO MÓNICA PAOLA**

C.I. 075077632-0

## Índice general

<b>PORTADA.....</b>	<b>1</b>
<b>APROBACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>2</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>4</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>5</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>7</b>
<b>Autorización de Autoría Intelectual .....</b>	<b>8</b>
<b>Autorización de Autoría Intelectual .....</b>	<b>9</b>
<b>Índice general .....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>16</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>18</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>20</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>21</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>22</b>
<b>1.1 Antecedentes del problema .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2 Planteamiento y formulación del problema .....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.1 Planteamiento del problema .....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.2 Formulación del problema.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3 Justificación de la investigación.....</b>	<b>25</b>
<b>1.4 Delimitación de la investigación .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5 Objetivo general.....</b>	<b>26</b>
<b>1.6 Objetivos específicos .....</b>	<b>27</b>
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>28</b>

2.1 Estado del arte .....	28
2.2 Bases teóricas .....	29
2.2.1 Suelo .....	30
2.2.1.1 <i>Propiedades del suelo</i> .....	30
2.2.1.1.1 <i>Propiedades físicas del suelo.</i> ....	30
2.2.1.1.2 <i>Propiedades químicas del suelo</i> .....	30
2.2.2 Calidad del suelo .....	31
2.2.2.1 <i>Parámetros de calidad del suelo</i> .....	31
2.2.3 Importancia del suelo .....	32
2.2.4 Suelo agrícola .....	32
2.2.5 Cultivo de cacao .....	33
2.2.5.1 <i>Impactos del cultivo de cacao sobre el suelo</i> .....	33
2.2.6 Agroquímicos utilizados en el cultivo de cacao .....	33
2.2.6.1 <i>Insecticidas.</i> .....	33
2.2.6.2 <i>Fungicidas.</i> .....	34
2.2.6.3 <i>Herbicidas</i> .....	34
2.2.7 Suelo contaminado .....	34
2.2.8 Contaminación del suelo por metales pesados .....	34
2.2.8.1 <i>Cadmio (Cd)</i> .....	35
2.2.8.2 <i>Plomo (Pb)</i> .....	35
2.2.9 Degradación del suelo .....	36
2.2.9.1 <i>Factores de degradación del suelo</i> .....	36
2.2.9.1.1 <i>Erosión</i> .....	36
2.2.9.1.2 <i>Salinización</i> .....	36
2.2.9.1.3 <i>Desertificación</i> .....	36

<b>2.2.9.1.4 Contaminación.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.10 Técnicas de recuperación de suelos degradados.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.10.1 Procesos químicos.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.10.1.1 Lavado.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.10.1.2 Electrocínética.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.10.1.3 Extracción con disolventes ácidos. ....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.10.2 Biorremediación.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.10.2.1 Degradación enzimática. ....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.10.2.2 Fitorremediación.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.10.3 Bioestimulación.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.10.4 Compostajes orgánicos para tratamiento de suelos. ....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.10.4.1 Estiércol porcino. ....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.10.4.2 Gallinaza. ....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.10.4.3 Trichoderma harzianum.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3 Marco legal .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.1 Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial No. 449, 20 de octubre de 2008.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.2 Código Orgánico Ambiental, Registro Oficial N° 983 - Suplemento Miércoles 12 de abril de 2017 .....</b>	<b>42</b>
<b>2.3.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente .....</b>	<b>45</b>
<b>2.3.4 Código Integral Penal, Suplemento del Registro Oficial N° 180, 10 de febrero de 2014 .....</b>	<b>45</b>
<b>2.3.5 Acuerdo Ministerial 097 A. Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad</b>	

ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados .....	45
<b>2.3.6 NTE INEN-ISO 10381-2. Calidad Del Suelo. Muestreo. Parte 2:</b> <b>Directrices Sobre técnicas de muestreo (ISO 10381-2:2002, IDT).....</b>	<b>48</b>
<b>3. Materiales y métodos .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1 Enfoque de la investigación .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1.1 Tipo de investigación .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1.2 Diseño de investigación .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2 Metodología .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.1 Variables .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.1.1. Variable independiente .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.1.2. Variable dependiente.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.2 Tratamientos .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.3 Diseño experimental .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.4 Recolección de datos .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.4.1. Recursos.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.4.2. Métodos y técnicas .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.5 Análisis estadístico .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.5.1 Análisis de varianza (ANOVA).....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.5.2 Test de Duncan .....</b>	<b>62</b>
<b>4. Resultados.....</b>	<b>63</b>
<b>4.1 Diagnóstico del impacto ambiental ocasionado por cultivo de cacao     en el recurso suelo y agua mediante la matriz de Leopold.....</b>	<b>63</b>
<b>4.2 Determinación de la concentración inicial de los parámetros físicos     (pH, materia orgánica, salinidad, conductividad, nitritos, nitratos y</b>	

densidad aparente) y químicos (plomo y cadmio) en suelos agrícolas de la finca Sánchez mediante análisis de laboratorio. ....	65
<b>4.3 Determinación del contenido nutricional de los abonos compuestos por estiércol porcino, gallinaza y <i>Trichoderma harzianum</i> mediante análisis bibliográfico.....</b>	<b>66</b>
4.3.1 Contenido nutricional del estiércol porcino.....	66
4.3.2 Contenido nutricional de la gallinaza.....	67
4.3.3 Contenido nutricional del abono con <i>Trichoderma harzianum</i> .....	68
<b>4.4 Establecimiento de los tratamientos de restauración del suelo utilizando estiércol porcino, gallinaza y <i>Trichoderma harzianum</i> para la identificación del más eficiente. ....</b>	<b>68</b>
4.4.1 Resultados de plomo (Pb).....	69
4.4.2 Resultados de cadmio (Cd).....	71
4.4.3 Resultados de pH .....	73
4.4.4 Resultados de materia orgánica (%) .....	75
4.4.5 Resultados de salinidad (%) .....	77
4.4.6 Resultados de conductividad eléctrica .....	80
4.4.7 Resultados de nitritos .....	82
4.4.8 Resultados de nitratos .....	84
4.4.9 Resultados de densidad aparente .....	86
<b>4.5 Comparación de los resultados con los límites establecidos en normas ambientales nacionales e internacionales. ....</b>	<b>88</b>
4.5.1 Porcentaje de remoción.....	89
4.5.2 Comparación con normativas ambientales.....	90

4.6	Propuesta del tratamiento más eficiente mediante un divulgativo de técnicas de restauración del suelo con presencia de metales pesados en cultivo de cacao para la finca Sánchez provincia de El Oro. ....	91
4.6.1	Objetivos .....	91
4.6.1.1.	<i>Objetivo general</i> .....	91
4.6.1.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	92
4.6.2	Alcance .....	92
4.6.3	Metodología.....	92
5.	Discusión.....	95
6.	Conclusiones .....	99
7.	Recomendaciones .....	101
8.	Bibliografía .....	103
9.	ANEXOS.....	112

## Índice de tablas

Tabla 1. Tratamientos a aplicar en la recuperación del suelo .....	51
Tabla 2. Estimaciones sobre magnitud e importancia en la evaluación de impactos .....	55
Tabla 3. Categorías de evaluación de impactos .....	55
Tabla 4. Matriz de impactos ambientales del cultivo de cacao.....	63
Tabla 5. Magnitud e importancia de los impactos.....	65
Tabla 6. Concentración inicial de los parámetros estudiados.....	66
Tabla 7. Contenido nutricional del estiércol porcino.....	67
Tabla 8. Contenido nutricional encontrado en la gallinaza.....	68
Tabla 9. Contenido nutricional del abono con <i>Trichoderma harzianum</i> .....	68
Tabla 10. Resultados de plomo .....	69
Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis de Plomo.....	70
Tabla 12. Significancia estadística de Kruskal-Wallis.....	71
Tabla 13. Resultados de cadmio .....	71
Tabla 14. Prueba de Kruskal-Wallis de Cadmio .....	72
Tabla 15. Significancia estadística de Kruskal-Wallis.....	73
Tabla 16. Resultados de pH.....	73
Tabla 17. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) pH .....	74
Tabla 18. Test: Duncan Alfa=0,05, pH.....	75
Tabla 19. Resultados de materia orgánica .....	75
Tabla 20. Prueba de Kruskal-Wallis de materia orgánica .....	76
Tabla 21. Significancia estadística de Kruskal-Wallis.....	77
Tabla 22. Resultados de salinidad .....	78
Tabla 23. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Salinidad.....	79



Tabla 24. Test: Duncan Alfa=0,05, Salinidad .....	79
Tabla 25. Resultados de conductividad eléctrica.....	80
Tabla 26. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Conductividad.....	81
Tabla 27, Test: Duncan Alfa=0,05. Conductividad .....	82
Tabla 28. Resultados de nitritos .....	82
Tabla 29. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Nitritos .....	83
Tabla 30. Test: Duncan Alfa=0,05. Nitritos .....	84
Tabla 31. Resultados de nitratos .....	85
Tabla 32. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Nitratos.....	86
Tabla 33. Test: Duncan Alfa=0,05. Nitratos .....	86
Tabla 34. Resultados de densidad aparente .....	87
Tabla 35. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Densidad aparente .....	88
Tabla 36. Test: Duncan Alfa=0,05. Densidad aparente.....	88
Tabla 37. Porcentaje de remoción con el tratamiento más eficiente .....	89
Tabla 38. Porcentaje de modificación de parámetros del suelo.....	90
Tabla 39. Comparación de resultados con normativas ambientales.....	91
Tabla 40. Criterios de Calidad del Suelo.....	112
Tabla 41. Criterios de remediación o restauración del Suelo .....	113

## Índice de figuras

Figura 1. Proceso de ejecución y desarrollo del proyecto.....	53
Figura 2. Porcentaje de impactos positivos y negativos del cultivo de cacao...	64
Figura 3. Promedio de plomo luego de la aplicación de los tratamientos .....	70
Figura 4. Promedio de cadmio luego de la aplicación de los tratamientos .....	72
Figura 5. Promedio de pH luego de la aplicación de los tratamientos .....	74
Figura 6. Promedio de materia orgánica luego de la aplicación de los tratamientos .....	76
Figura 7. Resultados de salinidad con los tratamientos aplicados .....	78
Figura 8. Resultados de conductividad con los tratamientos aplicados.....	81
Figura 9. Resultados de nitritos con los tratamientos aplicados .....	83
Figura 10. Resultados de nitratos con los tratamientos aplicados.....	85
Figura 11. Resultados de densidad aparente con los tratamientos aplicados..	87
Figura 12. Mapa de ubicación de la parroquia La Victoria .....	112
Figura 13. Visita de campo a la finca Sánchez.....	114
Figura 14. Toma de muestras .....	115
Figura 15. Muestreo de suelo en la finca Sánchez.....	115
Figura 16. Visitar del tutor de tesis a la finca Sánchez durante el muestreo ..	116
Figura 17. Análisis en laboratorio .....	116
Figura 18. Aplicación de los tratamientos .....	117
Figura 19. Tratamientos .....	117
Figura 20. Aplicación de tratamientos.....	118
Figura 21. Instrumentos utilizados en laboratorio.....	118
Figura 22. Aplicación de tratamientos.....	119

Figura 23. Análisis en laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Agraria del Ecuador .....	119
Figura 24. Presentación del proyecto de la Feria de Ciencias .....	120
Figura 25. Feria de Ciencias 2021 .....	120

## Resumen

La gran demanda de cacao a nivel mundial sigue en aumento por este motivo los productores se ven obligados a suplir la demanda, recurriendo a la ampliación de terrenos de cultivos, aplicación de tecnologías más avanzadas y el aumento del uso de agroquímicos, esto se ve reflejado en la alteración de los recursos naturales (agua, suelo y aire). En la presente investigación se evaluó varios tratamientos de compost orgánico elaborados a base de estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* en suelos con presencia de Cadmio y Plomo en cultivos cacao. Se procedió a diagnosticar impacto ambiental ocasionado por el cultivo de cacao mediante la matriz de Leopold, en el cual se evidenció que es bastante alto y negativo sin embargo muestra beneficios en la economía. Luego se determinó la concentración inicial de los parámetros físicos (pH, conductividad, materia orgánica, salinidad, densidad aparente, nitritos y nitratos) y químicos (cadmio y plomo) en suelos agrícolas. Posteriormente se indagó acerca del contenido nutricional de los abonos compuestos por estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma*, a continuación, se ejecutó los tratamientos de restauración del suelo donde se identificó como mejor opción el tratamiento 4 el cual es una combinación de los componentes de los demás tratamientos, el mismo que fue usado en la propuesta de tratamiento de restauración del suelo.

Palabras clave: abono orgánico, metales pesados, restauración, suelo, tratamientos.

### **Abstract**

The great demand for cocoa worldwide continues to increase for this reason producers are forced to meet the demand, resorting to the expansion of crop land, application of more advanced technologies and the increase in the use of agrochemicals, this is reflected in the alteration of natural resources (water, soil and air). In the present research, several organic compost treatments made from pig manure, chicken and *Trichoderma harzianum* were evaluated in soils with the presence of Cadmium and Lead in cocoa crops. We proceeded to diagnose the environmental impact caused by the cultivation of cocoa through the Leopold matrix, in which it was evidenced that it is quite high and negative but shows benefits in the economy. Then the initial concentration of the physical parameters (pH, conductivity, organic matter, salinity, bulk density, nitrites and nitrates) and chemical (cadmium and lead) in agricultural soils was determined. Subsequently, the nutritional content of the fertilizers composed of pig manure, chicken and *Trichoderma* was investigated, then the soil restoration treatments were carried out where treatment 4 was identified as the best option, which is a combination of the components of the other treatments, the same that was used in the proposal of soil restoration treatment.

**Keywords:** organic fertilizer, heavy metals, restoration, soil, treatments.

## **1. Introducción**

### **1.1 Antecedentes del problema**

La demanda del cacao sigue aumentando a nivel mundial, provocando alteraciones en los bosques tropicales primarios, al tener que deforestarlos para realizar nuevas plantaciones (Vanhove et al., 2016). Sin embargo, durante las últimas décadas la productividad de las plantaciones de cacao ha disminuido, puesto que, por las prácticas agrícolas que se utilizan para su cultivo, el suelo va perdiendo nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, de la mano de la contaminación ambiental que se genera a causa de los productos agroquímicos utilizados con el fin de acelerar la producción.

En otro aspecto, la producción de cacao se acrecentó considerablemente en 2019 con 525.435 hectáreas cosechadas centrándose en la provincia del Guayas con 31,33% (INEC, 2019). Según datos de la International Cocoa Organization, (2014), la demanda mundial del cacao ha incrementado un promedio de 1,7% anualmente, y la producción se ha mantenido lineal a partir del año 1989 con un promedio de 479 kg/ha.

El cacao es un cultivo altamente apetecido, por lo que en Nigeria, es un producto que representa gran importancia, puesto que se produce en elevadas cantidades por pequeños agricultores, convirtiéndose en su fuente de ingresos económicos y sustento de vida, además de que contribuye considerablemente a la economía del país por su valor de exportación (Morera et al., 2019). Si bien es cierto, el cacao es uno de los productos líderes para mantener la economía de muchos países, sin embargo, durante el proceso de desarrollo, cosecha y transporte se generan impactos a los recursos naturales, ocasionados por el uso indiscriminado de

productos químicos como plaguicidas, insecticidas, fungicidas y fertilizantes que siempre han inducido riesgos ambientales (Famuyiwa et al., 2014).

A través de la implementación de prácticas sostenibles, se puede reducir los impactos ambientales provocados por dicha actividad, es por ello que muchas organizaciones han recomendado medidas para disminución de las concentraciones de contaminantes en el suelo y reducir el desperdicio de los granos después de la cosecha (Andrade et al., 2013).

Ecuador, es un referente en la producción de cacao fino de aroma en América Latina, ya que es uno de los países con mayor exportación, principalmente a países europeos. Cuenta con la producción de algunas variedades de cacao, entre ellas la que más predomina es la CCN51, que por sus características requiere la utilización de agroquímicos para evitar enfermedades y plagas en las plantas, esto conlleva una serie de problemas ambientales como la contaminación de fuentes de agua superficiales, afectación de aguas subterráneas, la volatilización de los productos genera polución en el aire, así como también, se alteran las condiciones naturales del suelo, perdiendo fertilidad, escasez de nutrientes, presencia de metales pesados, pérdida de flora y fauna (Pino y Casanova, 2019).

La aplicación de compuestos orgánicos es la alternativa para el mejoramiento del suelo, estos aumentan a lo largo del tiempo la capa orgánica del suelo y con su aplicación frecuente se mejoran características importantes para el manejo productivo como la compactación, permeabilidad, aireación, pH, absorción de nutrientes y humedad, entre otros. Sin embargo su uso no es muy generalizado en virtud del tiempo de respuesta que genera sobre el suelo; normalmente más lentas, que las generadas por compuestos químicos (Castebianco, 2018). Entre las técnicas de recuperación de suelo están las enmiendas orgánicas, la introducción

de un abono orgánico en el suelo causa la mejora de reacciones químicas, físico-químicas y procesos microbiológicos. Estas reacciones acarrear alteraciones en las características físicas del suelo, lo que se muestra en acentuaciones de la capacidad de retención de agua, infiltración, porosidad y estabilidad estructural (Figueroa, 2004).

Los tratamientos basados en el uso de microorganismos como la *Trichoderma harzianum* resultan más efectivos en cuanto a respuesta fisiológica y productividad. Se resalta la estimulación electromagnética, puesto que acelera la actividad microbiana, lo cual disminuye el tiempo de mejoramiento y enriquecimiento de los suelos, reduciendo la compactación y mejorando su estructura (Escobar et al., 2011).

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### **1.2.1 Planteamiento del problema**

En el Ecuador, una gran representación de agricultores optan por incluir el cultivo de cacao en sus fincas y haciendas, pues es uno de los productos agrícolas con mayor potencial de exportación y brinda gran aporte económico al país. La provincia de El Oro es una de las principales productoras de cacao, en donde se evidencia que alrededor del 71% de la superficie corresponde al sembrío de cacao, esto conlleva una tendencia de crecimiento positiva en la productividad y economía del país, no obstante, también se refleja un gran avance de la frontera agrícola y la sobreexplotación de los suelos (Romero, 2016).

A pesar del gran aporte económico que genera el cultivo de cacao, cabe recalcar que para su producción se utilizan grandes concentraciones de fertilizantes, plaguicidas y abonos químicos con el afán de mejorar la calidad del producto, con ello se originan alteraciones en los recursos naturales, que, si no se aplica una



gestión adecuada de los residuos de dichos agroquímicos, se convierte en una problemática ambiental significativa.

En tal sentido, el recurso suelo se ve afectado por las elevadas concentraciones de plaguicidas suministrados a las plantas, los cuales permanecen en el suelo por largos periodos de tiempo o son movilizados por el agua, pudiendo llegar hasta las aguas subterráneas, notando la presencia de nitrógeno, amonio, nitritos y nitratos, fósforo y metales pesados. La contaminación con agroquímicos ocasiona desequilibrio en el ciclo natural y alteración de los recursos naturales (Cuenca, 2020).

Teniendo en cuenta esta situación, es importante la realización de este trabajo para la ingeniería ambiental, ya que contribuye con la recuperación de un recurso vital para supervivencia de muchas especies.

### **1.2.2 Formulación del problema**

¿Cuál es la eficiencia de compostajes orgánicos y *Trichoderma harzianum* para la eliminación de metales pesados (cadmio y plomo) en suelos de cultivo de cacao?

### **1.3 Justificación de la investigación**

La gran demanda mundial de cacao asume el uso de extensas áreas de suelo para su cultivo, ocasionando deforestaciones de bosques, así como también, supone el uso elevado de productos químicos agrícolas en su producción, generando potencial riesgo ecológico (Manga et al., 2020). El uso indiscriminado de dichos productos facilita la agregación de metales pesados y otros contaminantes en el suelo, dado que los principales componentes de plaguicidas y fertilizantes los contienen (Grandez, 2015).

La gestión inadecuada en el manejo de los agroquímicos en los cultivos de cacao causa impactos ambientales como deforestación ante la necesidad de espacios

para realizar nuevas plantaciones, reducción de flora y fauna, pérdida de hábitats de especies, contaminación del suelo y erosión del mismo (Castaño, 2020).

Dentro de este marco, el presente proyecto se enfoca en la restauración de suelo agrícola degradado por el cultivo de cacao en la finca Sánchez, mediante la utilización de abonos orgánicos compuestos por estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* para eliminar metales pesados.

Los tratamientos orgánicos simbolizan una fuente viable, económica y eficiente en la recuperación de suelos contaminados, por las ventajas que demuestran y los escasos impactos ambientales que representan, dentro de esto, la gallinaza ayuda con el aumento de la producción agrícola, incrementa la productividad y particularidad de los cultivos, conserva las propiedades del suelo evitando su degradación (Casas y Guerra, 2020).

Asimismo, el estiércol porcino y la *Trichoderma harzianum* contienen propiedades de absorción de metales pesados, permitiendo la depuración del suelo sin comprometer las características del mismo.

#### **1.4 Delimitación de la investigación**

- **Espacio:** Finca Sánchez ubicada en el sitio Rio Negro, parroquia La Victoria del cantón Santa Rosa provincia de El Oro. (Ver figura 3)
- **Tiempo:** Este trabajo se llevará a cabo en un periodo de 4 meses.
- **Población:** La población beneficiada serán los 3016 pobladores de la parroquia La Victoria y el personal de la finca Sánchez (Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia La Victoria, 2017).

#### **1.5 Objetivo general**

Evaluar compostajes orgánicos (estiércol porcino, gallinaza) y *Trichoderma harzianum* con presencia de cadmio y plomo en suelos de cultivo de cacao

(*Theobroma cacao*) en la finca Sánchez, provincia de El Oro para la recuperación de las propiedades del suelo.

### **1.6 Objetivos específicos**

- Diagnosticar el impacto ambiental ocasionado por cultivo de cacao en el recurso suelo y agua mediante la matriz de Leopold.
- Determinar la concentración inicial de los parámetros físicos (pH, conductividad, materia orgánica, salinidad, densidad aparente, nitritos y nitratos) y químicos (cadmio y plomo) en suelos agrícolas de la finca Sánchez mediante análisis de laboratorio.
- Determinar el contenido nutricional de los abonos compuestos por estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* mediante análisis bibliográfico.
- Establecer tratamientos de restauración del suelo utilizando estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* para la identificación del más eficiente.
- Comparar los resultados con los límites establecidos en normas ambientales nacionales e internacionales.
- Proponer el tratamiento más eficiente mediante un divulgativo de técnicas de restauración del suelo con presencia de metales pesados en cultivo de cacao para la finca Sánchez provincia de El Oro.

### **1.7 Hipótesis**

A través de la aplicación de enmiendas orgánicas de estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* reduce la concentración de metales pesados (cadmio y plomo) presentes en el suelo agrícola alterado por cultivo de cacao en la finca Sánchez, provincia de El Oro.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Estado del arte

En Perú se realizó un trabajo en el que se aplicaron enmiendas orgánicas para la recuperación de suelos contaminados, la base es la gallinaza la cual fue mezclada con otros componentes. Se aplicaron alrededor de 14 tratamientos. Los resultados indican que las enmiendas químicas al suelo (roca fosfórica, dolomita y yeso agrícola) mejoraron las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en comparación con el tratamiento testigo (Ponce, 2020).

Una investigación desarrollada en Quito, tuvo como objetivo evaluar la biodegradación de un insecticida piretroide en muestras de suelo de cultivo de papa, mediante la adición de *Trichoderma harzianum* y *Pleurotus ostreatus*. Se aplicaron 4 tratamientos compuestos de la siguiente manera: T<sub>0</sub> (testigo); T<sub>1</sub> (suelo + *T. harzianum* + piretroide); T<sub>2</sub> (suelo + *P. ostreatus* + piretroide); T<sub>3</sub> (suelo + *T. harzianum* y *P. ostreatus* + piretroide) a los que se les realizaron 4 repeticiones. Los resultados arrojaron que el T<sub>3</sub> obtuvo un porcentaje de remediación de 92,57% superando al resto de los tratamientos (Granda, 2017).

En la provincia de Manabí se realizó un estudio con la finalidad de emplear consorcios de microorganismos y *Azolla caroliniana* para la remediación de suelos salinos. El experimento constó de 5 tratamientos con 5 réplicas cada uno, estos estuvieron compuestos así: **T1**= 6 kg de suelo salino (SS) + *Saccharomyces cescerevisiae*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bacillus acidolacticos* (EM) + *Azolla caroliniana* (AC); **T2**= 6 kg SS + *Bacillus subtilis*, *Bacillus laterosporus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilos* (B5) + AC; **T3**= 6 kg SS + *Trichoderma harzianum* (Th) + AC; **T4**= 6 kg SS + EM + B5 + AC; **T5**= 6 kg SS + EM + B5 + Th + AC, obteniendo como resultado que los mejores

tratamientos en disminuir la salinidad fueron el T1 (57,79%), T3 (57,73%) y T5 (55,29%) (Delgado y Robalino, 2017).

En otro estudio se investigó los efectos de las lombrices de tierra y el estiércol de cerdo sobre la inmovilidad de metales pesados como cadmio, plomo y zinc. Los resultados mostraron que el estiércol acrecentó elocuentemente el carbono orgánico del suelo, el carbono orgánico disuelto, el fósforo disponible, el N total, el P total y el pH, y disminuyó los metales. Teniendo en consideración los efectos sobre la detención y el coste de metales pesados, la aplicación de estiércol al 6% fue un punto de vista alternativo para el tratamiento de suelos contaminados. Estos descubrimientos suministran información inapreciable para la gestión de riesgos durante la inmovilización de metales pesados en suelos contaminados (Li et al., 2019).

Cáceres, (2018) ejecutó una indagación para establecer el impacto que tienen seis tipos de plaguicidas sobre cuatro microorganismos benéficos, empleados habitualmente en la agricultura. Se utilizaron 4 especies de hongos (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pleurotus ostreatus* y *Trichoderma harzianum*), el análisis se efectuó con una dosis y 3 repeticiones. Como resultados descubiertos del desarrollo y progreso de las cuatro especies de hongos con el uso de los distintos tipos de plaguicidas se logró que para Acefato, el crecimiento microbiano fue óptimo; para Brillante, Curacron, Glifosato y Ridomil el crecimiento microbiano fue medio; y con la utilización de Vitavax el crecimiento de las diferentes especies de hongos fue mínimo, a excepción de la especie *Trichoderma harzianum*. Ultimando que *Trichoderma harzianum* es el microorganismo con características más óptimas para el manejo y progreso de una agricultura de calidad.

## **2.2 Bases teóricas**

## **2.2.1 Suelo**

El suelo se denomina como la capa superficial donde habitan varios organismos y crece la vegetación. Es una composición de fundamental trascendencia para el desarrollo de la vida, sirve de soporte a las plantas y le da los recursos nutritivos necesarios para subdesarrollo (Bohn et al., 1993).

### **2.2.1.1 Propiedades del suelo.**

#### *2.2.1.1.1 Propiedades físicas del suelo.*

- **Textura:** La textura del suelo es la cadencia de los tamaños de las partículas asociadas que lo constituyen y está relacionada con el bulto de las partículas de los minerales que lo forman (Herrera, 2014).
- **Estructura:** La estructura del suelo se define por cómo se agrupan los granos de arena, limo y arcilla. (Herrera, 2014).
- **Color:** El color cambia con la humedad. El rojo indica contenido de óxido de hierro y manganeso, el amarillo indica óxido de hierro hidratado, el blanco y gris indica la presencia de cuarzo, yeso y caolín, y el negro y marrón indica la presencia de materia orgánica. Cuanto más oscuro es el suelo, mayor es el rendimiento gracias a los beneficios de la materia orgánica (Herrera, 2014).
- **Permeabilidad:** Es propiedad del suelo para transportar agua y aire. (Herrera, 2014).

#### *2.2.1.1.2 Propiedades químicas del suelo.*

- **Capacidad de intercambio catiónico:** La capacidad de intercambio catiónico se precisa como la cantidad de carga negativa en el suelo y expresada en m<sup>3</sup> / 100g de suelo, un aumento en el pH conduce a un aumento en la carga negativa como depósitos de aluminio (Ramírez, 1997).

- pH: El pH (hidrógeno potencial) del suelo y las soluciones de nutrientes establecerán la solubilidad de los nutrientes. Los suelos con un pH entre 4.0 y 5.0 se consideran altamente ácidos; en este rango, la solubilidad de metales como el aluminio, el hierro y el manganeso aumenta y pueden ser tóxicos para las plantas (Calderón, 2019).

## **2.2.2 Calidad del suelo**

La calidad debe entenderse como la utilidad del suelo para un propósito particular durante una gran escala de tiempo. El estado de las propiedades dinámicas del suelo como el contenido de materia orgánica, la biodiversidad o los productos microbianos en un momento dado que conforman la salud del suelo (Bautista y Etchevers, 2004).

### ***2.2.2.1 Parámetros de calidad del suelo***

La calidad del suelo es uno de los elementos más significativos en el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles. Las prácticas de manejo y uso de la tierra determinan fundamentalmente el alcance y la dirección de los cambios en la calidad del suelo a lo largo del tiempo y el espacio (Martínez et al., 2008).

- Las propiedades físicas del suelo son esenciales para evaluar la calidad de este recurso, ya que no se pueden mejorar fácilmente. Estos son factores que reflejan cómo este recurso recibe, retiene y transfiere agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento, estructura, densidad aparente y estabilidad de las raíces. Permeabilidad, profundidad del suelo. La capacidad de almacenamiento y la conductividad hidráulica saturada son propiedades físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de la calidad del suelo (Martínez et al., 2008).

- La materia orgánica es un indicador de la calidad del suelo, ya que afecta directamente las propiedades del suelo, como la estructura y disponibilidad de carbono y nitrógeno. Varios estudios coinciden en que la MO es el indicador principal y ciertamente el más influyente de la calidad y productividad del suelo (Martínez et al., 2008).
- Los parámetros químicos se describen a las situaciones que perturban las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para plantas y microorganismos. Algunos de los parámetros son disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico cambiante, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfato, capacidad de intercambio catiónico, cambio de materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable (Martínez et al., 2008).

### **2.2.3 Importancia del suelo**

El suelo es un recurso importante para la estabilidad del ecosistema, actúa como filtro y aislante al congelar materiales, protegiendo las aguas subterráneas y superficiales del ingreso de agentes nocivos y transformando los agregados orgánicos, descomponiéndolos o cambiando su composición, excretándolos. minerales (Cruz et al., 2004).

### **2.2.4 Suelo agrícola**

Tiene características aptas para el desarrollo de la agricultura, es decir, favorables para el desarrollo de la vida, considerándolo alimento producido a partir de la agricultura. Este suelo se compone de minerales alimentarios, suelo que retiene la humedad y microorganismos que ayudan a mantener sus propiedades (Navarro y Navarro, 2013).



### **2.2.5 Cultivo de cacao**

*Theobroma cacao* L. es el nombre científico del árbol del cacao, originario de las regiones tropicales y subtropicales de las Américas. Un árbol pequeño de hoja perenne de 4 a 7 m de altura, el fruto es una baya grande y carnosa conocida como fenogreco, de 15 a 30 cm de largo y de 7 a 10 cm de espesor, con extremos longitudinales puntiagudos y acanalados, y cada mazorca generalmente contiene treinta frutos. Cuarenta semillas están incrustadas en la masa de la pulpa que crece en las capas externas de los testículos (Morales et al., 2015).

#### ***2.2.5.1 Impactos del cultivo de cacao sobre el suelo***

Para obtener tierra para el cacao, es necesario talar algunos árboles y, a menudo, bosques enteros para promover un crecimiento más rápido de los árboles y aumentar los rendimientos a corto y mediano plazo. Pero a medida que los árboles de cacao envejecen, sus rendimientos disminuyen y se vuelven más susceptibles a las enfermedades. (Rangel, 2013).

Además, la pérdida de árboles de sombra y otras especies disminuye la humedad y la fertilidad del suelo, ocasiona erosión y perturba el ciclo de las lluvias. A medio plazo, el rendimiento reduce. En estos casos, trasplantar es a menudo más caro que plantar en otro bosque, por lo que se establece un patrón en el que la producción de cacao se mueve de un bosque a otro, eliminándose gradualmente. (Rangel, 2013).

### **2.2.6 Agroquímicos utilizados en el cultivo de cacao**

#### ***2.2.6.1 Insecticidas.***

Es un agregado químico manipulado para controlar cantidades de insectos y otros artrópodos. Los pesticidas agrícolas son sustancias establecidas

específicamente para matar insectos dañinos que pueden reducir el crecimiento de los cultivos y reducir los rendimientos de los agricultores (Gavanzo, 2019).

#### **2.2.6.2 Fungicidas.**

Se trata de sustancias tóxicas que se utilizan para prevenir o eliminar el crecimiento de hongos y mohos dañinos para las plantas, los animales o los seres humanos (Gavanzo, 2019).

#### **2.2.6.3 Herbicidas.**

Es un producto fitosanitario que se utiliza para controlar o regular especies de plantas no deseadas, algunas de las cuales actúan interfiriendo con el crecimiento de malezas, que a menudo dependen de las hormonas vegetales para su desarrollo (Gavanzo, 2019).

#### **2.2.7 Suelo contaminado**

Productos cuyas propiedades se ven afectadas negativamente por la presencia de componentes químicos peligrosos de origen humano, en concentraciones que pueden suponer un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, y esto se anunció mediante una rápida decisión (Contreras y Carreño, 2018).

#### **2.2.8 Contaminación del suelo por metales pesados**

Los metales pesados son compuestos metálicos con alto peso atómico, como mercurio, cromo, cadmio, arsénico, plomo, cobre, zinc y níquel. Algunos minerales en concentraciones más bajas son esenciales para los organismos vivos porque forman parte del sistema enzimático, pero son dañinos si tienden a acumularse en la cadena alimentaria (Pozo et al., 2011). Investigaciones recientes muestran que el medio ambiente ha sido severamente dañado por metales pesados de la agricultura intensiva.

Los minerales que se acumulan en el suelo se degradan debido a la lixiviación, el consumo de plantas, la erosión y la contracción. Estas sustancias tienden a acumularse en la superficie del suelo, lo que las hace disponibles para el consumo de las raíces de las plantas, y las plantas que crecen en suelos contaminados absorben más oligoelementos y concentraciones de estos elementos. Estos elementos en los tejidos vegetales a menudo están directamente relacionados con la abundancia de estos elementos en particular la tierra (Pozo et al., 2011).

#### **2.2.8.1 Cadmio (Cd)**

El cadmio es un metal tóxico que se libera al medio ambiente tanto de fuentes naturales como artificiales. Las fuentes naturales incluyen la actividad volcánica, los incendios forestales y el transporte de partículas del suelo por el viento, y las fuentes humanas son la minería, el uso de fertilizantes fosfatados, la fundición de metales, la quema de combustibles fósiles, las baterías fabricadas, los tintes, el cemento y los plásticos. El cadmio liberado al medio ambiente tiende a acumularse en el suelo, quedando disponible para las plantas y, por lo tanto, ingresa a la cadena alimentaria. Las plantas son el primer eslabón de la cadena alimentaria y algunas especies pueden acumular grandes cantidades de cadmio, lo que hace que los herbívoros almacenen grandes cantidades del mineral (Pozo et al., 2011).

#### **2.2.8.2 Plomo (Pb)**

El plomo es un metal pesado potencialmente tóxico que no tiene una función biológica conocida y ha atraído un interés significativo debido a su amplia distribución y peligros ambientales. Su toxicidad varía en función de la forma de que se trate, el método de entrada y el tipo de animales, pues con solo unos pocos kilogramos de peso vivo, es suficiente incluso para provocar la muerte. Las principales manifestaciones de la intoxicación por plomo en los seres humanos son

los trastornos gastrointestinales y la anemia, una dosis considerada mortal cuando se toma en exceso de 0,5 mg por día. (Pozo et al., 2011).

### **2.2.9 Degradación del suelo**

La degradación de la tierra es un cambio en sus propiedades, por lo que hay evidencia de una capacidad reducida de los ecosistemas para producir los bienes y servicios que brindan a las personas y las especies (Cruz et al., 2004).

#### **2.2.9.1 Factores de degradación del suelo**

##### *2.2.9.1.1 Erosión*

La erosión del suelo se basa en la pérdida de los mantos superficiales del suelo por componentes naturales como el agua, el viento o por principios antropogénicos como los cultivos, entre otros. En este proceso el suelo va desperdiciando nutrientes principales para la conservación del ecosistema del suelo y para el desarrollo de las plantas (López et al., 2003).

##### *2.2.9.1.2 Salinización*

La salinización es otro proceso que provoca la degradación del suelo, este se consigue desplegar por orígenes naturales o por operaciones del hombre, se define como el acrecentamiento de sales solubles en el suelo, insinuando pérdida de funciones ecosistémicas del suelo (López et al., 2003).

##### *2.2.9.1.3 Desertificación*

La desertificación del suelo radica en la expulsión de vegetación del suelo, por lo que se demuestra con mayor frecuencia en zonas áridas, este tipo de degradación es complejo rescatar las características naturales del suelo (López et al., 2003).

#### *2.2.9.1.4 Contaminación*

En la degradación del suelo se contiene además la contaminación, que es una causa que perturba absolutamente las características del suelo, este se da por contaminación producida por restos sólidos, líquidos, agricultura, procesos industriales, minería, etc., (López et al., 2003).

### **2.2.10 Técnicas de recuperación de suelos degradados**

#### **2.2.10.1 Procesos químicos.**

##### *2.2.10.1.1 Lavado.*

Se trata de un procedimiento de descontaminación de suelos ex situ que se inicia dragando el suelo y apartando las partículas más gruesas de las más finas para consecutivamente lavarse con compuestos químicos, y finalmente, con agua. La eficiencia de esta técnica obedece en gran medida del grado de absorción del contaminante y de sus propiedades (pH, textura, mineralogía, contenido de materia orgánica, etc., (Campillo, 1999).

##### *2.2.10.1.2 Electrocínética.*

Se trata de la concentración de una corriente eléctrica de baja intensidad entre electrodos incrustados in situ en el suelo contaminado que consiente la movilización de agua, iones y partículas pequeñas cargadas (Campillo, 1999).

##### *2.2.10.1.3 Extracción con disolventes ácidos.*

Es un método de tratamiento de campo mediante el cual se extraen los contaminantes mezclando una sustancia contaminante con solventes orgánicos en un tanque y transfiriendo los contaminantes por evaporación y luego lavando el suelo para eliminar el resto de contaminantes. El lavado de suelos se usa comúnmente para descontaminar suelos contaminados con hidrocarburos de

petróleo, compuestos orgánicos semivolátiles, cianuro o materiales pesados (Campillo, 1999).

### **2.2.10.2 Biorremediación.**

#### *2.2.10.2.1 Degradación enzimática.*

Implica agregar enzimas al sitio contaminado para descomponer las sustancias nocivas, y estas enzimas se obtienen de microorganismos especialmente diseñados para tener una alta especificidad. Las enzimas no son consumidas por las reacciones que catalizan, por lo que al consumir contaminantes pueden seguir funcionando (Fabelo, 2017).

#### *2.2.10.2.2 Fitorremediación.*

Incluye el uso de vegetales para desintoxicar y el uso de sistemas de raíces de plantas y árboles para separar los metales pesados y otros contaminantes del suelo, el agua y el aire (Fabelo, 2017). Las plantas absorben el contaminante para metabolizarlo y reducir significativamente o incluso prevenir su eliminación en otros ambientes descomponiéndolo en el caso de compuestos orgánicos y estabilizándolo o extrayéndolo en el caso de compuestos inorgánicos.

### **2.2.10.3 Bioestimulación.**

La bioestimulación es una técnica en la que se agregan macro y micronutrientes al suelo para estimular el crecimiento microbiano y así aumentar las poblaciones microbianas (Barrios et al., 2015).

### **2.2.10.4 Compostajes orgánicos para tratamiento de suelos.**

#### *2.2.10.4.1 Estiércol porcino.*

El estiércol de cerdo, en forma líquida y sólida, es una mezcla de estiércol, orina y agua de la limpieza del establo, además de alimento y agua desperdiciados; Tiene valor agrícola, ya que puede usarse como fertilizante orgánico, y produce cultivos

sin impacto ambiental significativo. El estiércol de cerdo se puede utilizar como fertilizante orgánico; Aunque también es posible separarlo en sus partes líquida y sólida (Ayala et al., 2020).

#### *2.2.10.4.2 Gallinaza.*

El estiércol es una fuente importante de nutrientes para las plantas y el estiércol de pollo se destaca del resto, ya que contiene nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Además de su uso como fertilizante, el estiércol de aves aplicado en grandes dosis puede usarse para desinfectar el suelo mediante esterilización biológica. Los efectos del estiércol de pollo en el suelo han sido estudiados por varios autores, quienes demostraron que afecta las principales propiedades físicas y químicas del suelo, como la densidad aparente (DA), conductividad, etc., electrólisis (CE), pH e intercambio catiónico y contenido de materia orgánica (Barahona y Villarreal, 2015).

#### *2.2.10.4.3 Trichoderma harzianum.*

Es un hongo filamentoso heterótrofo con una pared celular compuesta de quitina, y su principal fuente de carbono son los carbohidratos como la pectina y el almidón. *Trichoderma harzianum* degrada algunos grupos de pesticidas que son difíciles de degradar en el medio ambiente y en la agricultura estimula el crecimiento de las plantas. Actúa como biocontrolador contra microorganismos fitopatógenos (Salinas, 2019).

## **2.3 Marco legal**

### **2.3.1 Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial No. 449, 20 de octubre de 2008**

#### **Título II**

#### **Derechos**

#### **Capítulo Segundo**

#### **Derechos Del Buen Vivir**

#### **Sección Segunda**

#### **Ambiente Sano**

**Art. 14.-** se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales.

## **Capítulo sexto**

### **Derechos de libertad**

**Art. 66.-** se reconoce y garantizará a las personas:

(...) 27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

## **Capítulo noveno**

### **Responsabilidades**

**Art. 83.-** son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la constitución y la ley:

(...) 6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

## **Título V**

### **Organización Territorial Del Estado**

#### **Capítulo Cuarto**

##### **Régimen De Competencias**

**Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

1. Planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural.
2. Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón.

## **Capítulo quinto**

### **Recursos económicos**

**Art. 276.-** El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

1. Mejorar la calidad y esperanza de vida, y aumentar las capacidades y potencialidades de la población en el marco de los principios y derechos que establece la Constitución.

(...) 4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

## **Título VII**

### **Régimen del buen vivir**

#### **Capítulo segundo**

##### **Biodiversidad y recursos naturales**

###### **Sección primera**

###### **Naturaleza y ambiente**

**Art. 395.** “La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:



1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

**Art. 396.** El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

**Art. 397.-** En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

1. Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado.
2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

3. Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.
4. Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado.
5. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.

## **Sección quinta**

### **Suelo**

**Art. 409.-** Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

**Art. 410.-** El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

## **2.3.2 Código Orgánico Ambiental, Registro Oficial N° 983 - Suplemento Miércoles 12 de abril de 2017**

**Artículo 1.-** Objeto. Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o *sumak kawsay*.

Las disposiciones de este Código regularán los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la Constitución, así como los instrumentos que fortalecen su ejercicio, los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente, sin perjuicio de lo que establezcan otras leyes sobre la materia que garanticen los mismos fines.

### **Título II**

## **Sistema Único De Manejo Ambiental**

### **Capítulo I**

#### **Del Régimen Institucional**

**Artículo 162.- Obligatoriedad.** Todo proyecto, obra o actividad, así como toda ampliación o modificación de los mismos, que pueda causar riesgo o impacto ambiental, deberá cumplir con las disposiciones y principios que rigen al Sistema Único de Manejo Ambiental, en concordancia con lo establecido en el presente Código.

**Artículo 173.-** De las obligaciones del operador. El operador de un proyecto, obra y actividad, pública, privada o mixta, tendrá la obligación de prevenir, evitar, reducir y, en los casos que sea posible, eliminar los impactos y riesgos

ambientales que pueda generar su actividad. Cuando se produzca algún tipo de afectación al ambiente, el operador establecerá todos los mecanismos necesarios para su restauración.

El operador deberá promover en su actividad el uso de tecnologías ambientalmente limpias, energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, prácticas que garanticen la transparencia y acceso a la información, así como la implementación de mejores prácticas ambientales en la producción y consumo.

## **Capítulo IV**

### **De Los Instrumentos Para La Regularización Ambiental**

**Artículo 181.-** De los planes de manejo ambiental. El plan de manejo ambiental será el instrumento de cumplimiento obligatorio para el operador, el mismo que comprende varios subplanes, en función de las características del proyecto, obra o actividad. La finalidad del plan de manejo será establecer en detalle y orden cronológico, las acciones cuya ejecución se requiera para prevenir, evitar, controlar, mitigar, corregir, compensar, restaurar y reparar, según corresponda. Motivadas, de conformidad con las disposiciones contenidas en este Código y normativa expedida para el efecto, la Autoridad Ambiental Competente podrá requerir al operador, en cualquier momento, que efectúe modificaciones y actualizaciones al plan de manejo ambiental aprobado. Estas modificaciones estarán sujetas a su aprobación.

**Art. 208.-** Obligatoriedad del monitoreo. El operador será el responsable del monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas cumplan con el parámetro definido en la normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Competente, efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo serán asumidos por el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de dicho monitoreo.

## **Título V**

### **Gestión Integral De Residuos Y Desechos**

#### **Capítulo II**

#### **Gestión Integral De Residuos Y Desechos Sólidos No Peligrosos**

**Artículo 231.-** Obligaciones y responsabilidades. Serán responsables de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos a nivel nacional, los siguientes actores públicos y privados:

(...) 3. Los generadores de residuos, en base al principio de jerarquización, priorizarán la prevención y minimización de la generación de residuos sólidos no peligrosos, así como el adecuado manejo que incluye la separación, clasificación, reciclaje y almacenamiento temporal; en base a los lineamientos establecidos en la política nacional y normas técnicas.

#### **Capítulo III**

#### **Gestión Integral De Residuos Y Desechos Peligrosos Y Especiales**

**Artículo 237.-** Autorización administrativa para el generador y gestor de desechos peligrosos y especiales. Todo generador y gestor de residuos y

desechos peligrosos y especiales, deberán obtener la autorización administrativa de conformidad con los procedimientos y requisitos establecidos en la norma secundaria.

La transferencia de residuos y desechos peligrosos y especiales entre las fases de gestión establecidas, será permitida bajo el otorgamiento de la autorización administrativa y su vigencia según corresponda, bajo la observancia de las disposiciones contenidas en este Código.

**Artículo 238.-** Responsabilidades del generador. Toda persona natural o jurídica definida como generador de residuos y desechos peligrosos y especiales, es el titular y responsable del manejo ambiental de los mismos desde su generación hasta su eliminación o disposición final, de conformidad con el principio de jerarquización y las disposiciones de este Código.

Serán responsables solidariamente, junto con las personas naturales o jurídicas contratadas por ellos para efectuar la gestión de los residuos y desechos peligrosos y especiales, en el caso de incidentes que produzcan contaminación y daño ambiental. También responderán solidariamente las personas que no realicen la verificación de la autorización administrativa y su vigencia, al momento de entregar o recibir residuos y desechos peligrosos y especiales, cuando corresponda, de conformidad con la normativa secundaria.

## **Libro Séptimo**

### **De la reparación integral de daños ambientales y régimen sancionador**

#### **Título I**

#### **De la reparación integral de daños ambientales**

**Artículo 291.-** Obligación de comunicación a la autoridad. Todos quienes ejecuten proyectos, obras o actividades, públicas, privadas o mixtas, estarán obligados a comunicar a la Autoridad Ambiental Competente dentro de las 24 horas posteriores a la ocurrencia o existencia de daños ambientales dentro de sus áreas de operación.

**Artículo 292.-** Medidas de prevención y reparación integral de los daños ambientales. Ante la amenaza inminente de daños ambientales, el operador de proyectos, obras o actividades deberá adoptar de forma inmediata las medidas que prevengan y eviten la ocurrencia de dichos daños.

Cuando los daños ambientales hayan ocurrido, el operador responsable deberá adoptar sin demora y sin necesidad de advertencia, requerimiento o de acto administrativo previo, las siguientes medidas en este orden:

1. Contingencia, mitigación y corrección;
2. Remediación y restauración;
3. Compensación e indemnización; y,
4. Seguimiento y evaluación.

**Artículo 293.-** Medidas para evitar nuevos daños ambientales. Para evitar la ocurrencia de nuevos daños ambientales, se deberá tomar en consideración lo siguiente:

1. El operador de la actividad garantizará la implementación inmediata y oportuna de medidas que eviten y detengan la expansión del daño producido, así como la ocurrencia de nuevos daños; y,

2. El operador pondrá en conocimiento inmediato de la Autoridad Ambiental Competente la ejecución de actividades que prevengan o eviten la expansión del daño producido o la ocurrencia de nuevos daños. Lo mismo hará, en el caso de que no desaparezca la amenaza de daño ambiental, a pesar de haberse adoptado dichas medidas.

### **2.3.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente**

**Art. 433.** Estudio de impacto ambiental. - El estudio de impacto ambiental será elaborado en idioma español y deberá especificar todas las características del proyecto que representen interacciones con el medio circundante. Se presentará también la caracterización de las condiciones ambientales previa la ejecución del proyecto, obra o actividad, el análisis de riesgos y la descripción de las medidas específicas para prevenir, mitigar y controlar las alteraciones ambientales resultantes de su implementación. Los estudios de impacto ambiental deberán ser elaborados por consultores ambientales calificados y/o acreditados, con base en los formatos y requisitos establecidos por la Autoridad Ambiental Nacional en la norma técnica expedida para el efecto.

### **2.3.4 Código Integral Penal, Suplemento del Registro Oficial N° 180, 10 de febrero de 2014**

#### **Capítulo cuarto**

#### **Delitos contra el medio ambiente y naturaleza o pacha mama**

#### **Sección segunda**

#### **Delitos contra los recursos naturales**

**Art. 252.-** Delitos contra suelo. - La persona que, contraviniendo la normativa vigente, en relación con los planes de ordenamiento territorial y ambiental, cambie el uso del suelo forestal o el suelo destinado al mantenimiento y conservación de ecosistemas nativos y sus funciones ecológicas, afecte o dañe su capa fértil, cause erosión o desertificación, provocando daños graves, será sancionada con pena privativa de libertad de tres a cinco años.

#### **Sección tercera**

#### **Delitos contra la gestión ambiental**

**Art. 254.-** Gestión prohibida o no autorizada de productos, residuos, desechos o sustancias peligrosas.- La persona que, contraviniendo lo establecido en la normativa vigente, desarrolle, produzca, tenga, disponga, queme, comercialice, introduzca, importe, transporte, almacene, deposite o use, productos, residuos, desechos y sustancias químicas o peligrosas, y con esto produzca daños graves a la biodiversidad y recursos naturales, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años.

### **2.3.5 Acuerdo Ministerial 097 A. Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados**

Esta norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, se somete a las disposiciones contenidas en esos instrumentos y es de aplicación obligatoria por parte de toda persona natural o jurídica, pública o privada, que desarrolle actividades que

tengan potencial de afectación a la calidad ambiental del suelo en todo el territorio nacional. La presente norma técnica determina:

- Los objetivos y parámetros de calidad ambiental del suelo a ser considerados para diferentes usos de este recurso.

- El procedimiento para determinar los valores iniciales de referencia respecto a la calidad ambiental del suelo.
- Los límites permisibles de contaminantes en función del uso del suelo, en relación con un valor inicial de referencia.
- Los métodos y procedimientos para la determinación de los parámetros de calidad ambiental del suelo.
- Los métodos y procedimientos para la Remediación de suelos contaminados.

#### **(...) 4. Contenido**

##### **(...) 4.3 De las actividades que degradan la calidad del suelo**

Las personas naturales o jurídicas públicas o privadas dedicadas a la comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroelectricidad, exploración y explotación hidrocarburífera, minera, florícola, pecuaria, agrícola y otras, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción, comercialización y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos.

Los talleres mecánicos y lubricadoras, así como estaciones de servicio o cualquier otra actividad industrial, comercial o de servicio que dentro de sus operaciones maneje y utilice hidrocarburos o sus derivados, deberá realizar sus actividades en áreas pavimentadas e impermeabilizadas y por ningún motivo deberán verter los residuos aceitosos o disponer sobre el suelo los recipientes, piezas o partes que hayan estado en contacto con estas sustancias y deberán ser eliminados mediante los métodos establecidos en las Normas Técnicas y Reglamentos Ambientales aplicables y vigentes en el país. Los aceites minerales usados y los hidrocarburos desechados serán considerados sustancias peligrosas y nunca podrán ser dispuestos directamente sobre el recurso suelo, tal como lo establece la normativa ambiental vigente.

##### **4.3.1 Suelos contaminados**

**4.3.1.1** Los causantes y/o responsables por acción u omisión de contaminación al recurso suelo, por derrames, vertidos, fugas, almacenamiento o abandono de materiales peligrosos, deben proceder a la remediación de la zona afectada, considerando para el efecto los criterios de remediación de suelos contaminados que se encuentran en la presente norma.

**4.3.1.2** La Autoridad Ambiental Competente debe exigir al causante y/o responsable, la remediación integral y/o restauración del sitio contaminado, y el seguimiento de las acciones de remediación, hasta alcanzar los objetivos o valores establecidos en la presente norma.

**4.3.1.3** No serán consideradas como áreas degradadas o contaminadas aquellas en las que sus suelos presenten, por causas naturales y en forma habitual, alto contenido de sales solubles de sodio, de elementos tóxicos para la flora, fauna, ecosistemas y sus interrelaciones, de baja fertilidad química nativa,

capa de agua alta o suspendida que anule o disminuya muy notoriamente el crecimiento radicular de las plantas, que requieran riego constante o suplementario, de desmonte o desmalezado.

**4.3.1.4** Cuando por cualquier causa se produzcan derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de residuos o materiales peligrosos de forma accidental sobre el suelo, áreas protegidas o ecosistemas sensibles, se debe aplicar inmediatamente medidas de seguridad y contingencia para limitar la afectación a la menor área posible, y paralelamente poner en conocimiento de los hechos a la Autoridad Ambiental Competente, aviso que debe ser ratificado por escrito dentro de las 24 horas siguientes al día en que ocurrieron los hechos.

#### **4.4** Criterios de calidad de suelo y criterios de remediación

**4.4.1** Caracterización inicial del suelo.- La calidad inicial del suelo presentado por el proponente, como parte del Estudio de Impacto Ambiental, constituirá el valor referencial respecto al cual se evaluará una posible contaminación del suelo, en función de los parámetros señalados en la Tabla 1.

En caso de evidenciar valores superiores a los establecidos en la Tabla 1, de origen natural, estos se considerarán como línea base inicial antes de la implementación del proyecto.

Si por origen antropogénico los valores son superiores a los establecidos en la Tabla 1, la Autoridad Ambiental Competente exigirá al causante y/o responsable aplicar un programa de remediación, sin perjuicio de las acciones administrativas y legales que esto implique. Los valores de los parámetros deberán cumplir con los criterios de remediación de la Tabla 2, según el uso de suelo que corresponde.

**4.4.2** Criterios de calidad del suelo.- Los criterios de calidad del suelo son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante presente en el suelo. Los valores de fondo se refieren a los niveles ambientales representativos para un contaminante en el suelo. Estos valores pueden ser el resultado de la evolución natural del área, a partir de sus características geológicas, sin influencia de actividades antropogénicas. Los criterios de calidad del suelo constan en la Tabla 1.

**4.4.3** Toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que desarrolle actividades que tengan el potencial de afectar al recurso suelo, presentará periódicamente a la Autoridad Ambiental Competente un informe de monitoreo de la calidad del suelo, reportando los parámetros aplicables para el uso respectivo, según consta en la Tabla 1 y los que la Autoridad Ambiental disponga. La periodicidad y el plan de monitoreo deben ser establecidos en el Plan de Manejo Ambiental del proyecto, obra o actividad o conforme la Autoridad Ambiental Competente lo disponga.

**4.4.4** Criterios de remediación del suelo.- Los criterios de remediación se establecen de acuerdo al uso del suelo tiene el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes en un suelo luego de un proceso de remediación, y son presentados en la Tabla 2.

**2.3.6 NTE INEN-ISO 10381-2. Calidad Del Suelo. Muestreo. Parte 2: Directrices Sobre técnicas de muestreo (ISO 10381-2:2002, IDT)**

Esta parte de la Norma ISO 10381 proporciona las líneas directrices sobre las técnicas de toma y almacenaje de muestras de suelo, de tal forma que éstas puedan posteriormente examinarse con el propósito de obtener información sobre la calidad del suelo. Esta parte de la Norma ISO 10381 proporciona información sobre el equipo típico que se aplica en situaciones de muestreo especiales con fin de disponer de procedimientos de muestreo correctos para la recogida muestras representativas. Se orienta respecto a la selección de los equipos y las técnicas a utilizar para tomar correctamente muestras sin alterar y muestras alteradas a diferentes profundidades.



### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1 Enfoque de la investigación**

##### **3.1.1 Tipo de investigación**

En este trabajo se empleó investigación documental, la cual consiste en compilar información, datos y antecedentes concernientes al tema en estudio a través de fuentes documentales (Suck y Rivas, 1995). Se buscó información en artículos científicos, tesis de grado, libros, entre otros para obtener datos comprobados y verídicos para el desarrollo del proyecto. Igualmente, a través de la investigación experimental se llevó a cabo la comprobación de la eficiencia de los tratamientos a aplicar en la remediación de suelos degradados. En ese contexto se usó investigación descriptiva para describir los impactos ambientales ocasionados al suelo por el cultivo de cacao, así como también, detallar los tratamientos que permiten la recuperación del mismo.

##### **3.1.2 Diseño de investigación**

El diseño de este trabajo fue de tipo experimental dado que se manipularon las variables como los tratamientos compuestos por estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* para conocer cuál es su efecto sobre los parámetros de calidad de suelo (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitritos y nitratos, densidad aparente, cadmio y plomo). El trabajo experimental se basa en manipular variables, es decir, modificar su estado natural mediante la aplicación de distintos tratamientos para comprobar cómo y por qué se produce una reacción en el medio de experimentación (Tena y Turnbull, 1994).

#### **3.2 Metodología**

##### **3.2.1 Variables**

### **3.2.1.1. Variable independiente**

- Tipo de tratamiento
- Dosis de los tratamientos

### **3.2.1.2. Variable dependiente**

- Plomo (mg/Kg)
- Cadmio (mg/Kg)
- pH
- Materia orgánica (%)
- Salinidad (%)
- Conductividad eléctrica (uS/cm)
- Nitritos (mg/L)
- Nitratos (mg/L)
- Densidad aparente (g/L)

### **3.2.2 Tratamientos**

Para la realización de este trabajo se siguió la metodología utilizada por Delgado y Robalino, (2017) en donde se aplicaron 4 tratamientos con 5 repeticiones cada uno, adicionalmente un tratamiento testigo para comprobar la eficiencia de los tratamientos. Esta eficiencia se determinó a través de análisis de laboratorio luego de aplicar los tratamientos, para conocer el que más remueve los contaminantes a estudiar.

**Tabla 1. Tratamientos a aplicar en la recuperación del suelo**

<b>Muestra</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Dosis</b>	<b>Réplicas</b>
1	Estiércol porcino + suelo	250 g de EP + 1kg de suelo	5
2	<i>Trichoderma harzianum</i> + suelo	250 ml de TH + 1kg de suelo	5
3	Gallinaza + suelo	250 g de G + 1kg de suelo	5
4	Estiércol porcino + Gallinaza + <i>Trichoderma harzianum</i> + suelo	120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1k de suelo	5
5	Testigo	1kg de suelo	5

De la Torre y Sánchez, 2021

### 3.2.3 Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental completamente al azar, puesto que este diseño es comúnmente utilizado cuando se requiere comparar dos o más tratamientos con unidades experimentales homogéneas y los experimentos se realizan de manera aleatoria (Gras y Cabré, 1997). Este diseño se basó en un análisis de varianza que admite identificar si existe o no alguna diferencia entre los tratamientos a utilizar.

Se empleó este tipo de diseño porque ayuda a comparar los tratamientos a aplicar de manera aleatoria. Los valores utilizados en este trabajo se tomaron en referencia al estudio realizado por Delgado y Robalino, (2017), ya que es su trabajo aplicaron concentraciones similares de los tratamientos y se obtuvo una eficiencia de remoción de contaminantes del 92,57%.

### 3.2.4 Recolección de datos

#### 3.2.4.1. Recursos

- **Materiales:**
- Hojas papel bond para impresión de documentos
- Esferos
- Mandil

- Guantes de látex
- Recipientes para recolección de muestras
- Botas de caucho
- Equipo multiparámetros HACH-HQ40d (para medir pH y conductividad)
- Vasos de precipitación
- Probetas
- Balanza analítica marca Sartorius M-Power
- Horno para secar muestras
- Agua destilada
- Autoclave
- Crisol
- Agitador magnético
- Cajas Petri
- Cultivo PDA.
- Test de nitritos y nitratos marca Quantofix
- **Humanos:**
- Tesistas responsables del desarrollo del trabajo
- Director de trabajo de titulación
- **Tecnológicos:**
- Computadora
- Impresora
- Software's como Word, Excel, Power Point, InfoStat, internet.

### 3.2.4.2. Métodos y técnicas

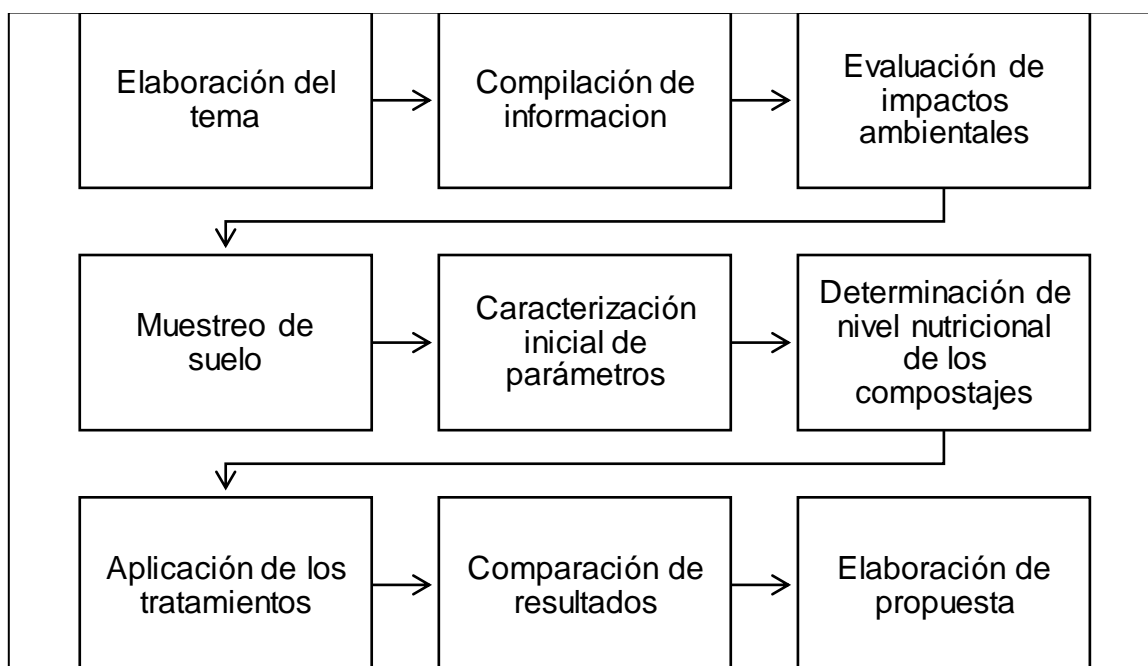


Figura 1. Proceso de ejecución y desarrollo del proyecto  
De la Torre y Sánchez, 2021

Inicialmente se recopiló toda la información necesaria a través de la búsqueda en fuentes como libros, revistas científicas, documentos, etc., los cuales facilitaron especificar la mejor metodología de trabajo en este proyecto. Se buscaron datos sobre la problemática ambiental del cultivo de cacao y su afectación al suelo, de igual forma se recopiló antecedentes sobre estudios que han realizado restauraciones de suelos contaminados por plaguicidas mediante la aplicación de abonos orgánicos y más específicamente, con *Trichoderma harzianum*, gallinaza y estiércol porcino. Esta información permitió comparar la eficiencia de los tratamientos a aplicar en la presente investigación con los estudios previos.

Seguidamente, se compilaron datos verídicos sobre los impactos ambientales que genera el cultivo de cacao sobre los recursos naturales, especialmente sobre el suelo y a través de la matriz de Leopold se evaluaron dichos impactos. A través de una búsqueda exhaustiva en libros y artículos de revistas científicas se analizaron los impactos ambientales de dicha actividad sobre el agua, el suelo y el

aire, para luego generar una matriz de evaluación en donde se identificaron, caracterizaron y evaluaron todos los efectos de cada una de las actividades que se realizan en el cultivo de cacao, sobre los medios físico, biótico y económico.

- Primero se identifican los impactos ambientales sobre los recursos suelo, agua y aire a través de la matriz de identificación.
- Luego se realiza la caracterización del impacto colocando un signo positivo (+) o negativo (-) acorde con la actividad que se realiza y dependiendo si la afectación que tiene sobre el recurso es positiva o negativa
- Por último, se procede a efectuar la valoración de los impactos, siempre que se tenga conocimiento de la magnitud e importancia de los mismos, para lo cual se utilizan las siguientes fórmulas:

#### Magnitud

$$Magnitud = (I \times 0,40) + (E \times 0,40) + (D \times 0,20)$$

Donde:

I= intensidad

E= extensión

D= duración

#### Importancia

$$Importancia = (E \times 0,30) + (RV \times 0,20) + (RI \times 0,50)$$

Donde:

E= extensión

RV= reversibilidad

RI= riesgo

En la tabla 4 se presentan los criterios de valoración de acuerdo a los resultados de magnitud e importancia.

**Tabla 2. Estimaciones sobre magnitud e importancia en la evaluación de impactos**

Valores	Denominación del impacto
1,0 a 1,6	Bajo
1,7 a 2,3	Medio
2,4 a 3,0	Alto

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación de impactos Ambientales

En la tabla 5 se indican las categorías determinadas para la evaluación de impactos.

**Tabla 3. Categorías de evaluación de impactos**

Rangos	Categorías de impactos
<25	Irrelevante
25 - 50	Moderado
50 - 75	Severo
>75	Crítico

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación de impactos Ambientales

El muestreo se realizó mediante lo estipulado en el Acuerdo Ministerial 097 A anexo 2, se tomaron 10 muestras simples para crear una muestra compuesta de, las cuales se tomaron a una profundidad de 30 cm de manera aleatoria en el área de la finca, la muestra compuesta debe ser representativa, ya que de esta se extrajo aproximadamente 1 kg de suelo para el análisis en laboratorio. El tipo de muestreo que se efectuó fue a manera de zigzag.

Una vez tomadas las muestras y llevadas al laboratorio, se procedió a determinar la concentración inicial de los parámetros en estudio para luego compararlos con la normativa ambiental vigente:

- pH: Para la medición del pH en las muestras de suelo, se necesitó diluir el suelo en agua destilada a una relación 1:1 hasta que la muestra quede homogenizada, posteriormente con la utilización de un pH metro se mide el pH reflejado en la pantalla del equipo previamente calibrado.
- Conductividad eléctrica: Para medir este parámetro se hace una dilución de 1 unidad de suelo con 2 unidades de agua y por medio del equipo multiparámetros se establece el valor inicial de este parámetro en la muestra de suelo.
- Materia orgánica: Para determinar la materia orgánica presente en el suelo se utilizó el método de calcinación, el cual consiste en secar al aire libre 7 g de suelo y colocarlos en crisoles de porcelana, llevarlo al horno durante 24 o 48 a una temperatura de 105° C hasta que tenga un peso constante, una vez pasado ese tiempo se deja enfriar y se pesan en la balanza. Posterior a eso, se introduce la muestra en la mufla para llevar a cabo la calcinación a 650° C durante 3 horas. Pasado ese tiempo, se retira la muestra del equipo y se deja enfriar, se pesó nuevamente y se sacó la diferencia del peso obtenido antes de la calcinación y el peso obtenido luego de la calcinación, el resultado fue la materia orgánica contenida en la muestra de suelo expresada en porcentaje.
- Salinidad: Para determinar la salinidad se hizo uso de las siguientes fórmulas:

$$\text{Salinidad} = 10^{(-0,175+1,0053*\text{Log}_{10}(\text{CE}))}$$

$$\text{Salinidad (\%)} = \left(\frac{\text{Salinidad}}{100}\right) * 100$$



Una vez que se obtienen los valores de conductividad eléctrica se procede a calcular el porcentaje de salinidad presente en cada muestra de suelo, con el uso de las fórmulas mencionadas.

- Densidad aparente: Para calcular la densidad aparente del suelo se tomó un recipiente de un litro donde se colocó una muestra de suelo hasta llenar el recipiente, se pesó para conocer la masa de la muestra y posteriormente, se calculó la densidad con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{M}{V}$$

Donde:

D= densidad (g/L)

M= masa (g)

V= volumen del recipiente (L)

- Nitritos y nitratos: Para determinar estos parámetros se requirieron tirillas reactivas de nitritos y nitratos, mediante las cuales se estableció la concentración de nitrógeno residual presente en el suelo. Se preparó una solución de suelo y agua, agitando muy bien la mezcla hasta que quede homogénea, se introducen las tiras reactivas en la sustancia y se registra el color obtenido, mediante la revisión de la guía de las tiras se calculó la concentración de estos compuestos en las muestras estudiadas.
- Cadmio (Cd) y plomo (Pb): Para la determinación de los metales pesados cadmio y plomo se utilizó la técnica de espectroscopia de absorción atómica mediante llama, la cual se fundamenta en colocar una solución de la muestra en un atomizador de flama para nebulizarla, a través de un flujo de gas oxidante combinado con un combustible gaseoso, se coloca

en una llama para formar la atomización. En este proceso el disolvente se evapora y se genera aerosol molecular, posteriormente se volatiliza creando moléculas de gases, que es su mayoría forman gas atómico (Quero et al., 2017).

A través de la búsqueda bibliográfica se realizó una recopilación de información sobre el contenido nutricional de los abonos compuestos por estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* y conocer cuáles son sus aportes en la recuperación y restauración de suelos contaminados. Se realizaron tablas en donde se colocaron los valores encontrados, mismos que permitieron precisar la capacidad regeneradora de cada uno de los elementos a estudiar, dependiendo del contenido nutricional que presente.

Por otro lado, se establecieron los tratamientos a aplicar basados en estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* para identificar el más eficiente en la eliminación de metales pesados como plomo y cadmio de suelos degradados por cultivo de cacao.

- Para la obtención de *Trichoderma harzianum*, primero se realizó a base del medio de cultivo PDA (Agar de Dextrosa de Papa), para lo cual se disuelve 39 g de cultivo en 1000 ml de agua destilada, se calienta hasta el punto de ebullición agitando constantemente, luego se esteriliza por medio de la autoclave a 121° C, se deja enfriar y se agrega 20 ml en cada caja Petri. Para el aislamiento del hongo se realizó mediante la técnica de siembra directa de suelo, la cual consiste en colocar 5 g de suelo en el medio de cultivo PDA, incubándolos por un tiempo de 7 días a 25° C con el fin de observar crecimiento del hongo. Para la preparación de la solución se procedió a extraer el hongo de las cajas Petri e introducirlo en

un recipiente con 1500 ml de agua destilada y agitar hasta que se forme una mezcla homogénea.

- Para la obtención de la gallinaza: Se preparó la gallinaza adicionándole hierbas secas y agua para formar un abono, se debe airear periódicamente para facilitar el proceso de descomposición, de esta manera se enriquece el proceso del tratamiento, dado que se eliminan los compuestos contenidos en la gallinaza fresca que pueden ser perjudiciales para el suelo, la gallinaza obtenida debe tener una humedad aproximada de 18%.
- Para la obtención del estiércol porcino: De la misma manera, el estiércol porcino seco, fue triturado y tamizado para luego colocarlo en el suelo directamente en cada uno de los tratamientos.

Una vez obtenidos los compostajes a utilizar, se procedió a realizar la prueba en el Laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Agraria del Ecuador, para la aplicación de los tratamientos. En 5 recipientes se colocó el suelo con cada uno de los tratamientos, se dejó actuar por un tiempo de 1 semana, monitoreando diariamente el pH con el fin de verificar su comportamiento. El proceso se replicó 5 veces para cada tratamiento y determinar la eficiencia de cada uno en la recuperación del suelo degradado. Luego de aplicar los tratamientos se realizaron análisis en laboratorio de los parámetros en estudio, para comprobar si la concentración de estos en el suelo aumenta o disminuye.

Comparar los resultados con los límites establecidos en normas ambientales nacionales (Acuerdo Ministerial 097 A anexo 2) e internacionales (Ley Alemana de Protección del suelo, Soil Remediation Circular 2013, versión of 1 July 2013). Con los resultados que presente este estudio se realizó una tabla de comparación de

los límites admisibles por las normativas, con el fin de verificar si algún parámetro se encuentra en el rango permitido o supera los valores del marco legal vigente.

Como último punto, a partir de los resultados se realizó la propuesta para la implementación del tratamiento más eficiente como opción para la restauración del suelo degradado por cultivo de cacao en la finca Sánchez provincia de El Oro. Se definió el tratamiento más eficiente a aquel que redujo la mayor concentración de cadmio y plomo en el suelo a tratar, y si es posible, disminuyendo por debajo de lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097 A, anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, que en la tabla 2 dispone los criterios de remediación del suelo, y para los parámetros de cadmio y plomo los valores deben ser menores o igual a Cd (2 mg/Kg) y Pb (60 mg/Kg) para suelos agrícolas, como es el caso del presente proyecto.

### **3.2.5 Análisis estadístico**

El análisis estadístico que se empleó en este trabajo fue inferencial a través de un análisis de varianza (ANOVA), este análisis permitió determinar si los tratamientos que se van a aplicar para la recuperación del suelo, tienen o no diferencias significativas, permitiendo comparar los tratamientos a aplicar con el fin de establecer el más eficiente. De igual manera se utilizó el test de Duncan para comparar las medias de los tratamientos y junto con el análisis de varianza comprobar cuál es el tratamiento que remueve la mayor concentración de contaminantes, para los datos que no presentaron distribución normal se aplicó estadística no paramétrica con Kruskal Wallis. Los análisis se realizaron bajo un nivel de significancia de 0,05. La ejecución del análisis se llevó a cabo utilizando el software InfoStat, y la fórmula del análisis de varianza se muestra a continuación:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^N (X_i - X)^2}{N}$$

Donde:

X= Variable

X<sub>i</sub>= Observación número i de la variable X.

N= número de observaciones

x= medida de la variable X

Los datos a obtener se introdujeron en el programa InfoStat por cada variable y se ejecutaron las operaciones de análisis de varianza para obtener los resultados de las medias en cada tratamiento. De esta manera se obtienen tablas con la información concerniente a la efectividad de los tratamientos.

De la misma manera se utilizaron diagramas de barras, gráficos de pastel y tablas para la interpretación de los resultados, calculando medias y promedios de los datos a obtener.

### **3.2.5.1 Análisis de varianza (ANOVA)**

El análisis de varianza (Analysis of Variance) es un método estadístico que implica una serie de componentes con variables explicativas diferentes. Se utiliza en el análisis de diseños experimentales para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la variable de respuesta, permitiendo determinar si los diferentes tratamientos tienen diferencias significativas. Se asume que todo valor observado se expresa mediante la función (Dagnino, 2014).

$$Y_{ij} = u + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y<sub>ij</sub>= valor observado (variable dependiente)

u= una constante que en la recta de regresión equivale a la ordenada en el origen.

$T_i$  = es una variable que varía de tratamiento a tratamiento

$E_{ij}$  = variable aleatoria que añade a la función cierto error que desvía la puntuación observada de la puntuación pronosticada (Dagnino, 2014).

### **3.2.5.2 Test de Duncan**

El test de Duncan es un test de comparaciones múltiples, el cual permite comparar las medias de los diferentes niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias durante la técnica ANOVA (Tallarida y Murray, 1989).

## 4. Resultados

### 4.1 Diagnóstico del impacto ambiental ocasionado por cultivo de cacao en el recurso suelo y agua mediante la matriz de Leopold.

A continuación, se observa la tabla 4 que contiene la matriz de Leopold, misma que analiza el impacto ambiental ocasionado por la siembra del cultivo de cacao, tomando en cuenta las actividades de siembra, cultivo y cosecha, a su vez, las distintas repercusiones presentadas en cada actividad.

**Tabla 4. Matriz de impactos ambientales del cultivo de cacao**

FACTORES ACCIONES	MEDIO FÍSICO			MEDIO BIÓTICO		MEDIO ANTRÓPICO				AFECTACIÓN NEGATIVA	AFECTACIÓN POSITIVA	AGREGACIÓN DE IMPACTOS									
	AIRE	AGUA	SUELO	FLORA	FAUNA	MEDIO PERCEPTUAL	INFRAESTRUCTURA	HUMANOS	ECONOMIA												
<b>1. SIEMBRA Y CULTIVO</b>																					
EROSIÓN DEL SUELO	-2	2	-5	7	-10	5	-8	5	-7	5	-9	5	-2	1	-5	5	8	5	8	10	-196
PÉRDIDA DE FLORA NATIVA	-4	4	-7	4	-9	6	-10	6	-9	6	-9	5	-2	2	-7	5	5	5	8	10	-271
ALTERACIÓN DEL PAISAJE	-3	1	-5	2	-9	5	-9	5	-9	5	-10	5	-2	2	-8	5	6	5	8	10	-212
CONTAMINACIÓN POR AGROQUÍMICOS	-9	7	-9	7	-10	5	-9	5	-9	5	-5	5	-2	2	-8	7	5	5	8	10	-326
ACUMULACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CAMPO	-6	1	-8	1	-8	5	-8	4	-8	4	-7	4	-2	2	-4	4	7	5	8	10	-131
EMISIÓN DE GEI	-8	5	-2	2	-2	2	-9	5	-9	5	-5	5	-2	2	-9	5	5	5	8	10	-187
GENERACIÓN DE LIXIVIADOS	-7	2	-8	5	-8	5	-8	4	-8	4	-4	4	-2	1	-8	5	5	5	8	10	-191
<b>2. COSECHA</b>																					
GENERACION DE RESIDUOS	-5	4	-5	4	-4	4	-7	5	-8	5	-5	4	-5	4	-2	5	6	5	8	10	-151
EMISION DE CO2	-9	6	-3	1	-3	1	-7	4	-7	4	-4	2	-2	1	-8	5	3	5	8	10	-151
<b>AFECTACION NEGATIVA</b>										9	9	9	9	9	9	0	<b>COMPROBACION</b>				
<b>AFECTACION POSITIVA</b>										0	0	0	0	0	0	9			-1816		
<b>AGREGACION DE IMPACTOS</b>	<b>-220</b>			<b>-211</b>			<b>-302</b>			<b>-362</b>			<b>-356</b>			<b>-262</b>	<b>-46</b>	<b>-307</b>	<b>250</b>	<b>-1816</b>	<b>-1816</b>

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 4 se aprecia los datos ingresados en la matriz de Leopold para cada una de las actividades realizadas dentro del cultivo de cacao, obteniendo finalmente un valor de -1816, lo que se traduce como un alto impacto negativo al realizar el cultivo de cacao. La contaminación por agroquímicos es la que ejerce un mayor impacto ambiental especialmente sobre el medio biótico y físico. La erosión del suelo y la pérdida de flora nativa también generan altos impactos para el medio físico y en mayor medida al suelo, ya que al extraer la flora nativa este sufre alteración en su composición.

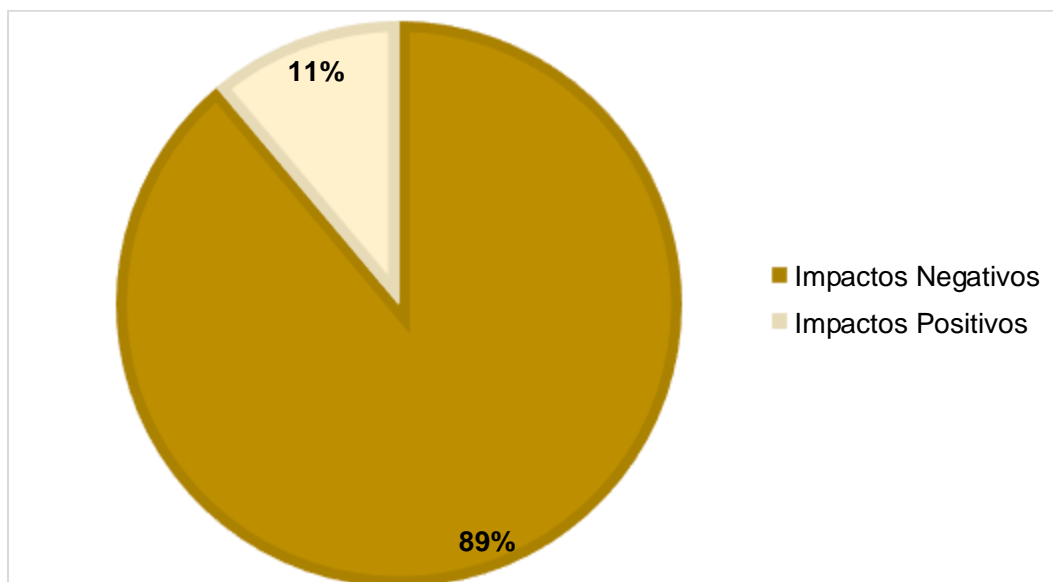


Figura 2. Porcentaje de impactos positivos y negativos del cultivo de cacao

En la figura 2, se muestran los datos acerca de los porcentajes de impactos positivos (11%) e impactos negativos (89%), notándose que los impactos negativos son mayores.

En la tabla 5, se muestran los criterios utilizados para la colocación de valores dentro de la matriz de Leopold.



**Tabla 5. Magnitud e importancia de los impactos**

Magnitud			Importancia		
Calf	Intensidad	Afectación	Calf.	Duración	Influencia
1	Baja	Baja	1	Temporal	Puntual
2	Baja	Meda	2	Media	Puntual
3	Baja	Alta	3	Permanente	Puntual
4	Media	Baja	4	Temporal	Local
5	Media	Meda	5	Media	Local
6	Media	Alta	6	Permanente	Local
7	Alta	Baja	7	Temporal	Regional
8	Alta	Meda	8	Media	Regional
9	Alta	Alta	9	Permanente	Regional
10	Muy alta	Alta	10	Permanente	Regional

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 5, se observa detalladamente los valores asignados para magnitud, mismos que son de una escala entre 1 a 10 y de -1 a -10, a su vez la misma magnitud se subdivide en intensidad y afectación las cuales tomaran valores cualitativos dependiendo de la calificación numérica que decida darse a determinado impacto. Así también se tienen los valores para importancia ubicados entre 1 a 10 siendo estos siempre positivos, de igual manera la importancia se subdivide en; duración, que indicará si este impacto será temporal, de medio plazo o permanente, influencia refiriéndose si el impacto afectara de forma puntual, local o regional.

#### **4.2 Determinación de la concentración inicial de los parámetros físicos (pH, materia orgánica, salinidad, conductividad, nitritos, nitratos y densidad aparente) y químicos (plomo y cadmio) en suelos agrícolas de la finca Sánchez mediante análisis de laboratorio.**

Se realizó la toma de muestras en los previos de la finca Sánchez y posteriormente fueron llevadas a un laboratorio acreditado para realizar los análisis

iniciales de plomo y cadmio, mientras que los parámetros de pH, materia orgánica, salinidad, conductividad eléctrica, nitritos, nitratos y densidad aparente fueron analizados en el laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Agraria del Ecuador.

En la tabla 6 se muestran los valores iniciales hallados en el suelo de la finca Sánchez antes de aplicar los tratamientos.

**Tabla 6. Concentración inicial de los parámetros estudiados**

N°	Parámetros	Concentración inicial	Unidad de medida	Lugar
1	Plomo	17,63	mg/kg	Finca Sánchez
2	Cadmio	2,57	mg/kg	Finca Sánchez
3	pH	7		Finca Sánchez
4	Materia orgánica	1,86	%	Finca Sánchez
5	Salinidad	230,2	%	Finca Sánchez
6	Conductividad eléctrica	334	uS/cm	Finca Sánchez
7	Nitritos	182,23	mg/L	Finca Sánchez
8	Nitratos	1,51	mg/L	Finca Sánchez
9	Densidad aparente	1217,32	g/L	Finca Sánchez

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 6 se evidencian los valores obtenidos de los parámetros en estudios, siendo plomo 17,63 mg/kg; cadmio 2,57 mg/kg; pH 7, materia orgánica 1,86%; salinidad 230,2%; conductividad eléctrica 334  $\mu$ S/cm; nitritos 182,23 mg/L; nitratos 1,51 mg/L y densidad aparente 1217,32 g/L.

#### **4.3 Determinación del contenido nutricional de los abonos compuestos por estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* mediante análisis bibliográfico.**

##### **4.3.1 Contenido nutricional del estiércol porcino**

El estiércol porcino, suele ser una mezcla de heces, orina, agua de la limpieza de los corrales, más el alimento y agua que se desperdicia por lo tanto en su gran

mayoría se encuentra en estado líquido; tiene valor agronómico, ya que se puede usar como abono orgánico, para la producción de cultivos sin impactos ambientales significativos, se lo puede usar de forma líquida o sólida (Ayala y Castro, 2018).

**Tabla 7. Contenido nutricional del estiércol porcino.**

<b>Nutrientes</b>	<b>EP (%)</b>
<b>Nitrógeno</b>	2,04
<b>Fósforo</b>	6,1
<b>Potasio</b>	1,63
<b>Calcio</b>	3,98
<b>Magnesio</b>	2,0
<b>Sodio</b>	0,23

Ayala y Castro, (2018)

#### **4.3.2 Contenido nutricional de la gallinaza**

La gallinaza es considerada como un excelente proveedor de nutrientes al momento de utilizárselo como abono, sin embargo, hay que hacerlo de forma correcta ya que de lo contrario la cantidad de nutrientes no serán las adecuadas (Arévalo y Carrión, 2018). El contenido nutricional de los abonos a base de gallinaza depende de ciertos factores como los siguientes;

- La edad del ave; la cantidad de desechos obtenidos de estas aves depende del tamaño se debe considerar al momento de optar por este método ya que se necesita tener una fuente considerable.
- Consumo de alimento; este factor tiene juega un papel importante al momento de evaluar la calidad de la gallinaza, depende mucho del tipo de alimento que consuma el mayor o menor aporte nutricional a las plantas.
- La temperatura; al momento de realizar la gallinaza se debe tener un control de la temperatura ya que al alcanzar temperaturas elevadas ocasiona una pérdida considerable de nitrógeno.

- Ventilación; una adecuada ventilación ayuda a la evaporización de gases y ayuda a mantener el nitrógeno en el compost.

**Tabla 8. Contenido nutricional encontrado en la gallinaza.**

<b>Nutrientes</b>	<b>Gallinaza (%)</b>
<b>Nitrógeno</b>	4,6
<b>Fósforo</b>	1,49
<b>Potasio</b>	2,09
<b>Calcio</b>	9,65
<b>Magnesio</b>	0,27
<b>Sodio</b>	0,21

Arévalo y Carrión, (2018)

#### **4.3.3 Contenido nutricional del abono con *Trichoderma harzianum***

Los *Trichoderma Harzianum* son hongos que se encuentran fácilmente en los ecosistemas del suelo y raíces de las plantas. Este hongo sirve como control de patógenos lo que lo hace muy usado como control de enfermedades (Molina y Loya, 2019).

**Tabla 9. Contenido nutricional del abono con *Trichoderma harzianum***

<b>Nutrientes</b>	<b>TH (%)</b>
<b>Nitrógeno</b>	0,4
<b>Fósforo</b>	14
<b>Potasio</b>	3,46
<b>Calcio</b>	17,28
<b>Magnesio</b>	2,04
<b>Sodio</b>	0,20

Molina y Loya, (2019)

**4.4 Establecimiento de los tratamientos de restauración del suelo utilizando estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* para la identificación del más eficiente.**

Una vez aplicados los tratamientos establecidos anteriormente, se realizaron análisis en laboratorio de las muestras de suelo para conocer la efectividad de cada uno de ellos, los resultados se muestran a continuación.

#### 4.4.1 Resultados de plomo (Pb)

En la tabla 10, se observan las réplicas para el parámetro de plomo en los distintos tratamientos.

**Tabla 10. Resultados de plomo**

Tratamiento	Plomo (mg/kg)				
	R1	R2	R3	R4	R5
T1: 250 g de EP + 1kg de suelo	18,15	18,13	18,12	18,1	18,09
T2: 250 ml de TH + 1kg de suelo	< 10,82	< 10,80	< 10,79	< 10,78	< 10
T3: 250 g de G + 1kg de suelo	18,86	18,84	18,83	18,81	18,79
T4: 120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1kg de suelo	<10,93	<10,90	<10,89	<10,88	<10

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 10, se detallan cada uno de los valores obtenidos para cada uno de los tratamientos aplicados, cabe recalcar que existe una variación notable entre el tratamiento 1 y 3 con respecto al tratamiento 2 y 4.

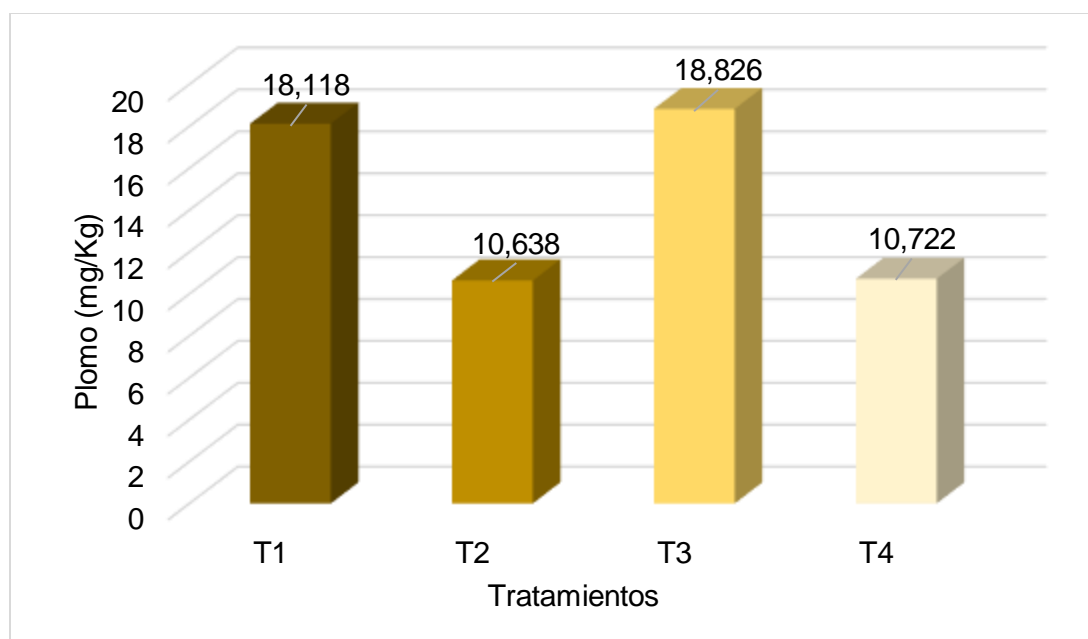


Figura 3. Promedio de plomo luego de la aplicación de los tratamientos

En la figura 3, se observan los promedios de los datos obtenidos para cada tratamiento, notándose mayor reducción de plomo en los tratamientos 2 y 4.

En la tabla 11, se observan los datos de la prueba de Kruskal-Wallis aplicados al parámetro plomo con respecto a cada tratamiento empleado.

**Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis de Plomo**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	p
Plomo	T1	5	10,47	0,43	10,78	0,0042
Plomo	T2	5	13,77	3,95	10,93	
Plomo	T3	5	18,4	0,37	18,15	
Plomo	T4	5	15,66	4,36	18,83	

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 11, muestra la información obtenida luego de la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis al parámetro de plomo, con la cual se pudo establecer que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los tratamientos aplicados, dado que el valor p (0,0042) es inferior al nivel de significancia (0,05), en este caso se rechaza la hipótesis nula que establece que todas las medianas son iguales.

La tabla 12 contiene los datos de la significancia estadística realizada a la información obtenida a través de la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis.

**Tabla 12. Significancia estadística de Kruskal-Wallis**

Trat.	Medias		
T1	10,47	A	
T2	13,77	A	
T3	15,66		B
T4	18,4		B

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 12, muestra la significancia estadística que existe entre los tratamientos, notándose que los tratamientos 1 y 2 no son significativamente diferentes, esto mismo se puede notar entre los tratamientos 3 y 4, sin embargo, entre los dos primeros y los dos últimos si existe diferencia significativa, puesto que presentaron letras diferentes.

#### 4.4.2 Resultados de cadmio (Cd)

En la tabla 13, se observan las réplicas en los distintos tratamientos.

**Tabla 13. Resultados de cadmio**

Tratamientos	Cadmio (mg/kg)				
	R1	R2	R3	R4	R5
250 g de EP + 1kg de suelo	1,69	1,67	1,65	1,66	1,67
250 ml de TH + 1kg de suelo	0,9	0,88	0,87	0,85	0,84
250 g de G + 1kg de suelo	3,29	3,28	3,27	3,25	3,24
120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1k de suelo	0,82	0,81	0,78	0,77	0,75

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 13, se puntualizan cada uno de los valores obtenidos para cada uno de los tratamientos aplicados, cabe mencionar que existe una remoción mayor en el tratamiento 4.

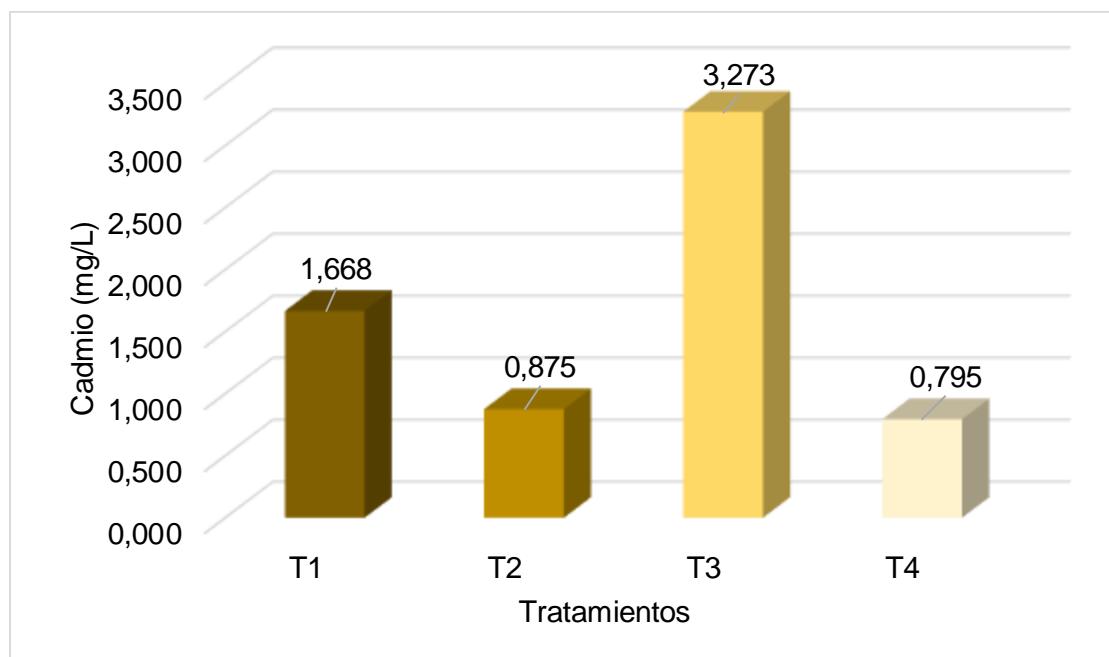


Figura 4. Promedio de cadmio luego de la aplicación de los tratamientos

En la figura 4 se observan los promedios de los datos obtenidos para cada tratamiento, notándose mayor reducción de cadmio en el tratamiento 4.

En la tabla 14, se observan los datos de la prueba de Kruskal-Wallis aplicados al parámetro Cadmio relacionado a cada tratamiento ejecutado.

**Tabla 14. Prueba de Kruskal-Wallis de Cadmio**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	p
Cadmio	T1	5	1,67	0,01	1,67	0,0005
Cadmio	T2	5	0,87	0,02	0,87	
Cadmio	T3	5	3,27	0,02	3,27	
Cadmio	T4	5	0,79	0,03	0,78	

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 14, se muestra la información obtenida posterior a la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis, misma que asegura que si existe diferencia significativa del nivel de cadmio entre la mediana de los tratamientos, rechazando



la hipótesis nula (todas las medianas son iguales), ya que se obtuvo un valor p valor (0,0005) es menor al nivel de significancia (0,05) y se acepta la hipótesis alternativa aludiendo que al menos una mediana de los tratamientos es diferente a las demás.

La tabla 15 aloja los datos de la significancia estadística ejecutada a la información obtenida a través de la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis.

**Tabla 15. Significancia estadística de Kruskal-Wallis**

Trat.	Medias			
T4	0,79	A		
T2	0,87	A		
T1	1,67		B	
T3	3,27			C

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 15 establece que la diferencia entre las medianas de los tratamientos T1, T2 y T3 es significativa. Sin embargo, entre los tratamientos T2 y T4 no existe diferencias. Esto comprueba los resultados de la tabla de Kruskal Wallis que al menos una mediana es diferente de las demás.

#### 4.4.3 Resultados de pH

En la tabla 16, se observan las réplicas para el parámetro de pH en los distintos tratamientos.

**Tabla 16. Resultados de pH**

Tratamiento	pH				
	R1	R2	R3	R4	R5
T1: 250 g de EP + 1kg de suelo	6,99	6,88	6,78	6,61	6,45
T2: 250 ml de TH + 1kg de suelo	7,19	7,14	7	6,52	6,5
T3: 250 g de G + 1kg de suelo	6,21	6,12	5,97	5,78	5,58
T4: 120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1kg de suelo	7,63	7,42	7,3	7,28	7,08

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 16, se detallan cada uno de los valores obtenidos para cada uno de los tratamientos aplicados, resaltando que existe una remoción mayor en el tratamiento 3.

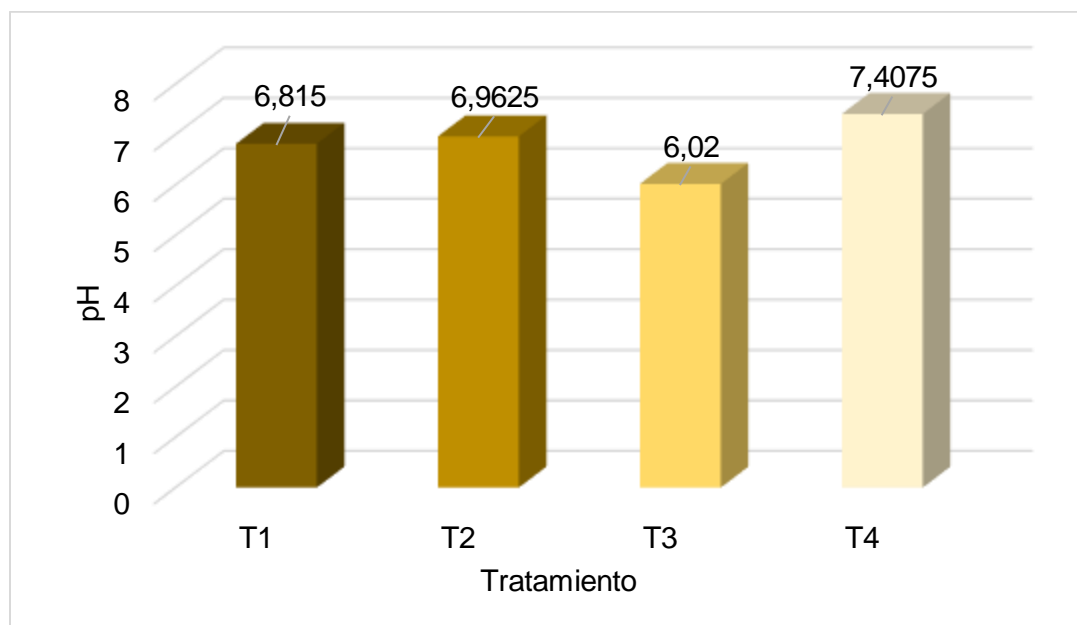


Figura 5. Promedio de pH luego de la aplicación de los tratamientos

En la tabla 17 se observa los datos obtenidos luego de la aplicación del estadístico ANOVA en el pH.

**Tabla 17. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) pH**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	5,15	3	1,72	25,92	<0,0001
<b>Tratamiento</b>	5,15	3	1,72	25,92	<0,0001
<b>Error</b>	1,06	16	0,07		
<b>Total</b>	6,21	19			

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 17 se presenta el ANOVA del pH, en el que se puede visualizar que se obtuvo un p-valor de <0,0001, siendo este menor que el nivel de significancia que es de 0,05 en este sentido se procede a rechazar la hipótesis nula (todas las medias son iguales) y se acepta la hipótesis alternativa (al menos una media es diferente).

En la tabla 18 se encuentra el test de Duncan aplicado al pH.

**Tabla 18. Test: Duncan Alfa=0,05, pH**

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
T3	5,93	5	0,12	A	
T1	6,74	5	0,12		B
T2	6,87	5	0,12		B
T4	7,34	5	0,12		C

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 18 se muestran los resultados luego de la ejecución del test de Duncan, esta prueba se utiliza luego de aplicar ANOVA para comprobar la diferencia entre las medias y determinar cuáles son las medias diferentes, en el caso del pH las medias diferentes son de los tratamientos T3 y T4 en comparación de las medias de los T1 y T2. Sin embargo, el T3 también es diferentes del T4, mientras que entre los T1 y T2 no existen diferencias.

#### 4.4.4 Resultados de materia orgánica (%)

En la tabla 19, se observan los resultados de las réplicas realizadas en los distintos tratamientos en este caso del parámetro materia orgánica.

**Tabla 19. Resultados de materia orgánica**

Tratamientos	Materia orgánica (%)				
	R1	R2	R3	R4	R5
T1: 250 g de EP + 1kg de suelo	2,3	2,49	2,66	2,87	3,22
T2: 250 ml de TH + 1kg de suelo	2,89	3,05	3,28	3,77	4,02
T3: 250 g de G + 1kg de suelo	1,9	2,03	2,16	2,38	2,53
T4: 120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1k de suelo	4,86	4,98	5,29	5,33	5,46

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 19, se puntualizan cada uno de los valores obtenidos para cada tratamiento aplicado, sobresaliendo el tratamiento 3 que presento aparentemente mayor remoción de materia orgánica.

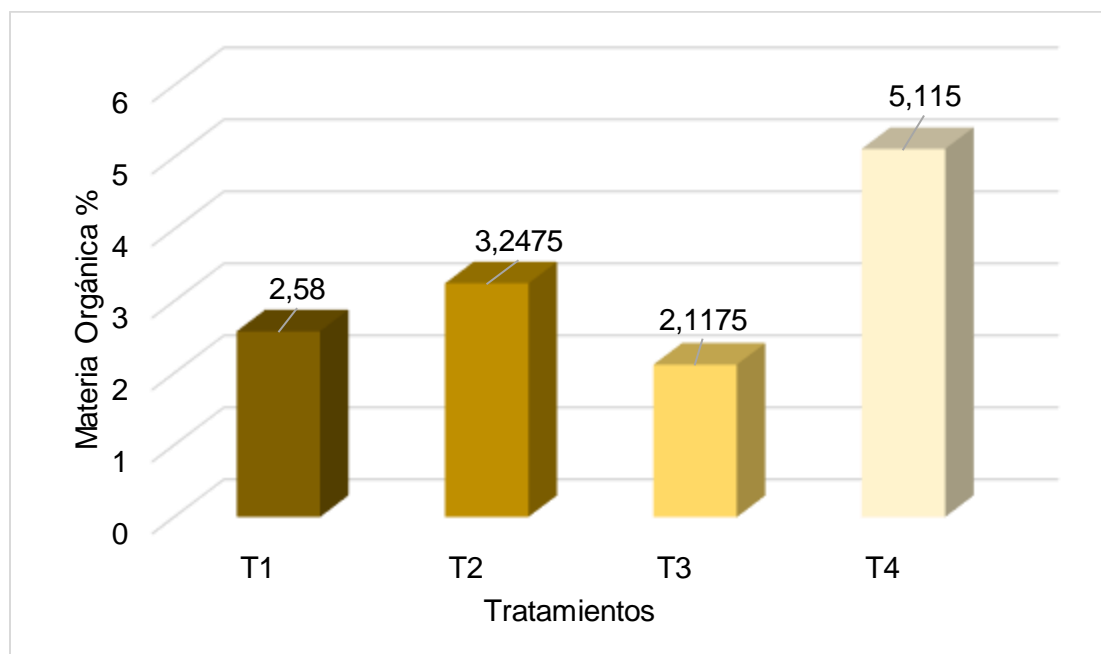


Figura 6. Promedio de materia orgánica luego de la aplicación de los tratamientos

En la figura 6, es posible observar los promedios de los datos obtenidos para cada tratamiento referentes a la materia orgánica, apreciándose mayor reducción en el tratamiento 3.

En la tabla 20, se muestran los datos de la prueba de Kruskal-Wallis aplicados al parámetro materia orgánica relacionado a cada tratamiento realizado.

**Tabla 20. Prueba de Kruskal-Wallis de materia orgánica**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Materia Org.	T1	5	2,71	0,36	2,66	16,51	0,0009
Materia Org.	T2	5	3,4	0,48	3,28		
Materia Org.	T3	5	2,2	0,26	2,16		
Materia Org.	T4	5	5,18	0,25	5,29		

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 20 muestra la información obtenida luego de la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis al parámetro de materia orgánica, con la cual se pudo establecer

que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los tratamientos aplicados, dado que el valor  $p$  (0,0009) es inferior al nivel de significancia (0,05), en este caso se rechaza la hipótesis nula que establece que todas las medianas son iguales y se acepta la hipótesis alternativa, significando que al menos una mediana es diferente de las demás.

En la tabla 21 se observan los datos de la significancia estadística realizada a la información obtenida a través de la aplicación de la prueba de Kruskal-Wallis.

**Tabla 21. Significancia estadística de Kruskal-Wallis**

<b>Trat.</b>	<b>Medias</b>			
<b>T3</b>	2,2	A		
<b>T1</b>	2,71	A		
<b>T2</b>	3,4		B	
<b>T4</b>	5,18			C

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 21 establece que la diferencia entre los tratamientos T1, T2 y T4 es significativa, sin embargo, los tratamientos T1 y T3 no presentan diferencia significativa hablando estadísticamente.

#### **4.4.5 Resultados de salinidad (%)**

En la tabla 22 se presentan los valores obtenidos de salinidad en cada réplica de los tratamientos aplicados.

**Tabla 22. Resultados de salinidad**

Tratamiento	Salinidad (%)				
	R1	R2	R3	R4	R5
<b>T1:</b> 250 g de EP + 1kg de suelo	56,92	56,10	55,48	52,45	52,24
<b>T2:</b> 250 ml de TH + 1kg de suelo	15,56	14,34	10,44	10,19	8,03
<b>T3:</b> 250 g de G + 1kg de suelo	20,07	18,15	17,81	13,18	10,21
<b>T4:</b> 120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1k de suelo	19,52	19,38	18,56	18,50	99,84

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 22 se refleja los resultados de salinidad en cada una de las 5 réplicas de cada tratamiento, en donde se observa que el mayor valor de salinidad se presentó en la R5 del T4 con 99,84% y el menor valor se denotó en la R5 del T2 con 8,03%.

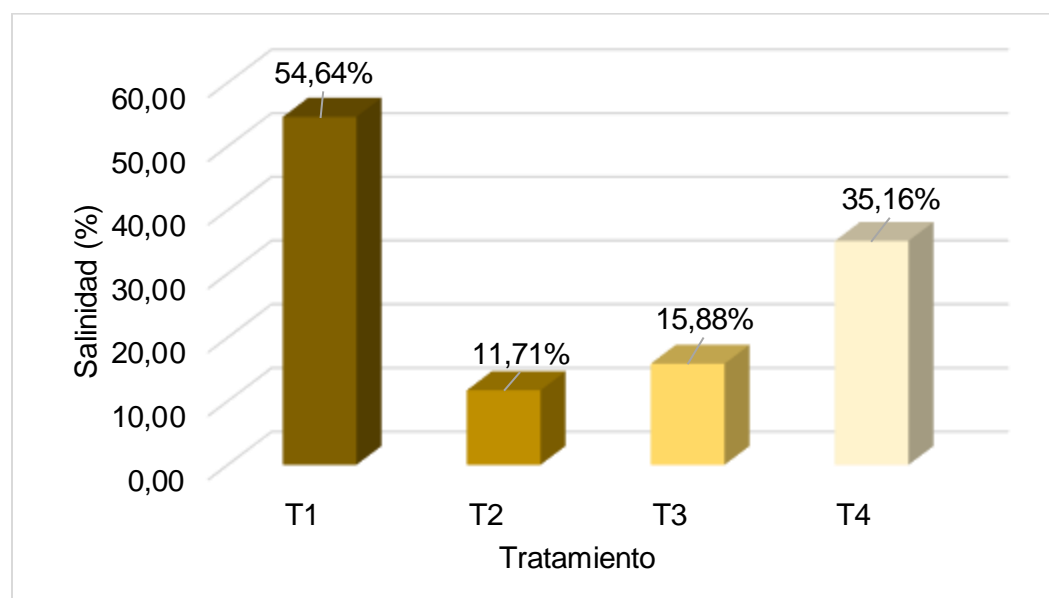


Figura 7. Resultados de salinidad con los tratamientos aplicados

En la figura 7 se evidencia que el menor porcentaje de salinidad se obtuvo con el T2 logrando un 11,71%, luego con el T3 se consiguió 15,88%, con el T4 un

35,16% y con el T1 se logró un 54,64%. Notándose que el tratamiento T2 evidenció mayor remoción de este parámetro.

La tabla 23 muestra el análisis estadístico aplicado a la salinidad con cada tratamiento.

**Tabla 23. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Salinidad**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	5828,36	3	1942,79	5,81	0,0070
<b>Tratamientos</b>	5828,36	3	1942,79	5,81	0,0070
<b>Error</b>	5353,91	16	334,62		
<b>Total</b>	11182,26	19			

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 23 se presenta el análisis de ANOVA aplicado en los resultados de salinidad, en la cual se presentan los valores de la suma de cuadrados, los grados de libertad, el cuadrado medio, la prueba F y el p-valor. Mediante este análisis se prueba si las medias de dos poblaciones son iguales, en este caso, se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y los resultados del p-valor son de 0,0070; por lo que se rechaza la hipótesis nula (todas las medias son iguales), aceptando la hipótesis alternativa (al menos una media es diferente).

**Tabla 24. Test: Duncan Alfa=0,05, Salinidad**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>	
<b>T2</b>	11,71	5	8,18	A
<b>T3</b>	15,88	5	8,18	A
<b>T4</b>	35,16	5	8,18	A
<b>T1</b>	54,64	5	8,18	B

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 24 se muestra el test de Duncan aplicado a la salinidad, demostrando que existen diferencias significativas en el T1 en comparación con los demás

tratamientos, ya que la media del T1 fue de 54,64 mucho más alta que las demás medias.

#### 4.4.6 Resultados de conductividad eléctrica

En la tabla 25 se presentan los valores obtenidos de conductividad eléctrica en cada réplica de los tratamientos aplicados.

**Tabla 25. Resultados de conductividad eléctrica**

Tratamiento	Conductividad eléctrica (uS/cm)				
	R1	R2	R3	R4	R5
<b>T1:</b> 250 g de EP + 1kg de suelo	83,200	82,010	81,100	76,700	76,400
<b>T2:</b> 250 ml de TH + 1kg de suelo	22,900	21,140	15,400	15,030	11,870
<b>T3:</b> 250 g de G + 1kg de suelo	29,500	26,700	26,200	19,420	15,070
<b>T4:</b> 120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1k de suelo	28,700	28,500	27,300	27,200	145,500

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 25 refleja los resultados de las 5 réplicas que se aplicaron a cada tratamiento, en donde se evidencia que el mayor valor de conductividad eléctrica se presentó en la R5 del T4 con 145,500 uS/cm y el menor valor se denotó en la R5 del T2 con 11,870 uS/cm.



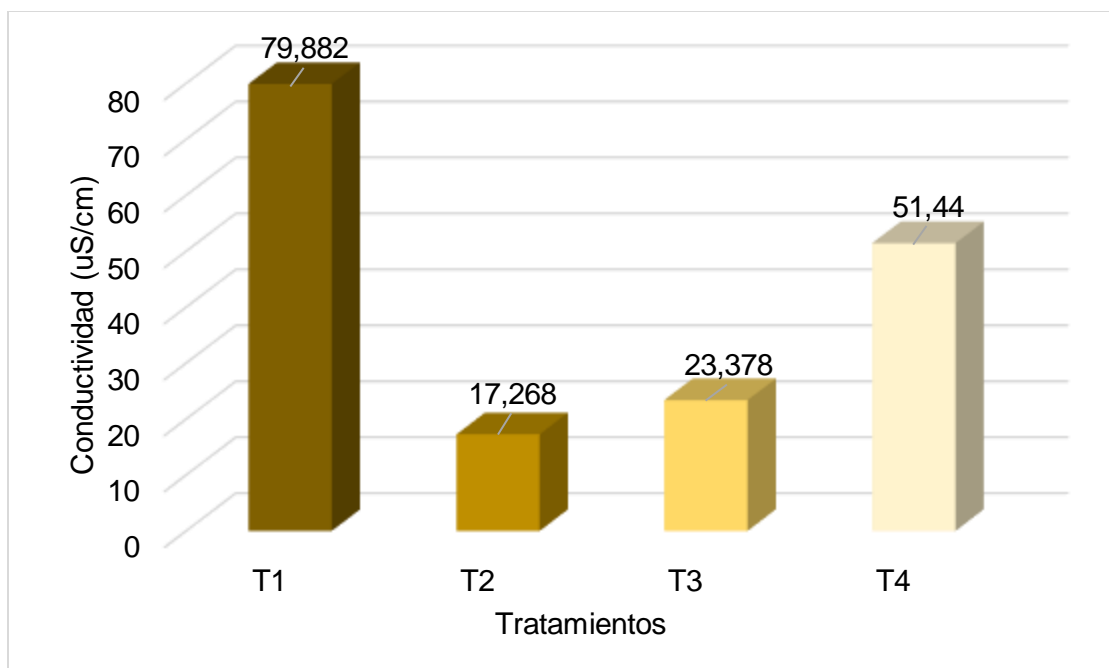


Figura 8. Resultados de conductividad con los tratamientos aplicados

La figura 8 permite visualizar el valor de conductividad con la aplicación de los tratamientos planteados, con el T1 se obtuvo un valor de 79,882 uS/cm, con el T2 un valor de 17,268 uS/cm, con el T3 un valor de 23,378 uS/cm y con el T4 un valor de 51,44 uS/cm. Se denota que el valor más bajo se consiguió con el T2 y el más alto al aplicar el T1.

La tabla 26 visualiza el análisis estadístico con respecto a la conductividad aplicado a los tratamientos.

**Tabla 26. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Conductividad**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	12393,37	3	4131,12	5,84	0,0068
<b>Tratamientos</b>	12393,37	3	4131,12	5,84	0,0068
<b>Error</b>	11325,74	16	707,86		
<b>Total</b>	23719,11	19			

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 26 se presenta el análisis de ANOVA aplicado en los resultados de conductividad eléctrica, mediante este análisis se prueba si las medias de dos

poblaciones son iguales, en este caso, se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y los resultados del p-valor son de 0,0068; por lo que se rechaza la hipótesis nula (todas las medias son iguales), aceptando la hipótesis alternativa (al menos una media es diferente).

**Tabla 27, Test: Duncan Alfa=0,05. Conductividad**

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T2	17,27	5	11,90	A
T3	23,38	5	11,90	A
T4	51,44	5	11,90	A
T1	79,88	5	11,90	B

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 27 se muestra el Test de Duncan, demostrando que las diferencias que se demostraron que existen a través del ANOVA son entre el tratamiento T1 en comparación con los demás, ya que entre el T2, T3 y T4 no existen diferencias significativas, esto se debe a que la media del T1 fue más alta con 79,88.

#### 4.4.7 Resultados de nitritos

En la tabla 28 se presentan los valores obtenidos de nitritos en cada réplica de los tratamientos aplicados.

**Tabla 28. Resultados de nitritos**

Tratamiento	Nitritos (mg/L)				
	R1	R2	R3	R4	R5
T1: 250 g de EP + 1kg de suelo	148,75	148,74	148,73	148,71	148,69
T2: 250 ml de TH + 1kg de suelo	147,83	147,82	147,8	147,79	147,78
T3: 250 g de G + 1kg de suelo	180,63	180,62	180,6	180,59	180,57
T4: 120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1k de suelo	120,18	120,15	120,13	120,12	120,1

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 28 expone los valores de nitritos en cada réplica de los tratamientos, notándose que el valor más bajo se obtuvo en la R5 del T4 (120,1 mg/L) y el valor más alto se presencié en R1 del T3 (180,63 mg/L).

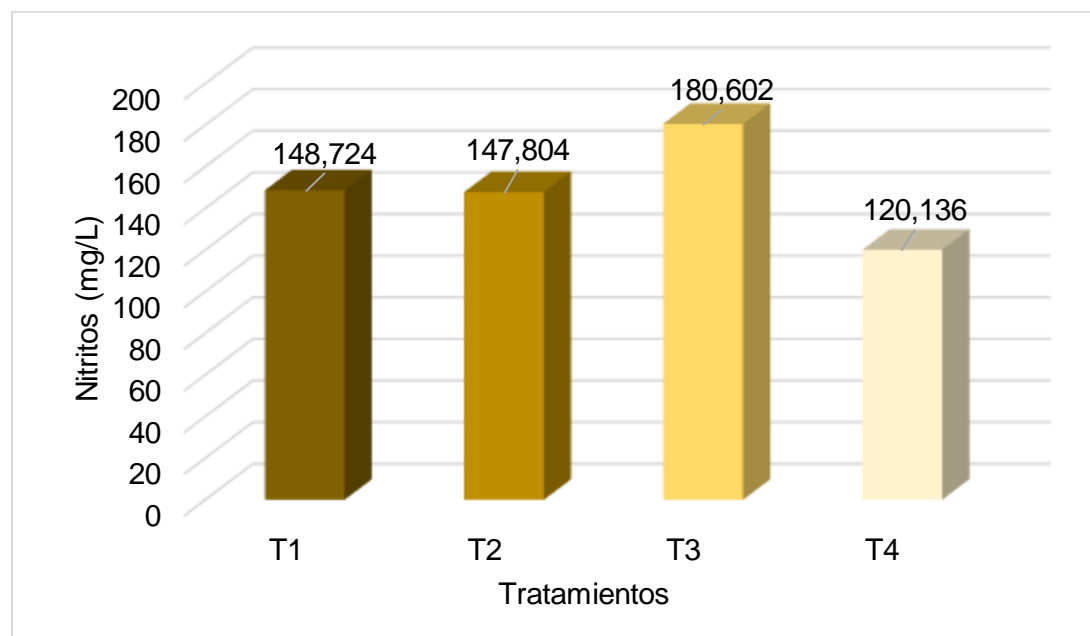


Figura 9. Resultados de nitritos con los tratamientos aplicados

En la figura 9 se observa que el tratamiento que produjo un resultado más bajo de nitritos en el suelo fue el T4 con 120,136 mg/L seguido del T2 con 147,804 mg/L, el T1 con 148,724 mg/L y el T3 con 180,603 mg/L. Con estos datos se establece que T4 obtuvo mayor remoción de este parámetro y el T3 obtuvo la menor remoción.

La tabla 29 muestra el análisis estadístico aplicado a los resultados de nitritos luego de los tratamientos.

**Tabla 29. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Nitritos**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	9164,61	3	3054,87	4868320,86	<0,0001
<b>Tratamiento</b>	9164,61	3	3054,87	4868320,86	<0,0001
<b>Error</b>	0,01	16	6,3E-04		
<b>Total</b>	9164,62	19			

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 29 se presenta el análisis de ANOVA aplicado en los resultados de nitritos, mediante este análisis se prueba si las medias de dos poblaciones son iguales, en este caso, se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y los resultados del p-valor son de  $<0,0001$ ; por lo que se rechaza la hipótesis nula (todas las medias son iguales), aceptando la hipótesis alternativa (al menos una media es diferente).

La tabla 30 presenta el Test de Duncan aplicado al parámetro de nitritos.

**Tabla 30. Test: Duncan Alfa=0,05. Nitritos**

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T4	120,14	5	0,01	A
T2	147,80	5	0,01	B
T1	148,72	5	0,01	C
T3	180,60	5	0,01	D

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 30 se denota el Test de Duncan aplicado al parámetro de nitritos luego de los tratamientos, donde se puede evidenciar que entre todas las medias de los tratamientos existe diferencia significativa, comprobando los resultados hallados en el análisis de varianza.

#### **4.4.8 Resultados de nitratos**

En la tabla 31 se presentan los valores obtenidos de nitratos en cada réplica de los tratamientos aplicados.

**Tabla 31. Resultados de nitratos**

Tratamiento	Nitratos (mg/L)				
	R1	R2	R3	R4	R5
<b>T1:</b> 250 g de EP + 1kg de suelo	1,05	1,03	1,02	1	0,98
<b>T2:</b> 250 ml de TH + 1kg de suelo	0,89	0,87	0,85	0,84	0,83
<b>T3:</b> 250 g de G + 1kg de suelo	1,22	1,2	1,19	1,18	1,16
<b>T4:</b> 120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1k de suelo	0,7	0,68	0,67	0,65	0,64

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 31 evidencia que en la R5 del T4 se obtuvo el menor valor con 0,64 mg/L, mientras que en la R1 del T3 se obtuvo el valor más alto con respecto a nitratos.

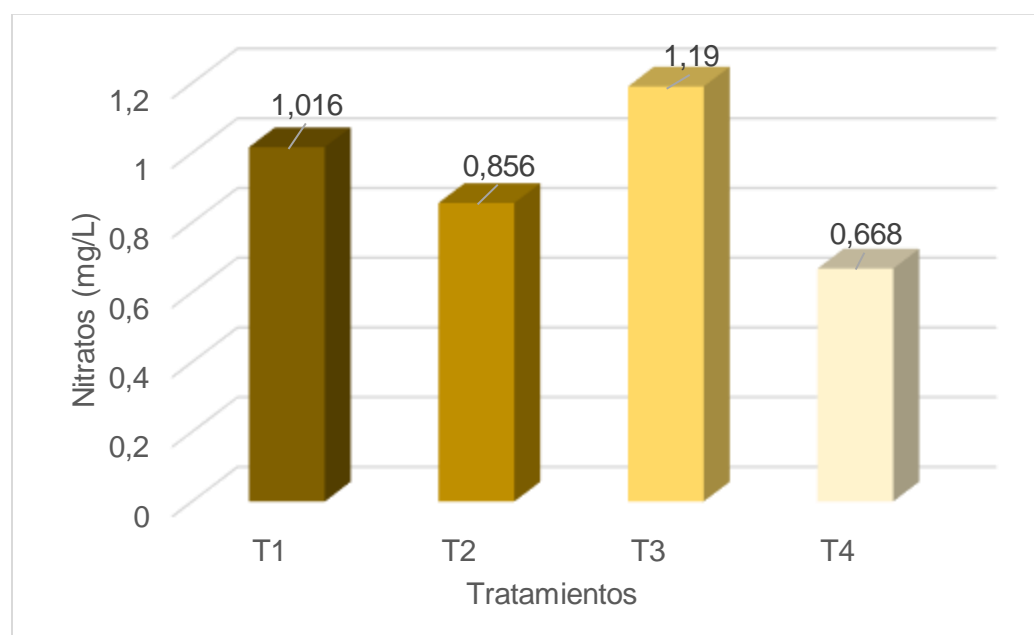


Figura 10. Resultados de nitratos con los tratamientos aplicados

En la figura 10 se denota los resultados de nitratos luego de la aplicación de los tratamientos, donde el valor más bajo se obtuvo con el T4 (0,668 mg/L), seguido del T2 (0,856 mg/L), el T1 (1,016 mg/L) y el T3 (1,19 mg/L), demostrando que el tratamiento que presentó mayor remoción de nitratos fue el T4.

La tabla 32 muestra el análisis estadístico aplicado a los resultados de nitratos luego de los tratamientos.

**Tabla 32. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Nitratos**

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0,75	3	0,25	417,62	<0,0001
<b>Tratamientos</b>	0,75	3	0,25	417,62	<0,0001
<b>Error</b>	0,01	16	6,0E-04		
<b>Total</b>	0,75	19			

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 32 se denota que existen diferencias significativas al menos en una media de los tratamientos, puesto que se obtuvo un p-valor de <0,0001 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

La tabla 33 evidencia el test de Duncan aplicado a nitratos.

**Tabla 33. Test: Duncan Alfa=0,05. Nitratos**

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E.</b>		
<b>T4</b>	0,67	5	0,01	A	
<b>T2</b>	0,86	5	0,01	B	
<b>T1</b>	1,02	5	0,01	C	
<b>T3</b>	1,19	5	0,01	D	

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 33 se presenta el Test de Duncan aplicado al parámetro de nitratos, donde se observa que las medias de todos los tratamientos son diferentes, comprobando los resultados del análisis de varianza.

#### **4.4.9 Resultados de densidad aparente**

En la tabla 34 se presentan los valores obtenidos de densidad aparente en cada réplica de los tratamientos aplicados.

**Tabla 34. Resultados de densidad aparente**

Dosis	Densidad aparente (g/L)				
	R1	R2	R3	R4	R5
<b>T1:</b> 250 g de EP + 1kg de suelo	1206,32	1206,31	1206,29	1206,28	1206,26
<b>T2:</b> 250 ml de TH + 1kg de suelo	1210,63	1210,61	1210,59	1210,58	1210,56
<b>T3:</b> 250 g de G + 1kg de suelo	1215,32	1215,31	1215,29	1215,28	1215,26
<b>T4:</b> 120 g EP + 120 g G + 100 ml TH + 1k de suelo	1204,97	1204,95	1204,94	1204,92	1204,91

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 34 denota los resultados de densidad aparente en cada réplica con cada uno de los tratamientos, se observa que en cada réplica los valores de densidad aparente no presentan grandes diferencias siendo similares en todos los tratamientos con valores desde 1204,91 g/L hasta 1215,32 g/L.

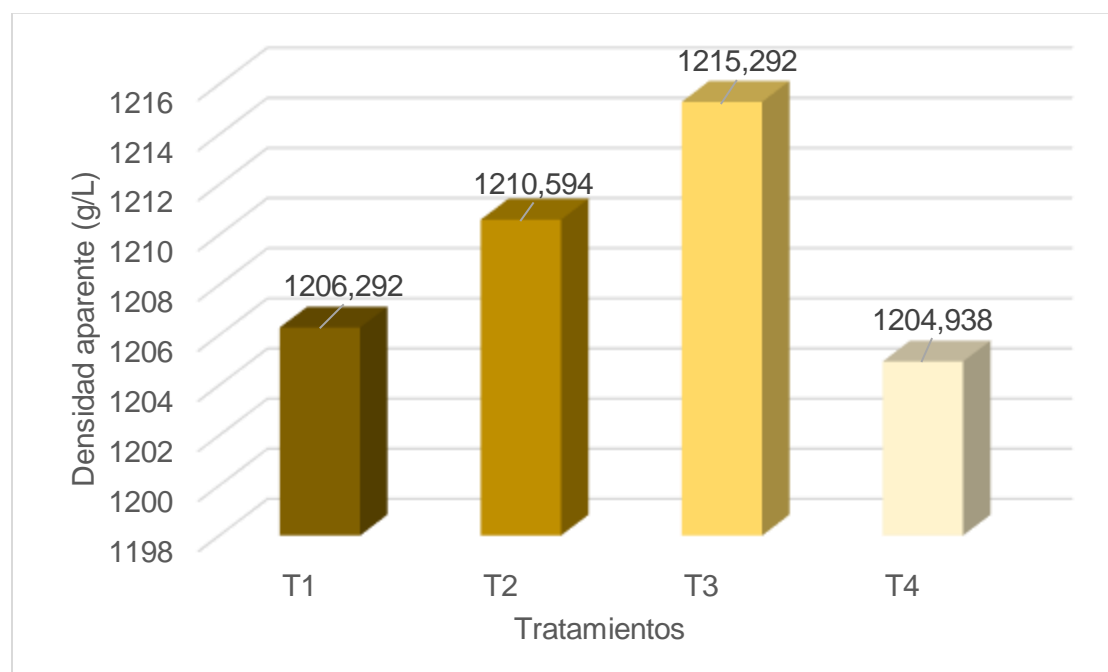


Figura 11. Resultados de densidad aparente con los tratamientos aplicados

La figura 11 muestra los resultados de cada tratamiento con respecto a densidad aparente, presenciando en T4 (1204,938 g/L), en T1 (1206,292 g/L), en T2 (1219,594 g/L) y en T3 (1215,292 g/L).

La tabla 35 muestra el análisis estadístico aplicado a los resultados de densidad aparente luego de los tratamientos.

**Tabla 35. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) Densidad aparente**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	328,26	3	109,42	179376,62	<0,0001
<b>Tratamientos</b>	328,26	3	109,42	179376,62	<0,0001
<b>Error</b>	0,01	16	6,1E-04		
<b>Total</b>	328,27	19			

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 35 se presenta el ANOVA aplicado en la densidad aparente, mediante este análisis se prueba si las medias de dos poblaciones son iguales, en este caso, se trabajó con un nivel de significancia de 0,05 y los resultados del p-valor son de <0,0001; por lo que se rechaza la hipótesis nula (todas las medias son iguales), aceptando la hipótesis alternativa (al menos una media es diferente).

**Tabla 36. Test: Duncan Alfa=0,05. Densidad aparente**

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
<b>T4</b>	1204,94	5	0,01	A
<b>T1</b>	1206,29	5	0,01	B
<b>T2</b>	1210,59	5	0,01	C
<b>T3</b>	1215,29	5	0,01	D

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 36 se muestra el Test de Duncan, demostrando que las diferencias que se demostraron que existen a través del ANOVA son entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4 significando que ninguna media es igual.

#### **4.5 Comparación de los resultados con los límites establecidos en normas ambientales nacionales e internacionales.**



#### 4.5.1 Porcentaje de remoción

En la tabla 37 se presenta el porcentaje de remoción de los parámetros en estudio con la aplicación del tratamiento más eficiente.

**Tabla 37. Porcentaje de remoción con el tratamiento más eficiente**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Tratamiento eficiente</b>	<b>Concentración final</b>	<b>Porcentaje de remoción</b>
<b>Plomo</b>	17,63	T2	10,63	40%
<b>Cadmio</b>	2,57	T4	0,79	69,26%
<b>Materia orgánica</b>	1,86	T3	2,11	11,84%
<b>Salinidad</b>	230,2	T2	11,71	94,91%
<b>Nitritos</b>	182,23	T4	120,13	34,07%
<b>Nitratos</b>	1,51	T4	0,66	56,29%

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 37 muestra que el T4 (estiércol porcino + gallinaza + *Trichoderma harzianum* + suelo) presentó mayor remoción para los parámetros de cadmio, nitritos y nitratos con 69,26%, 34,07% y 56,29% respectivamente. Mientras que el T2 (*Trichoderma harzianum* + suelo) demostró 40% de remoción de plomo y 94,91% de remoción de salinidad del suelo; el T3 (gallinaza + suelo) evidenció una remoción del 11,84% con respecto a materia orgánica. Teniendo en cuenta estos datos se puede establecer que el T4 fue el más eficiente al contener una mezcla de los T1, T2 y T3.

En cuanto a los parámetros de pH, conductividad y densidad aparente se calculó el porcentaje de modificación al ser factores que presenta el suelo en su estado natural, como se muestra en la tabla 38.

**Tabla 38. Porcentaje de modificación de parámetros del suelo**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Tratamiento eficiente</b>	<b>Concentración final</b>	<b>Porcentaje de modificación</b>
<b>pH</b>	7	-	-	-
<b>Conductividad</b>	334	T2	17,26	94,53%
<b>Densidad aparente</b>	1217,32	T4	1204,93	1,01%

De la Torre y Sánchez, 2021

La tabla 38 muestra que el porcentaje más alto de modificación de conductividad eléctrica se presentó con el T2 hasta un 94,53% y la densidad aparente se modificó un 1,01% con la aplicación del T4. Para el pH no se calculó porcentaje de modificación dado que con todos los tratamientos aplicados los valores estuvieron dentro del rango admisible y no obtuvieron mucha variabilidad.

La remoción se logró en un tiempo de 1 semana en laboratorio y el trabajo completo se realizó con una duración de 4 meses.

#### **4.5.2 Comparación con normativas ambientales**

En la tabla 39 se presenta la comparación de los resultados del presente estudio con los límites de normas nacionales e internacionales.

**Tabla 39. Comparación de resultados con normativas ambientales**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Acuerdo Ministerial 097 A</b>	<b>Directiva 86/278/EEC (Unión Europea)</b>	<b>Unidad</b>
<b>Plomo</b>	10,63	60	50	mg/kg
<b>Cadmio</b>	0,79	2	1	mg/kg
<b>pH</b>	6,02 – 7,4	6 - 8	-	-
<b>Materia orgánica</b>	2,11	-	-	%
<b>Salinidad</b>	11,71	-	-	%
<b>Conductividad</b>	17,26	200		uS/cm
<b>Nitritos</b>	120,13	-	-	mg/L
<b>Nitratos</b>	0,66	-	-	mg/L
<b>Densidad aparente</b>	1204,93	-	-	g/L

De la Torre y Sánchez, 2021

En la tabla 39 se establece que los resultados arrojados de los parámetros en estudio se encuentran dentro del rango permisible por el Acuerdo Ministerial 097 A y la Directiva 86/278/EEC de la Unión Europea con respecto a los criterios de remediación y restauración de suelo de uso agrícola.

#### **4.6 Propuesta del tratamiento más eficiente mediante un divulgativo de técnicas de restauración del suelo con presencia de metales pesados en cultivo de cacao para la finca Sánchez provincia de El Oro.**

##### **4.6.1 Objetivos**

###### **4.6.1.1. Objetivo general.**

Elaborar una propuesta de tratamiento mediante la aplicación del tratamiento más eficiente para restauración del suelo con presencia de metales pesados en cultivo de cacao para la finca Sánchez provincia de El Oro.

#### **4.6.1.2. Objetivos específicos.**

- Realizar una caracterización previa del suelo mediante análisis físico-químicos para evaluar sus condiciones.
- Aplicar tratamiento compuesto por Estiércol Porcino + Gallinaza + *Trichoderma harzianum* + suelo para mejorar la calidad del suelo.
- Evaluar ocasionalmente a través de análisis físico-químicos para llevar un control del estado del suelo.

#### **4.6.2 Alcance**

La presente propuesta de tratamiento para restauración del suelo con presencia de metales pesados va encaminada a todos los actores relacionados con las actividades de Finca Sánchez ubicada en el sitio Rio Negro, parroquia La Victoria del cantón Santa Rosa provincia de El Oro. La aplicación de este tratamiento contribuirá a la mejora del suelo por ende de los cultivos y la economía en general.

#### **4.6.3 Metodología**

Para la ejecución de la siguiente propuesta de forma independiente, se debe proceder de la siguiente manera:

- **Toma de muestras:** Para la toma de las muestras se deben seguir las estipulaciones establecidas en el Acuerdo Ministerial 097 A anexo 2, se toman muestras simples para crear una muestra compuesta de, las cuales se tomaron a una profundidad de 30 cm de manera aleatoria en el área de estudio, la muestra compuesta debe ser representativa, ya que de esta se extrajo aproximadamente 1 kg de suelo para el análisis en laboratorio.
- **Caracterización previa del suelo:** Mediante análisis físico-químicos para evaluar sus condiciones. Los parámetros que se recomendaría analizar son:
  - Cadmio*: Mediante espectrometría de absorción atómica.

- Plomo*: Mediante espectrometría de absorción atómica.
- Mercurio*: Mediante espectrometría de absorción atómica.
- Níquel*: Mediante espectrometría de absorción atómica.
- pH*: A través del método potenciómetro con un pH metro.
- Conductividad eléctrica*: Mediante el método de electrométrico.

Esto con el objetivo de poder comparar los resultados con la normativa ambiental vigente y determinar si los valores se encuentran cumpliendo los parámetros establecidos.

- **Aplicación de tratamientos:** Posteriormente se ejecuta la aplicación del tratamiento a base de Estiércol Porcino + Gallinaza + *Trichoderma harzianum* + suelo para mejorar la calidad del suelo.

De acuerdo al análisis realizado en el presente trabajo se estableció como tratamiento eficiente el T4 (120 g Estiércol Porcino + 120 g Gallinaza + 100 ml *Trichoderma harzianum* + 1kg de suelo) con un porcentaje de remoción de cadmio 69,26%, nitritos 34,07% y nitratos 56,29%; a pesar que el T2 (250 ml de *Trichoderma harzianum* + 1kg de suelo) removió el plomo 40% y salinidad 94,41%.

Conforme estos resultados, se propone la utilización de un tratamiento compuesto por *Trichoderma harzianum* + gallinaza + estiércol porcino y en vista de que la finca Sánchez posee una superficie de 1 hectárea, las concentraciones del tratamiento se mencionan a continuación:

- 29215680 kg de estiércol porcino
- 29215680 kg de gallinaza
- 24346400 L de *Trichoderma harzianum*

Estas concentraciones se calcularon conforme los valores utilizados en este trabajo en 1 kg de suelo, mientras que para la finca Sánchez se trabajaría sobre 243464000 kg de suelo.

- **Control del tratamiento:** Finalmente, se debe realizar una evaluación posterior al tratamiento para verificar que se logró la meta deseada. Se recomienda que se realice ocasionalmente un control a través de análisis físico-químicos para llevar registro del estado del suelo.

## 5. Discusión

Para el desarrollo óptimo de los cultivos se hace uso de los agroquímicos que tienen como principal función ayudar en el control de plagas y enfermedades, sin embargo, al mismo tiempo repercute de forma negativa en el aire, agua, suelo, flora, y fauna, pero esto puede verse algo compensado al mirar la parte de la economía la cual manifiesta beneficios explícitos que se ven reflejados en la comunidad. Esto concuerda con lo expresado por Villa (2018), en su tesis de maestría acerca del manejo de plantaciones de cacao CCN-51 y su influencia en los factores biológicos de unidades agrícolas del cantón la Troncal, donde manifiesta que las actividades de control de plagas y fertilizaciones contribuyen al deterioro de factores bióticos, no obstante al desarrollarse completamente el cultivo de cacao también se evidencian beneficios como la provisión de hábitat para las especies, protección del suelo ante la erosión, equilibrio del clima.

De acuerdo a los datos ingresados en el presente trabajo, la flora y fauna presenta una gran importancia desde el punto de vista ambiental general, y es por ello que se ingresó una magnitud alta (7 -9) y negativa en dichos aspectos, se consideró la desaparición de especies de flora y fauna nativas las cuales también pudieran ser endémicas como algo muy problemático. En contraparte Aguilera (2016), estableció que los componentes flora y fauna exteriorizan una importancia entre 2 y 3 que en la escala de valoración son poco importantes con una naturaleza negativa pero son de bajo impacto los cuales pueden ser alterables o de duración esporádica, casual y con influencia puntual.

En este estudio se encontraron concentraciones iniciales de plomo (17,63 mg/kg), cadmio (2,57 mg/kg), pH (7), materia orgánica (1,86%), salinidad (230,2%); conductividad eléctrica 334  $\mu$ S/cm; nitritos 182,23 mg/L; nitratos 1,51 mg/L y

densidad aparente 1217,32 g/L en el suelo agrícola del cultivo de cacao. Mientras tanto Chávez et al., (2016) encontró en suelo brasileño, donde existían plantaciones de cacao, valores de pH (6,4) y cadmio (0,57 mg/kg).

El contenido nutricional de un abono determina cuan productivo será un cultivo y dependiendo del tipo de cultivo y sus requerimientos así mismo deben ser cumplidos por el abono a utilizarse, es por ello que conlleva gran importancia realizar análisis de laboratorios previos para saber la calidad y condición de los materiales a utilizarse. En el estudio realizado por Arévalo y Carrión (2018), resaltan la importancia de saber el contenido exacto de los nutrientes presentes en una mezcla de compost para la dosificación correcta en el cultivo.

Las condiciones en las que se adquiere y se preparan los distintos abonos, tienen similitudes sin embargo cada uno posee su protocolo propio a seguir, por lo tanto, unos presentan mayor o menor dificultad dependiendo las necesidades del lugar donde vaya a ser usado. Moreno y Cadillo (2018), en su estudio acerca del uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico mencionan que es una buena alternativa de fertilización, viable, económica y más amigable con el medio ambiente. Por otro lado Espinoza et al., (2009), menciona que el abono orgánico a base de estiércol porcino y gallinaza no son buenas opciones desde el punto de vista de salud pública, esto debido a su alto contenido de patógenos.

Luego del procesamiento de los datos obtenidos en cada una de las réplicas realizadas a los tratamientos, se definió que el tratamiento cuatro es la mejor opción, el cual está conformado por 120 g estiércol porcino (EP) + 120 g gallinaza (G) + 100 ml TH + 1k de *Trichoderma harzianum* (TH). Su comportamiento demostró tener una mayor capacidad de remoción de metales pesados, ayuda a mantener el pH lo más neutro posible y mantiene en un buen nivel de concentración



a los micro y macro nutrientes. Lo antes mencionado puede ratificarse en el estudio de Gaviria y Albán (2012), en el cual su abono combinado mostró valores notables en cuanto a macro nutrientes.

Por otro lado la salinidad y la conductividad se encontraban en concentraciones altas y con la aplicación del tratamiento 2 se logró porcentajes de remoción de 94,91% y 94,53%. Estos parámetros tienen relación ya que están directamente ligados, la conductividad del suelo depende del contenido de sales que este contenga y el principal problema que se presenta al existir cantidades elevadas de salinidad en el suelo pueden observarse limitaciones en el desarrollo de cultivos, ya que esto se debe fundamentalmente al manejo inadecuado de la prácticas agrícolas (Vaish et al., 2020).

Dudala et al., (2020) mencionan que los nitritos y nitratos son un problema al estar presentes en el suelo, puesto que existe el riesgo de que se lleguen a infiltrar hasta acuíferos, alterando las propiedades del agua y por ende ocasionando afectaciones en la salud pública; y en el suelo genera desequilibrio en la biota presente. Al respecto, en esta investigación se encontraron concentraciones de 182,23 mg/L de nitritos y 1,51 mg/L de nitratos; y mediante la aplicación del tratamiento 4 se disminuyó un 34,07% de nitritos y 56,29% de nitratos.

En cuanto a la densidad aparente en el presente trabajo se evidenció un valor de 1217,32 g/L, aludiendo condiciones no tan buenas del suelo en cuanto a porosidad, capacidad de drenaje y aireación, referente a esto Mori et al., (2017) afirma que mientras más bajo sea el valor de la densidad aparente, las condiciones del suelo serán mejores, ya que al existir una densidad alta significa que el suelo es compacto y no posee buen drenaje y la infiltración del agua se vuelve lenta.

En cuanto a la comparación de los resultados con las normativas ambientales, se consiguió un valor de 10,63 mg/kg de plomo y 0,79 mg/kg de cadmio a través de la aplicación del T2 y T4, estos hallazgos se encontraron dentro del límite aceptable tanto de la normativa nacional (Acuerdo Ministerial 097 A) 60 mg/kg para plomo y 2 mg/kg para cadmio, como de la normativa internacional (Directiva 86/278/EEC de la Unión Europea) que establece 50 mg/kg para plomo y 1 mg/kg para cadmio con respecto a los criterios de remediación y restauración de suelo de uso agrícola.

La metodología propuesta, recoge las características necesarias para un nivel de eficiencia alta, esto debido a la consideración minuciosa de los análisis físico-químicos del suelo antes y después de la aplicación de los diferentes tipos de tratamientos propuestos, finalmente se estableció el cuarto tratamiento en el cual existe una combinación de los componentes de los otros tratamientos y se evidencia que esto contribuye a que sea la mejor opción. Lo antes mencionado es ratificado por Fabelo (2017), quien establece que la etapa de caracterización del suelo demanda de una determinación detallada. Por otro lado el MAE (2014), favorece la aplicación de técnicas combinadas para un mejor resultado al momento de la remediación de suelos. En el estudio de Álvarez (2019), se encuentra beneficioso utilizar anonos con ingredientes combinados para una mayor efectividad.

## 6. Conclusiones

Se llevó a cabo el diagnóstico de impacto ambiental ocasionado por cultivo de cacao en el recurso suelo y agua mediante la matriz de Leopold, con lo que se pudo establecer que existe un gran impacto negativo sobre los medios bióticos especialmente, no obstante al tener el cultivo ya en etapa madura o productiva se presentan mayores beneficios y se minimizan otros, pero no desaparecen ya que es una actividad agrícola y desarrollada por el ser humano lo que se traduce como la alteración permanente de los ecosistemas involucrados aunque estos sean mínimos los cambios.

Además se analizó la concentración inicial de los parámetros principales (plomo y cadmio) y de los parámetros físico-químicos (pH, materia orgánica, salinidad, conductividad, nitritos, nitratos y densidad aparente), de los cuales el cadmio se encontraba superando las normativas ambientales.

Se logró determinar contenido nutricional de los abonos compuestos por estiércol porcino, gallinaza y *Trichoderma harzianum* a través del análisis bibliográfico pudiendo notar que aquellos compostajes que incluyen a la gallinaza y *Trichoderma harzianum* presentan mejores valores en cuanto a nutrientes.

Con respecto a los tratamientos se determinó que el más eficiente para la remoción de plomo, cadmio y los demás parámetros físico-químicos es el T4 (*Trichoderma harzianum* + gallinaza + estiércol porcino + suelo), disminuyendo hasta un 40% de plomo y 69,26% de cadmio.

En la comparación de los resultados se determinó que los tratamientos aplicados son eficientes para la remoción de los contaminantes estudiados, ya que las concentraciones finales se encontraban dentro del límite permitido por la normativa nacional e internacional para suelos agrícolas.

Por último se planteó la propuesta para la utilización del tratamiento más eficiente, en este caso fue el T4 (*Trichoderma harzianum* + estiércol porcino + gallinaza + suelo), y se determinó que para la remediación de 1 hectárea de suelo es necesario el uso de 29215680 kg de estiércol porcino + 29215680 kg de gallinaza + 24346400 L de *Trichoderma harzianum*.

## 7. Recomendaciones

Considerar los resultados obtenidos en el análisis de impactos ambientales con el uso de la matriz de Leopold para la mejora de las medidas establecidas y realizar periódicamente un monitoreo de los impactos ambientales que se ocasionan en la finca Sánchez con el fin de proteger los recursos naturales.

Se recomienda que, antes del uso de compuestos orgánicos proveniente de animales como estiércoles especialmente, se desarrolle un estudio físico y químico del mismo, para así evaluar el aporte que tendrá ese compuesto en el suelo y posteriormente a las plantas, así mismo determinar si será viable o no desde el punto de vista económico.

Se debe tener en cuenta para la elección del mejor tratamiento el porcentaje de disminución de metales pesados que son los mayores contaminantes y los que generan impactos de mayor grado, luego hay que tener en cuenta la parte económica, considerar cuál de los tratamientos requiere menor gasto a nivel local y específico del cultivo a realizarse, por otro lado también se debe tener en cuenta el grado de salud humana, lo ideal sería optar por aquel tratamiento que implique menor manejo de patógenos.

Antes de la aplicación de tratamientos orgánicos para la remediación de suelos contaminados, es recomendable realizar pruebas a escala de laboratorio con el propósito de conocer su comportamiento, tiempo de remediación y saber cómo podría funcionar a grandes escalas.

Para la generación de una propuesta de tratamiento de suelo se debe contar con un estudio minucioso de todos los parámetros a considerarse para así asegurar la mayor eficiencia al momento de establecer los tratamientos.

Para culminarse recomienda a los propietarios de la finca Sánchez, implementar planes de manejo de desechos, capacitaciones a los trabajadores y planes de manejo de productos como plaguicidas, insecticidas y herbicidas para contrarrestar los efectos negativos que produce la mala gestión de las prácticas agrícolas.

## 8. Bibliografía

- Aguilera, A. (2016). Evaluación ambiental y socioeconómica a la extracción de orquídeas en el cantón Quijos, mediante la aplicación de la matriz causa efecto de Leopold para proponer un plan de manejo ambiental en la hostería Quinde Huayco. Pregrado, Universidad de Loja. Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17873/1/Tesis%20Lista%20Andres%20Aguilera.pdf>
- Andrade, H. J., Figueroa, J. M. del P., & Silva, D. P. (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). Universidad del Tolima. <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1318>
- Arevalo, H., & Carrion, J. (2018). Valoración nutricional de la gallinaza para alimentación animal y procesos industriales [Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14805/1/T-ESPE-057940.pdf>
- Ayala, L. M., & Castro, J. C. (2018). Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala. *Anales Científicos*, 79(2), 415-419. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.914>
- Ayala, L. M., Castro, J. C., & Chuquija, J. C. (2020). Calidad de abonos orgánicos elaborados a partir del estiércol porcino y su efecto en el rendimiento del maíz chala. *Anales Científicos*, 81(1), 243-253. <https://doi.org/10.21704/ac.v81i1.1635>
- Barahona, L. A., & Villarreal, J. (2015). Efecto de la gallinaza en las propiedades físicas y químicas del suelo. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25859.50723>

- Barrios, L. F., Robayo, J., Prieto, S., & Cardona, S. A. (2015). Biorremediación de Suelos Contaminados con Aceites Usados de Motor. *Revista CINTEX*, 20(1), 69-96.
- Bautista, A., & Etchevers, J. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores | Ecosistemas. *Ecosistemas*, 13(2).  
<http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Bohn, H., McNeal, B., & O'Connor, G. (1993). Química del suelo; materia orgánica del suelo (Limusa). <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGRISUM.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000179>
- Cáceres, P. (2018). Determinación de los efectos de seis plaguicidas de amplio espectro sobre cuatro microorganismos benéficos con potencial para la recuperación de suelos agrícolas a nivel de laboratorio. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8941>
- Calderón, C. (2019). Importancia del pH en suelos y en soluciones nutritivas para cultivo de plantas. HANNA Instruments.  
<https://hannainst.com.mx/aplicaciones/importancia-del-ph-en-suelos-y-en-soluciones-nutritivas-para-cultivo-de-plantas/>
- Campillo, R. (1999). Técnicas para el manejo de los recursos naturales en el programa de recuperación de suelos degradados en la novena región. Instituto de Investigaciones Agropecuaria.  
<https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/36030>
- Casas, S., & Guerra, L. D. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3), 87-102.



- Castaño, E. (2020). Diagnóstico de los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales de la plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la Finca «Cacaos del Guaviare», Vereda Barracón Bajo, municipio de San José del Guaviare. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/33502>
- Castebianco, J. A. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *La granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 21-35. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02>
- Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R., Li, Y., & Baligar, V. C. (2016). Evaluation of soil amendments as a remediation alternative for cadmium-contaminated soils under cacao plantations. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(17), 17571-17580. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6931-7>
- Contreras, H., & Carreño, C. (2018). Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1(1), 27-33. <https://doi.org/10.25127/ucni.v1i1.269>
- Cruz, A. B., Barra, J. E., Castillo, R. F. del, & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), Article 2. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- Cuenca, Y. (2020). Estudio del contenido del cadmio (Cd) en el cultivo de cacao. Universidad Nacional de Piura. <http://172.16.0.151/handle/20.500.12676/2485>
- Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Bioestadística y Epidemiología*, 43, 306-310.

- Delgado, J. G., & Robalino, J. A. (2017). Aplicación (in vitro) de consorcios de microorganismos y azolla caroliniana para recuperación de suelos salinos en muestras del sitio Correagua-Manabí. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/604>
- Dudala, S., Dubey, S. K., & Goel, S. (2020). Microfluidic Soil Nutrient Detection System: Integrating Nitrite, pH, and Electrical Conductivity Detection. *IEEE Sensors Journal*, 20(8), 4504-4511. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2964174>
- Escobar, O. Z., Saravia, J. C. O., & Guependo, R. C. (2011). Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de Suelos Degradados por Salinidad. 64, 11.
- Fabelo, J. (2017). Propuesta de metodología para la recuperación de suelos contaminados. *Centro Azúcar*, 44(1), 53-60.
- Famuyiwa, B. S., Torimiro, D. O., Obatolu, B. O., & Uwagboe, E. O. (2014). Preventive Measures Adopted by Nigerian Farmers for the Environmental Hazards in Cocoa Plantations. *Journal of Agricultural Extension*, 18(2), 99-111. <https://doi.org/10.4314/jae.v18i2.11>
- FAO. (2015). FAOSTAT online Database [Informativa]. Food and Agriculture of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Figueroa, D. (2004). Estrategias para la recuperación de suelos degradados. Interempresas. <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/73362-Estrategias-para-la-recuperacion-de-suelos-degradados.html>
- Gavanzo, J. (2019). Manejo integrado de agroquímicos en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Compañía Nacional de Chocolate.

<https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2020/06/PDF-WEB-FOLLETO-AGROQUIMICOS.pdf>

Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia La Victoria. (2017). Historia de la Parroquia La Victoria. <http://www.gadlavictoria.gob.ec/index.php/2012-12-27-00-31-26/historia-de-la-parroquia>

Granda, G. (2017). Evaluación de la biodegradación de un insecticida piretroide en muestras de suelo de cultivo de papa mediante la adición de *Trichoderma harzianum* y *Pleurotus ostreatus*. Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13679>

Grandez, M. (2015). Presencia de metales pesados en suelos de plantaciones de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en la región Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4174>

Gras, J. A., & Cabré, R. B. i. (1997). Diseños experimentales: Prácticas. Edicions Universitat Barcelona.

Herrera, J. A. (2014). Propiedades del Suelo. Monografías. <https://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo.shtml>

International Cocoa Organization. (2014). Cocoa year 2012/13. Quart. Bull, 39(4). <https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=7030&context=notisur>

Li, F., Li, Z., Mao, P., Li, Y., Li, Y., McBride, M. B., Wu, J., & Zhuang, P. (2019). Heavy metal availability, bioaccessibility, and leachability in contaminated soil: Effects of pig manure and earthworms. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(20), 20030-20039. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2080-5>

- López, F., Muñoz, D., Hernández, M., Soler, A., del Carmen Castillo-López, M., & Hernández-Arzate, I. (2003). Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 56(1), 19-41.
- MAE. (2015). Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Ministerio del Ambiente. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>
- Manga, V. E., Fru, B. N., & Sendze, G. Y. (2020). Heavy metal soil contamination in cocoa plantations in South West Region, Cameroon. *Journal of Ecology and The Natural Environment*, 12(3), 95-103. <https://doi.org/10.5897/JENE2020.0828>
- Martinez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Molina, L., & Loya, C. (2019). Evaluación del abono de champiñón inoculado con *Trichoderma harzianum*, *Beauveria bassiana*, *Peecilomyces lilacinus*, y *Lecanilliumlecanii*, en el rendimiento de papa *Solanum Tuberosum* L. var. INIAP - LIBERTAD bajo invernadero y en campo. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15928/1/T-IASA%20I-005488.pdf>

- Morales, O., Borda, A., & Argandoña, J. (2015). La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma. Universidad ESAM. <https://repositorio.esan.edu.pe/handle/20.500.12640/111>
- Morera, J., Galindo, J., Oroño, P., Villalobos, V., Mora, Q., & Paredes, L. (2019). Diagnóstico sobre la problemática de cacao en las zonas de San Carlos y Puriscal, Costa Rica. Red Regional de Generación y Transferencia de Tecnología en Cacao. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=orton.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=031552>
- Mori, L., Alavi, E., & Mooney, M. (2017). Apparent density evaluation methods to assess the effectiveness of soil conditioning. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 67(3), 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.05.006>
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Mundi-Prensa Libros.
- Pino, S. L., & Casanova, A. (2019). Estimación del costo de reparación del daño ambiental en el suelo de cacao en la provincia de Cotopaxi-Ecuador. *Revista Científica Ecociencia*, 6(1), 1-16. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.61.146>
- Ponce, R. (2020). Aplicación de enmiendas para la recuperación de suelos degradados y efecto en el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*) en la microcuenca del Monzón. Universidad Nacional Agraria de la Selva. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1794>
- Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2011). Contaminación por metales pesados en el área de producción agrícola de la Cuenca del Guayas [Universidad de Cuenca].

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5383/1/MASKANA%20si5938%20%282%29.pdf>

Quero, P., Zorrilla, M., Morales, S., & Rodríguez, M. (2017). Determinación de la contaminación por metales pesados en suelos aledaños a la Empresa Electroquímica de Sagua. Revista Centro Azúcar, 44. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n3/caz06317.pdf>

Ramirez, R. (1997). Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos (Carlos Naranjo O, Vol. 37). Produmedios. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>

Rangel, J. (2013). Manejo Del Ciclo De Vida En Productos Agrícolas: Caso Cacao En Norte De Santander | Suárez | Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo. Open Journal System, 4(2). [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RA/article/view/428/0](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/428/0)

Romero, S. (2016). Riesgos del uso de glifosato en la producción de cacao theobroma cacao L Ccn-51 en la zona de Santa Rosa. Universidad Técnica de Machala, 94.

Salinas, M. (2019). Determinación de una dosificación de trichoderma para tratamiento de suelos contaminados con piretroides. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11142>

Suck, A. T., & Rivas, R. (1995). Manual de investigación documental: Elaboración de tesinas. Universidad Iberoamericana.

- Tallarida, R., & Murray, R. (1989). Duncan Multiple Range Test. In: Manual of Pharmacologic Calculations. Manual of Pharmacologic Calculations, 125-127. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4974-0\\_38](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4974-0_38)
- Tena, E., & Turnbull, B. (1994). Manual de investigación experimental: Elaboración de tesis. Universidad Iberoamericana.
- Vaish, B., Srivastava, V., Singh, P. K., Singh, P., & Singh, R. P. (2020). Energy and nutrient recovery from agro-wastes: Rethinking their potential possibilities. Indian Institute of Technology, 3(23), 67-89.
- Vanhove, W., Vanhoudt, N., & Van Damme, P. (2016). Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 219, 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.005>
- Villa, W. (2018). Manejo De Plantaciones De Cacao Ccn-51 Y Su Influencia En Los Factores Biológicos De Unidades Agrícolas Del Cantón La Troncal, Provincia De Cañar, Ecuador [Maestría, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5037/1/T-UTEQ-013.pdf>

## 9. Anexos



Figura 12. Mapa de ubicación de la parroquia La Victoria De la Torre y Sánchez, 2021

**Tabla 40. Criterios de Calidad del Suelo.**

Sustancia	Unidades	Suelo
Conductividad	mmhos/cm	2
pH	-	6 a 8
Relación de adsorción de sodio	-	4
Arsénico	mg/kg	5
Azufre	mg/kg	250
Bario	mg/kg	200
Boro	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	mg/kg	0,25
Estaño	mg/kg	5
Flúor	mg/kg	200
Mercurio	mg/kg	0,1
Molibdeno	mg/kg	2



Níquel	mg/kg	20
Plomo	mg/kg	25
Selenio	mg/kg	1
Vanadio	mg/kg	25
Zinc	mg/kg	60
Benceno	mg/kg	0,05
Clorobenceno	mg/kg	0,1
Etilbenceno	mg/kg	0,1
Estireno	mg/kg	0,1
Tolueno	mg/kg	0,1
Xileno	mg/kg	0,1
PCBs	mg/kg	0,1
Clorinados Alifáticos	mg/kg	0,1
Clorobencenos	mg/kg	0,05
Hexaclorobenceno	mg/kg	0,1
Hexaclorociclohexano	mg/kg	0,01
Fenólicos no clorinados	mg/kg	0,1
Clorofenoles	mg/kg	0,05
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	mg/kg	0,1

Fuente: MAE, (2015)

**Tabla 41. Criterios de remediación o restauración del Suelo**

Parámetro	Unidades	Uso de suelo			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
Conductividad	uS/cm	200	200	400	400
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Azufre	mg/kg	500	-	-	-
Bario	mg/kg	750	500	2000	2000
Boro	mg/kg	2	-	-	-
Cadmio	mg/kg	2	4	10	10
Cobalto	mg/kg	40	50	300	300
Cobre	mg/kg	63	63	91	91
Cromo total	mg/kg	65	65	90	90
Cromo VI	mg/kg	0,4	0,4	1,4	1,4
Cianuro	mg/kg	0,9	0,9	8,0	8,0
Estaño	mg/kg	5	50	300	300
Flúor	mg/kg	200	400	2000	2000
Mercurio	mg/kg	0,8	2	10	10
Molibdeno	mg/kg	5	10	40	40
Níquel	mg/kg	50	100	100	100
Plomo	mg/kg	60	140	150	150

Selenio	mg/kg	2	3	10	10
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	200	380	380
Benceno	mg/kg	0,05	0,5	5	5
Etilbenceno	mg/kg	0,1	1,2	20	20
Estireno	mg/kg	0,1	5	50	50
Tolueno	mg/kg	0,1	0,8	0,8	0,8
Xileno	mg/kg	0,1	1	17	20
Clorofenoles	mg/kg	0,05	0,5	5	5
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	mg/kg	<2		<5	<1
Pesticidas	mg/kg	0,1	0,1	0,1	0,1

Fuente: MAE, (2015)



Figura 13. Visita de campo a la finca Sánchez



Figura 14. Toma de muestras



Figura 15. Muestreo de suelo en la finca Sánchez





Figura 16. Visita del tutor de tesis a la finca Sánchez durante el muestreo



Figura 17. Análisis en laboratorio



Figura 18. Aplicación de los tratamientos



Figura 19. Tratamientos



Figura 20. Aplicación de tratamientos



Figura 21. Instrumentos utilizados en laboratorio





Figura 22. Aplicación de tratamientos



Figura 23. Análisis en laboratorio de Suelo y Agua de la Universidad Agraria del Ecuador



Figura 24. Presentación del proyecto de la Feria de Ciencias



Figura 25. Feria de Ciencias 2021