



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE ORELLANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL BAGAZO DE LAS PALMAS ACEITERAS
***ELAEIS GUINEENSIS Y ELAEIS OLEÍFERA* EN EL**
TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON TPH EN EL
CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA.

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS: SELENI MARISOL PRADO CHAMORRO

MICHELLE ELISA ZURITA ORDÓÑEZ

DIRECTORA: ING. JENNIFER ALEXANDRA OREJUELA ROMERO. MGS

El Coca– Ecuador

2024

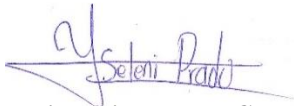
© 2024, Seleni Marisol Prado Chamorro & Michelle Elisa Zurita Ordóñez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de las Autoras.

Nosotras, Seleni Marisol Prado Chamorro y Michelle Elisa Zurita Ordóñez, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 26 de junio de 2024

Handwritten signature of Seleni Prado in blue ink, with the name 'Seleni Prado' written below it.

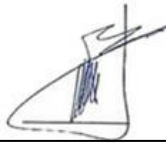


Seleni Marisol Prado Chamorro
2200511984

Handwritten signature of Michelle Elisa Zurita Ordóñez in blue ink.

Michelle Elisa Zurita Ordóñez
2200381677

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DEL BAGAZO DE LAS PALMAS ACEITERAS *ELAEIS GUINEENSIS* Y *ELAEIS OLEÍFERA* EN EL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON TPH EN EL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA**, realizado por las señoritas: **SELENI MARISOL PRADO CHAMORRO** y **MICHELLE ELISA ZURITA ORDÓÑEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Mestanza Ramón. PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2024-06-26
Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero. Mgs DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2024-06-26
Ing. Marcos Patricio Barahona Morales. Mgs ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2024-06-26

DEDICATORIA

A mis padres Jaime y Victoria, mis hermanos Diana, Jhilson, Thalia y Jostin, a mis sobrinos Washington, Ashly y Hilary, a mi pareja Jandry, a mi cuñado Diego y a mí por ser capaz de conseguirlo. Este logro es de ustedes, porque pudieron motivarme, apoyarme y ser mi inspiración. Los amo.

Seleni

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi madre Gloria Ordóñez, mi mejor amiga y compañera, quien con su amor incondicional en mis momentos de duda y desánimo fue ancla en este arduo viaje académico. Mi eterna gratitud por ser mi admiración y motivación. Este logro también es suyo, pues su amor y apoyo han sido el motor que impulsó cada paso en el camino, además de un tributo a mi dedicación y perseverancia.

Michelle

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias en la Carrera de Ingeniería Ambiental que durante estos cinco años nos llenaron de sabiduría y paciencia. Además de expresar nuestro agradecimiento sincero a los docentes Jennifer Orejuela (Tutor) y Marcos Barahona (Asesor), que se han convertido en una guía invaluable y una fuente de inspiración en esta investigación. También extendemos nuestra gratitud a quienes conforman el equipo de trabajo del laboratorio GADMFO por su colaboración y apoyo incondicional. Gracias Totales.

Seleni & Michelle

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Objetivos	3
<i>1.2.1 Objetivo General.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>3</i>
1.3 Justificación	3
1.4 Hipótesis	4
<i>1.4.1 Hipótesis nula.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2 Hipótesis alternativa.....</i>	<i>4</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH).....	5
<i>2.1.1 Tipos de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)</i>	<i>5</i>
2.2 Contaminación del suelo.....	5
<i>2.2.1 Contaminación del suelo por Hidrocarburos Totales de Petróleo</i>	<i>6</i>
<i>2.2.2 Efecto de los TPH en el ambiente y salud humana</i>	<i>6</i>

2.3	Tratamientos convencionales para remediar suelos contaminados con TPH.....	6
2.3.1	<i>Fitorremediación</i>	7
2.3.2	<i>Vermirrediación</i>	7
2.3.3	<i>Remoción por compost</i>	7
2.3.4	<i>Biorremediación</i>	7
2.4	Palma Aceitera.....	8
2.4.1	<i>Especies</i>	8
2.4.1.1	<i>Elaeis guineensis:</i>	8
2.4.1.2	<i>Elaeis oleífera:</i>	9
2.4.2	<i>Producción a nivel internacional</i>	9
2.4.3	<i>Producción a nivel nacional</i>	9
2.4.4	<i>Importancia de las palmas aceiteras en Ecuador</i>	9
2.4.5	<i>Bagazo de palma aceitera</i>	9
2.4.5.1	<i>Composición del Bagazo</i>	9
2.5	Legislación Ambiental.....	10
2.5.1	<i>Criterios de remediación del Acuerdo Ministerial 097-A</i>	11

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	12
3.1	Tipo de Investigación	12
3.2	Descripción del Enfoque	12
3.3	Alcance	12
3.4	Diseño	12
3.5	Metodología	13
3.5.1	<i>Primera Fase: Caracterización fisicoquímica del suelo contaminado con TPH, proveniente de la Parroquia San Luis de Armenia:</i>	13
3.5.1.1	<i>Recolección de la muestra del suelo</i>	13
3.5.1.2	<i>Preparación del suelo para los análisis:</i>	13
3.5.1.3	<i>Análisis del suelo:</i>	13

3.5.2	<i>Segunda Fase: Determinación del contenido de lignina, celulosa y holocelulosa en el bagazo de las palmas aceiteras <i>Elaeis guineensis</i> y <i>Elaeis oleífera</i>:</i>	21
3.5.2.1	<i>Preparación del Bagazo para los análisis:</i>	21
3.5.2.2	<i>Análisis del bagazo:</i>	22
3.5.3	<i>Tercera Fase: Aplicación del bagazo de las palmas <i>Elaeis guineensis</i> y <i>Elaeis oleífera</i> en el suelo contaminado con TPH:</i>	23
3.5.3.1	<i>Preparación del suelo para el tratamiento:</i>	23
3.5.3.2	<i>Aplicación del Bagazo para los tratamientos:</i>	24
3.5.4	<i>Cuarta Fase: Determinación de la eficiencia del bagazo de las palmas aceiteras <i>Elaeis guineensis</i> y <i>Elaeis oleífera</i> en la remediación del suelo contaminado con TPH:</i>	25
3.6	Técnicas	25
3.6.1	<i>Gravimetría en suelo</i>	25
3.6.2	<i>Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS)</i>	25
3.6.3	<i>TAPPI T-222 os 74</i>	25
3.6.4	<i>Kurschner y Hoffer</i>	26
3.6.5	<i>AST 1104-56</i>	26

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	27
4.1	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	27
4.1.1	<i>Resultados de la Fase 1: Caracterización fisicoquímica del suelo.</i>	27
4.1.2	<i>Resultados de la Fase 2: Contenido de Celulosa, Holocelulosa y Lignina.</i>	28
4.1.2.1	<i><i>Elaeis guineensis</i></i>	28
4.1.2.2	<i><i>Elaeis oleífera</i></i>	29
4.1.3	<i>Resultados de la Fase 3: Aplicación del Bagazo de las palmas aceiteras</i>	30
4.1.4	<i>Resultados de la Fase 4: Determinación de la eficiencia del bagazo de la palma aceitera <i>Elaeis guineensis</i> y <i>Elaeis oleífera</i>, para remediar suelos contaminados con TPH</i>	33
4.1.4.1	<i>Metales pesados</i>	33

4.1.4.2	<i>Macronutrientes y Micronutrientes</i>	41
4.1.4.3	<i>Conductividad, pH e Índice SAR</i>	48
4.1.4.4	<i>TPH</i>	50
4.1.4.5	<i>Análisis Estadístico</i>	52
4.2	Discusión	55

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1	Conclusiones	58
5.2	Recomendaciones	59

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Composición elemental del petróleo crudo	5
Tabla 2-2: Clasificación botánica de la palma	8
Tabla 2-3: Criterios de remediación del suelo	11
Tabla 3-1: Curva de calibración del Hierro	15
Tabla 3-2: Curva de calibración del Bario	16
Tabla 3-3: Curva de calibración del Cromo	16
Tabla 3-4: Curva de calibración del Plomo	17
Tabla 3-5: Curva de calibración del Cadmio	18
Tabla 3-6: Curva de calibración del Níquel	18
Tabla 3-7: Curva de calibración del Manganeso.....	19
Tabla 3-8: Curva de calibración del Cobre	19
Tabla 3-9: Datos para la optimización del Software	20
Tabla 4-1: Resultados iniciales: Criterios de remediación de suelo agrícola.....	27
Tabla 4-2: Niveles de Referencia Óptimos INIAP	28
Tabla 4-3: Contenido de Lignina, Celulosa y Holocelulosa del Bagazo de las palmas	30
Tabla 4-4: Resultados finales de Cadmio	36
Tabla 4-5: Resultados finales de Níquel	37
Tabla 4-6: Resultados finales del Plomo.....	38
Tabla 4-7: Resultados finales del Cobre	38
Tabla 4-8: Resultados finales de Metales Pesados.....	39
Tabla 4-9: Porcentaje de remoción de metales con los tratamientos	40
Tabla 4-10: Resultados finales de Sodio.....	41
Tabla 4-11: Resultados finales de Calcio.....	42
Tabla 4-12: Resultados finales de Magnesio	42
Tabla 4-13: Resultados finales de Potasio	43
Tabla 4-14: Resultados finales de Hierro.....	44
Tabla 4-15: Resultados finales de Manganeso.....	45
Tabla 4-16: Resultados finales de Zinc.....	45
Tabla 4-17: Resultados finales de Macronutrientes y Micronutrientes.....	46
Tabla 4-18: Resultados Finales de Conductividad eléctrica	48
Tabla 4-19: Resultados finales de pH	49
Tabla 4-20: Resultados finales del índice SAR	49
Tabla 4-21: Resultados finales de TPH.....	50

Tabla 4-22: Remoción de TPH	51
Tabla 4-23: Tratamientos procesados en SPSS.....	52
Tabla 4-24: ANOVA de las Variables Dependientes	52
Tabla 4-25: TUKEY - Cadmio.....	53
Tabla 4-26: TUKEY - Plomo.....	53
Tabla 4-27: TUKEY – Cobre.....	54
Tabla 4-28: TUKEY - TPH.....	54
Tabla 4-29: TUKEY - Níquel	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Técnicas desarrolladas para los análisis del suelo	14
Ilustración 3-2: Tratamientos para remediar el suelo contaminado con TPH	24
Ilustración 4-1: Bagazo de palmas aceiteras	31
Ilustración 4-2: Proceso de secado del bagazo	31
Ilustración 4-3: Proceso de almacenamiento del bagazo.....	32
Ilustración 4-4: Distribución del bagazo	32
Ilustración 4-5: Aplicación del Bagazo de las palmas en los recipientes	33
Ilustración 4-6: Curva calibrada de Cadmio.....	34
Ilustración 4-7: Curva calibrada de Plomo.....	34
Ilustración 4-8: Curva calibrada Níquel	35
Ilustración 4-9: Curva calibrada de Cobre	35
Ilustración 4-10: Porcentaje de remoción de metales.....	40
Ilustración 4-11: Concentraciones finales de Macronutrientes	47
Ilustración 4-12: Concentraciones finales de Micronutrientes	47
Ilustración 4-13: Porcentaje de Remoción TPH.....	51

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CURVA CALIBRADA Mg

ANEXO B: CURVA CALIBRADA Na

ANEXO C: CURVA CALIBRADA K

ANEXO D: CURVA CALIBRADA Fe

ANEXO E: CURVA CALIBRADA Mn

ANEXO G: ANÁLISIS DE LABORATORIO

ANEXO H: ANÁLISIS DE LABORATORIO

RESUMEN

La contaminación de los suelos por derrames de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) en el cantón Francisco de Orellana fue la principal problemática de este estudio, ya que afecta la calidad de los recursos y plantea riesgos para la salud de las comunidades circundantes. Con el objetivo de encontrar una alternativa económica y eficiente para la remediación de estos suelos, se propuso la aplicación del bagazo de palmas aceiteras. Puesto que, es un residuo industrial disponible en la localidad. La metodología implicó la aplicación de seis tratamientos pertenecientes a los bagazos de Palma Africana (*Elaeis guineensis*) y Palma Americana (*Elaeis oleífera*), en dos concentraciones: 98:2 y 96:4, durante un período de 20 días. Además, se realizaron dos repeticiones para cada tratamiento. Para determinar la eficiencia de los tratamientos, se realizó la caracterización del bagazo de las 2 palmas. Además, de la caracterización fisicoquímica inicial del suelo y la final tras concluir los tratamientos. La caracterización del suelo incluyó análisis de: macronutrientes, micronutrientes, metales, pH, conductividad eléctrica (CE), relación de absorción de sodio (SAR) y TPH. Los resultados de la caracterización inicial revelaron que las concentraciones de conductividad eléctrica y TPH excedieron los valores establecidos en el acuerdo ministerial 97-A en más de 70 y 50 veces, respectivamente. Sin embargo, tras la caracterización final, se observó que los tratamientos con bagazo fueron eficientes al reducir las concentraciones de metales. Así mismo, se logró reducir en más de 10 veces los niveles de conductividad. Y en cuanto al TPH con el tratamiento G-B se logró remover el 56 por ciento de este contaminante. En este contexto, se concluye que, para obtener mayor evidencia de la eficiencia de los bagazos en la remediación de suelos contaminados, se necesita incrementar las repeticiones de los tratamientos y explorar otros parámetros que podrían afectar los resultados.

Palabras clave: <HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO (TPH)>, <BAGAZO >, <PALMAS >, <PALMA AFRICANA (*Elaeis Guineensis*) >, <PALMA AMERICANA (*Elaeis Oleífera*) >.

Cristian Tenelanda S.

Ing. Cristian Sebastián Tenelanda S.

0604686709



0962-DBRA-UPT-2024

SUMMARY / ABSTRACT

Soil pollution by Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) spills in Francisco de Orellana canton was the main problem of this study, as it affects resource quality and poses health risks to communities surrounding. To find an economical and efficient alternative for the remediation of these soils, an oil palm bagasse application was proposed. Since it is an industrial waste available in the locality. The methodology involved the application of six treatments of African Palm (*Elaeis guineensis*) and American Palm (*Elaeis oleifera*) bagasse, in two concentrations: 98:2 and 96:4, for 20 days. In addition, two replicates were carried out for each treatment. To determine the efficiency of the treatments, the bagasse of the two palms was characterized. In addition, the initial physicochemical characterization of the soil and the final characterization after the conclusion of the treatments were carried out. Soil characterization included analyses of macronutrients, micronutrients, metals, pH, electrical conductivity (EC), sodium absorption ratio (SAR), and TPH. The initial characterization results revealed that electrical conductivity concentrations and TPH exceeded the values established in the 97-A ministerial agreement by more than 70 and 50 times, respectively. However, after the final characterization, it was observed that the bagasse treatments were efficient in reducing metal concentrations. Likewise, conductivity levels were reduced by more than 10 times. As for TPH, with the G-B treatment, 56 percent of this contaminant was removed. In this context, it is concluded that to obtain more evidence of the efficiency of bagasse in the remediation of contaminated soils, it is necessary to increase the number of treatment repetitions and explore other parameters that could affect the results.

Keywords: < TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH) >, <BAGAZO>, <PALM>, <AFRICAN PALM (*Elaeis Guineensis*) >, <AFRICAN PALM (*Elaeis Oleifera*) >.



Reviewed by

Lic. Licett Ramos I., Mgs

ENGLISH PROFESSOR

C. I 0603066690

INTRODUCCIÓN

En Ecuador existen suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo por consecuencia de fugas y derrames, además de presentarse un manejo y disposición inadecuada de los residuos derivados de los procesos de extracción y refinación del petróleo crudo. El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) registró 1584 derrames entre el año 2012 y mayo de 2022, equivalente a un promedio de 13 derrames por mes (Alvarado, 2022, pág. 3).

Estos derrames han causado una contaminación significativa en zonas petroleras como Orellana, afectando gravemente al medio ambiente y a la salud de la población. Por ejemplo, cuando Texaco paralizó sus actividades en Ecuador ya había derramado 16,8 millones de galones de petróleo, 18,5 mil millones de galones de agua contaminada y 235 mil millones de pies cúbicos de gas en los territorios de Orellana y Sucumbíos (Cedeño y Macas, 2022 págs. 3-8).

Con el fin de remediar la contaminación ocasionada por la industria petrolera se utilizan diversas técnicas, entre las cuales se destaca la adición de agentes texturizantes como naranjas, bagazo, paja, aserrín y corteza de picea, para descomponer los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y los hidrocarburos aromáticos de petróleo (HAP) del suelo (Aquino et al., 2020 págs. 44-50). El uso de estos agentes mejora la aireación, la porosidad y reduce los niveles de humedad en los suelos contaminados (Ortega et al., 2023 págs. 83-93).

El bagazo de las palmas aceiteras es un agente texturizante de la industria aceitera. Se considera la primer gran fuente de biomasa en las plantas de palma ya que proviene del desprendimiento de los de los frutos frescos. Además, se trata de una biomasa voluminosa, lignocelulósica, fibrosa, que tiene un alto contenido de humedad por lo que, ha sido empleado en diferentes técnicas como el desmenuzado orgánico para suplementos de carbono en suelos, el retorno de nutrientes (K) y reemplazar el musgo esfagnáceo en sustrato hortícola (Neyra, et al., 2022 págs. 5-11).

Sin embargo, su uso en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo ha sido poco estudiado. Por lo que se genera el objetivo del presente trabajo, referente a la evaluación de la eficiencia del subproducto de dos palmas aceiteras para la remediación de suelos contaminados TPH.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La contaminación ambiental por derrames de petróleo es la principal problemática en zonas petroleras como Orellana. Las causas de dichos derrames son el procesamiento, perforación y transporte de crudo. Que además se asocian con la falta de cumplimiento de las regularizaciones legales por parte de las empresas petroleras que comprometen el derecho del buen vivir de las comunidades afectadas (Saeed et al., 2023 págs. 1-5).

Según el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Texaco acumuló un total de 1107 pasivos ambientales en Orellana (608) y Sucumbíos (499) (Alvarado, 2022, págs. 1-8). Así mismo, Petro Ecuador en su investigación “Derrames de petróleo en Ecuador”, menciona que durante los años 2000 y 2014 se registraron un total de 539 derrames de petróleo en la Amazonía Ecuatoriana. Además, el Ministerio del Ambiente de Ecuador, mencionó que los derrames producidos se deben a diferentes factores, por ejemplo: el 28 % por corrosión, el 26 % por atentados, el 17,8 % por fallas mecánicas, el 14,5 % sin dato de causa, el 11,8 % por fallas humanas y, por último, el 1,5 % por desastres naturales (Vizúete et al., 2019 pág. 2).

De acuerdo con los reportes del sector hidrocarburífero, tan solo en el primer trimestre de 2023 la producción nacional de petróleo alcanzó un total de 41,49 millones de barriles, incluyendo la producción de EP Petroecuador y las compañías privadas. Esto se traduce en un promedio diario de 461,04 miles de barriles (Banco Central del Ecuador, 2023, pág. 34). Considerando la producción de petróleo en el país es importante mencionar que EP Petroecuador reportó al menos 1.000 derrames de petróleo hasta el 2017, expresándose en datos estadísticos como un derrame cada tres días (Vizúete et al., 2019 pág. 2).

La presencia de TPH en el suelo provenientes de estos derrames no solo afectan la calidad de los recursos, sino que también plantean riesgos para la salud de las comunidades circundantes. La exposición prolongada a estos contaminantes puede tener efectos perjudiciales en la salud humana, como problemas respiratorios, dermatológicos y otras afecciones, como dolores de cabeza, diarreas, dolores de garganta e irritaciones oculares (Londoño, 2020, págs. 38-45).

Con este proyecto de investigación no buscamos solo abordar el problema ambiental que desencadenan los derrames de TPH, sino también explorar una aplicación práctica para un

subproducto abundante en la región, como es el bagazo de la palma aceitera. Este enfoque no solo podría contribuir a la recuperación de suelos afectados, sino también ofrecer una opción sostenible y económicamente viable.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el Bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* en el tratamiento de suelos contaminados con TPH, para proporcionar una alternativa sostenible y eficiente en la restauración de suelos contaminados en el cantón Francisco de Orellana.

1.2.2 Objetivos específicos

-Caracterizar física y químicamente una muestra de suelo contaminado con TPH, proveniente de la Parroquia San Luis de Armenia.

-Determinar contenido de lignina, celulosa y holocelulosa en el bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*.

-Aplicar el bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* en el suelo contaminado.

-Determinar la eficiencia del bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* para remediar el suelo contaminado con TPH.

1.3 Justificación

A pesar de que son evidentes los impactos negativos asociados a la actividad petrolera, como los derrames que pueden afectar al suelo y al medio ambiente en general, suspender por completo esta actividad sería imposible debido a su importancia económica. En Ecuador la industria petrolera constituye el núcleo de la economía, aportando entre el 30 y 34 % de los ingresos y reflejando un promedio del 11,3 % del PIB (Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador-AIHE, 2023, pág. 3).

Dentro de este marco, se deben implementar medidas para mitigar los impactos de esta industria. Investigaciones recientes sobre restauración de sitios contaminados con TPH, reportan resultados

satisfactorios aplicando tecnologías de biorremediación biológicas, como el cultivo sólido, el composteo, el aprovechamiento de residuos agroindustriales, enmiendas y texturizantes, que incrementan los poros del suelo y ende la actividad anaerobia (Morales et al., 2019 págs. 3-9).

El bagazo de palma es un agente texturizante ampliamente disponible en la región amazónica del Ecuador. Por cada tonelada de aceite de palma crudo se dispone aproximadamente de 350 kg de bagazo (Van, 2016, pág. 2). A nivel nacional para el año 2022 se registró una producción de 145.104 Ha de palma cosechada, de las cuales 6.462 Ha pertenecieron a Orellana, posicionándola como la séptima provincia con más superficie productiva del cultivo de aceite de palma (Marlin, 2023, pág. 8). Por lo tanto, es una opción accesible y económica en comparación con otras técnicas de biorremediación convencionales.

Corzo y Juracán, mencionan que este subproducto agrícola es rico en celulosa, lignina y otros compuestos orgánicos que pueden actuar como sustrato para bacterias y hongos que degradan los TPH (Corzo y Juracán, 2020 págs. 1-7). Por eso, con este proyecto de investigación buscamos obtener evidencia científica sólida sobre su eficiencia en la remediación de suelos contaminados con TPH para facilitar su implementación a gran escala en diferentes contextos geográficos y proteger el medio ambiente.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis nula

La aplicación del bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* no reduce significativamente la concentración de TPH y de metales pesados como Cd, Ni, Pb y Cu, en los suelos contaminados del cantón Francisco de Orellana que están bajo estudio.

1.4.2 Hipótesis alternativa

La aplicación del bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* reduce significativamente la concentración de TPH y de metales pesados como Cd, Ni, Pb y Cu, en los suelos contaminados del cantón Francisco de Orellana que están bajo estudio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)

Son compuestos orgánicos formados por átomos de carbono e hidrógeno (Villalobos et al., 2020 págs. 20-27). El petróleo crudo y sus derivados contienen impurezas como el azufre, nitrógeno, carbono, hidrógeno, metales y oxígeno (Sayed et.al, 2021 págs. 5-8) (Véase la tabla 2-1). Por lo que se convierten en sustancia fenólicas apenas degradables por la naturaleza (Sayed et.al., 2021 págs. 3-5).

2.1.1 Tipos de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)

Debido a su composición compleja, estos se clasifican en dos categorías: aromáticos y alifáticos (Ritoré, 2021, pág. 8). Por su parte los Hidrocarburos Alifáticos son compuestos de cadena lineal o ramificada, como los alcanos, alquenos y alquinos. Mientras que los Hidrocarburos Aromáticos incluyen compuestos cíclicos como el benceno, el tolueno y el xileno (BTX), así como otros hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) más complejos. (Escobar, 2020, págs. 79–83).

Tabla 2-1: Composición elemental del petróleo crudo

No.	Elementos	Porcentaje (%)
1.	Carbono	85-90
2.	Hidrógeno	10-14
3.	Azufre	0.2-3
4.	Nitrógeno	<0.1-2
5.	Oxígeno	1-1.5
6.	Metales *	<1

Fuente: (Sayed et al., 2021 págs. 5-8).

Realizado por: Prado S y Zurita M., 2024.

2.2 Contaminación del suelo

Ocurre cuando se acumulan sustancias en niveles que tienen un impacto negativo en el funcionamiento del suelo. Estas sustancias, a concentraciones elevadas, se vuelven tóxicas para los organismos presentes en él. Y, en consecuencia, se produce una degradación química que puede resultar en la pérdida parcial o total de la productividad del suelo (Novillo, 2019, págs. 2-6). La presencia de estas sustancias en el suelo genera un cierto grado de repelencia al agua, lo que

reduce la velocidad de infiltración. Esto se debe a que se acumulan en los espacios porosos entre las partículas del suelo, lo que a su vez reduce la disponibilidad de oxígeno y disminuye la permeabilidad (González et al, 2022 págs. 335-344).

2.2.1 Contaminación del suelo por Hidrocarburos Totales de Petróleo

La contaminación por hidrocarburos depende de los componentes del ecosistema, las propiedades físicas y químicas de los hidrocarburos y el tipo de emergencia ambiental (Escobar et al., 2021 págs. 79-83). Las actividades petroleras influyen evidentemente sobre las características físicas y químicas del recurso suelo (Morales et al., 2020 págs. 3-9). Las principales fuentes de contaminación del suelo por hidrocarburos son las roturas de tuberías que propagan los derrames. Además, los suelos pueden absorber hidrocarburo en zonas circundantes a pozos petroleros (Acuña et al, 2020 págs. 2-5).

2.2.2 Efecto de los TPH en el ambiente y salud humana

Los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) se liberan en los ecosistemas debido a accidentes industriales o como derivados de uso comercial o de compañías hidrocarburíferas. En situaciones donde existen derrames o escapes directos a cuerpos de agua, ciertas partes permanecen en la superficie creando una fina capa flotante. Otras partes más densas se depositan en el lecho del sedimento, afectando a la vida existente y a los organismos que se alimentan de la fauna bentónica (Oviedo, 2022, págs. 11-17). Las principales repercusiones en los suelos debido a la contaminación por hidrocarburos incluyen la inhibición o disminución de la vegetación en la zona afectada, la contaminación de las aguas subterráneas por infiltración o lixiviación, alteraciones en la cadena trófica debido a cambios en la población de organismos (Goya, 2020, págs. 2-10).

2.3 Tratamientos convencionales para remediar suelos contaminados con TPH

Por lo general, ciertos microorganismos como bacterias, hongos o fitoplancton pueden descomponer ciertas partes de los hidrocarburos. Pero la parte restante que no se descompone puede filtrarse o disolverse hasta alcanzar el agua subterránea, donde sus componentes pueden separarse de la mezcla original y liberarse al aire por evaporación o disolverse en el agua subterránea. Algunos componentes también pueden llegar a adherirse a las partículas del suelo y permanecer durante periodos prolongados (Villalobos y Niño, 2023 págs. 20-27).

Los tratamientos habituales para remediar suelos contaminados con TPH son varios, entre ellos se destacan los tratamientos biológicos ya que resultan ser beneficiosos y económicos a

comparación de otros métodos, estos implican el uso de microorganismos para metabolizar los hidrocarburos y así disminuir su concentración en los suelos, los más utilizados son (Mendarte et al., 2021 págs. 2-6)

2.3.1 Fitorremediación

La fitorremediación utiliza plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (Liu et al., 2012 págs. 494–501). Se define como el uso de plantas y cultivos in vitro derivados de ellas para eliminar, contener, degradar y hacer inofensivos una gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el suelo (Veza et al., 2022 págs. 6-10).

2.3.2 Vermirrediación

Es un proceso de remediación ambiental que utiliza lombrices, especialmente lombrices rojas para reducir, degradar o eliminar contaminantes presentes en suelos, aguas residuales y otros medios contaminados. Estas lombrices, también conocidas como lombrices rojas californianas (*Eisenia fetida*), son conocidas por su capacidad para mejorar la calidad del suelo a través de su actividad biológica (Peña et al., 2019 págs. 226–236).

2.3.3 Remoción por compost

El compostaje es un proceso bioquímico, llevado a cabo por microorganismos, que convierten diversos compuestos de residuos orgánicos en sustancias relativamente estables que pueden utilizarse como enmienda del suelo o fertilizante orgánico. Se realiza bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, para reducir al mínimo la emanación de gases contaminantes a la atmósfera (Martínez y Henares, 2023 págs. 23-30). Es un proceso mediante el cual el estiércol animal, los residuos de alimentos, las frutas y los desechos del jardín se transforman en abono orgánico gracias a la acción de microorganismos descomponedores (Nova et al., 2022 págs. 1-20).

2.3.4 Biorremediación

Hace referencia a la aplicación de tratamientos basados en sistemas biológicos para recuperar o purificar suelos, aguas subterráneas y aire contaminado con xenobióticos (Vizuet et al., 2020 págs. 34-38). Posibilita la eliminación, atenuación o transformación de estos compuestos, mientras se logra aprovechar la capacidad metabólica de microorganismos como bacterias, hongos,

levaduras algas y algunas plantas para acelerar los procesos de biodegradación natural (Quispe et al., 2020 págs. 10-17).

2.4 Palma Aceitera

El nombre común puede variar dependiendo del lugar, región o país donde se cultiva. En los países de América es conocida de esta forma, mientras que en otros países se la conoce como palma africana (Bastidas et al., 2013 págs. 70-85). Es originaria de África y cultivada en América, tiene un tamaño aproximado de doce metros de altura y posee un tronco cilíndrico y resistente. Sus hojas son pecioladas. Produce flores en racimos y su fruto se asemeja a un coco inmaduro de color amarillo anaranjado. De este fruto se extrae aceite comestible, manteca vegetal y otros productos (Hernández y Sato, 2023 pág. 23). A continuación, en la tabla 2-2 se presenta su clasificación botánica (Fertiberia, 2024, pág. 5).

Tabla 2-2: Clasificación botánica de la palma

Clase	<i>Equisetopsida C. Agardh</i>
Subclase	<i>Magnoliidae Novák ex Takht</i>
Superorden	<i>Lilianaes Takht</i>
Orden	<i>Arecales Bromhead</i>
Familia	<i>Arecaceae Bercht. & J. Presl</i>
Género	<i>Elaeis Jacq.</i>
Especie	<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>

Fuente: (Fertiberia, 2024, pág.5)

Realizado por: Prado S y Zurita M., 2024.

2.4.1 Especies

Existen dos especies principales que se utilizan como fuentes de aceite de palma a nivel comercial, siendo la *Elaeis guineensis* la más predominante en la industria debido a su mayor rendimiento y adaptabilidad a las condiciones de cultivo a gran escala (Propalma, 2023, pág. 8).

2.4.1.1 *Elaeis guineensis*:

tiene ciertas características destacadas, como un alto rendimiento de aceite y un contenido elevado de ácidos grasos saturados presentes en su estado oleoso. Además, presenta un porcentaje de extracción de aceite bastante alto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta planta es susceptible a enfermedades, como la pudrición del cogollo (Mosquera et al., 2021 págs. 1-9).

2.4.1.2 *Elaeis oleífera:*

Se distingue por la presencia predominante de ácidos grasos insaturados. Si bien crece lentamente, muestra una resistencia notable a enfermedades. Destaca por su elevado contenido de carotenos y vitamina E. Además, tiene un alto índice de yodo (Mosquera et al., 2021 págs. 1-9).

2.4.2 *Producción a nivel internacional*

En el año 2022 se registró una producción a nivel mundial de 78.882 M TM y 24.246 MM HA de áreas cosechadas, valores pertenecientes a Indonesia, Malasia, Tailandia, Colombia, Nigeria, Guatemala, Papúa / Nueva Guinea, Brasil, Honduras, Costa de Marfil, Ecuador y Camerún (Propalma, 2023, pág. 8).

2.4.3 *Producción a nivel nacional*

En el año 2022 Ecuador registró una participación del 0,6 % del total de producción de aceite crudo de palma y superficie cosechada a nivel mundo, presentando valores de 0,446 MM TM y 0,145 MM HA respectivamente (Marlin, 2023, págs. 102-105).

2.4.4 *Importancia de las palmas aceiteras en Ecuador*

El cultivo de palma aceitera es una industria que ha recibido una inversión agrícola de 1.516 millones de dólares y una inversión industrial de 480 millones de dólares. Además, ha generado 77.136 empleos directos y 51.424 empleos indirectos. Se han utilizado 257.121 hectáreas de tierra para sembrar palma aceitera y hay un total de 6.568 palmicultores involucrados en esta actividad (Marlin, 2023, págs. 102-105).

2.4.5 *Bagazo de palma aceitera*

Es el producto de rechazo de la extracción de aceite de palma. Tras extraer el aceite de las palmas, es una fibra residual que se usa como material de biomasa o como fuente para producir energía, papel, compost y otros productos (Ruiz et al., 2019 págs. 3-10).

2.4.5.1 *Composición del Bagazo*

Este residuo generado durante el proceso de extracción del aceite de palma en su mayoría contiene una biomasa lignocelulósica (Reátegui et al., 2021 págs. 12-25). Su composición abarca

aproximadamente entre un 10 % y un 25 % de lignina, un 20 % y un 30 % de hemicelulosa, y de un 30 % a un 50 % de celulosa (Vásquez et al., 2022 págs. 2-10). Se considera óptimo que los valores químicos de celulosa sean superiores al 30 % y se aproximen a los de las fuentes maderables, que oscilan entre el 40 % y el 50 % (Arévalo et al., 2023 págs.1-62).

2.4.5.1.1 Lignina

Es un polímero orgánico que forma parte de la pared celular de las plantas, especialmente en la madera y la corteza. Confiere rigidez y resistencia a las plantas y las protege de la descomposición y los patógenos. Es la segunda molécula orgánica más abundante en las plantas después de la celulosa y puede utilizarse para producir biocombustibles (Maceda et al, 2021 págs. 1-16).

2.4.5.1.2 Celulosa

Es un polisacárido orgánico que forma parte de la pared celular de las plantas y algunos protistas. Está compuesta por miles de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos. Es la biomolécula más abundante en la naturaleza y su importancia en procesos de remediación radica en que es una fuente de carbono para muchos microorganismos que pueden degradarla y utilizarla como energía. Estos microorganismos pueden eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el suelo, el agua o el aire (Mendarte et al. 2021 págs. 15-21).

2.4.5.1.3 Holocelulosa

Es la fracción total de polisacáridos de la madera tras la separación de los extractivos. Comprende la suma de celulosa y hemicelulosa. Es un componente importante de la biomasa vegetal y su importancia en los procesos de remediación radica en que se trata de un recurso natural renovable y biodegradable que puede utilizarse para mejorar la calidad del suelo y reducir la contaminación, inclusive puede ser degradada por microorganismos que liberan enzimas capaces de romper los enlaces glicosídicos y transformar los azúcares en productos útiles, como etanol, ácidos orgánicos y biogás (Hermeza et al., 2021 págs. 339-348).

2.5 **Legislación Ambiental**

En Ecuador, la Constitución de la República del Ecuador 2008 reconoce al suelo como un recurso natural estratégico y enfatiza que es responsabilidad del Estado y de la ciudadanía conservar su calidad y prevenir su contaminación. Por lo cual, esté proyecto de investigación considera el

Acuerdo Ministerial 097-A, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE para su gestión y protección. En la tabla 2 del Acuerdo Ministerial 097-A están establecidas las normas de calidad ambiental y criterios de remediación para suelos contaminados en el territorio nacional. Además de mencionar los límites máximos admisibles de contaminantes en el suelo.

2.5.1 Criterios de remediación del Acuerdo Ministerial 097-A

Se establecen para cada uso de suelo (residencial, comercial, industrial y agrícola) y se presentan en la tabla 2 – 3. Muestran los parámetros y establecen los límites máximos de concentración de contaminantes después de efectuarse un proceso de remediación (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015, pág. 34).

Tabla 2-3: Criterios de remediación del suelo

VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES		
Parámetro	Unidades	Uso del suelo Agrícola
Conductividad	uS/m	200
pH	-	6 a 8
Índice SAR	-	5
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	150
Cadmio	mg/kg	2
Níquel	mg/kg	50
Plomo	mg/kg	60
Zinc	mg/kg	200
Cobre	mg/kg	63

Fuente: (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015, pág. 34).

Realizado por: Prado S y Zurita M., 2024.

La **tabla 2–3** se adaptó con base en la tabla 2 (Criterios de remediación) del acuerdo ministerio 097-A. Para detallar únicamente los parámetros analizados en este proyecto de investigación.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

El presente proyecto de investigación consistió en analizar la capacidad que tiene el bagazo de palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* para reducir la concentración de TPH en un suelo contaminado, mediante un análisis fisicoquímico. Bajo este contexto se desarrolló una metodología de investigación aplicada-experimental, a un nivel exploratorio y de período transversal.

3.2 Descripción del Enfoque

Esta investigación adopta un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos, para evaluar la eficiencia de los bagazos de palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*, así como su combinación, en la remediación de suelos contaminados con TPH. A través de un diseño experimental de 20 días y análisis detallados del suelo y el bagazo, se buscó cuantificar la reducción de la concentración de TPH, mientras se exploraron aspectos cualitativos que contextualizan la eficiencia de estos materiales.

3.3 Alcance

Este proyecto de investigación tiene un alcance de naturaleza exploratoria, en donde se evaluó la eficiencia de los bagazos de palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* en la remediación de suelos contaminados con TPH.

3.4 Diseño

El diseño experimental constó de un diseño de bloques completamente al azar, con 6 tratamientos y 1 testigo. Además, se realizaron dos repeticiones para cada tratamiento. Los resultados fueron procesados en un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa SPSS. Este análisis busca rechazar o aceptar una hipótesis, la hipótesis nula (H_0) establece que las medias en una población son iguales, mientras que la hipótesis alternativa (H_a) establece que al menos una es diferente (Herzog et al., 2019 págs. 67-82). La idea básica del ANOVA es descomponer la variabilidad total observada en 2 partes, la primera variabilidad es obtenida de la diferencia entre los tratamientos

y la segunda es la interna en los tratamientos (Rouder et al, 2023 págs. 6-7). Si se acepta H_0 la respuesta no se ve afectada por los distintos niveles de factor. Por otro lado, si se acepta la H_a , se distinguen los efectos de los distintos tratamientos:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$H_a = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \quad \text{Ecuación 2}$$

3.5 Metodología

La metodología se encuentra dividida en 4 fases que responden a cada 1 de los objetivos:

3.5.1 *Primera Fase: Caracterización fisicoquímica del suelo contaminado con TPH, proveniente de la Parroquia San Luis de Armenia:*

3.5.1.1 *Recolección de la muestra del suelo*

Se seleccionó una muestra representativa de 65 kg, compuesta por 20 submuestras recogidas aleatoriamente en un área de 50 m^2 . Siguiendo el método descrito por (García et al., 2011), se recolectó el suelo a 30 cm (pág. 5). La extracción de la muestra se llevó a cabo en suelos contaminados por hidrocarburos adyacentes a una zona petrolera, pertenecientes a la parroquia San Luis de Armenia, Comunidad Jabalí a 4 Km de distancia de la ciudad del Coca. El tipo de suelo que se tiene la parroquia es el Ultisol (GADMFO, 2019, pág. 17).

3.5.1.2 *Preparación del suelo para los análisis:*

Se seleccionó $\frac{1}{2}$ kg de la muestra total del suelo y se retiró la presencia de todo factor ajeno al estudio. En un mortero se procedió a moler el suelo hasta obtener partículas más pequeñas que se colocaron en una superficie elaborada con papel aluminio, que después ingresó a la incubadora MARCA Esco, MODELO IFA-110-8 por 48 horas a 45°C. El resultado de este proceso se molió en un mortero hasta lograr tamizarlo completamente por un tamiz de 10mm, sobre un recipiente de plástico hermético etiquetado. El producto obtenido se utilizó en la elaboración de los análisis que se mencionan a continuación.

3.5.1.3 *Análisis del suelo:*

Una vez preparada la muestra de suelo, se procedió a elaborar los respectivos análisis según se detallan en la ilustración 3-1.

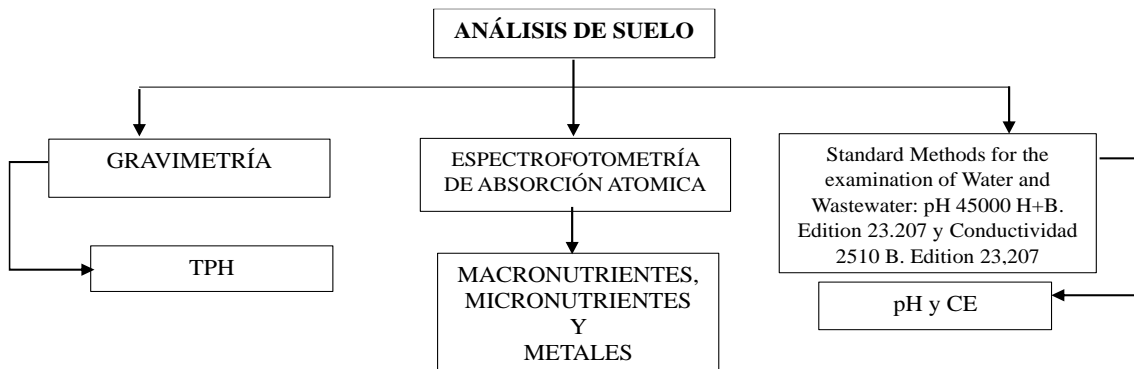


Ilustración 3-1: Técnicas desarrolladas para los análisis del suelo

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

3.5.1.3.1 Análisis de metales pesados:

Se preparó el suelo mediante el proceso de Digestión. Donde se procedió a pesar 1 gramo de suelo en una balanza analítica MARCA Sartorius, MODELO Practum 114-15, que luego fue incorporado en un tubo de ensayo de 50 ml sin rosca. Utilizando una pipeta se adicionaron en el tubo 5 ml de agua destilada y 5 ml de ácido nítrico al 65 %. A continuación, el tubo fue colocado dentro del Bloque de Digestión MARCA Thermo Scientific, MODELO Prybath Stard 4bick, expuesto a una temperatura de 160 °C durante 2 horas. Para este procedimiento se necesitó una Campana de Extracción de Humos y Vapores Tóxicos, MARCA Novatech, MODELO CED-90E-ESP- garantizando un proceso seguro y controlado.

Tras retirar el tubo del Bloque de Digestión, se lo aforó a 50 ml con agua destilada y se lo llevó a un Agitador Magnético MARCA Fisher Analog Vortex de 120 Voltios a una velocidad de 500 RPM. La solución se vertió en un cono de filtración elaborado con papel filtrante de 125 mm de diámetro, y se dejó reposar sobre un recipiente plástico de 150 ml, luego se cubrió con una lámina de papel aluminio y reposó durante 24 horas.

3.5.1.3.2 Análisis de Macronutrientes:

En un vaso de precipitación, se mezcló 50 ml de Acetato de amonio con 5 g de suelo y se dejó reposar durante 24 horas. A continuación, la mezcla se filtró en un vaso de plástico mediante un cono de filtración. Una vez filtrada, se procede a preparar dos diluciones específicas: la primera consistió en mezclar 2 ml de la muestra con 18 ml de agua destilada (Dilución 10), y la segunda

combinar 1 ml de muestra con 49 ml de agua destilada (Dilución 50). La muestra resultante de estas diluciones se introdujo en el equipo de absorción atómica.

3.5.1.3.3 Análisis de Micronutrientes:

En un vaso de precipitación, se mezcló 3.15 ml de ácido nítrico (HNO₃) con 5 g de suelo y se dejó reposar durante 1 hora. A continuación, la mezcla se filtró en un vaso de plástico utilizando un cono de filtración. Una vez que se filtró toda la mezcla, se procedió a preparar dos diluciones específicas: la primera consistió en mezclar 1 ml de la muestra con 49 ml de agua destilada (Dilución 50), y la segunda en combinar 1 ml de muestra con 99 ml de agua destilada (Dilución 100). La muestra resultante de estas diluciones se introdujo en el equipo de absorción atómica.

Espectrometría de Absorción Atómica (AAS):

Las muestras obtenidas en los procesos descritos anteriormente se analizaron en el equipo de espectrometría de absorción atómica. Se realizó la optimización del espectrómetro, preparando las soluciones estándar a las concentraciones sugeridas por el software SOLAARM del espectrofotómetro ICE 3000 SERIES Thermo Scientific.

Elaboración de la curva de calibración para AAS:

Para elaborar las curvas de calibración del elemento de interés, se partió de soluciones madre de 1000 mg/L. Las curvas se elaboraron considerando los parámetros descritos en la **Tabla 3- 9** (ver pág. 20) y los elementos de interés.

Hierro: Para el estándar de trabajo 1 se transfirió 10 mL del patrón químico (Hierro) en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃. Y para el estándar de trabajo 2 se transfirieron 10 mL del estándar de trabajo 1 en un balón de 100 ml y se llevó al aforo con HNO₃.

Tabla 3-1: Curva de calibración del Hierro

HIERRO (Fe)		
Estándar de trabajo 1:		100 mg/L
Estándar de trabajo 2:		10 mg/L
Std #	Preparación (ml)	Concentración (mg/L)
Optimización	5,00 (a partir de std. de trabajo 1)	5,00

Std 1	2,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,20
Std 2	3,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,30
Std 3	5,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,50
Std 4	10,00 (a partir de std. de trabajo 2)	1,00
Std 5	15,00 (a partir de std. de trabajo 2)	1,50

Fuente: (Baird et al., 2017 págs. 1-10).

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Bario: Para el estándar de trabajo 1 se transfirió 10 mL del patrón químico (Bario) en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃.

Tabla 3-2: Curva de calibración del Bario

BARIO (Ba)		
Estándar de trabajo 1:		100 mg/L
Std #	Preparación (ml) (a partir de std. de trabajo 1)	Concentración (mg/L)
Optimización	15	15,00
Std 1	1,00	1,00
Std 2	2,00	2,00
Std 3	3,00	3,00
Std 4	4,00	4,00
Std 5	5,00	5,00

Fuente: (Baird et al., 2017 págs. 1-10).

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Cromo: Para el estándar de trabajo 1 se transfirió 10 mL del patrón químico (Cromo) en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃. Y para el estándar de trabajo 2 se transfirieron 10 mL del estándar de trabajo 1 en un balón de 100 mL y se llevó al aforo con HNO₃.

Tabla 3-3: Curva de calibración del Cromo

Cromo (Cr)		
Estándar de trabajo 1:		100 mg/L
Estándar de trabajo 2:		10 mg/L
Std #	Preparación (ml)	Concentración (mg/L)

Optimización	5,00 (a partir de std. de trabajo 1)	5,00
Std 1	3,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,30
Std 2	4,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,40
Std 3	5,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,50
Std 4	10,00 (a partir de std. de trabajo 2)	1,00
Std 5	15,00 (a partir de std. de trabajo 2)	1,50

Fuente: (Baird et al., 2017 págs. 1-10).

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Plomo: Para el estándar de trabajo 1 se transfirió 10 mL del patrón químico (Plomo) en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃. Y para el estándar de trabajo 2 se transfirieron 10 mL del estándar de trabajo 1 en un balón de 100 mL y se llevó al aforo con HNO₃.

Tabla 3-4: Curva de calibración del Plomo

Plomo (Pb)		
Estándar de trabajo 1:		100 mg/L
Estándar de trabajo 2:		10 mg/L
Std #	Preparación (ml)	Concentración (mg/L)
Optimización	7,00 (a partir de std. de trabajo 1)	7,00
Std 1	3,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,30
Std 2	5,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,50
Std 3	10,00 (a partir de std. de trabajo 2)	1,00
Std 4	15,00 (a partir de std. de trabajo 2)	1,50
Std 5	20,00 (a partir de std. de trabajo 2)	2,00

Fuente: (Baird et al., 2017 págs. 1-10).

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Cadmio: Para el estándar de trabajo 1 se transfirió 10 mL del patrón químico (Hierro) en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃. Y para el estándar de trabajo 2 se transfirieron 10 mL del estándar de trabajo 1 en un balón de 100 mL y se llevó al aforo con HNO₃. Por último, para el estándar de trabajo 3 se transfirieron 10 mL del estándar de trabajo 2 en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃.

Tabla 3-5: Curva de calibración del Cadmio

Cadmio (Cd)		
Estándar de trabajo 1:		100 mg/L
Estándar de trabajo 2:		10 mg/L
Estándar de trabajo 3:		1 mg/L
Std #	Preparación (ml)	Concentración (mg/L)
Optimización	15,00	1,50
Std 1	3,00 (a partir de std. de trabajo 1)	0,03
Std 2	5,00 (a partir de std. de trabajo 1)	0,05
Std 3	1,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,10
Std 4	15,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,15
Std 5	20,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,20

Fuente: (Baird et al., 2017)

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Níquel: Para el estándar de trabajo 1 se transfirió 10 mL del patrón químico (Níquel) en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃. Y para el estándar de trabajo 2 se transfirieron 10 mL del estándar de trabajo 1 en un balón de 100 mL y se llevó al aforo con HNO₃.

Tabla 3-6: Curva de calibración del Níquel

Níquel (Ni)		
Estándar de trabajo 1:		100 mg/L
Estándar de trabajo 2:		10 mg/L
Std #	Preparación (ml)	Concentración (mg/L)
Optimización	5,00 (a partir de std. de trabajo 1)	5,00
Std 1	2,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,20
Std 2	3,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,30
Std 3	5,00 (a partir de std. de trabajo 2)	0,50
Std 4	10,00 (a partir de std. de trabajo 2)	1,00
Std 5	15,00 (a partir de std. de trabajo 2)	1,50

Fuente: (Baird et al., 2017)

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Manganeso: Para el estándar de trabajo 1 se transfirió 10 mL del patrón químico (Manganeso) en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃. Y para el estándar de trabajo 2 se transfirieron 10 mL del estándar de trabajo 1 en un balón de 100 mL y se llevó al aforo con HNO₃. Por último, para el estándar de trabajo 3 se transfirieron 10 mL del estándar de trabajo 2 en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃.

Tabla 3-7: Curva de calibración del Manganeso

Manganeso (Mn)		
Estándar de trabajo 1:		100 mg/L
Estándar de trabajo 2:		10 mg/L
Estándar de trabajo 3:		1 mg/L
Std #	Preparación (ml)	Concentración (mg/L)
Optimización	2,00 (a partir del Std. 1)	2,00
Std 1	5,00 (a partir del Std. 3)	0,05
Std 2	1,00 (a partir del Std. 2)	0,10
Std 3	3,00 (a partir del Std. 2)	0,30
Std 4	5,00 (a partir del Std. 2)	0,50
Std 5	10,00 (a partir del Std. 2)	1,00

Fuente: (Baird et al., 2017 págs. 1-10).

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Cobre: Para el estándar de trabajo 1 se transfirió 10 mL del patrón químico (Cobre) en un balón de 100 mL y se aforó con HNO₃.

Tabla 3-8: Curva de calibración del Cobre

Cobre (Cu)		
Estándar de trabajo 1:		100 mg/L
Std #	Preparación (a partir de std. de trabajo 1)	Concentración (mg/L)
Optimización	3,5	3,5
Std 1	0,3	0,3
Std 2	0,5	0,5
Std 3	1,0	1,00
Std 4	1,5	1,50
Std 5	2,0	2,00

Fuente: (Baird et al., 2017 págs. 1-10).

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Los resultados del equipo Espectrómetro de Absorción fueron procesados mediante el software SOLAAR, que previamente se configuró para cada elemento, con la siguiente información:

Tabla 3-9: Datos para la optimización del Software

Elemento	Estándar de optimización	Absorbancia característica	Longitud de onda	Altura del mechero	Flujo de combustible característico
Ni	5 ppm	0.310-0.335	232 nm	7 mm	0.9 L/min
Pb	7 ppm	0.260-0.300A	217 nm	7 mm	1.0 L/min
Cd	1.5 ppm	0.432-0.440A	228.8 nm	6.2 mm	1.0 L/min
Mn	2 ppm	0.280-0.300A	279.5 nm	7 mm	1.0 L/min
Fe	5 ppm	0.290-0.310A	248.3 nm	7 mm	0.9 L/min
Ca	1 ppm	0.043-0.052A	422.7 nm	7 mm	1.0 L/min
Zn	1 ppm	0.390-0.410A	214.9 nm	7 mm	1.0 L/min
K	0.8 ppm	0.190-0.210A	766.5 nm	7 mm	1.0 L/min
Na	0.50 ppm	210-230A	589 nm	7 mm	1.1 L/min
Mg	0.30 ppm	0.060-0.72A	623 nm	7 mm	1.1 L/min

Fuente: (Baird et al., 2017 págs. 1-10).

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

3.5.1.3.4 Análisis de TPH:

Para el análisis de Hidrocarburos Totales de Petróleo se utilizó el método gravimétrico, siguiendo la metodología Method EPA 3550C. Y determinando la cantidad de concentración mediante diferencia de masas. Donde se procedió a pesar un vaso de precipitación de 50 ml previamente secado en la estufa a 60 °C por 24 horas (primer peso). Luego, en un tubo de ensayo, se agregaron 2gr de suelo (segundo peso) que se mezcló con 10 ml de Hexano (C₆H₁₄) e ingresó al ultrasonido por 25 minutos. Concluido el tiempo el contenido del tubo se filtró en el vaso de precipitación y se le agregaron 0,5 gr de Sulfato de Sodio (Na₂SO₄) y 0,5 gr de Sílica gel (SiO₂) para retener grasas y agua respectivamente. Por último, se llevó el vaso a un desecador por 15 minutos y se la procedió a pesar (peso final). Una vez obtenidos los 3 pesos, se calculó la concentración mediante la siguiente expresión: TPH= (Peso 1+ Peso 2) - Peso 3.

3.5.1.3.5 Análisis de pH y CE:

Para los análisis de pH y CE en muestras de suelo se utilizó la metodología de Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. pH 45000 H+B. Edition 23.207 y Standard

Methods for the examination of Water and Wastewater. Conductividad 2510 B. Edition 23,207, respectivamente. Donde se pesaron 80 gr de suelo en un vaso de precipitación de 150 ml, para luego incorporarle agua destilada en proporción 1:1. La mezcla se revolvió con un agitador de vidrio y luego reposó durante 20 minutos, hasta separar sólidos y acuosos. Una vez sedimentado el suelo, se realizó la lectura en un pHmetro Hanna Instruments, Modelo HI 3S 12-01.

3.5.1.3.6 Índice SAR

La relación de Adsorción de sodio (SAR) en suelos nos permite analizar la cantidad de sodio presente en relación con otros cationes. El SAR es un indicador importante de la calidad del suelo, con respecto a los cationes como Calcio y Magnesio presentes (Castellanos, 2000, pág. 226). Y se obtiene mediante la siguiente expresión:

Fórmula para la obtención de SAR:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}} \quad \text{Ecuación 3}$$

El SAR representa la influencia del ion sodio sobre las propiedades del suelo. Una elevada proporción relativa de Na^+ respecto de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} en las aguas de riego puede inducir a la degradación del suelo. Resultando en la pérdida de su estructura y de permeabilidad (Castellanos, 2000, pág. 226).

3.5.2 *Segunda Fase: Determinación del contenido de lignina, celulosa y holocelulosa en el bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*:*

3.5.2.1 Preparación del *Bagazo* para los análisis:

Para realizar los análisis de Lignina, Celulosa y Holocelulosa fue necesario ejecutar los siguientes procesos en el lapso de 1 día:

Recolección:

Para la recolección de cada variedad de bagazo se utilizaron guantes diferentes, garantizando la integridad de las muestras. Utilizando cuchillos limpios, se desgajaron los bagazos para ser colocados en fundas limpias y etiquetadas.

Lavado:

Se lo realizó en un área designada para este propósito, con acceso a agua limpia. El bagazo se dispuso en un recipiente grande y se enjuagó con agua moderada para eliminar partículas sueltas y contaminantes superficiales. Este proceso se repitió varias veces hasta que el agua alcanzó una claridad aceptable. Se le retiró el exceso de agua con un colador y se lo transportó en fundas plásticas limpias y etiquetadas, para los respectivos análisis.

3.5.2.2 Análisis del bagazo:

3.5.2.2.1 Determinación de Lignina mediante el método Klason:

Se utilizó la metodología basada en la norma TAPPI T-222os-74. Donde:

Se pesó 1 g de muestra libre de extracto en un vaso de precipitación y se mezcló con 15 ml de H₂SO₄ al 72%, luego se introdujo la mezcla a baño María a 20 °C por 2 horas hasta que cambió su tonalidad a oscura. A continuación, la mezcla se incorporó en un balón de destilación y se le añadieron 560 ml de agua destilada caliente para la obtención de H₂SO₄ al 4%. El balón de destilación entró a ebullición 4 horas, tras las que se sedimentó la parte sólida y se filtra en una placa filtrante. La parte sólida que se filtró se lavó con agua destilada caliente e ingresó a la estufa a 105°C durante 12 horas. Se tomaron 100 mg del sólido seco y se calcinaron en una mufla a 430°C durante 24 horas, obteniendo así el peso del residuo seco. Según la norma TAPPI T-222 la preparación de H₂SO₄ al 72% se prepara añadiendo 664 ml de ácido sulfúrico concentrado en 300 ml de agua destilada, aforado hasta 1000 ml (Honorato y Hernández, 1998 págs. 5-6).

Fórmula para la obtención de Lignina:

$$\%Lignina = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

3.5.2.2.2 Determinación de celulosa:

Se utilizó la metodología basada en la metodología de Kurschner y Hoffer. Donde:

Se pesó 1g de muestra libre de extracto en un matraz de 100 ml y se mezcló con 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado. La mezcla hirvió en baño maría durante 30 minutos y el residuo sólido se sometió a una segunda digestión con 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico

concentrado, durante 30 minutos. Luego se decantó y nuevamente el residuo sólido se sometió a una tercera digestión con 100 ml de agua destilada durante 1 hora. A continuación, se filtró la solución y el residuo sólido se lavó con agua destilada caliente, luego con 100 ml de acetato de sodio y finalmente con 500 ml agua destilada caliente. Se secó el residuo sólido en una estufa a 105 °C durante 12 horas. Se tomaron 100 mg del sólido seco y se calcinaron en una mufla a 430°C durante 24 horas, obteniendo así el peso del residuo seco (Hessler y Merola, 1949).

Fórmula para la obtención de Celulosa:

$$\%Celulosa = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto(g)}} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

3.5.2.2.3 Determinación de Holocelulosa

Se utilizó la metodología basada en la norma AST 1104-56. Donde, se pesaron 2 g de muestra libre de extractos en un matraz de 500 ml y se mezcló con 160 ml de agua destilada, 1 g de clorito de sodio y 0,2 ml de ácido acético glacial. La mezcla se introdujo en baño maría a 80 °C durante una hora. Repetimos esta acción 3 veces durante 3 horas, hasta que la muestra se tornó blanca. Esperamos 1 hora tras la última repetición y enfriamos la muestra en un baño de hielo a 10 °C, luego filtramos la mezcla con papel filtro número 40 y lavamos con 500 ml de agua destilada fría. Incorporamos el residuo sólido a una cápsula de porcelana previo peso conocido y secamos en una estufa a 105 °C durante 4 horas. Se tomaron 100 mg del sólido seco y se calcinaron en una mufla a 430°C durante 24 horas, obteniendo así el peso del residuo seco (ASTM, 1977, págs. 346-348).

Fórmula para obtención de Holocelulosa:

$$\%Holocelulosa = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

3.5.3 Tercera Fase: Aplicación del bagazo de las palmas *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* en el suelo contaminado con TPH:

3.5.3.1 Preparación del suelo para el tratamiento:

La muestra de suelo recolectada se almacenó durante 2 semanas sobre una superficie de plástico y bajo una cubierta, para eliminar su humedad de forma natural. Con base a la técnica de (Valente,

2016) se determinó la cantidad de masa utilizada en los tratamientos (5 kg) y las dimensiones de los recipientes: 30 cm de largo X 30 cm de ancho X 15 cm de profundidad (págs. 14-28).

3.5.3.2 Aplicación del Bagazo para los tratamientos:

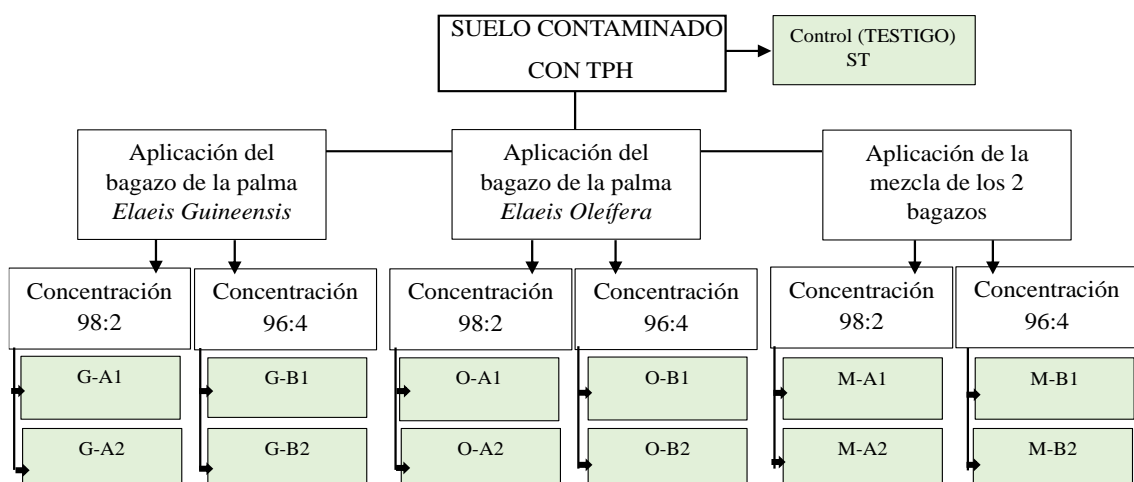
Para facilitar su distribución uniforme en el suelo contaminado, el bagazo de las palmas se recolectó, lavó, trituró y molió, de la siguiente manera:

Recolección: para la recolección de cada variedad de bagazo se utilizaron guantes diferentes y con cuchillos limpios, se procedió a desgajarlos para colocarlos en fundas limpias y etiquetadas.

Lavado: el bagazo se dispuso en un recipiente grande y se enjuagó con abundante agua para eliminar partículas sueltas y contaminantes superficiales. El proceso se repitió varias veces hasta que el agua alcanzó una claridad aceptable. Finalmente, el exceso de agua fue retirado con un colador.

Secado: con el fin de retirarle la humedad de forma natural, se dispuso el bagazo sobre una superficie limpia y se lo secó bajo el sol durante 4 horas diarias, por 1 semana. El material seco se almacenó en recipientes de plástico diferenciados y luego fue incorporado en los recipientes de madera que contenían las muestras de suelo contaminado.

Distribución: después de ejecutar los procesos anteriormente mencionados, se procedió a distribuir el bagazo en 12 recipientes de la siguiente manera:



Concentración 98:2= 98% suelo y 2% bagazo

Concentración 96:4= 96% suelo y 4% bagazo

Ilustración 3-2: Tratamientos para remediar el suelo contaminado con TPH

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024

3.5.4 Cuarta Fase: Determinación de la eficiencia del bagazo de las palmas *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* en la remediación del suelo contaminado con TPH:

Para la determinación de la eficiencia del bagazo de las palmas *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*, fue necesario realizar una comparación entre los resultados de los análisis iniciales del suelo contaminado con TPH sin ningún tratamiento y los análisis finales del mismo suelo, pero sometido a los distintos tratamientos descritos en la **Ilustración 3 – 2**.

3.6 Técnicas

En este apartado se describen las técnicas que fueron mencionadas en la metodología:

3.6.1 Gravimetría en suelo

Es una técnica analítica que determina la cantidad de una sustancia en una muestra midiendo con precisión su masa. Para obtener la concentración de TPH es necesario realizar la extracción de los hidrocarburos de la muestra, seguida de la separación y pesaje del residuo sólido que contiene a los hidrocarburos extraídos. Mediante la determinación de la masa del residuo, se estima la concentración de TPH en la muestra (El-Didamony et al., 2020 págs. 31-43).

3.6.2 Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS)

El método consiste en aspirar la concentración de una muestra y convertir sus átomos en una llama. La luz emitida por la lámpara de cátodo hueco pasa directamente a través de la llama en un monocromador y llega a un detector que registra la cantidad de luz absorbida que se asocia con la presencia de átomos libres no excitados en la llama. La luz absorbida proporciona la concentración del metal en la muestra (Baird et al., 2017 págs. 1-10).

3.6.3 TAPPI T-222 os 74

Para la determinación del porcentaje de Lignina, se utilizó la Norma: TAPPI T-222 os 74 de Honorato y Hernández de 1998, que permite la obtención de polímeros orgánicos complejos propios de las paredes celulares de las especies mediante un constituyente insoluble en ácido sulfúrico al 72%, formada a partir de la extracción irreversible de agua de los azúcares, funcionando como un agente solidificante de células fibrosas (Honorato y Hernández, 1998 págs. 83-84).

3.6.4 *Kurschner y Hoffer*

Es una técnica utilizada para determinar el contenido de celulosa en muestras de fibras vegetales basada en la reacción de celulosa con una solución de ácido sulfúrico y cloruro férrico en una hidrólisis ácida de la muestra que disuelve lignina y otras sustancias no celulósicas. Luego, se añade una solución de cloruro férrico, que reacciona con la celulosa formando un complejo coloreado, la intensidad del color es proporcional a la cantidad de celulosa presente en la muestra (Hessler y Merola, 1949).

3.6.5 *AST 1104-56*

Para la determinación del porcentaje de Holocelulosa se utilizó la Norma: ASTM 1104-56. Esta técnica permite la obtención de Holocelulosa presente en la madera formada en la eliminación de la lignina. Consiste en usar una solución de ácido acético y clorito de sodio en materiales vegetales lignocelulósicos. Su determinación es importante para evaluar la calidad de las fibras (ASTM, 1977, págs. 346-348).

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

En esta sección se presentan los análisis e interpretación de resultados divididos en las 4 fases de este proyecto. Se detallan: las características fisicoquímicas del suelo, el contenido de celulosa, holocelulosa y lignina de los bagazos de las palmas *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*. Así como, la aplicación de los tratamientos y la evaluación de su eficiencia. El análisis e interpretación de los resultados se estructuran en torno a los cuatro objetivos específicos.

4.1.1 Resultados de la Fase 1: Caracterización fisicoquímica del suelo.

En la **Tabla 4-1** se detallan los resultados iniciales de la caracterización fisicoquímica del suelo contaminado con TPH. Según los criterios de remediación para suelos agrícolas, siguiendo la normativa descrita en el Acuerdo Ministerial 097-A, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE. Los parámetros considerados son: Zinc (Zn), Cobre (Cu), Conductividad eléctrica (CE), Potencial de Hidrógeno (pH), Índice de Adsorción de Sodio (SAR), Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), y metales pesados como Cadmio (Cd), Níquel (Ni) y Plomo (Pb).

Tabla 4-1: Resultados iniciales: Criterios de remediación de suelo agrícola

Parámetro	Unidad	Valores de referencia	Resultados de laboratorio	Interpretación
Conductividad	uS/m	200	15.480	No cumple
pH	-	6 a 8	6,48	Cumple
Índice SAR	-	5	1,83	Cumple
TPH	mg/kg	150	7.594,43	No cumple
Cadmio	mg/kg	2	0,32	Cumple
Níquel	mg/kg	50	9,90	Cumple
Plomo	mg/kg	60	25,07	Cumple
Zinc	mg/kg	200	6,91	Cumple
Cobre	mg/kg	63	7,41	Cumple

Fuente: (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015)

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Los resultados de la **tabla 4-1** revelan que los parámetros Zinc, Cobre, pH, Índice SAR y metales como el Cadmio, Níquel y Plomo, cumplen con los valores de referencia de los criterios de remediación para suelos agrícolas dentro de los límites permisibles. Mientras que la Conductividad eléctrica y TPH sobrepasan estos valores por más de 70 veces y más de 50 veces respectivamente. Además, en la **tabla 4-3** se presentan resultados de la caracterización del suelo correspondientes a macronutrientes y micronutrientes, con base a los niveles de referencia óptimos del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, que se detallan en la **tabla 4-2**.

Tabla 4-2: Niveles de Referencia Óptimos INIAP

Elemento	Unidad	Niveles Óptimos	Resultados de laboratorio	Interpretación
Hierro	mg/kg	20 - 40	213,1292	ALTO
Manganeso	mg/kg	5 - 15	104,3370	ALTO
Sodio	mg/kg	115 - 230	36,0154	BAJO
Calcio	mg/kg	800 - 1600	379,8923	BAJO
Magnesio	mg/kg	120 - 240	144,5730	ÓPTIMO
Potasio	mg/kg	78 - 156	132,0147	ÓPTIMO

Fuente: (INIAP, 2024, pág.1)

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Además, estos resultados revelan que las concentraciones iniciales de Hierro y Manganeso presentaron niveles altos de concentración. Mientras que los elementos Magnesio y Potasio se encontraron dentro de los niveles de referencia óptimos considerados por el (INIAP). Por otro lado, los elementos Calcio y Sodio presentaron niveles bajos.

4.1.2 Resultados de la Fase 2: Contenido de Celulosa, Holocelulosa y Lignina.

Los resultados de la fase 2 se muestran en la **tabla 4 – 3**. Revelan el contenido de celulosa, holocelulosa y lignina del bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*.

4.1.2.1 *Elaeis guineensis*

-Contenido de Lignina:

$$\%Lignina = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100$$
$$\%Lignina = \frac{0.44035(g)}{1 (g)} * 100$$
$$\%Lignina = \mathbf{44.035}$$

-Contenido de Celulosa:

$$\%Celulosa = \frac{\text{Peso seco residuo (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto(g)}} * 100$$
$$\%Celulosa = \frac{0.34083(g)}{1 (g)} * 100$$
$$\%Celulosa = \mathbf{34.083}$$

-Contenido de Holocelulosa:

$$\%Holocelulosa = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100$$
$$\%Holocelulosa = \frac{0.99288(g)}{2 (g)} * 100$$
$$\%Holocelulosa = \mathbf{49.644}$$

4.1.2.2 *Elaeis oleífera*

-Contenido de Lignina:

$$\%Lignina = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100$$
$$\%Lignina = \frac{0.41238(g)}{1 (g)} * 100$$
$$\%Lignina = \mathbf{41.238}$$

-Contenido de Celulosa:

$$\%Celulosa = \frac{\text{Peso seco residuo (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100$$

$$\%Celulosa = \frac{0.33969(g)}{1 (g)} * 100$$

$$\%Celulosa = \mathbf{33.969}$$

-Contenido de Holocelulosa:

$$\%Holocelulosa = \frac{\text{Peso residuo seco (g)}}{\text{Peso muestra original libre extracto (g)}} * 100$$

$$\%Holocelulosa = \frac{0.98494(g)}{2 (g)} * 100$$

$$\%Holocelulosa = \mathbf{49.247}$$

En la **Tabla 4-3**, Se observan los porcentajes de Celulosa, Holocelulosa y Lignina de los bagazos de las especies *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*. Donde se presenta uniformidad en las concentraciones de celulosa y holocelulosa de ambas variedades. Mientras que la lignina reportó mayor diferencia, dado que el bagazo de *Elaeis guineensis* presentó una concentración de 44,035% en comparación con la especie *Elaeis oleífera* que reportó un 41,238%.

Tabla 4-3: Contenido de Lignina, Celulosa y Holocelulosa del Bagazo de las palmas

IDENTIFICACIÓN	MÉTODO ANÁLISIS	Kurschner y		
		Hoffer	ASTM 1104-56	TAPPI T-222os-74
		CELULOSA %	HOLOCELULOSA %	LIGNINA %
<i>Elaeis guineensis</i>		34,083	49,644	44,035
<i>Elaeis oleífera</i>		33,969	49,247	41,238

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.3 Resultados de la Fase 3: Aplicación del Bagazo de las palmas aceiteras

Después de preparar el material de interés se procedió a su aplicación. El bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* se aplicó correctamente en cada uno de los 12

recipientes designados para los distintos tratamientos. A continuación, se presentan las ilustraciones de las distintas actividades efectuadas para la aplicación del bagazo de las palmas.

En la **ilustración 4-1** se presenta el bagazo previo a su recolección; la **ilustración 4-2** nos presenta el proceso de secado; la **ilustración 4-3** el de almacenamiento, y finalmente, en la **ilustración 4-4** se puede apreciar el material ya preparado siendo aplicado.



Ilustración 4-1: Bagazo de palmas aceiteras

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

En la **ilustración 4-1** el bagazo de la izquierda corresponde a *Elaeis guineensis* y el de la derecha a *Elaeis oleífera*. A simple vista podemos diferenciarlos por su color, ya que por la presencia de yodo el bagazo de *Elaeis oleífera* es más oscuro que el de *Elaeis guineensis* (Mosquera et al., 2021 págs. 1-9). Además, Los frutos de *Elaeis guineensis* son de color rojo o anaranjado cuando están maduros, mientras que los de *Elaeis oleífera* son de color negro o morado (Murillo, 2022, págs. 12-20).



Ilustración 4-2: Proceso de secado del bagazo

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

La **ilustración 4-2** nos muestra el proceso de secado del bagazo, realizado tras el lavado del material. Este proceso duró 1 semana, con el objetivo de eliminar su humedad de forma natural. En este periodo, el bagazo se expuso al sol en un promedio de cuatro horas al día, considerando las condiciones climáticas para facilitar su secado adecuado.



Ilustración 4-3: Proceso de almacenamiento del bagazo

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

El proceso de almacenamiento visualizado en la **ilustración 4-3** ocurrió después de que el bagazo estuviera seco. Este procedimiento se realizó para lograr una distribución más uniforme del material en los recipientes destinados al suelo contaminado. Logrando así, reducir hasta 10 veces su tamaño inicial.



Ilustración 4-4: Distribución del bagazo

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

Después de ejecutarse los procesos antes mencionados, se procedió a la distribución del bagazo. En esta etapa, el material preparado se distribuyó en los suelos contaminados, como parte de los tratamientos de remediación. Por último, en la **ilustración 4-5** se muestra la aplicación del bagazo en los recipientes designados para ello. Se aprecia el suelo previo a la aplicación de los tratamientos (A) y el suelo después de someterse a los tratamientos con los bagazos de *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* (B).

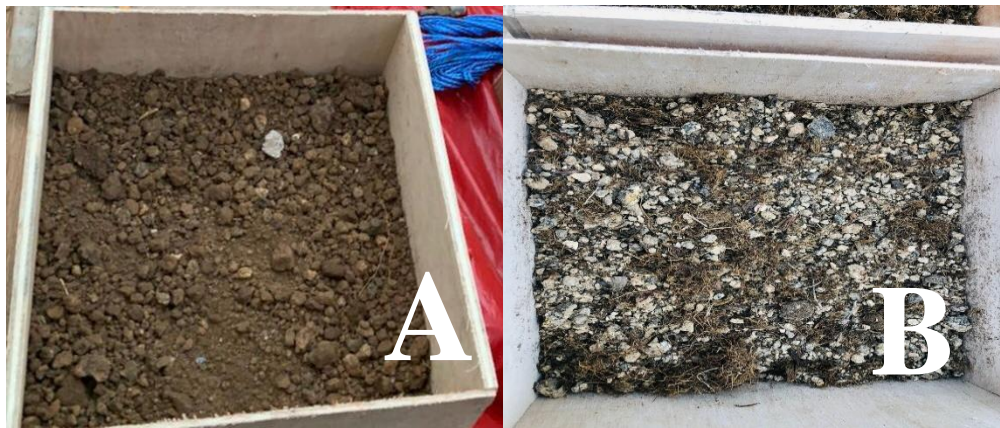


Ilustración 4-5: Aplicación del Bagazo de las palmas en los recipientes
Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4 Resultados de la Fase 4: Determinación de la eficiencia del bagazo de la palma aceitera *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera*, para remediar suelos contaminados con TPH

Para evaluar la eficiencia del tratamiento del bagazo de las palmas *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* en la remediación de suelos contaminados con TPH, se llevaron a cabo análisis de suelo. Donde, se determinaron las concentraciones de macronutrientes, micronutrientes, metales pesados, conductividad eléctrica (CE), pH y TPH después de aplicar los diferentes tratamientos.

4.1.4.1 Metales pesados

4.1.4.1.1 Curvas de calibración

-Cadmio (Cd)

La ecuación modelada, fue $Y = 0,2830x + 0,0008$, reflejando la dependencia lineal del eje Y con respecto a X, con una pendiente de 0,283 y una intercepción de 0,008. Se identificó un valor de concentración característico de 0,0117 mg/L de analito. El ajuste lineal se caracterizó por un coeficiente de determinación R^2 de 0,9958, asegurando su alta precisión.

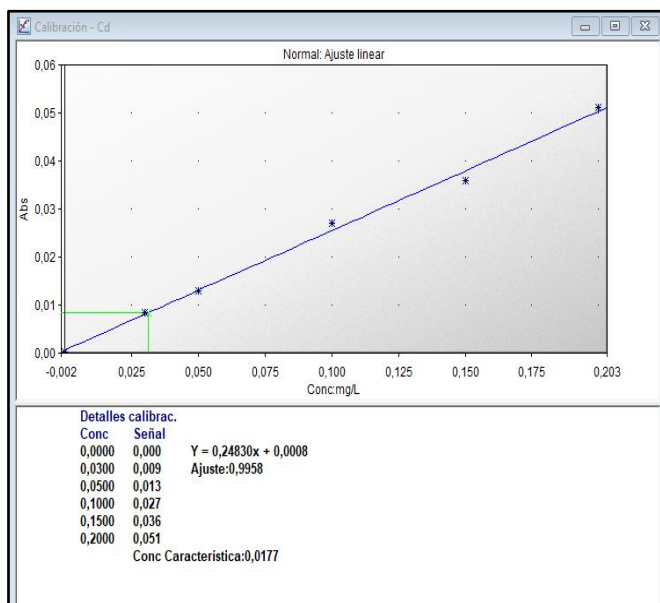


Ilustración 4-6: Curva calibrada de Cadmio

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Plomo (Pb)

La ecuación modelada de la línea de tendencia fue $Y = 0,04054x - 0,0047$, reflejando la dependencia lineal del eje Y con respecto a X, con una pendiente de 0,04054 y una intercepción de 0,0047. Se identificó un valor de concentración característico de 0,1085 mg/L de analito.

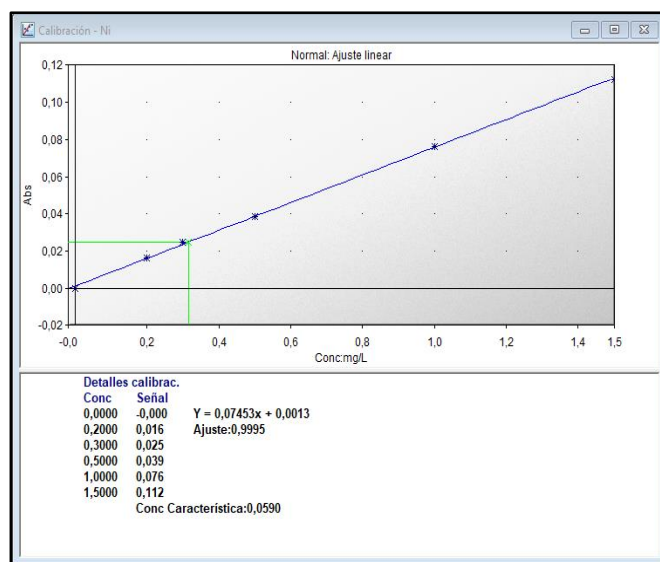


Ilustración 4-7: Curva calibrada de Plomo

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Níquel (Ni)

La ecuación modelada de la línea de tendencia fue $Y = 0,07543x + 0,0013$, reflejando la

dependencia lineal del eje Y con respecto a X, con una pendiente de 0,07543 y una intercepción de 0,0013. Se identificó un valor de concentración característico de 0,0590 mg/L de analito.

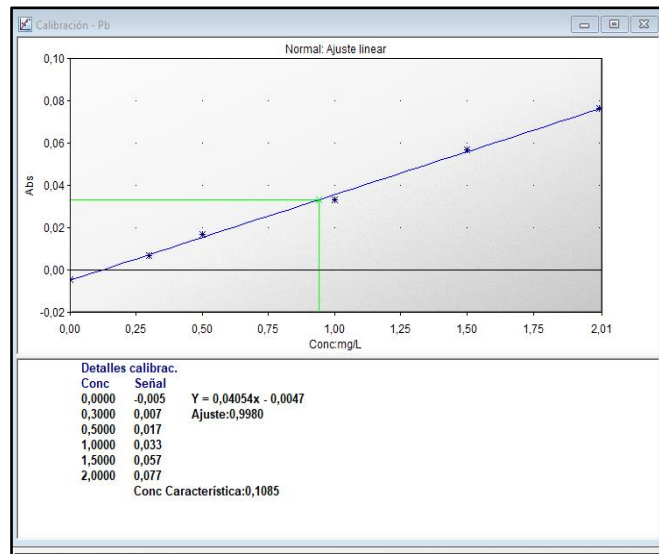


Ilustración 4-8: Curva calibrada Níquel
Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Cobre (Cu):

La curva de calibración indicó una relación lineal entre la concentración y la absorbancia en el intervalo analizado. La ecuación de la línea recta $Y = 0,09256x + 0,0019$ describió el modelo de calibración donde “y” es la absorbancia y “x” es la concentración. Además, se identificó una concentración de analito de 0,0475 mg/L. El ajuste lineal representado por un valor R^2 de 0,9995 indicó un excelente ajuste entre los datos experimentales y el modelo lineal.

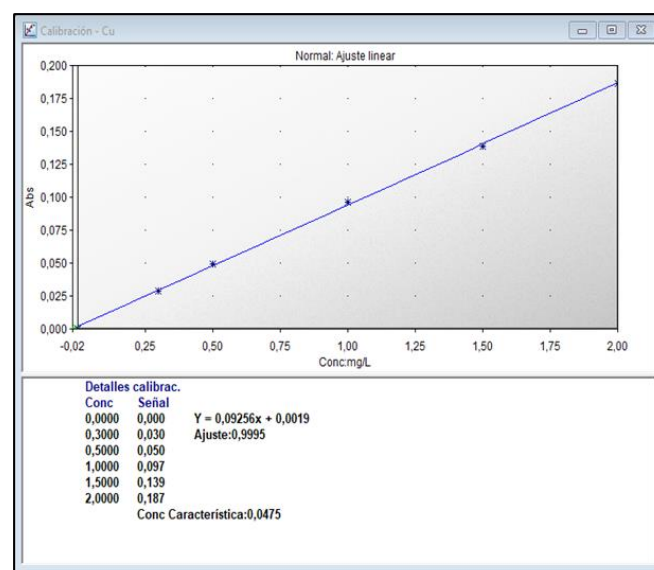


Ilustración 4-9: Curva calibrada de Cobre
Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.1.2 Resultados

Se compararon las distintas concentraciones de los metales plomo, cadmio, cobre y níquel con los valores de referencia planteados para los criterios de remediación de suelos agrícolas según el Acuerdo Ministerial 097-A.

-Cadmio

Los valores de la **tabla 4-4** representan el contenido de cadmio en las muestras tratadas. Los resultados de las concentraciones para cada muestra fueron los siguientes: G-A1: 0,0631 mg/kg, G-A2: 0,0839 mg/kg, G-B1: 0,1056 mg/kg, G-B2: 0,0366 mg/kg, O-A1: 0,4030 mg/kg, O-A2: 0,0366 mg/kg, O-B1: 0,0554 mg/kg, O-B2: 0,0653 mg/kg, M-A1: 0,0858 mg/kg, M-A2: 0,0561 mg/kg, M-B1: 0,0724 mg/kg y M-B2: 0,1001 mg/kg. Estos resultados son inferiores al valor de referencia establecido por la normativa aplicable (2 mg/kg), indicando que no representan un riesgo para el recurso suelo. Además de ser favorables, ya que, en suelos no contaminados los niveles de cadmio son inferiores a 1 mg/kg (Nieves et al., 2019 págs. 96-104).

Tabla 4-4: Resultados finales de Cadmio

CRITERIOS DE REMEDIACIÓN SUELO AGRÍCOLA				
Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados del laboratorio	Interpretación
G-A1	mg/kg	2	0,0631	CUMPLE
G-A2	mg/kg	2	0,0839	CUMPLE
G-B1	mg/kg	2	0,1056	CUMPLE
G-B2	mg/kg	2	0,0366	CUMPLE
O-A1	mg/kg	2	0,1030	CUMPLE
O-A2	mg/kg	2	0,0366	CUMPLE
O-B1	mg/kg	2	0,0554	CUMPLE
O-B2	mg/kg	2	0,0653	CUMPLE
M-A1	mg/kg	2	0,0858	CUMPLE
M-A2	mg/kg	2	0,0561	CUMPLE
M-B1	mg/kg	2	0,0724	CUMPLE
M-B2	mg/kg	2	0,1001	CUMPLE
ST	mg/kg	2	0,3162	CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Níquel (Ni):

Los valores de la **tabla 4-5** reflejan el contenido de níquel en las muestras tratadas. Los resultados indican que las concentraciones de níquel en las muestras de suelo están por debajo de los valores de referencia establecidos por la normativa (50 mg/kg). Además de observarse una influencia positiva de los tratamientos al lograr una notable disminución, especialmente con el tratamiento M-B, donde se alcanzaron niveles promedio de 6.6479 mg/kg.

Tabla 4-5: Resultados finales de Níquel

CRITERIOS DE REMEDIACIÓN SUELO AGRÍCOLA				
Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados del laboratorio	Interpretación
G-A1	mg/kg	50	8,3035	CUMPLE
G-A2	mg/kg	50	8,2576	CUMPLE
G-B1	mg/kg	50	8,9875	CUMPLE
G-B2	mg/kg	50	8,7564	CUMPLE
O-A1	mg/kg	50	7,8958	CUMPLE
O-A2	mg/kg	50	7,4978	CUMPLE
O-B1	mg/kg	50	7,9578	CUMPLE
O-B2	mg/kg	50	8,4897	CUMPLE
M-A1	mg/kg	50	8,4859	CUMPLE
M-A2	mg/kg	50	8,4958	CUMPLE
M-B1	mg/kg	50	6,6979	CUMPLE
M-B2	mg/kg	50	6,5979	CUMPLE
ST	mg/kg	50	9,9009	CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Plomo:

Los valores presentados en la **tabla 4-6** representan el contenido de plomo en las distintas muestras que fueron sometidas a los tratamientos. Los resultados revelan que los tratamientos con bagazo de palma tuvieron diferencias notables, ya que en todas las muestras las concentraciones de plomo disminuyeron, destacándose el tratamiento G-B con valores promedio de 20,3673 mg/kg. Lo que sugiere que estas concentraciones no representan ningún riesgo para el suelo.

Tabla 4-6: Resultados finales del Plomo

Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados del laboratorio	Interpretación
G-A1	mg/kg	60	21,3872	CUMPLE
G-A2	mg/kg	60	20,8920	CUMPLE
G-B1	mg/kg	60	19,6975	CUMPLE
G-B2	mg/kg	60	21,0371	CUMPLE
O-A1	mg/kg	60	20,9127	CUMPLE
O-A2	mg/kg	60	20,4045	CUMPLE
O-B1	mg/kg	60	20,7501	CUMPLE
O-B2	mg/kg	60	23,2938	CUMPLE
M-A1	mg/kg	60	24,0589	CUMPLE
M-A2	mg/kg	60	23,9924	CUMPLE
M-B1	mg/kg	60	23,4391	CUMPLE
M-B2	mg/kg	60	21,3513	CUMPLE
ST	mg/kg	60	25,0706	CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

- *Cobre (Cu):*

Los valores presentados en la **tabla 4-7** reflejan el contenido de cobre en las muestras sujetas a los diferentes tratamientos. Los resultados muestran que las concentraciones de cobre en el suelo están por debajo del límite establecido por la normativa (63 mg/kg), lo que sugiere que no representan una amenaza para el recurso. Se observa que, aunque las concentraciones iniciales de cobre estaban dentro de los límites aceptables, los tratamientos con bagazo de palma sí afectaron los resultados. Puesto que, en todos los casos se registró una disminución en las concentraciones de cobre, destacándose especialmente en el tratamiento M-A, donde se alcanzaron niveles finales promedio de 4.1683 mg/kg.

Tabla 4-7: Resultados finales del Cobre

CRITERIOS DE REMEDIACIÓN SUELO AGRÍCOLA				
Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados del laboratorio	Interpretación
G-A1	mg/kg	63	5,0742	CUMPLE
G-A2	mg/kg	63	4,6842	CUMPLE

G-B1	mg/kg	63	2,9595	CUMPLE
G-B2	mg/kg	63	5,8255	CUMPLE
O-A1	mg/kg	63	5,0807	CUMPLE
O-A2	mg/kg	63	5,9405	CUMPLE
O-B1	mg/kg	63	4,1955	CUMPLE
O-B2	mg/kg	63	6,7754	CUMPLE
M-A1	mg/kg	63	3,7347	CUMPLE
M-A2	mg/kg	63	4,6018	CUMPLE
M-B1	mg/kg	63	5,7463	CUMPLE
M-B2	mg/kg	63	5,5641	CUMPLE
ST	mg/kg	63	7,4075	CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.1.3 Porcentaje de remoción de metales

Los valores presentados en la **tabla 4-8** representan las concentraciones finales de los metales en las distintas muestras sometidas a los tratamientos. Seguidos de los porcentajes de remoción presentados en la **Tabla 4-9**.

Tabla 4-8: Resultados finales de Metales Pesados

Tratamientos	Cd	Níquel	Cu	Pb
G-A1	0,0631	8,3035	5,0742	21,3872
G-A2	0,0839	8,2576	4,6842	20,892
G-B1	0,1056	8,9875	2,9595	19,6975
G-B2	0,0366	8,7564	5,8255	21,0371
O-A1	0,1030	7,8958	5,0807	20,9127
O-A2	0,0366	7,4978	5,9405	20,4045
O-B1	0,0554	7,9578	4,1955	20,7501
O-B2	0,0653	8,4897	6,7754	23,2938
M-A1	0,0858	8,4859	3,7347	24,0589
M-A2	0,0561	8,4958	4,6018	23,9924
M-B1	0,0724	6,6979	5,7463	23,4391
M-B2	0,1001	6,5979	5,5641	21,3513

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

A continuación, en la **Tabla 4-9** se presenta el porcentaje de remoción de los metales en cada tratamiento. Se obtuvo un valor de remoción para cada tratamiento mediante el cálculo de la media del porcentaje de remoción de las dos repeticiones correspondientes a cada tratamiento.

Tabla 4-9: Porcentaje de remoción de metales con los tratamientos

Tratamientos	Cadmio %	Níquel %	Cobre %	Plomo %
G-A	77	16	34	16
G-B	78	10	41	19
O-A	78	22	26	18
O-B	81	17	26	12
M-A	78	14	44	4
M-B	73	33	24	11

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

En la **ilustración 4-10**, se observa que los distintos tratamientos destacaron por la remoción de cadmio. Alcanzando una eliminación de hasta el 81 % para este metal. En cuando al elemento níquel, el tratamiento M-B logró una eliminación del 33 %. Mientras que, para el Plomo, el tratamiento G-B resultó ser el más efectivo, con una eliminación del 19 %. Por último, el tratamiento M-A destacó en la remoción de cobre, eliminando el 44 % de concentración. Para determinar el tratamiento más eficiente, se realizó un análisis de varianza ANOVA, cuyos resultados se presentan en la sección de Análisis Estadísticos.

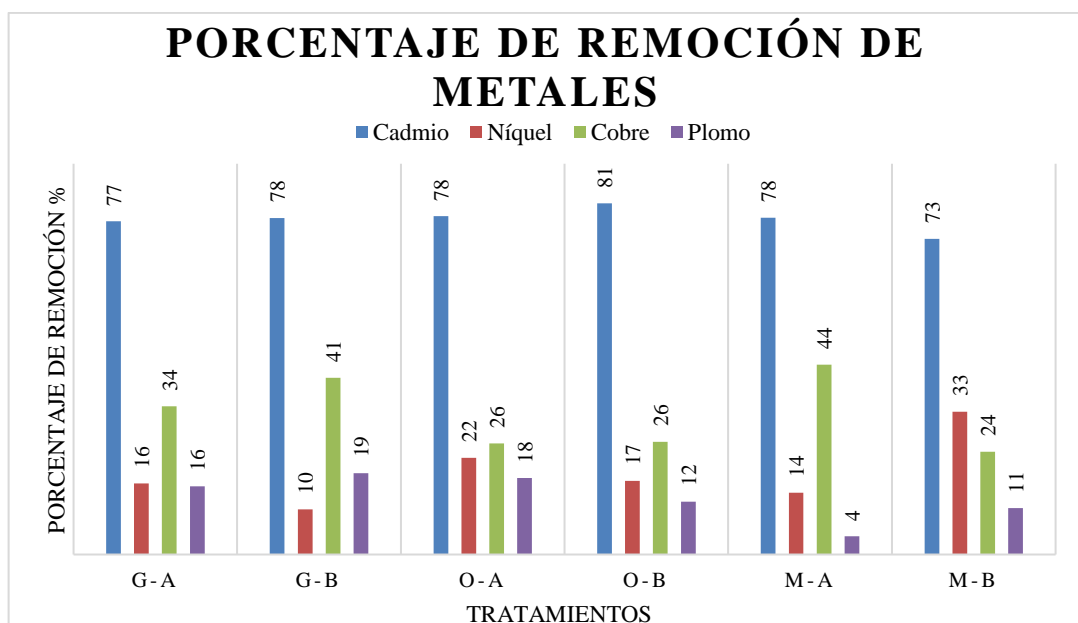


Ilustración 4-10: Porcentaje de remoción de metales

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.2 Macronutrientes y Micronutrientes

4.1.4.2.1 Macronutrientes:

-Sodio (Na):

Los resultados presentados en la **tabla 4-10** indican que las concentraciones de sodio están por debajo del valor óptimo establecido por el INIAP. Se observa que, en todos los casos, las muestras sometidas a tratamientos con bagazo de palma aceitera aumentaron las concentraciones de sodio, pero aún se mantienen por debajo del rango óptimo que oscila entre 115 y 230 mg/kg.

Tabla 4-10: Resultados finales de Sodio

MUESTRA	mg/kg	Valores de	
		referencia	Interpretación
		mg/kg	
G-A1	56,3932	115-230	BAJO
G-A2	79,8247	115-230	BAJO
G-B1	99,3512	115-230	BAJO
G-B2	54,0149	115-230	BAJO
O-A1	41,6031	115-230	BAJO
O-A2	37,4343	115-230	BAJO
O-B1	68,0404	115-230	BAJO
O-B2	63,5238	115-230	BAJO
M-A1	49,1111	115-230	BAJO
M-A2	69,8748	115-230	BAJO
M-B1	46,1365	115-230	BAJO
M-B2	73,1307	115-230	BAJO
ST	36,0154	115-230	BAJO

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Calcio (Ca):

Los datos presentados en la **tabla 4-11** reflejan que las muestras sometidas a los tratamientos presentaron cambios en sus concentraciones. E indican que las concentraciones de calcio están por debajo del valor óptimo establecido por el INIAP, que se sitúa entre 800 y 1600 mg/kg.

Tabla 4-11: Resultados finales de Calcio

MUESTRA	mg/kg	Valores de referencia mg/kg	Interpretación
G-A1	447,7618	800-1600	BAJO
G-A2	581,4317	800-1600	BAJO
G-B1	610,2456	800-1600	BAJO
G-B2	480,7093	800-1600	BAJO
O-A1	275,7798	800-1600	BAJO
O-A2	392,6333	800-1600	BAJO
O-B1	287,4142	800-1600	BAJO
O-B2	325,9026	800-1600	BAJO
M-A1	432,0469	800-1600	BAJO
M-A2	382,1856	800-1600	BAJO
M-B1	319,0933	800-1600	BAJO
M-B2	284,5141	800-1600	BAJO
ST	379,8923	800-1600	BAJO

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Magnesio (Mg):

Los resultados de la **tabla 4-12** indican que las concentraciones de magnesio están por debajo del valor óptimo establecido por el INIAP. Además, a pesar de que todos los tratamientos incrementaron las concentraciones en las muestras, aún se mantuvieron alejadas del valor óptimo (120 – 240 mg/kg). Es importante destacar que el pH del suelo puede influir en la disponibilidad de magnesio, ya que, en suelos ácidos, el magnesio es menos disponible (Gómez et al., 2021 págs. 1-17).

Tabla 4-12: Resultados finales de Magnesio

MUESTRA	mg/kg	Valores de referencia mg/kg	Interpretación
G-A1	26,6195	120-240	BAJO
G-A2	47,3237	120-240	BAJO
G-B1	37,2517	120-240	BAJO
G-B2	39,4511	120-240	BAJO

O-A1	37,2517	120-240	BAJO
O-A2	36,5503	120-240	BAJO
O-B1	41,5477	120-240	BAJO
O-B2	42,0735	120-240	BAJO
M-A1	35,4028	120-240	BAJO
M-A2	40,4717	120-240	BAJO
M-B1	40,0792	120-240	BAJO
M-B2	40,2548	120-240	BAJO
ST	14,4573	120-240	BAJO

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Potasio (K):

Los resultados de la **tabla 4-13** revelan que las muestras se encontraron dentro del nivel óptimo, que se sitúa entre 78 y 156 mg/kg. En promedio, los tratamientos O-B y M-B incrementaron las concentraciones, mientras que los tratamientos G-A1, O-A1, G-B1 y M-A1 las redujeron.

Tabla 4-13: Resultados finales de Potasio

MUESTRA	mg/kg	Valores de	
		referencia	Interpretación
G-A1	97,9256	78-156	ÓPTIMO
G-A2	156,6591	78-156	ÓPTIMO
G-B1	101,6925	78-156	ÓPTIMO
G-B2	126,0816	78-156	ÓPTIMO
O-A1	97,1426	78-156	ÓPTIMO
O-A2	109,5843	78-156	ÓPTIMO
O-B1	130,3408	78-156	ÓPTIMO
O-B2	185,0681	78-156	ÓPTIMO
M-A1	93,00371	78-156	ÓPTIMO
M-A2	141,2877	78-156	ÓPTIMO
M-B1	176,2891	78-156	ÓPTIMO
M-B2	141,2877	78-156	ÓPTIMO
ST	132,0147	78-156	ÓPTIMO

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.2.2 Micronutrientes:

-Hierro (Fe):

Los resultados de la **tabla 4-14** indican que las concentraciones de hierro superan el valor óptimo establecido por el INIAP. Así mismo se evidencia que las concentraciones se vieron alteradas por los distintos tratamientos. Y se destaca el tratamiento G-B, por alcanzar niveles de 157,2814 mg/kg (promedio). Los altos niveles de hierro pueden estar asociados con la acidez del suelo, ya que, en promedio las muestras de suelo registraron un pH de 4.35 (Mahender et al., 2019 págs. 16-17).

Tabla 4-14: Resultados finales de Hierro

MUESTRA	mg/kg	Valores de	Interpretación
		referencia	
		mg/kg	
G-A1	245,0626	20-40	ALTO
G-A2	245,0626	20-40	ALTO
G-B1	176,3136	20-40	ALTO
G-B2	138,2492	20-40	ALTO
O-A1	261,4297	20-40	ALTO
O-A2	267,2394	20-40	ALTO
O-B1	331,1328	20-40	ALTO
O-B2	207,9619	20-40	ALTO
M-A1	358,4524	20-40	ALTO
M-A2	171,4578	20-40	ALTO
M-B1	245,9111	20-40	ALTO
M-B2	298,1699	20-40	ALTO
ST	252,3036	20-40	ALTO

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Manganeso (Mn):

Los resultados de la **tabla 4-15** indican que las concentraciones de manganeso superan el valor de referencia establecido por el INIAP. Se observa que las muestras sometidas a los tratamientos aumentaron sus concentraciones, alejándose del rango óptimo, que se sitúa entre 5 y 15 mg/kg. Al igual que el hierro, el manganeso tiende a estar más disponible en suelos ácidos, lo que sugiere una posible asociación con el pH del suelo (Mahender et al., 2019 págs. 16-17).

Tabla 4-15: Resultados finales de Manganeso

MUESTRA	mg/kg	Valores de	
		referencia	Interpretación
G-A1	40,2824	5-15	ALTO
G-A2	30,5134	5-15	ALTO
G-B1	23,6899	5-15	ALTO
G-B2	42,4068	5-15	ALTO
O-A1	39,4000	5-15	ALTO
O-A2	43,6017	5-15	ALTO
O-B1	30,0010	5-15	ALTO
O-B2	54,6729	5-15	ALTO
M-A1	26,8856	5-15	ALTO
M-A2	40,8983	5-15	ALTO
M-B1	42,6591	5-15	ALTO
M-B2	37,6662	5-15	ALTO
ST	10,4337	5-15	ÓPTIMO

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Zinc:

Los resultados de la **tabla 4-16** muestran que las concentraciones de zinc están dentro del límite establecido por la normativa (200 mg/kg). Además, se observa que todos los tratamientos lograron disminuir sus concentraciones, destacándose el tratamiento G-A por alcanzar niveles finales de 3,13145 mg/kg (promedio). Es importante destacar que, aunque el zinc es necesario para el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas, su acumulación excesiva puede resultar perjudicial, convirtiéndose en una sustancia tóxica (Lizcano, 2020, págs. 1-63).

Tabla 4-16: Resultados finales de Zinc

CRITERIOS DE REMEDIACIÓN SUELO AGRÍCOLA- ZINC				
Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados del laboratorio	Interpretación
G-A1	mg/kg	200	3,3016	CUMPLE
G-A2	mg/kg	200	2,9613	CUMPLE
G-B1	mg/kg	200	2,3364	CUMPLE
G-B2	mg/kg	200	4,6084	CUMPLE
O-A1	mg/kg	200	4,5014	CUMPLE

O-A2	mg/kg	200	5,0133	CUMPLE
O-B1	mg/kg	200	2,7772	CUMPLE
O-B2	mg/kg	200	4,6264	CUMPLE
M-A1	mg/kg	200	2,5980	CUMPLE
M-A2	mg/kg	200	4,3906	CUMPLE
M-B1	mg/kg	200	3,6685	CUMPLE
M-B2	mg/kg	200	3,8503	CUMPLE
ST	mg/kg	200	6,9106	CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.2.3 Concentraciones finales de cada elemento en las distintas muestras

En la **tabla 4-17** se presentan las concentraciones finales de los macronutrientes y micronutrientes de las muestras que fueron sometidas a los distintos tratamientos.

Tabla 4-17: Resultados finales de Macronutrientes y Micronutrientes

ELEMENTO	Fe	Mn	Na	Ca	Mg	K	Zn	Cu
MUESTRA	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
G-A1	245,0626	40,2824	56,3932	447,7618	26,6195	97,9256	3,3016	5,0742
G-A2	176,3136	30,5134	79,8247	581,4317	47,3237	156,6591	2,9613	4,6842
G-B1	138,2492	23,6899	99,3512	610,2456	37,2517	101,6925	2,3364	2,9595
G-B2	261,4297	42,4068	54,0149	480,7093	39,4511	126,0816	4,6084	5,8255
O-A1	267,2394	39,4000	41,6031	275,7798	37,2517	97,1426	4,5014	5,0807
O-A2	331,1328	43,6017	37,4343	392,6333	36,5503	109,5843	5,0133	5,9405
O-B1	207,9619	30,0010	68,0404	287,4142	41,5477	130,3408	2,7772	4,1955
O-B2	358,4524	54,6729	63,5238	325,9026	42,0735	185,0681	4,6264	6,7754
M-A1	171,4578	26,8856	49,1111	432,0469	35,4028	93,00371	2,5980	3,7347
M-A2	245,9111	40,8983	69,8748	382,1856	40,4717	141,2877	4,3906	4,6018
M-B1	298,1699	42,6591	46,1365	319,0933	40,0792	176,2891	3,6685	5,7463
M-B2	252,3036	37,6662	73,1307	284,5141	40,2548	141,2877	3,8503	5,5641
ST	213,1292	10,4337	36,0154	379,8923	14,4573	132,0147	6,9106	7,4075

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

En la **ilustración 4-11** se evidencia que, en cuanto a los macronutrientes, los distintos tratamientos presentaron una secuencia en las concentraciones. Siendo superiores las de calcio, seguidas de las de potasio, sodio y por último las de Magnesio. El tratamiento G-B fue el que destacó al aumentar la concentración de calcio a 545,48 mg/kg. Mientras que el magnesio en todos los tratamientos presentó un incremento. El tratamiento G-B fue el que más incremento la concentración de sodio,

con un valor final de 76,68 mg/kg. Y, por último, los tratamientos O-B y M-B destacaron al aumentar las concentraciones de potasio a 157,70 mg/kg y 158,79 mg/kg respectivamente.

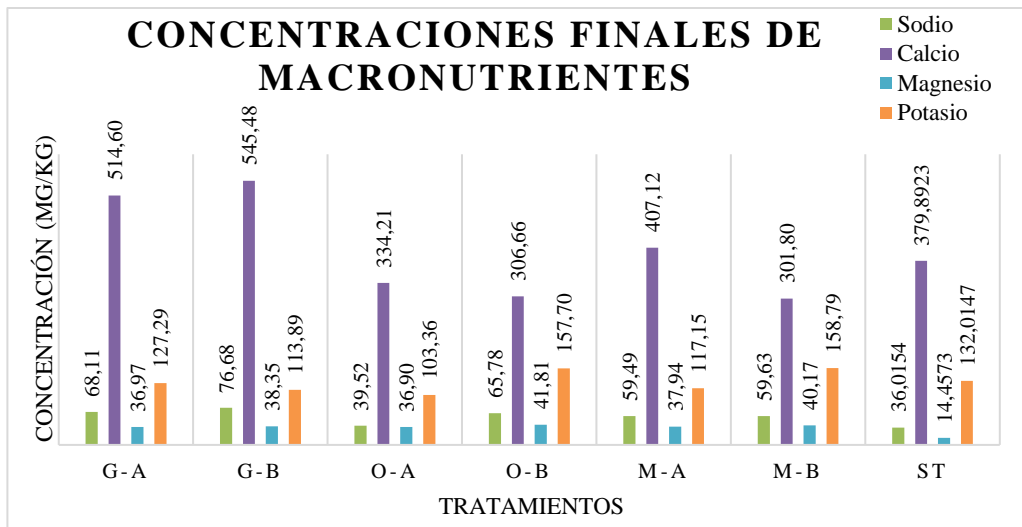


Ilustración 4-11: Concentraciones finales de Macronutrientes

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

En la **ilustración 4-12** se puede apreciar que el tratamiento O-A fue el que más incremento las concentraciones de hierro, con un valor de 299,19 mg/kg. Mientras que los tratamientos G-A, G-B y M-A las redujeron. En cuanto al manganeso el tratamiento O-A destacó al incrementar su concentración a 41,50085 mg/kg. Respecto al zinc, los tratamientos presentaron una reducción similar, promediando un valor final de 3,71945 mg/kg.

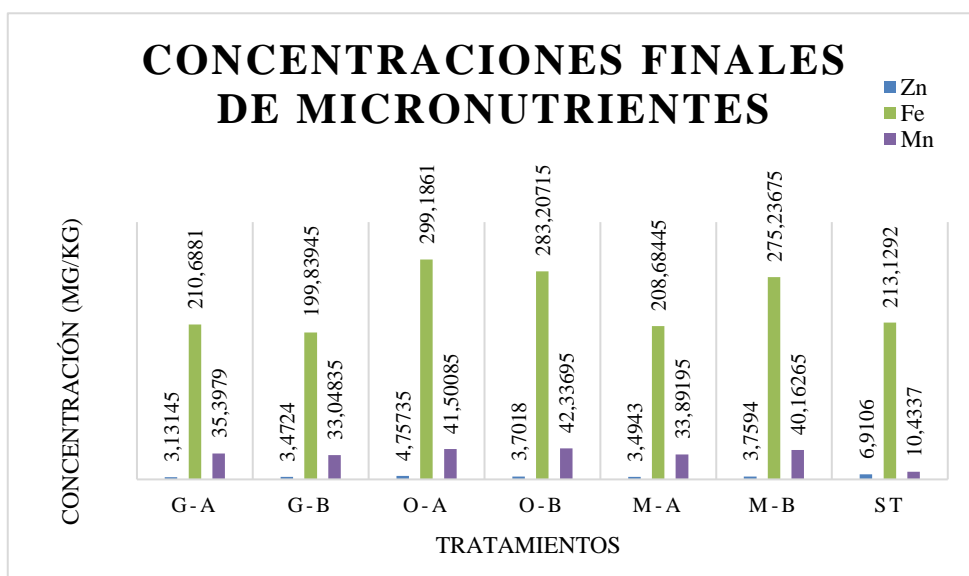


Ilustración 4-12: Concentraciones finales de Micronutrientes

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.3 Conductividad, pH e Índice SAR

4.1.4.3.1 Conductividad (Ce):

En la **tabla 4-18** se observa que la medida inicial de conductividad eléctrica fue notoriamente mayor (15.480 uS/m) que los valores establecidos por la normativa. No obstante, los valores de las muestras sometidas a los tratamientos presentaron una gran disminución, reduciendo sus niveles en más de 10 veces. Dado que la CE final de los suelos está por debajo de 4.000 uS/m, se clasifican como sódicos (Panzardi et al., 2020 págs. 1-4).

Tabla 4-18: Resultados Finales de Conductividad eléctrica

Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados del laboratorio	Interpretación
G-A1	uS/m	200	1.723	NO CUMPLE
G-A2	uS/m	200	1.951	NO CUMPLE
G-B1	uS/m	200	1.708	NO CUMPLE
G-B2	uS/m	200	2.068	NO CUMPLE
O-A1	uS/m	200	1.749	NO CUMPLE
O-A2	uS/m	200	1.623	NO CUMPLE
O-B1	uS/m	200	1.944	NO CUMPLE
O-B2	uS/m	200	1.237	NO CUMPLE
M-A1	uS/m	200	1.217	NO CUMPLE
M-A2	uS/m	200	1.189	NO CUMPLE
M-B1	uS/m	200	1.257	NO CUMPLE
M-B2	uS/m	200	1.496	NO CUMPLE
ST	uS/m	200	15.480	NO CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.3.2 pH

La **tabla 4-19** demuestra que, en todas las muestras los valores de pH presentaron una pérdida de 2 unidades frente a la muestra inicial. Así mismo las muestras de suelo presentaron un pH inferior a 5, clasificándose como ácidas (Delgado, 2023, págs. 13-21). Las altas concentraciones de Ca y Mg en las muestras de suelos se asocian con la disminución del pH, debido a que los iones hidrógeno compiten por los sitios de intercambio catiónico de las partículas, promoviendo la formación de sales básicas como carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio (Hurtado, 2023, págs. 8-13).

Tabla 4-19: Resultados finales de pH

Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados del laboratorio	Interpretación
G-A1	-	6 a 8	4,28	NO CUMPLE
G-A2	-	6 a 8	4,27	NO CUMPLE
G-B1	-	6 a 8	4,41	NO CUMPLE
G-B2	-	6 a 8	4,44	NO CUMPLE
O-A1	-	6 a 8	4,41	NO CUMPLE
O-A2	-	6 a 8	4,34	NO CUMPLE
O-B1	-	6 a 8	4,29	NO CUMPLE
O-B2	-	6 a 8	4,11	NO CUMPLE
M-A1	-	6 a 8	4,52	NO CUMPLE
M-A2	-	6 a 8	4,34	NO CUMPLE
M-B1	-	6 a 8	4,28	NO CUMPLE
M-B2	-	6 a 8	4,47	NO CUMPLE
ST	-	6 a 8	6,48	CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.3.3 Índice SAR:

Los resultados revelaron que a pesar de que todos los tratamientos incrementaron las concentraciones de SAR, todas las muestras se encuentran dentro del valor de referencia. Los valores más altos de SAR se consiguieron con el tratamiento M-B2 (4,1899) y G-B1 (3,9617). Mientras que el valor más bajo se obtuvo con el del tratamiento O-A2 (1,8467).

Tabla 4-20: Resultados finales del índice SAR

Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados	Interpretación
G-A1	-	5	2,5448	CUMPLE
G-A2	-	5	3,2450	CUMPLE
G-B1	-	5	3,9617	CUMPLE
G-B2	-	5	2,4147	CUMPLE
O-A1	-	5	2,4246	CUMPLE
O-A2	-	5	1,8467	CUMPLE
O-B1	-	5	3,8757	CUMPLE

O-B2	-	5	3,4104	CUMPLE
M-A1	-	5	2,3157	CUMPLE
M-A2	-	5	3,4104	CUMPLE
M-B1	-	5	2,5052	CUMPLE
M-B2	-	5	4,1899	CUMPLE
ST	-	5	1,5327	CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.4 TPH

En la **tabla 4-21** se identifica que todas las muestras sometidas a los distintos tratamientos tuvieron una reducción en las concentraciones de TPH, pero siguen estando por encima del valor de referencia. Además, se destaca el tratamiento G-B al eliminar el 56% de este contaminante.

Tabla 4-21: Resultados finales de TPH

Muestras	Unidad	Valores de referencia	Resultados del laboratorio	Interpretación
G-A1	mg/kg	150	3.877,737226	NO CUMPLE
G-A2	mg/kg	150	3.519,089857	NO CUMPLE
G-B1	mg/kg	150	3.392,497173	NO CUMPLE
G-B2	mg/kg	150	3.048,930416	NO CUMPLE
O-A1	mg/kg	150	4.086,656819	NO CUMPLE
O-A2	mg/kg	150	4.253,615573	NO CUMPLE
O-B1	mg/kg	150	4.435,130130	NO CUMPLE
O-B2	mg/kg	150	5.813,953488	NO CUMPLE
M-A1	mg/kg	150	4.843,487804	NO CUMPLE
M-A2	mg/kg	150	3.675,569713	NO CUMPLE
M-B1	mg/kg	150	4.963,137860	NO CUMPLE
M-B2	mg/kg	150	4.244,058318	NO CUMPLE
ST	mg/kg	150	7.358,471843	NO CUMPLE

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.4.1 Porcentaje de remoción de TPH

Para determinar el tratamiento más eficiente en la remoción de TPH se analizaron los porcentajes

de remoción de la **tabla 4-22** en un análisis estadístico ANOVA que se presenta en la sección de Análisis Estadístico. Para calcular este porcentaje se calculó una media entre los valores de remoción de las dos repeticiones de cada tratamiento y se obtuvo un valor para cada tratamiento.

Tabla 4-22: Remoción de TPH

Tratamientos	Porcentaje de Remoción
G-A	49,74%
G-B	56,23%
O-A	43,33%
O-B	30,36%
M-A	42,11%
M-B	37,45%

Realizado por: Prado S y Zurita M., 2024.

La siguiente **ilustración 4- 13** corresponde al porcentaje de remoción de TPH para cada tratamiento. El tratamiento con mayor porcentaje de remoción de hidrocarburos fue G-B (bagazo de palma *Elaeis guineensis*) con un 56.23 %. Además de destacarse los tratamientos con este bagazo al obtener mejores resultados de remoción que los tratamientos con el bagazo de la palma *Elaeis oleífera*. Por otro lado, los tratamientos con la mezcla de los bagazos de las palmas tuvieron un rendimiento intermedio comparado con los dos tipos de bagazo por separado.

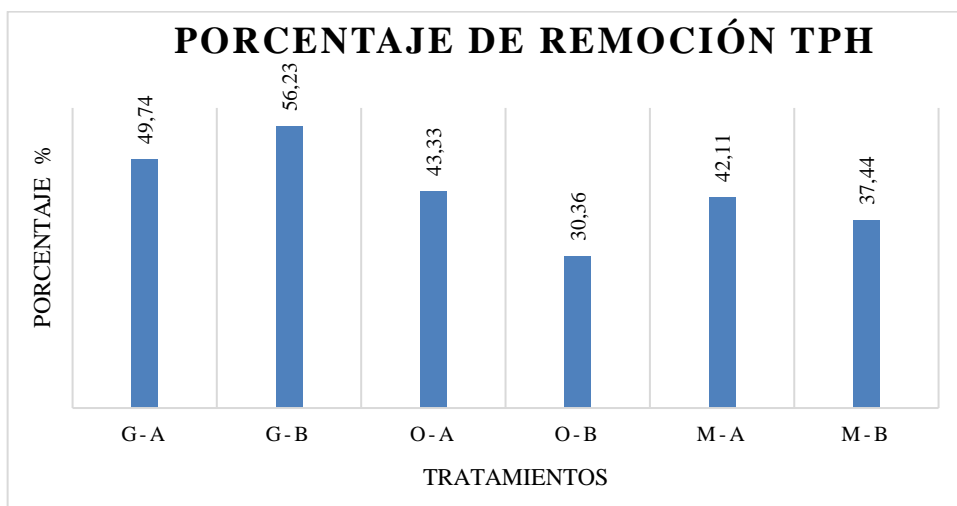


Ilustración 4-13: Porcentaje de Remoción TPH

Realizado por: Prado S y Zurita M., 2024.

4.1.4.5 Análisis Estadístico

Los siguientes análisis estadísticos se desarrollaron para determinar la eficiencia de los distintos tratamientos en la remediación de suelos contaminados. Para ello, se analizó el porcentaje de remoción de Cd, Ni, Pb, Cu y TPH. A continuación, en la **tabla 4-24** se detallan los distintos tratamientos que se analizaron en el programa IBM SPSS Statistics Versión 27.

Tabla 4-23: Tratamientos procesados en SPSS

		Etiqueta de valor	N repeticiones
Tratamientos	1,00	GA	2
	2,00	GB	2
	3,00	OA	2
	4,00	OB	2
	5,00	MA	2
	6,00	MB	2

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.5.1 Resultados

Se procedió a realizar una prueba de varianzas múltiples (ANOVA) para Cd, Ni, Pb, Cu y TPH. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4-24: ANOVA de las Variables Dependientes

Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig (p)
Cadmio	69,472	5	13,894	0,147	0,974
Níquel	621,086	5	124,217	28,850	< 0,001
Cobre	728,737	5	145,747	0,580	0,717
Plomo	290,889	5	58,177	3,339	0,087
TPH	823,858	5	164,772	2,639	0,135

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.5.2 Interpretación Cadmio, Cobre, Plomo y TPH:

Estadísticamente el efecto de los tratamientos fue no significativo ($p > 0,05$), por lo que los distintos tratamientos no presentaron diferencias en los resultados de remoción de Cadmio, Cobre, Plomo y TPH. Además, se aceptó la hipótesis de igualdad de medias (H_0) y se concluyó que la remoción de estos elementos fue similar en todos los tratamientos. Para finalizar, se realizó el método Tukey para comparar las medias individuales provenientes del análisis de varianza ANOVA de las distintas muestras sometidas a tratamientos (Herzog et al., 2019 págs. 67-82). Y se obtuvo lo siguiente:

-Cadmio: aunque la remoción de cadmio fue mayor con el tratamiento O-B, estadísticamente todas las medias de remoción de los distintos tratamientos son iguales.

Tabla 4-25: TUKEY - Cadmio

Tratamientos	N	Subconjunto 1
MB	2	72,7200
GA	2	76,7500
GB	2	77,5100
MA	2	77,5550
OA	2	77,9200
OB	2	80,9050
Sig.		,948

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Plomo: estadísticamente todas las medias de remoción de los distintos tratamientos son iguales.

Tabla 4-26: TUKEY - Plomo

tratamiento	N	Subconjunto 1
MA	2	4,1650
MB	2	10,6650
OB	2	12,1550
GA	2	15,6750
OA	2	17,5950
GB	2	18,7550
Sig.		,084

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-Cobre: estadísticamente todas las medias de remoción de los distintos tratamientos son iguales.

Tabla 4-27: TUKEY – Cobre

Tratamiento	N	Subconjunto
		1
MB	2	23,6500
OA	2	25,6050
OB	2	25,9450
GA	2	34,1250
GB	2	40,6950
MA	2	43,7250
Sig.		,793

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

-**TPH:** se demostró que todas las medias de remoción de los distintos tratamientos son similares.

Tabla 4-28: TUKEY - TPH

TRATAMIENTO	N	Subconjunto
		1
OB	2	30,3500
MB	2	37,4350
MA	2	42,1050
OA	2	43,3250
GA	2	49,7350
GB	2	56,2250
Sig.		,108

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.1.4.5.3 Interpretación Níquel:

Estadísticamente el efecto de los tratamientos fue significativo ($p < 0,05$) por lo que al menos uno de los tratamientos presentó diferencias en los resultados de remoción de Níquel. Además, se aceptó la hipótesis alternativa (H_a) y se concluyó que al menos una de las medias de los tratamientos es diferente. De la misma forma, se empleó el método Tukey para comparar las medias individuales provenientes del análisis de varianza ANOVA. Y se comprobó que

estadísticamente la media del tratamiento M-B es distinta por lo que tuvo mayor nivel de remoción. Comprobando que al menos una de las medias es distinta.

Tabla 4-29: TUKEY - Níquel

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
GB	2	10,3850		
MA	2	14,2400		
GA	2	16,3600	16,3600	
OB	2	16,9350	16,9350	
OA	2		22,2600	
MB	2			32,8550

Realizado por: Prado S & Zurita M., 2024.

4.2 Discusión

Cumpliendo con el objetivo de esta investigación se analizó el suelo contaminado con TPH, mediante una caracterización fisicoquímica de metales como cadmio, níquel, plomo y cobre, llevada a cabo mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica. Así mismo, análisis de la concentración de hidrocarburos totales de petróleo mediante gravimetría. Además, se realizaron análisis de macronutrientes como sodio, potasio, calcio y magnesio, y, de micronutrientes como hierro, manganeso y zinc. También se evaluaron parámetros como el pH, la conductividad eléctrica del suelo y el índice SAR. Todos estos parámetros, influyentes para determinar la eficiencia del bagazo de las palmas aceiteras tras aplicar los distintos tratamientos.

En la caracterización de los bagazos de las 2 palmas aceiteras, se determinó una consistencia en las concentraciones de celulosa y holocelulosa entre las dos variedades, lo que indicó una similitud en la composición de estos componentes celulósicos. Sin embargo, se identificó una diferencia en el contenido de lignina, con un porcentaje de 44,035 % en el bagazo de *Elaeis guineensis*, mientras que el bagazo de la *Elaeis oleífera* registró un porcentaje menor de 41,238 %. Los valores de contenido de celulosa se encontraron dentro de los rangos citados en un estudio sobre el bagazo de las palmas aceiteras, donde se menciona que las concentraciones oscilaron entre el 23,7 % y el 65 % (Sukmasari et al., 2022 pág. 3). Mientras que los resultados de lignina son marcadamente superiores a los mencionados por otros estudios sobre bagazo de palma aceitera, donde se reportaron concentraciones de 22,6 % (Jirón et al., 2022 págs. 167-181) y de 30,8 % (Vargas et al., 2022 págs.1-17).

Al aplicar el bagazo de las palmas aceiteras se pretendió determinar su eficiencia para remediar suelos contaminados. Partiendo de resultados favorables de la aplicación del mismo residuo, pero de otras especies vegetales. Un estudio realizado para determinar la eficiencia del uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelos contaminados tuvo resultados positivos, logrando reducir el 37 % de este contaminante en un lapso de 15 días usando la proporción 96:4 y adicionando los macronutrientes carbono, nitrógeno y fósforo (García et al., 2011 págs. 31-39). Mientras que, en este proyecto de investigación con la aplicación del bagazo de palma en el tratamiento G-B se logró un porcentaje de remoción del 56 % para TPH en un lapso de 20 días usando la misma proporción y sin la adición de macronutrientes.

Mediante los análisis estadísticos de los metales y TPH en el software SPSS, se observó que los porcentajes de remoción entre los distintos tratamientos fueron similares. Indicando que no hubo diferencias entre los efectos de los tratamientos en la remoción de TPH y metales del suelo contaminado. Además de sugerir que ambas especies de bagazo tienen un potencial similar para la remediación de suelos contaminados con TPH. Y evidenciando que el bagazo de palmas aceiteras, independientemente de la especie, puede emplearse en procesos de remediación.

Por otro lado, si bien los efectos de los tratamientos son similares en cuanto a la remoción de TPH, el tratamiento G-B sobresalió al lograr una eliminación del 56 % de este contaminante. Este resultado se atribuye presumiblemente al mayor contenido de lignina presente en el bagazo asociado con dicho tratamiento. Puesto que, la lignina provee a las plantas de resistencia a la degradación y a su vez favorece el tiempo de vida del sustrato que aprovechan los microorganismos descomponedores de hidrocarburos en el suelo (Maceda et al., 2021 págs. 1-16). Además de estimular la actividad microbiana y, por lo tanto, aumentar la degradación de los hidrocarburos (Ojeda et al., 2023 págs. 1-18). Adicional, la presencia de lignina, celulosa y la holocelulosa en los bagazos, se relaciona con la disminución de las concentraciones de los metales que tuvieron las muestras al someterse a los tratamientos. Puesto que estos polímeros se destacan por poseer grupos hidroxilos y fenólicos que favorecen la absorción de metales (Tovar et al., 2015 págs. 1-18).

Así mismo, en suelos agrícolas los nutrientes desempeñan roles vitales en los procesos bioquímicos, influyendo en el desarrollo de plantas y en la resistencia de enfermedades. Por lo que no es de extrañarse que tengan gran disponibilidad (López et al., 2020 págs. 1-21). A excepción del zinc los micronutrientes hierro y manganeso tuvieron un mayor incremento en sus concentraciones después de la aplicación de los tratamientos con bagazo de palmas. Y esto puede deberse a que son esenciales en los procesos metabólicos y en la activación de enzimas

antioxidantes en los organismos del suelo (Echeverría et al., 2023 págs. 1-19 Por otro lado (Briceño, 2020), menciona que las concentraciones elevadas de estos elementos son habituales en suelos agrícolas y no representan efectos negativos (pág. 5). Mientras que el zinc en cantidades mínimas no representa efectos adversos en el crecimiento de las plantas (Galeano et al., 2023 págs. 1-7).

El bagazo de palmas fue un factor influyente para los cambios de pH en las muestras de suelo (Tovar et al., 2015 págs.1-18). Puesto que, puede generar ácidos orgánicos durante su descomposición. Además, la descomposición de la materia orgánica estimula la actividad microbiana en el suelo y aumenta la producción de ácidos, mientras disminuye el pH (Zhang, 2022, págs. 1-3.) En cuanto a la conductividad eléctrica (CE) del suelo, se ha observado una tendencia hacia la disminución asociada con la adición de materiales orgánicos como el bagazo de palmas (Ladino y Arias, 2019, pág. 1). Este efecto puede explicarse por el consumo de iones presentes en la solución del suelo durante el proceso de descomposición del bagazo, lo que resulta en una reducción de los niveles de CE (Soriano, 2018, págs. 5-8). Por lo tanto, estos hallazgos indican una relación directa entre la adición de los bagazos al suelo y los cambios resultantes tanto en el pH como en la CE.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La caracterización inicial del suelo contaminado con TPH en la Parroquia San Luis de Armenia reveló que el suelo inicial se encontraba contaminado, puesto que sus concentraciones eran las siguientes: TPH (7.358,471843 mg/kg), CE (15.480 uS/m) y pH (6,48). Los metales pesados presentaron las siguientes concentraciones: cadmio (0,3162 mg/kg), níquel (9,9009 mg/kg), plomo (25,0706 mg/kg), y cobre (7,4075 mg/kg). Así mismo, se determinaron las concentraciones del índice SAR (1,5327), la de los macronutrientes: sodio (36,0154 mg/kg), potasio (132,0147 mg/kg), calcio (379,8923 mg/kg), y magnesio (14,4573 mg/kg). Y, por último, la de los micronutrientes: hierro (252,3036 mg/kg), manganeso (10,4337 mg/kg), y zinc (6,9106 mg/kg).

La determinación del contenido de lignina, celulosa y holocelulosa en el bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* proporcionó información importante sobre la composición química de estos residuos vegetales. Dado que la lignina fue el componente que presentó mayor diferencia en los porcentajes de concentración, con un 2,807 % a favor del bagazo *Elaeis guineensis*. Se pudo comprender la interacción de los bagazos con la remediación del suelo. Y se asoció esta diferencia con la eficiencia que tuvieron los tratamientos.

La aplicación del bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* en suelos contaminados con TPH ha demostrado ser una estrategia altamente prometedora para remediar la contaminación. Al destacar que el bagazo de palma es un recurso fácilmente disponible y un residuo subutilizado, que ofrece beneficios significativos para el suelo debido a sus propiedades de degradación de TPH y metales pesados. Este proceso de remediación, completado en 20 días, es adecuado ya que, confirmado con los resultados de los objetivos 1 y 4 los hallazgos respaldan la eficiencia y viabilidad de utilizar el bagazo de palma como una solución sostenible para abordar la contaminación del suelo por hidrocarburos totales de petróleo.

Tras determinar la eficiencia del bagazo de las palmas aceiteras *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleífera* para remediar el suelo contaminado con TPH, se concluyó que ambos bagazos poseen características químicas similares por lo que los niveles de remoción se asemejan en los distintos tratamientos. Esto se asocia con los resultados estadísticos, donde se concluyó que no hubo diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos en la remoción de TPH y metales

del suelo contaminado. Sin embargo, algunos tratamientos mostraron resultados destacables en la remoción de metales. Por ejemplo, el tratamiento O-B removió el 81 % de la concentración inicial de cadmio, el tratamiento M-B el 33 % de níquel, el tratamiento G-B el 19 % de plomo. Y, por último, el tratamiento G-B logró reducir el 56 % de la concentración inicial de TPH.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda llevar a cabo una caracterización fisicoquímica inicial y final del suelo a estudiarse. Puesto que es esencial para comprender la evolución del contaminante en sus propiedades y características. Además de facilitar la determinación de la eficiencia de los tratamientos que se apliquen.

Se sugiere siempre llevar a cabo la caracterización de las fibras vegetales o componentes que se apliquen en los distintos tratamientos. Con la finalidad de identificar la composición de estos sustratos y comprender su eficiencia.

Se recomienda que en la aplicación de los tratamientos y durante el tiempo de estudio, se consideren los factores climáticos para evitar errores en la representatividad del muestreo. Al igual que la temperatura ambiental ya que puede influir en los procesos biológicos. La atención de estos factores contribuirá a minimizar posibles errores en la interpretación de resultados.

Se sugiere la generación de un mayor número de repeticiones por tratamiento. Con el fin de brindar una representación más completa de la eficiencia del tratamiento. Además, de generar un enfoque más robusto para la confiabilidad de datos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACUERDO MINISTERIAL 097-A.** *Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial suplemento: 2*
2. **ACUÑA, Adrián et al.** “Impacto sobre la biota microbiana del suelo por contaminantes provenientes de estaciones de servicio”. *Revista Peruana De Biología* [en línea], 2020, (Argentina), vol. 27, (3), págs. 2-5. [Consulta: 16 octubre 2023]. ISSN 1561-0837. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332020000300417
3. **ALVARADO.** *Ecuador cumplió 50 años de derrames petroleros y oleoductos sin mantenimiento.* [blog]. Orellana: Multiplica, 2022. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://revistagestion.ec/analisis-economia-y-finanzas/ecuador-cumplio-50-anos-de-derrames-petroleros-y-oleoductos-sin/>
4. **AQUINO ZAMBRANO, Karen Lissette & FRANCO TIGUA, Carlos Geovanny.** Biorremediación de suelo degradado por pesticida a partir de un sustrato (Biochar inoculado con microorganismos eficientes y lixiviados (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil-Ecuador. 2020. págs. 44-50.
5. **ARÉVALO, Arturo.** Capacidad productiva de una Astilladora Mecánica en la Conversión de Estípite de *Elaeis guineensis* jacq (Palma aceitera) de Renovación en astillas en Campo Verde - Pucallpa. [en línea]. (Trabajo de titulación) (ingeniería). Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa-Perú. 2023. págs. 1-62. [Consulta: 2014-02-23]. Disponible en: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/6345>
6. **ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA DEL ECUADOR-AIHE.** *El petróleo en cifras 2022*, [en línea]. 13a ed. Quito-Ecuador: El Conejo, 2022. [Consulta: 19 de noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.aihe.org.ec/wp-content/uploads/2023/04/CIFRAS-PETROLEO-EN-CIFRAS-2022.pdf>
7. **ASTM D1104-56.** *Method of test for Holocellulose in wood Annual book of ASTM standards. Part: 22:* (American Society for Testing and Materials).
8. **BAIRD, Rodger et al.** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [en línea]. 23^a ed. California-USA: American Water Works Association, 2017. [Consulta: 25 de enero]. Disponible en: <https://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>

9. **BANCO CENTRAL DEL ECUADOR.** *Reporte del sector Petrolero*. [blog]. Quito: BCE, 2022. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/330-hidrocarburos>
10. **BASTIDAS Silvio et al.** *Preguntas sobre palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq., palma *Nolí* *Elaeis oleífera* (Kunth) Cortés y los híbridos interespecíficos *Nolí x Palma de aceite* (*E. oleífera x E. guineensis*)* [en línea]. Bogotá-Colombia: Corpoica, 2013. [Consulta: 19 de enero 2024]. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/12614/66171_64853.pdf?sequence=1&isAllowed=y
11. **BRICEÑO, Jorge et al.** “Evaluación del contenido de metales en suelos y tejidos comestibles de *Allium fistulosum* L. cultivado en zonas cercanas al volcán Tungurahua”. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida* [en línea], 2020, (Ecuador), vol. 32(2), págs. 114-126. [Consulta: 25 octubre 2023]. ISSN 0692-1228. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4760/476064168009/html/>
12. **CASTELLANOS, Javier.** *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. [blog]. México: Intagri, 2000. [Consulta: 26 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manual-de-uso-del-yeso-agricola>
13. **CEDEÑO NOBLECILLA, Juan Carlos & MACAS ESPINOSA, Vinicio Xavier.** Detección de derrames de petróleo mediante inteligencia artificial basada en teledetección, en la zona exclusiva económica de Ecuador. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales. Guayaquil-Ecuador. 2022. págs. 3-8.
14. **CORZO, J. & JURACÁN, R.** “Elaboración de compost y su utilización en la fertilización del cultivo de palma de aceite”. *Grepalma* [en línea], 2020 (Colombia), vol. 17 (6), págs. 1-7. [Consulta: 15 de octubre 2023]. ISSN 163-171. Disponible en: <https://www.grepalma.org/biblioteca-virtual/publicaciones-tecnicas/boletin-tecnico-la-palma/>
15. **DELGADO, Jorge et al.** “Influencia de la dilución y concentración de los electrolitos en la medición del pH en suelos ácidos”. *Pakamuros* [en línea], 2023, (Perú), vol. 7 (2), págs. 13-21. [Consulta: 22 diciembre 2023]. ISSN 1590-7707. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339781959_Influencia_de_la_dilucion_y_concentracion_de_los_electrolitos_en_la_medicion_del_pH_en_suelos_acidos#fullTextFileContent.

16. **ECHEVERRÍA, Guillermo et al.** “Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo”. *ResearchGate* [en línea], 2023, (México), vol. 10 (1), págs. 7-9 [Consulta: 14 de enero 2024]. ISSN 2007-9559. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>
17. **EL-DIDAMONY, Hamdy et al.** “Synthesis and characterization of low cost nanosilica from sodium silicate solution and their applications in ceramic engobes”. *ScienceDirect*. [en línea], 2020, (Egyp). vol. 59 (1). págs. 31-43 [Consulta: 25 diciembre 2023]. ISSN 0366-3175. Disponible en: <https://www.elsevier.es/en-revista-boletin-sociedad-espanola-ceramica-vidrio-26-articulo-synthesis-characterization-low-cost-nanosilica-S0366317519300494>
18. **ESCOBAR, Jhon et al.** “Evaluación de la actividad de biodegradación de microorganismos en la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos”. *Respuestas* [en línea], 2020, (Colombia) vol. 25(2), págs.79-83. [Consulta: 20 diciembre 2023]. ISSN 2422-5053. Disponible en: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1939>.
19. **FERTIBERIA.** *El cultivo de la palma de aceite y sus características*. [blog]. España: Fertiberia, 2024. [Consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://www.fertiberia.com/el-cultivo-de-la-palma-de-aceite-y-sus-caracteristicas/>
20. **GADMFO.** *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial municipal de Francisco de Orellana*, [en línea]. Orellana-Ecuador: El Conejo, 2019. [Consulta 20 de enero 2024]. Disponible en: <https://www.orellana.gob.ec/docs/PDyOT%20GADMFO%202014-2019.pdf>
21. **GALEANO, Mirelly et al.** “Disponibilidad de Zinc en suelos de la región Oriental del Paraguay”. *Investigación Agraria* [en línea], 2023, (Paraguay), vol. 25(1), págs. 1-7. ISSN 1684-9086. Disponible en: http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2305-06832023000100019
22. **GARCÍA, Ronald et al.** “Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado”. *Scielo* [en línea], 2011, (México), vol. 45 (1), págs. 31-39. [Consulta: 15 de octubre 2023]. ISSN: 0188-4999. Disponible en: <https://www.mendeley.com/catalogue/b8337735-f275-3315-b1b2-7392ea42adb2/>
23. **GÓMEZ Carlos et al.** “Calidad y uso sustentable del suelo en el Valle del Monzón, Huánuco – Perú”. *Revista Latinoamericana De Difusión Científica* [En línea], 2021, (Perú), vol. 3 (5), págs. 1-17. [Consulta: 15 de enero 2024]. ISSN 2711-0494. Disponible en: <https://www.difusioncientifica.info/index.php/difusioncientifica/article/view/28>
24. **González, Cristián et al.** “Caracterización fisicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la

localidad de Chicavasco, estado de Hidalgo, México”. *South Florida Journal of Development*, [en línea], 2022, (México) vol.3(1), págs. 335-344. [Consulta: 02 enero 2024]. ISSN: 2675-45459 Disponible en: <https://ojs.southfloridapublishing>

25. **GOYA, Nelson.** Análisis de las estrategias para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (TPH). [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Guayaquil. Guayaquil- Ecuador. 2020. págs. 2-10. [Consulta: 2024-02-23]. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/f5b11b74-d103-43fd-be4c-a69bce399e97>
26. **HERMOZA, Omar et al.** “Biodegradation of petroleum by *Bacillus thuringiensis* as alternative for recuperation of agriculture soils”. *Arnaldoa* [en línea], 2021, (Perú), vol. 28(2), págs. 339-348. [Consulta 08 de marzo 2024]. ISSN 1815-8242. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992021000200339
27. **HERNÁNDEZ Hermes & SATO Marcos.** “¿La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) genera un impacto negativo sobre el suelo?” *Agronomía Mesoamericana* [en línea], 2023, (Costa Rica) vol. 34 (1), pág. 23. [Consulta: 20 enero 2024]. ISSN 2215-3608. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v34n1/1659-1321-am-34-01-00024.pdf>
28. **HERZOG, Michael et al.** “Understanding Statistics and Experimental Design”. *Springer Nature* [En línea], 2019, (Alemania), vol. 1, págs. 5-9. [Consulta: 27 de diciembre 2023]. ISSN 2509-6125. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-03499-3>
29. **HESSLER, L & MEROLA, G.** *Determination of cellulose in cotton and cordage fiber* [en línea]. 6^{ta} ed. Washington-USA: ReserchGate, 1949. [Consulta 2 de febrero]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac60030a014>
30. **HONORATO, Amador & HERNÁNDEZ, Jorge.** “Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla”. *Madera y Bosque* [en línea], 1998, (México), vol. 4 (2), págs. 5-6. [Consulta: 2 de enero 2024]. ISSN 1405-0471. Disponible en: <https://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/1361>
31. **HURTADO, Alexander et al.** “Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos ácidos con la aplicación de vinaza”. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental* [en línea], 2023, (Costa Rica), vol. 39 (1), págs. 3-4. [Consulta: 20 enero 2024]. ISSN 0188-4999. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/54554>
32. **IBARRA, Enrique.** Perspectivas para la biorremediación de suelos contaminados con plomo

- en Colombia. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá-Colombia, 2022. págs. 1-61. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-san-ignacio-de-loyola/psicologia-general/perspectivas-para-la-biorremediacion-de-pb-en-suelos-de-colombia-final-pdf-3-63/58524076>
33. **INIAP**. *Niveles de referencia óptimos de macro y micronutrientes*. Orellana-Ecuador: Estación Experimental Central de la Amazonía, 2024. p1.
34. **JIRÓN, Eddy et al.** “Obtención de nanocelulosa a partir de raquis de palma africana y bagazo de caña”. *Tecnología en marcha Vida* [en línea], 2022, (Costa Rica), vol. 35(2), págs. 4-8. [Consulta: 30 octubre 2023]. ISSN 7524-9033. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v35n2/0379-3982-tem-35-02-167.pdf>
35. **LADINO, Greydy & ARIAS, Nolver**. *Comportamiento del desarrollo radicular y vegetativo de la palma de aceite bajo diferentes condiciones de compactación en la Zona Norte*. [blog]. Cenipalma, 2019. [Consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: https://www.cenipalma.org/wp-content/uploads/2019/09/2-Comportamiento-del-desarrollo-radicular-y-vegetativo-de-la-Palma-de-aceite-bajo-diferentes-condiciones-de-compactacion-en-Zona-Norte_compressed.pdf
36. **LIU, Zhiqin et al.** “Treatment and Remediation of Petroleum-Contaminated Soils Using Selective Ornamental Plants”. *International Journal of Education and Management Engineering (IJEME)* [en línea], 2012, (China), vol. 2 (4), págs. 494–501. [Consulta: 24 de enero 2024]. ISSN 2222-288X. Disponible en: <https://doi.org/10.5815/ijeme.2012.04.04>
37. **LIZCANO, Janeth**. Análisis teórico de las técnicas mixtas de nano-biorremediación en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Bucaramanga- Colombia. 2020. págs. 1-63. [Consulta: 2024-03-17]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38436/jalizcanog.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
38. **LONDOÑO. (2020)**. Biorremediación como estrategia para la recuperación de suelos mineros. contaminados con mercurio, cadmio y plomo (hg, cd, pb). [En línea]. (Trabajo de titulación). (Maestría). Universidad de Córdoba, Montería-Colombia. 2020. págs. 38-45. [Consulta: 2023-12-20]. Disponible en: <https://docplayer.es/205893548-Biorremediacion-como-estrategia-para-larecuperacion-de-suelos-mineros-contaminadoscon-mercurio-cadmio-y-plomo-hg-cd-pb.html>

39. **López, Gustavo.** “Factores que influyen en el manejo integrado de nutrientes para la producción agrícola”. *Avances en Investigación Agropecuaria*. [en línea], 2020, (México), vol. 24 (3), págs 1-21. [Consulta: de diciembre 2024]. ISSN 0188-7890. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/837/83765451004/83765451004.pdf>
40. **MACEDA, Agustín et al.** “Lignina: composición, síntesis y evolución”. *Madera bosques* [en línea], 2021, (México), vol. 27(2), págs. 1-16 [Consulta: 08 de marzo 2024]. ISSN 2448-7597. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
41. **MAHENDER, Anumalla et al.** “Tolerance of Iron-Deficient and -Toxic Soil Conditions in Rice. Plants”. *Nacional Library Medicine*. [en línea], 2019, (United State of America), vol. 8(2), págs. 16-17. [Consulta: 11 de octubre 2023]. ISSN 6409-6473. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6409647/>
42. **MARLIN, Cristhian.** *Distribución de plantaciones de palma por provincias*. [blog]. Quito: Propalma, 2023. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <https://propalmaec.com/perfil-del-sector-palmicultor/>
43. **MARTÍNEZ Joaquín & HENARES Camila.** Caracterización de Microorganismos Eficientes Nativos para su potencial uso en procesos de compostaje y biorremediación [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad ORT Uruguay. Montevideo-Uruguay, 2023. págs. 23-30. [Consulta: 2024-11-18]. Disponible en: <https://rad.ort.edu.uy/items/5a41db12-0be5-4940-8166-c5f1a89d93ad>
44. **MENDARTE, Calíope et al.** “Fitorremediación: alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT”. *Una revisión. TIP* [En línea], 2021, (México), vol. 24, págs. 2-6. [Consulta: 08 de agosto 2024]. ISSN 2395-8723. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.326>
45. **MORALES, Carlos et al.** “Cambios en las propiedades físicas y químicas de un suelo debido a un proceso de restauración aplicado a un derrame de hidrocarburos”. *Acta univ* [en línea], 2019, (México), vol. 29, págs. 3-9. [Consulta: 03 de marzo 2024]. ISSN 2007-9621. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662019000100230
46. **MOSQUERA, Deisy et al.** “Pollen viability and germination in *Elaeis oleifera*, *Elaeis guineensis* and their interspecific hybrid”. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, [en línea], 2021, (Colombia), vol. 51(1), págs. 1-9. [Consulta 12 de noviembre 2023]. ISSN 6807-1656. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/2530/253068585016/html/>

47. **MURILLO, Yomira.** Efectos de la densidad de siembra en la producción de Palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq, 1897) en el Ecuador. [En línea].(Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo-Ecuador. 2022. págs. 12-20. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13223>.
48. **NEYRA, Vasquez J et al.** “Caracterización física y química: biomasa residual de la palma (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la Amazonia peruana”. *Agronomía Mesoamericana* [en línea], 2022, (Perú) vol. 33 (3), pp 5-11. [Consulta: 12 diciembre 2023]. ISSN 2215-3608. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48170>
49. **NIEVES, Yeimy et al.** “Biorremediación, enemigo del cadmio”. *Ingeniería UC*. [en línea], 2019, (Venezuela), vol. 26(1), págs. 96-104. [Consulta: 07 enero 2024]. ISSN 1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/707/70758484010/html/>
50. **NOVA, Máximo et al.** “Aplicación de activadores biológicos en dos tipos de compostaje para la degradación de residuos orgánicos, Carmen Pampa, Coroico-Bolivia”. *Scielo*. [en línea], 2022, (Bolivia), vol.10 (3), págs. 1- 20. [Consulta: 23 de diciembre 2023]. ISSN 1683-0768. Disponible en: <http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v10n3/1683-0789-ran-10-03-263.pdf>
51. **NOVILLO, Cristina.** *Qué es una reserva ecológica*. [blog]. España: Ecología verde, 2019. [Consulta: 16 de febrero 2023]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-una-reserva-ecologica-2081.html>
52. **OJEDA, Marcia et al.** “Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando sustancias húmicas de vermicomposta”. *Terra Latinoam* [en línea], 2023, (México), vol.41 (1), págs. 1-18. [Consulta:04 de diciembre 2024]. ISSN 2395-8030. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1656>
53. **ORTEGA, Ramírez A et al.** “Validación sintética de suelos contaminados por hidrocarburos pesados. Caso de estudio”. *Fuentes* [en línea], 2023, (Colombia) vol. 21, págs. 83-93. [Consulta: 12 diciembre 2023]. ISSN 2145-8502. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/372339125_VALIDACION_SINTETICA_DE_SU_ELOS_CONTAMINADOS_POR_HIDROCARBUROS_PESADOS_CASO_DE_ESTUDIO_SYNTHETIC_VALIDATION_OF_SOILS_CONTAMINATED_BY_HEAVY_HYDROCARBONS_CASE_STUDY
54. **OVIEDO, Frankie.** Factores que influyen en la biorremediación de suelos contaminados por petróleo. [En línea]. [Trabajo de titulación]. (Ingeniería). Universidad César Vallejo, Lima-Perú. 2022. págs. 11-17. [Consulta 2023-24-02]. Disponible en:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/96109>

55. **PANZARDI, Claudia et al.** “Recuperación de suelos sódicos”. *Agrotecnia* [en línea], 2020, (Argentina), vol. 29 (1), págs. 1-4. [Consulta: 14 octubre 2023]. ISSN 2545 – 8906. Disponible en: <https://www.mendeley.com/catalogue/ad32604e-8457-377e-ba49-ea194f75752e/>
56. **PEÑA, Sandra et al.** “Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos”. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información* [en línea], 2019, (Ecuador), vol. 27 (3), págs. 226–236. [Consulta: 2024-11-19]. ISSN 2414-6390. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/341699843_Nuevos_sistemas_de_tratamientos_de_suelo_contaminado_por_hidrocarburos#fullTextFileContent
57. **PROPALMA.** Distribución de plantaciones de palma por provincias. [blog]. Quito: Propalma Ecuador, 2023. [Consulta: 14 octubre 2023]. Disponible en: <https://propalmaec.com/perfil-del-sector-palmicultor/>
58. **QUISPE, Yadira & ZAVALETA, Fiorela.** Eficiencia fitorremediadora de gramíneas forrajeras en suelos con exceso de nitrógeno proveniente de abonamientos frecuentes, Baños del Inca. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad privada Antonio Guillermo Urrello. Cajamarca-Perú. 2020. págs. 10-17. [Consulta: 15 de enero 2024]. Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1680>
59. **REÁTEGUI, Ronald et al.** “Uso de biocarbón de cáscaras de semilla de palma aceitera enriquecido en biol de estiércol de vaca para mejorar suelos sobre pastoreados”. *Tayacaja* [en línea], 2021, (Perú), vol. 4, (1), págs.12-25 [Consulta 12 de octubre 2023]. ISSN 2617-9156. Disponible en: <https://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/view/151>
60. **RITORÉ, Emilio.** Desarrollo de tecnologías de recuperación de subsuelos contaminados por hidrocarburos derivados del petróleo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad de Sevilla. Andalucía-España. 2021. pág. 8. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11441/128277>
61. **ROUDER, Jeffrey et al.** “Principles of Model Specification in ANOVA Designs”. *Comput Brain Behav* [en línea], 2023, (United State of America), vol. 6 (2), págs. 6-7. [Consulta: 20 enero 2024]. ISSN 2522-0861. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1007/s42113-022-00132-7?utm_source=getftr&utm_medium=getftr&utm_campaign=getftr_pilot#citeas
62. **RUIZ Erika et al.** “Thermodynamic study of the removal of nickel and chromium in aqueous

solution using adsorbents of agro-industrial origin”. *Información Tecnológica*. [en línea], 2019, (Colombia), vol. 30 (6), págs. 3–10. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 0718-0764. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600003>

63. **SAEED, M et al.** “Development of novel kinetic model based on microbiome and biochar for in-situ remediation of total petroleum hydrocarbons (TPHs) contaminated soil. *Chemosphere*” ELSEVIER [en línea], 2023, vol. 324, pp 1-5. [Consulta: 14 diciembre 2023]. ISSN 0045-6535. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138311>
64. **SAYED, Khalid et al.** “Bioremediation of total petroleum hydrocarbons (Tph) by bioaugmentation and biostimulation in water with floating oil spill containment booms as bioreactor basin”. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. [en línea], 2021, (United State of America), vol. 8 (5), págs. 3-5. [Consulta: 20 febrero 2023]. ISSN 1660-4601. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/349596080_Bioremediation_of_Total_Petroleum_Hydrocarbons_TPH_by_Bioaugmentation_and_Biostimulation_in_Water_with_Floating_Oil_Spill_Containment_Booms_as_Bioreactor_Basin
65. **SORIANO, María.** *Conductividad eléctrica del suelo*. [blog]. España: Producción Vegetal, 2018. [Consulta: 24 noviembre 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano%20-%20Conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo.pdf?sequence=1>
66. **SUKMASARI, Susi et al.** “Effect of delignification and bleaching stages on cellulose purity of oil palm empty fruit bunches”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea], 2022, (Indonesia), vol. 116 (1), pág. 3. [Consulta: 25 octubre 2023]. ISSN 1755-1307. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1116/1/012018/pdf#:~:text=OPEFB%20as%20lignocellulosic%20biomass%2C%20contains,%2D30.5%25%20%5B3%5D>
67. **TOVAR, Candelaria et al.** “Evaluación de la biosorción con bagazo de palma africana para la eliminación de Pb (II) en solución”. *Prospectiva (Barranquilla)* [en línea], 2015, (Colombia), vol. 13 (1), págs 1-9. [Consulta: 10 de diciembre 2024] ISSN 1692-8261. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612015000100007&lng=en&nrm=iso
68. **VALENTE, Carlos.** Biorremediación microbiana in vivo de muestras de suelo contaminado de forma artificial con petróleo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Estatal Amazónica. Pastaza-Ecuador. 2016. págs. 1-57. [Consulta: 2024-01-25] Disponible en:

<https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/410/1/T.AMB.B.UEA.3118.pdf>
<https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/410/1/T.AMB.B.UEA.3118.pdf>

69. **VAN, Jan.** “Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa”. *Revista Palmas* [en línea], 2016, (Holanda), vol. 37(2), p 2. [Consulta: 20 enero 2024]. ISSN 0121-2923. Disponible en: https://fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/M_2_15_-Subproductos-de-la-palma.pdf
70. **VARGAS, Jairo et al.** “Producción de nanocelulosa a partir de rastrojo de piña y raquis de palma africana”. *ResearchGate* [En línea], 2022, (Costa Rica), vol. 15(2), pág. 4. [Consulta: 25 noviembre 2023] ISSN 1659-4417. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/374020497_Produccion_de_nanocelulosa_a_partir_de_rastrojo_de_pina_y_raquis_de_palma_africana
71. **VÁSQUEZ, Jessica et al.** "Caracterización física y química: biomasa residual de la palma (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la Amazonía peruana". *Agronomía Mesoamericana*, [en línea], 2022, (Costa Rica), vol, 33, (3), págs 1-11. [Consulta: 20 diciembre 2023]. ISSN 2215-3608. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48170>
72. **VEZZA Mariana, et al.** “Arsenic toxicity in soybean plants: Impact on chlorophyll fluorescence, mineral nutrition and phytohormones”. *Journal of Plant Growth Regulation* [en línea], 2022 vol. 41 (7), págs. 6-10, [Consulta: 27 de enero 2024]. ISSN 0721-7595. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-021-10469-1>
73. **VILLALOBOS, Jeimy & NIÑO, Germán.** Caracterización de Consumo de Hidrocarburos Totales de Petróleo y Fijación de Nitrógeno Atmosférico por *Kribbella* sp Nativa del Piedemonte Llanero. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Santo Tomás. Villavicencio-Colombia. 2020. págs. 20-27. [Consulta: 2024-03-24]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/28200/2020jeimyvillalobos?sequence=5&isAllowed=y>
74. **VIZUETE et al.** “Análisis econométrico en la gravedad de un derrame petrolero y su contaminación ambiental. Caso de estudio: Campo Sacha – Ecuador”. *ESPACIOS* [en línea], 2019, vol. 40 (18), pág. 2. [Consulta: 14 diciembre 2023]. ISSN 0798 1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n18/19401824.html>
75. **VIZUETE et al.** “Bioempaques para la industria alimentaria a partir de nanocompuestos y polímeros naturales”. *Alimentos Ciencia e Ingeniería* [en línea], 2020, (Estados Unidos), vol. 27 (2), págs. 34-38. [Consulta: 22 de enero 2024]. ISSN 1390-2180. [Consulta: 22 de

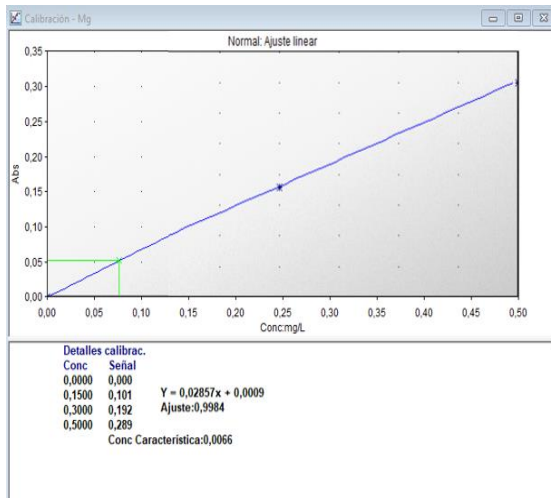
enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.31243/aci.v27i2.1036>.

76. **ZHANG, Hailin.** “Causa y efectos de la acidez del suelo”. *Servicio de extensión cooperativa de Oklahoma* [en línea], 2022, (Estados Unidos), vol.1(1), págs. 1-3. [Consulta: 22 de enero 2024]. ISSN PSS-2239. Disponible en: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/print-publications/pss/pss-causa-y-efectos-de-la-acidez-del-suelo.pdf>

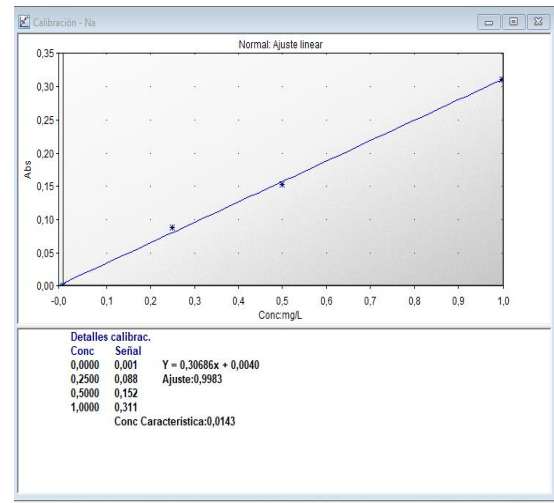
Cristian Tenetonda. S.



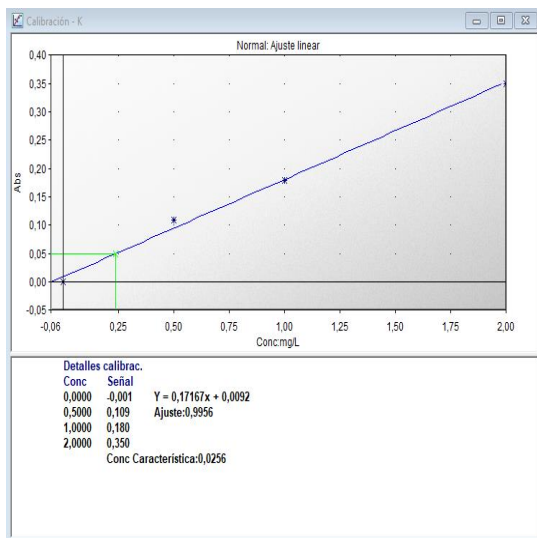
ANEXOS



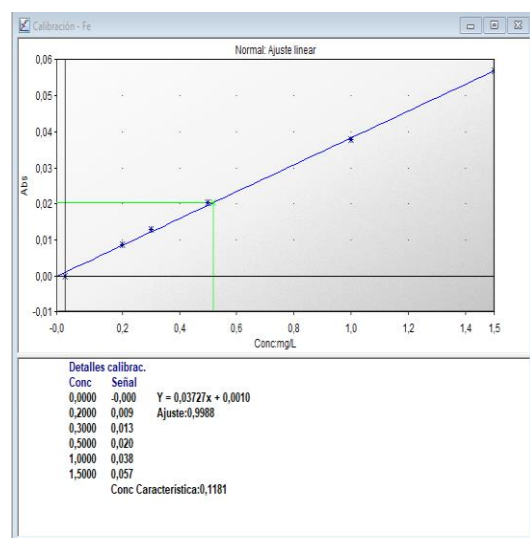
ANEXO A: CURVA CALIBRADA Mg



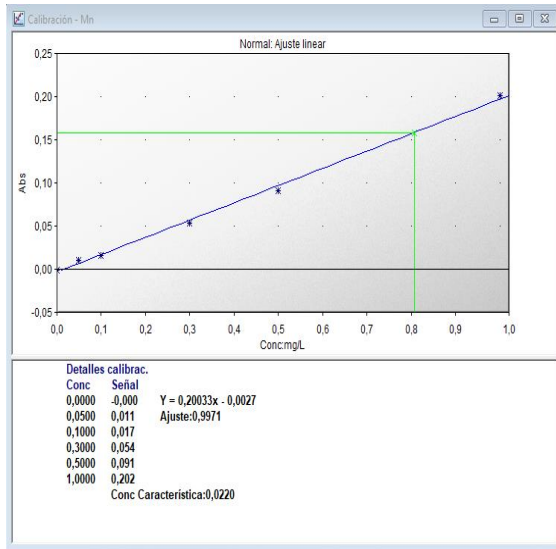
ANEXO B: CURVA CALIBRADA Na



ANEXO C: CURVA CALIBRADA K



ANEXO D: CURVA CALIBRADA Fe



ANEXO E: CURVA CALIBRADA Mn



ANEXO F: ANÁLISIS DE LABORATORIO





ANEXO G: ANÁLISIS DE LABORATORIO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 23 / 07 / 2024

INFORMACIÓN DE LAS AUTORAS
Nombres – Apellidos: Seleni Marisol Prado Chamorro Michelle Elisa Zurita Ordoñez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
 Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero. Mgs Directora del Trabajo de Integración Curricular  Ing. Marcos Patricio Barahona Morales. Mgs Asesor del Trabajo de Integración Curricular