



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-Biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos a nivel laboratorio, 2023

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Mendoza Flores, Kelly Lorena (orcid.org/0009-0007-5482-2535)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (orcid.org/0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LOZANO SULCA YIMI TOM, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-Biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos a nivel laboratorio, 2023", cuyo autor es MENDOZA FLORES KELLY LORENA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 03 de Setiembre del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LOZANO SULCA YIMI TOM DNI: 41134872 ORCID: 0000-0002-0803-1261	Firmado electrónicamente por: YTLOZANOS el 09- 09-2024 12:29:07

Código documento Trilce: TRI - 0865374



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, MENDOZA FLORES KELLY LORENA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-Biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos a nivel laboratorio, 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
KELLY LORENA MENDOZA FLORES DNI: 43711974 ORCID: 0009-0007-5482-2535	Firmado electrónicamente por: KMENDOZAFLO1 el 03- 09-2024 13:00:06

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a Dios por estar siempre presente en mis decisiones.

A mi hijo, quien es mi motivación para culminar lo que inicie e inspirarme a esforzarme más.

A mi madre Yaneth Flores, por tus consejos, tus enseñanzas, y tu apoyo constante que me ha permitido crecer emocional y profesionalmente, pero sobre todo por el amor que me demuestras.

A mi padre Oscar Mendoza, por tus consejos, tu amor y también por tu apoyo material y económico, eso me ayudó a continuar y llegar a este punto y lograr uno de mis objetivos.

Kelly Lorena Mendoza Flores

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco eternamente a Dios por haberme iluminado y siempre estar presente en mi vida.

A mi mamá por ser mi mejor amiga, mi aliada, mi ejemplo y gracias por el apoyo en esta tesis y mi vida.

A mi papá por la enseñanza de vida, tus ejemplos, y por tu apoyo.

A mi hermano quien con sus consejos y sabiduría hacen de mí una mejor persona.

A mi hijo Ian por llegar a complementar e iluminar mi vida y llenarla en un 100%.

A esta casa de estudios la Universidad Cesar Vallejo, que me permitió lograr este objetivo profesional.

A mi asesor el Dr. Yimi Tom Lozano Sulca por su paciencia y empatía en todas las sesiones académicas.

Kelly Lorena Mendoza Flores

Índice de contenidos

Carátula	i
Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad del autor/autores	iii
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	v
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	viii
Índice de gráficos y figuras.....	x
Resumen	xii
Abstract.....	ii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA.....	17
III. RESULTADOS.....	24
IV. DISCUSIÓN.....	78
V. CONCLUSIONES	82
VI. RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS	84
ANEXOS.....	92

Índice de tablas

Tabla 1. Validación de equipos de laboratorio _____	20
Tabla 2. Especificaciones para tratamiento químico Fenton _____	21
Tabla 3. Especificaciones para tratamiento biológico _____	22
Tabla 4. Caracterización inicial de muestras de suelo _____	24
Tabla 5. Proceso fenton con muestra Franco Arenoso (M1) _____	25
Tabla 6. Proceso fenton con muestra Franco Arcilloso (M2) _____	26
Tabla 7. Proceso fenton con muestra Franco Limoso (M3) _____	27
Tabla 8. Proceso biológico con muestra franco arenoso (M1) _____	28
Tabla 9. Proceso biológico con muestra franco arcilloso (M2) _____	29
Tabla 10. Proceso biológico con muestra Franco Limoso (M3) _____	31
Tabla 11. Porcentaje de remoción _____	32
Tabla 12. Caracterización final de muestras de suelo _____	33
Tabla 13. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso químico a una dosis de 10mL _____	33
Tabla 14. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso químico a una dosis de 30mL _____	34
Tabla 15. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso químico a una dosis de 50mL _____	35
Tabla 16. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso biológico a una dosis de 10g _____	37
Tabla 17. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso biológico a una dosis de 30g _____	38
Tabla 18. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso biológico a una dosis de 50g _____	39
Tabla 19. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco arenoso _____	40
Tabla 20. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para humedad ___	41
Tabla 21. Prueba de Tukey para comparar las dosis para CE _____	42
Tabla 22. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para MO _____	43
Tabla 23. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio _____	43
Tabla 24. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI _____	44
Tabla 25. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo _____	45
Tabla 26. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de hidrocarburos totales _____	45
Tabla 27. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco Arcilloso _____	46
Tabla 28. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de humedad _____	47
Tabla 29. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE _____	48
Tabla 30. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para MO _____	48

Tabla 31. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de cadmio	49
Tabla 32. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI	50
Tabla 33. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de plomo	50
Tabla 34. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de hidrocarburos totales	51
Tabla 35. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco arcilloso	52
Tabla 36. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de humedad	53
Tabla 37. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE	53
Tabla 38. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para MO	54
Tabla 39. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio	55
Tabla 40. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI	55
Tabla 41. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo	56
Tabla 42. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Hidrocarburos totales	57
Tabla 43. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco arenoso	57
Tabla 44. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para humedad	58
Tabla 45. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE	59
Tabla 46. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para Mo	60
Tabla 47. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio	60
Tabla 48. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI	61
Tabla 49. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo	62
Tabla 50. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para hidrocarburos totales	62
Tabla 51. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco Arcilloso	63
Tabla 52. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para humedad	64
Tabla 53. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE	65
Tabla 54. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para Mo	65
Tabla 55. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio	66
Tabla 56. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI	67

<i>Tabla 57. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo</i>	67
<i>Tabla 58. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para hidrocarburos totales</i>	68
<i>Tabla 59. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco arcilloso</i>	69
<i>Tabla 60. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para humedad</i>	70
<i>Tabla 61. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE</i>	70
<i>Tabla 62. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para Mo</i>	71
<i>Tabla 63. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio</i>	72
<i>Tabla 64. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI</i>	72
<i>Tabla 65. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo</i>	73
<i>Tabla 66. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para hidrocarburos totales</i>	74
<i>Tabla 67. Comparación de proceso biológico y químico, Franco Arenoso</i>	74
<i>Tabla 68. Comparación de proceso biológico y químico, Franco Arcilloso</i>	75
<i>Tabla 69. Comparación de proceso biológico y químico, Franco Limoso</i>	76
<i>Tabla 70. Comparación de valores finales con el ECA para el proceso químico a una dosis de 5mL</i>	76

Índice de gráficos y figuras

Gráfico 1. Clasificación de las fuentes de contaminación del suelo por HAP	11
Gráfico 2. Métodos de extracción más comunes	12
Figura 1. Técnica de biorremediación en suelos contaminados con TPHs	13
Figura 2. Biocarbón para el tratamiento de suelo contaminado con hidrocarburos	14
Figura 3. Oxidación Fenton para la recuperación de suelos	15
Figura 4. Comparación de medias de humedad según dosis	42
Figura 5. Comparación de medias de remoción de CE según dosis	42
Figura 6. Comparación de medias de remoción de MO según dosis	43
Figura 7. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis	44
Figura 8. Comparación de medias de remoción de Cr VI según dosis	44
Figura 9. Comparación de medias de remoción de plomo según dosis	45
Figura 10. Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis	46
Figura 11. Comparación de medias de remoción de humedad según dosis	47
Figura 12. Comparación de medias de remoción de CE según dosis	48
Figura 13. Comparación de medias de remoción de MO según dosis	49
Figura 14. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis	49
Figura 15. Comparación de medias de remoción de Cr VI según dosis	50
Figura 16. Comparación de medias de remoción de plomo según dosis	51
Figura 17. Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis	51
Figura 18. Comparación de medias de remoción de humedad según dosis	53
Figura 19. Comparación de medias de remoción de CE según dosis	54
Figura 20. Comparación de medias de remoción de MO según dosis	54
Figura 21. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis	55
Figura 22. Comparación de medias de remoción de Cr VI según dosis	56
Figura 23. Comparación de medias de remoción de Cr VI según dosis	56
Figura 24. Comparación de medias de remoción de Hidrocarburos totales según dosis	57
Figura 25. Comparación de medias de humedad según dosis	59
Figura 26. Comparación de medias de remoción de CE según dosis	59
Figura 27. Comparación de medias de remoción de Mo según dosis	60
Figura 28. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis	61
Figura 29. Comparación de medias de remoción de Pb según dosis	61
Figura 30. Comparación de medias de remoción de Plomo según dosis	62
Figura 31. Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis	63
Figura 32. Comparación de medias de humedad según dosis	64
Figura 33. Comparación de medias de remoción de CE según dosis	65
Figura 34. Comparación de medias de remoción de Mo según dosis	66

<i>Figura 35</i>	<i>Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis</i>	66
<i>Figura 36</i>	<i>Comparación de medias de remoción de Pb según dosis</i>	67
<i>Figura 37</i>	<i>Comparación de medias de remoción de Plomo según dosis</i>	68
<i>Figura 38</i>	<i>Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis</i>	68
<i>Figura 39</i>	<i>Comparación de medias de humedad según dosis</i>	70
<i>Figura 40</i>	<i>Comparación de medias de remoción de CE según dosis</i>	71
<i>Figura 41</i>	<i>Comparación de medias de remoción de Mo según dosis</i>	71
<i>Figura 42</i>	<i>Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis</i>	72
<i>Figura 43</i>	<i>Comparación de medias de remoción de Pb según dosis</i>	73
<i>Figura 44</i>	<i>Comparación de medias de remoción de Plomo según dosis</i>	73
<i>Figura 45</i>	<i>Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis</i>	74

Resumen

El trabajo tuvo como objetivo determinar en qué medida el estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar incide en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburo; planteándose un tipo de investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental, con 10 kilos de suelos contaminados con hidrocarburos como población, y la muestra un kilo de suelo contaminado para cada tratamiento, porque es una muestra representativa. En el proceso experimental se combinó biocarbón con el proceso Fenton a pH diferentes aplicado al suelo a diferentes dosis, utilizando 3 tiempos.

El tratamiento combinado incide en la remediación de suelos presentando efectos positivos al aplicar la dosis adecuada. La caracterización inicial del suelo supera el ECA en el hidrocarburo total con 612.15, cadmio de 6.79, cromo VI 8.6 y plomo 1184.2 mg/kg. La dosis óptima de los reactivos Fenton y biochar fue de 15mL y 50g. El método (fenton o biochar) con mayor porcentaje de remoción fue del 62.66% en cadmio, 94.04% en cromo VI y 69.04% en hidrocarburos totales. La caracterización final demostró que solo el valor de cadmio se encuentra por debajo del ECA con un valor de 5.17, 4.17 y 3.86 siendo el ECA establecido para Cd 22mg/kg.

Palabras clave: Fenton, biochar, hidrocarburo, suelo

Abstract

The aim of the work was to determine to what extent the study of the synergistic effect of the combined Fenton-biochar treatment affects the remediation of hydrocarbon-contaminated soils; a type of applied research with a quantitative approach and quasi-experimental design was proposed, with 10 kilos of hydrocarbon-contaminated soils as population, and the sample was one kilo of contaminated soil for each treatment, because it is a representative sample. In the experimental process, biochar was combined with the Fenton process at different pH applied to the soil at different doses, using 3 times.

The combined treatment has an impact on soil remediation with positive effects when the appropriate dose is applied. The initial characterisation of the soil exceeds the RCT in total hydrocarbon with 612.15, cadmium 6.79, chromium VI 8.6 and lead 1184.2 mg/kg. The optimum dosage of the Fenton and biochar reagents was 15mL and 50g. The method (fenton or biochar) with the highest removal rate was 62.66% for cadmium, 94.04% for chromium VI and 69.04% for total hydrocarbons. The final characterisation showed that only the cadmium value is below the ECA with a value of 5.17, 4.17 and 3.86 being the ECA established for Cd 22mg/kg.

Keywords: Fenton, biochar, hydrocarbon, soil.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos esenciales para el ser humano es el suelo, ya que es el que provee de alimentos, sin embargo, este viene siendo amenazado por las actividades industriales petroleras debido al contacto de los compuestos de hidrocarburos con el recurso, causando la pérdida de fertilidad total o parcial de grandes extensiones de suelos provocando afectaciones en zonas de cultivo. (Al Hawash A. et al., 2018). Por ello la importancia del estudio se centra en dar una alternativa mediante un método químico y biológico que tiene como finalidad remediar y en su totalidad recuperar los suelos contaminados con hidrocarburos.

Además, este estudio se enfoca en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6: "Agua limpia y saneamiento", específicamente en el meta 6.3: "Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, eliminación de aguas residuales y aumento del reciclaje y reutilización segura", y el ODS 15: "Vida de ecosistemas terrestres", específicamente en el meta 15.1: "Hasta 2020, asegurar la conservación, restauración y uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los recursos naturales, incluidos los bosques, los humedales, las montañas y las praderas".

En la actualidad las actividades de exploración y explotación de combustible fósil viene siendo una de las industrias más indispensables en el sector económico, Castillo Rosita, et al (2020), hacen mención que con el pasar del tiempo el uso del petróleo y derivados, ha ido siendo indispensable en las actividades humanas volviéndose uno de los recursos más importantes hasta llegar a ocupar un rol esencial en el desarrollo económico a nivel mundial.

A nivel mundial, la industria petrolera es catalogada como una de las básicas y más influyentes en el sector económico, y es por ello que, Ávila (2016), afirma que el petróleo es y continuará siendo la principal fuente de energía en todos los países del mundo.

Ziritt (2021), hace mención que, en los últimos años, se ha visualizado un aumento de 1.3% anual de producción de combustible a nivel mundial, siendo más de 4.000 millones de toneladas de oro negro producido cada año.

Cabe agregar que, según la Ministerio del Ambiente (2020), Perú fue catalogado como uno de los países donde se encuentran con grandes y extensos lotes de combustible, operados por principales y reconocidas empresas que se encargan de la exploración y explotación del recurso fósil.

Tal como es de conocimiento, el petróleo al estar compuesto por elementos derivados de los hidrocarburos tales como; alifáticos saturados, aromáticos, asfáltenos, ceras y alquitranes, además de azufre, oxígeno, nitrógeno y metales, representa un peligro en los recursos naturales y siendo una de las causas principales de la contaminación en el planeta (Morales, G., et al. 2020).

Recientemente en un informe realizado por Velásquez, determina que existen alrededor de 2.5 millones de sitios contaminados en todo Europa, siendo esta cifra aún más, tomando en cuenta los demás países del mundo entero que están potencialmente contaminados debido a la industria del petróleo causando efectos negativos como la destrucción de hábitats, generación de grandes cantidades de pasivos ambientales y deforestación de miles de hectáreas de suelos fértiles (Velásquez, J., 2017).

Desde un enfoque local, en nuestro país según los reportes del OEFA, desde el año 2020, se han registrado más de 400 derrames en los lotes petroleros ubicados en la Amazonia peruana provocando afectaciones en zonas de cultivo. (León y Zeñiga, 2020).

Del mismo modo, esta entidad encargada de la Evaluación y Fiscalización Ambiental en nuestro país, OEFA, reporto que en el primer mes del año en curso 2023 se registró un derrame de más de 3600 barriles de crudo en la Amazonia Peruana, provocando que al menos 30 comunidades indígenas se vieran afectadas (Sierra, 2023).

Observando la situación actual a nivel nacional e internacional la contaminación del suelo, por efectos de los hidrocarburos ha generado la baja disponibilidad de nutrientes, infertilidad y degradación del recurso, provocando alteraciones en el crecimiento de las plantas, la sobrevivencia de los animales terrestres, las zonas

de cultivo y por consiguiente la estabilidad económica de la población perteneciente a dichas zonas afectadas (Villscreces, 2018),

Tomando en cuenta lo mencionado, y debido a que la situación actual del recurso suelo sigue siendo vulnerable ante las actividades industriales específicamente petroleras, en los últimos tiempos se vienen desarrollando y planteando diversos métodos, tratamientos y tecnologías de remediación y recuperación de las zonas contaminadas (Zabala, et al., 2023)

Entre las tecnologías actuales para la remediación de suelos contaminados se encuentran los procesos de oxidación avanzada o también denominado tratamiento por oxidación química de tipo fenton, (Santos, et al, 2018).

El proceso fenton considerada como una actividad oxidativa, consiste en aplicar un reactivo oxidante, los cuales comúnmente son el ozono, peróxido de hidrogeno, permanganato de potasio y peróxido de calcio que al ser catalizados con especies reactivas de hierro permiten dar formación a radicales hidroxilos, los cuales permiten la oxidación del compuesto o contaminante (Villalba, et al, 2014).

Por otro lado, tenemos un tratamiento biológico o natural, que es añadir un compuesto elaborado con productos naturales como, cascara de fruta, restos de madera, comida entre otros, los cuales al pasar por un proceso se denominan biochar (Cabeza, et al., 2021).

De acuerdo a lo antes mencionado, se planteó los siguientes problemas, :
Problema General: ¿En qué medida el Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar incide en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023?

Problemas Específicos: PE1: ¿Cuál es la caracterización inicial de los suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio antes de aplicar el tratamiento combinado fenton-biochar?, PE2: ¿Cuál es la dosis óptima de los reactivos fenton y biochar en el tratamiento combinado para reducir los niveles de hidrocarburos en suelos, a nivel laboratorio?, PE3: ¿Cuál es el método (fenton o biochar) con mayor porcentaje de remoción del contaminante en el tratamiento

de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio?, PE4: ¿Cuál es la caracterización final de los suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio después de aplicar el tratamiento combinado fenton-biochar?

De este modo, se pretende desarrollar el presente estudio, así mismo se determina como justificación teórica; que los fundamentos teóricos descritos en el siguiente capítulo serán extraídos de trabajos (tesis, artículos, revistas, plataformas oficiales, etc.) publicados con anterioridad, que no tengan antigüedad mayor a 5 años, los cuales serán relevantes en la interpretación y discusión de resultados. Por otro lado, la justificación metodológica se cumplirá, al determinar que tratamiento; químico o biológico contribuye con mayor eficiencia en la recuperación de los suelos contaminados con hidrocarburos. No obstante, La justificación práctica, que la presente investigación ofrecerá es dar una propuesta de solución a un problema común y de gran importancia en la sociedad actual, como es la contaminación de grandes áreas de suelos. Finalmente, la justificación social, es una de las más importantes, y el presente trabajo influye positivamente, puesto que permitirá dar a conocer a la población; principalmente aquellos que habitan en zonas aledañas a los lotes petroleros, sobre las tecnologías de tratamiento que se pueden aplicar a los suelos contaminados con hidrocarburos de tal modo que ellos puedan exigir a las empresas y estado peruano para que se considere dar prioridad a la recuperación de dicho recurso.

Objetivo General: Determinar en qué medida el Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar incide en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023.

Objetivos Específicos: OE1: Realizar la caracterización inicial del suelo contaminado con hidrocarburos a nivel laboratorio, antes de aplicar el tratamiento combinado Fenton-biochar, OE2: Definir cuál es la dosis óptima de los reactivos fenton y biochar en el tratamiento combinado para reducir los niveles de hidrocarburos en suelos, a nivel laboratorio. OE3: Determinar el método (fenton o biochar) con mayor porcentaje de remoción del contaminante en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio.

OE4: Realizar la caracterización final del suelo contaminado con hidrocarburos a nivel laboratorio, después de aplicar el tratamiento combinado Fenton-biochar.

En base a los estudios previos que aplican los tratamientos químicos y biológicos se mencionan los siguientes antecedentes:

Saeed M. et al., (2023, p.1); en su estudio tuvo como objetivo diseñar un modelo que degrade hidrocarburos del suelo mediante la aplicación del biocarbón. Como metodología el análisis de las bacterias degradadoras de hidrocarburos se eligieron *Shewanella putrefaciens* Pdp11, que morfológicamente se describe como con forma de bastón, anaerobia y gramnegativa inmovilizada sobre biocarbón, y *Aeromonas hydrophila* YL17. En los resultados la secuenciación del genoma completo de ambas cepas confirmó la presencia de genes necesarios para la degradación de hidrocarburos. Con una vida media reducida y mayores potenciales de biodegradación que el biocarbón sin cepas, el tratamiento consistente en inmovilizar ambas cepas sobre biocarbón disminuyó la concentración de TPHs y n-alcanos (C12-C18) durante el transcurso de un montaje de remediación de 60 días. El biocarbón sirvió como almacenamiento de carbono y fertilizante para el suelo, y también promovió la actividad microbiana, como se observa por su contenido en enzimas y respiración microbiana. En las muestras de suelo tratadas con biocarbón inmovilizado con ambas cepas (A + B), se observó que la eficacia de eliminación de hidrocarburos era máxima (67%), seguida del biocarbón inmovilizado con la cepa A (29%), la cepa B (34%) y el biocarbón (24%), en ese orden.

Li X. et al., (2023, p.1); en su trabajo tuvo como objetivo establecer una propuesta de remediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo aplicando como enmienda el biochar. En la metodología, se aplicó la combinación de la oxidación del persulfato de amonio (APS) catalizada por el biocarbón modificado con hierro (FBC) y la fitorremediación mediante la planta aromática albahaca en suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). En los resultados, tras un ensayo de 105 días en macetas, esta técnica combinada eliminó entre el 61,6% y el 69,5% de los 16 HAP totales del suelo. Al cabo de 105 días, la secuenciación de alto rendimiento de las bacterias y hongos del suelo mostró que el proceso de oxidación avanzada había disminuido

significativamente la riqueza y variedad de los microorganismos del suelo, que la albahaca había devuelto a su forma original. Los resultados muestran que el sistema combinado puede descontaminar el suelo contaminado de forma sinérgica al confirmar la capacidad de degradación del FBC-APS al tiempo que atenúa sus efectos negativos.

Yousaf U. et al., (2022, p.1); en su trabajo tuvo como objetivo determinar cómo afectaban el biocarbón y el compost a las plantas de las familias Fabaceae y Poaceae. En la metodología, las plantas utilizadas para el experimento de fitorremediación fueron trigo (*Triticum aestivum*), maíz (*Zea mays*), trébol blanco (*Trifolium repens*), alfalfa (*Medicago sativa*) y ballico (*Lolium multiflorum*). La contaminación del suelo con un 4% de TPHs afectó negativamente a las características fisiológicas y microbiológicas de las plantas y el suelo. En los resultados; tanto el compost de trébol blanco y alfalfa como el biocarbón de trigo, maíz y ryegrass aumentaron las métricas de desarrollo de las plantas y demostraron una mayor fitorremediación de los TPH. El ryegrass con compost mostró la mayor eliminación de TPH (68,5%) entre las plantas, seguido del trébol blanco con carbón (68%). El ryegrass y la alfalfa revelaron una degradación de TPHs del 59,55 y 35,21%, respectivamente, en ausencia de cualquier enmienda del suelo. La eliminación de TPHs por biocarbón y compost solos fue del 27,24% y 6,01%, respectivamente. Para los parámetros examinados y la degradación de TPHs, también se detectó la interacción entre la enmienda del suelo y el tipo de planta.

Dike C. et al., (2022, p.1); en su trabajo el objetivo mejorar el rendimiento del biocarbón en el proceso de remediación basado en hidrocarburos, combinándolo con otros enfoques de biorremediación y alterando las características del material antes de su uso. En la metodología, se examinó la posibilidad de combinar el biocarbón con otras estrategias de biorremediación bien conocidas, como la bioaumentación, la fitorremediación y la bioestimulación. También se analizaron las ventajas de la modificación para mejorar la aplicabilidad del biocarbón en la biorremediación. En los resultados, se llegó a la conclusión de que la aplicación conjunta de biocarbón a menudo producía una mayor eliminación de hidrocarburos que el tratamiento de biocarbón en solitario, con

una eliminación hasta 4 veces mayor en algunos casos. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos coaplicados con biocarbón no eliminaron más hidrocarburos que la suma de los efectos aditivos de sus tratamientos individuales. En general, la aplicación conjunta de biocarbón con bioaumentación fue más eficaz en la eliminación de hidrocarburos que la aplicación conjunta de biocarbón con fitorremediación o bioestimulación. Para una estrategia de remediación viable, la investigación futura debería incorporar las consecuencias ecotoxicológicas y financieras de la aplicación conjunta de biocarbón.

Rushimisha I. et al., (2023, p.1); en su trabajo el objetivo fue remediar un suelo contaminado con hidrocarburo utilizando biocarbón fresco y envejecido. En la metodología, para evaluar la eliminación espacio-temporal de hidrocarburos, el cambio de la comunidad bacteriana y las alteraciones genéticas funcionales en las proximidades del ánodo y el cátodo, utilizamos biocarbón fresco y envejecido (designados por FB y AB) como enmiendas. En los resultados, la carga acumulada para el FB después de 78 días fue de 750 C, que fue un 12 y un 98% mayor que las cargas acumuladas para el AB y el control sin biocarbón (CK), respectivamente. Además, en los días 43-78, la eliminación de hidrocarburos de petróleo totales aumentó en la región anódica en el siguiente orden: CK (22-31%) FB (24-30%) AB (28-30%), seguido de CK (17-26%), AB (22-28%) y FB (24-29%). Los seis primeros filos también incluían Proteobacteria, Desulfobacterota, Firmicutes, Chloroflexi, Actinobacteriota y Bacteroidota, que en conjunto representaban más del 92% de toda la población bacteriana y tenían tendencia a disminuir con el tiempo. Las Proteobacterias prosperaron cerca del cátodo, pero las Desulfobacterota y Firmicutes lo hicieron hacia el ánodo.

Dike C. et al., (2022, p.1); en su trabajo el objetivo examinar cómo el biocarbón formado a partir de biosólidos afecta a la remediación y la ecotoxicidad del suelo contaminado con gasóleo. En la metodología, en comparación con el control, el suelo contaminado enmendado con biocarbón producido a 900 °C y aplicado al 10% junto con un 1% de fertilizante tenía una concentración de TPH inferior al umbral máximo de la EPA Victoria para residuos de categoría D (5000 mg/kg) después de 12 semanas. Además, la mayoría de los tratamientos con biocarbón habían disminuido la ecotoxicidad del suelo en la semana 12. En los resultados,

en la semana 12, prácticamente todos los tratamientos registraron un aumento del número de copias del gen *alkB*. Los parámetros investigados influyen en la ecotoxicidad del suelo y en la eliminación de hidrocarburos. Además de resaltar la importancia de las condiciones de tratamiento en la eficacia del biocarbón en la remediación, este estudio mostró la posibilidad del biocarbón de biosólidos como tratamiento de bajo coste para aumentar la biorremediación de suelos contaminados con diésel.

Ambaye T. et al., (2023, p.1); en su trabajo el objetivo fue aplicar la combinación de un tratamiento Fenton y un proceso con biosurfactantes para la remediación de un suelo contaminado con hidrocarburos. En la metodología, el proceso biológico posterior, se utilizó el tratamiento electro-Fenton como pretratamiento. Para identificar las circunstancias ideales, se examinaron los impactos del pH de partida, la concentración de hidróxido, la composición de la materia orgánica del suelo, los intermedios de PHC durante el proceso electro-Fenton y las poblaciones totales de bacterias en el proceso biológico. Los resultados indicaron que 12 horas era el periodo de electrólisis ideal para el electro-Fenton. Tras 72 horas, la combinación del proceso electro-Fenton y el proceso biológico condujo a una degradación del 93,6% de los PHC, y se determinó que la alteración introducida durante el pretratamiento en un periodo determinado era adecuada para la etapa del proceso biológico. El rendimiento del sistema combinado fue aproximadamente un 40% mejor que el de las terapias electro-Fenton y biológica por separado.

Huguenot D. et al., (2016, p.1); como objetivo de aplicó un tratamiento combinado con el método Fenton para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. En la metodología, se añadió Tween® 80, un tensioactivo, a la solución de lavado en diversas cantidades por encima de la concentración micelar crítica (CMC). Según los resultados, fue necesaria una concentración del 5% de Tween® 80 para mejorar la extracción de hidrocarburos del suelo. La eficacia del tratamiento siguió siendo extremadamente pobre incluso con esta dosis de Tween® 80 (sólo un 1% tras 24 horas de lavado). El seguimiento de las reacciones electroquímicas con EF en los eluatos recogidos mostró que una tendencia cinética lineal conducía a la mineralización casi completa (>99,5%) de

los hidrocarburos en sólo 32 horas. Mediante la técnica Microtox®, la toxicidad fue superior a la de la solución inicial y se alcanzó una inhibición del 95% de la bacteria *Vibrio fischeri*, lo que indica la persistencia de sustancias químicas nocivas incluso después de la descomposición completa. Tras 20 horas de tratamiento con EF, la biodegradabilidad (relación DBO5/COD) sólo alcanzó un máximo del 20%, lo que resulta insuficiente para llevar a cabo un tratamiento combinado con un procedimiento de tratamiento biológico.

Li Lu et al., (2022, p.1); el objetivo de este estudio era investigar los procesos subyacentes a la descomposición efectiva de los hidrocarburos totales del petróleo (HTP) en el suelo tras la preoxidación Fenton con hierro bioestimulado, así como la rápida propagación de bacterias autóctonas degradadoras del petróleo (BIPP). En la metodología, en los ensayos, la preoxidación Fenton se emparejó con la biorremediación de suelos contaminados con petróleo (TPH = 13221 mg/kg) utilizando tanto hierro bioestimulado como hierro no bioestimulado. La biodegradación de TPH tras la preoxidación Fenton con hierro bioestimulado (5840 mg/kg) fue mucho mayor que con hierro no bioestimulado (3034-4034 mg/kg), a pesar de que la cantidad de TPH preoxidado por Fenton (3331-3775 mg/kg) era idéntica con ambos hierros. En los resultados, la preoxidación Fenton utilizando hierro no bioestimulado causó más daño a la IPDB o produjo menos nutrientes, no asegurando que la IPDB siguiera creciendo a lo largo de la biorremediación subsiguiente. Por lo tanto, sugerimos que los suelos contaminados con petróleo pesado se sometan primero a una preoxidación Fenton con hierro bioestimulado antes de la biorremediación.

Ahmadkalei s. et al., (2021, p.1); en su estudio el objetivo fue examinar la función del ácido húmico en la reacción de Fenton de los hidrocarburos totales del petróleo (HTP) del suelo (diesel). En la metodología, se llevaron a cabo reacciones por lotes a varios niveles de pH y concentraciones de ácido húmico. Una dosis de ácido húmico de 10 mg/l tuvo el efecto beneficioso de disminuir el Fe^{3+} a Fe^{2+} para los contaminantes diesel de menor peso molecular, y este efecto persistió a dosis mayores de ácido húmico de 50, 100 y 150 mg/l. Por el contrario, el consumo de radicales hidroxilo por parte del ácido húmico tuvo un mayor efecto perjudicial sobre los contaminantes diesel de mayor peso molecular

que su conversión de Fe³⁺ en Fe²⁺. En los resultados, con una dosis óptima de 150 mg/l, el ácido húmico tenía una función más beneficiosa en la reacción de Fenton cuando se aumentaba la dosis de ácido húmico en todo el TPH. Dependiendo del peso molecular del TPH, la eficiencia de eliminación varió al aumentar el pH. Los datos cinéticos experimentales se ajustaron bien a los modelos cinéticos de ley de potencia y pseudo-primer orden.

El uso despiadado que el ser humano hace de los recursos naturales y la industrialización, que contaminan el aire, el agua y el suelo, han causado estragos en el ecosistema siendo el petróleo y sus derivados considerados uno de los contaminantes más frecuentes debido a su importancia y al amplio uso de las empresas relacionadas con el petróleo (Salimnezhad A. et al., 2021, p.3).

Las moléculas recalcitrantes denominadas hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) se producen en las operaciones de la industria petrolera y por la combustión incompleta del gasóleo, el carbón y el petróleo (Patel A. et al., 2020, p.2). Con algunas sustituciones alquílicas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) están formados por dos o más anillos aromáticos fusionados sin heteroátomos y se consideran contaminantes nocivos por el tiempo que permanecen en el medio ambiente (Sajid M. et al., 2021, p.1).

Donde, algunas de las formas de contaminación por HAP son los vertidos de petróleo por fugas y descargas en el medio ambiente procedentes de instalaciones de extracción, almacenamiento, distribución y refinado de petróleo (Broekema W., 2016, p.3).

En tal sentido, el uso del petróleo como combustible para el transporte, la fundición de metales y la fabricación ha provocado en muchos casos una importante contaminación del suelo (Zhang T. et al., 2023, p.2). Presentándose en trabajos de construcción, valores por encima de los límites máximos permisibles de diésel en el suelo de hasta 13 550 mg/kg (Sivagami K. et al., 2021, p.1).

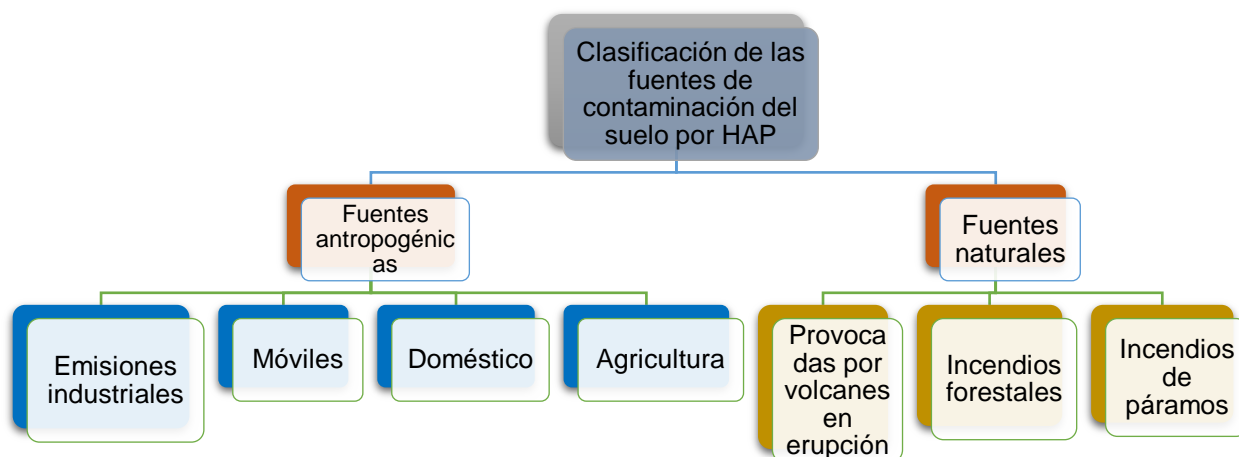
Así también, es sabido que en el Canadá subártico hay miles de lugares contaminados por hidrocarburos de petróleo (Kundu A. et al., 2023, p.1). En EE.

UU el petróleo crudo se utiliza como fuente principal de energía y su demanda se estima en 19.890 millones de barriles en 2021 (USEIA, 2021 citado en Wei Z. et al., 2023, p.1).

Siendo así como constantemente, los hidrocarburos derivados del petróleo se utilizan ampliamente para sintetizar materiales y combustibles (Ennaceri H. et al., 2023, p.2). Aunque se han hecho muchos esfuerzos para crear combustibles alternativos, el petróleo o crudo sigue siendo la fuente de energía más prevalente (33,1%) y rentable para satisfacer la demanda energética mundial, especialmente en el sector del transporte (Dudley B., 2019 citado en Humadi J. et al., 2021, p.2).

Mostrando a mayor detalle en el gráfico 1 los dos tipos de clasificaciones para la contaminación del suelo por los HAP.

Gráfico 1. Clasificación de las fuentes de contaminación del suelo por HAP



Elaboración propia

Siendo entre todas ellas, la combustión incompleta de procesos industriales la principal fuente de emisión (Patel A. et al., 2020, p.3). A pesar de ello, la mayoría de las refinerías se ven obligadas a emplear petróleos pesados de alta viscosidad porque las existencias de crudo ligero en el sector petroquímico están disminuyendo (Humadi J. et al., 2021, p.1).

Además de poner en peligro el medio ambiente y a la población en general, la contaminación por petróleo también modifica las propiedades geotécnicas de los

suelos, como la densidad seca, la presión de expansión y el coeficiente de consolidación (Li Y. et al., 2023, p.2). Se sabe también que, causan fitotoxicidad, disminuyen la retención de agua en el suelo y restringen la liberación de nutrientes del suelo y disminuyen la aireación y compactación del suelo (Hussain F. et al., 2021, p.1).

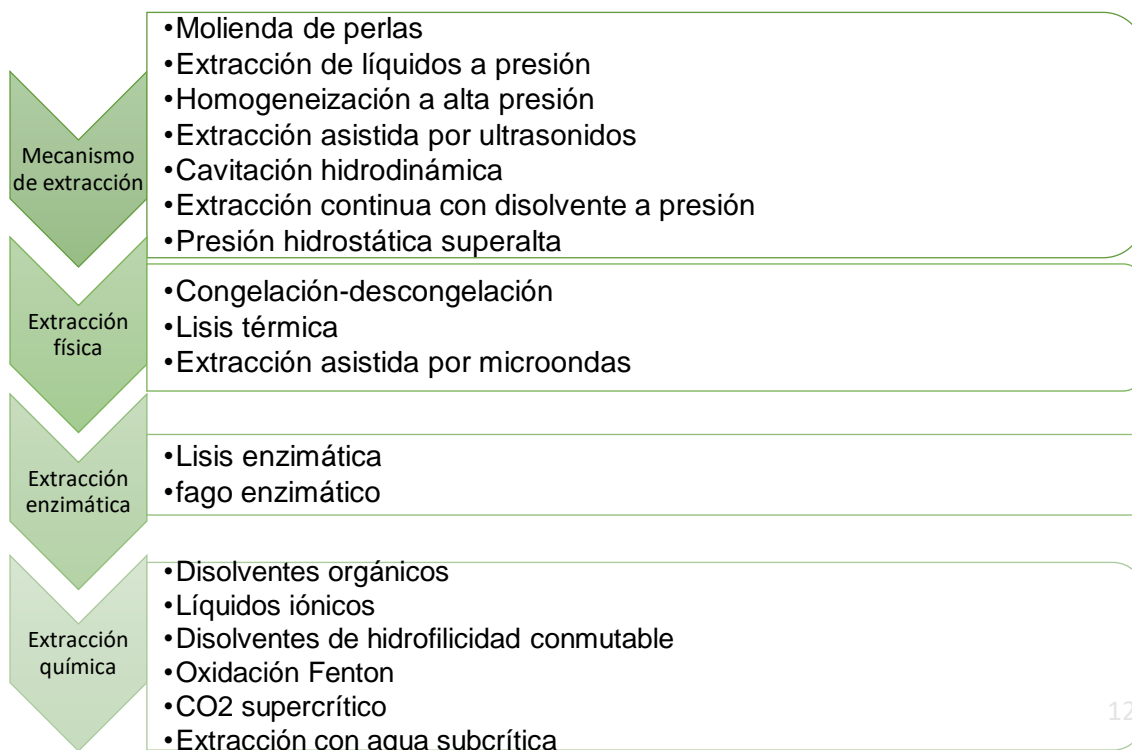
Además, los hidrocarburos alterarán la doble capa eléctrica de la superficie del suelo y el proceso de intercambio iónico, lo que repercutirá en las propiedades electroquímicas y de cizallamiento del suelo (Rajabi H. y Sharifipour M., 20149, p.2).

Xu J. et al., (2018, p.2), menciona que la presencia de los hidrocarburos en el suelo genera su adsorción fuertemente en materia orgánica del suelo (SOM) debido a su hidrofobicidad.

Por lo tanto, la liberación de hidrocarburos de petróleo (HCP) al suelo suele causar contaminación a largo plazo, lo que perjudica la funcionalidad del ecosistema y podría tener efectos negativos sobre la salud humana (Zhang T. et al., 2022, p.2).

Existiendo diversos tratamientos para la extracción de hidrocarburos, como se muestra en la clasificación del gráfico 2

Gráfico 2. Métodos de extracción más comunes

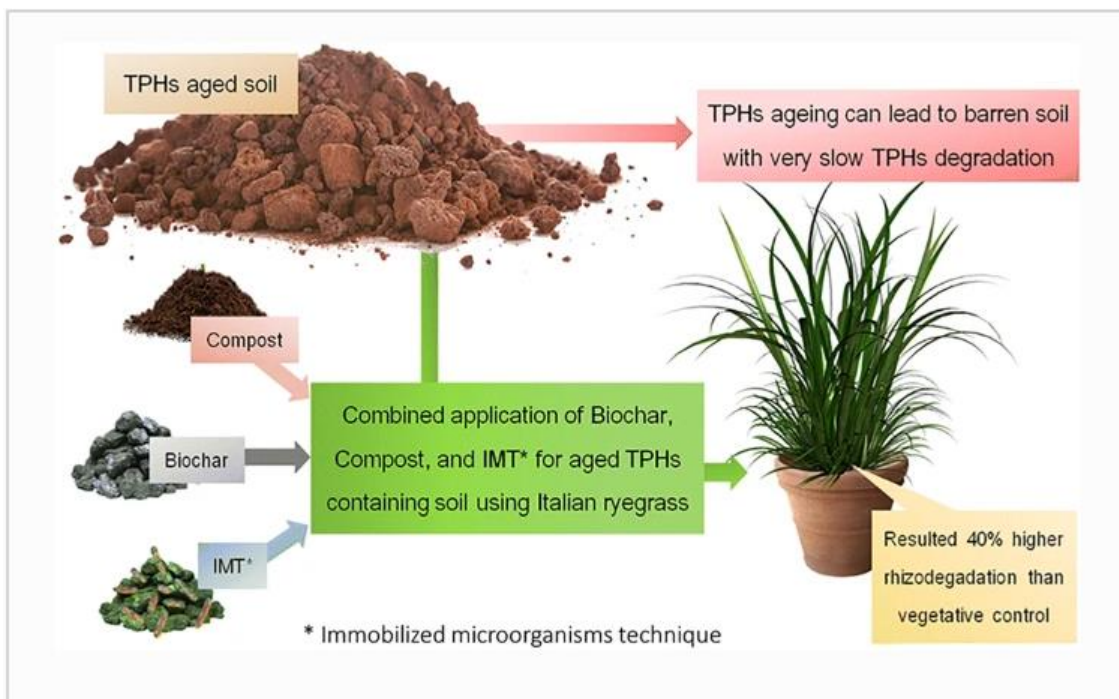


Fuente: modificado de Ennaceri H. et al., (2023)

Es así como, un método de tratamiento práctico y sostenible para los suelos y sedimentos contaminados por petróleo es la biorremediación aplicando materiales como compost, biocarbón y consorcios bacterianos como enmiendas del suelo (Hussain F. et al., 2018, p.2).

Siendo las técnicas de biorremediación con el uso de materiales como compost, biochar técnicas eficientes y económicas para el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Técnica de biorremediación en suelos contaminados con TPHs



Fuente: Hussain F. et al., (2021)

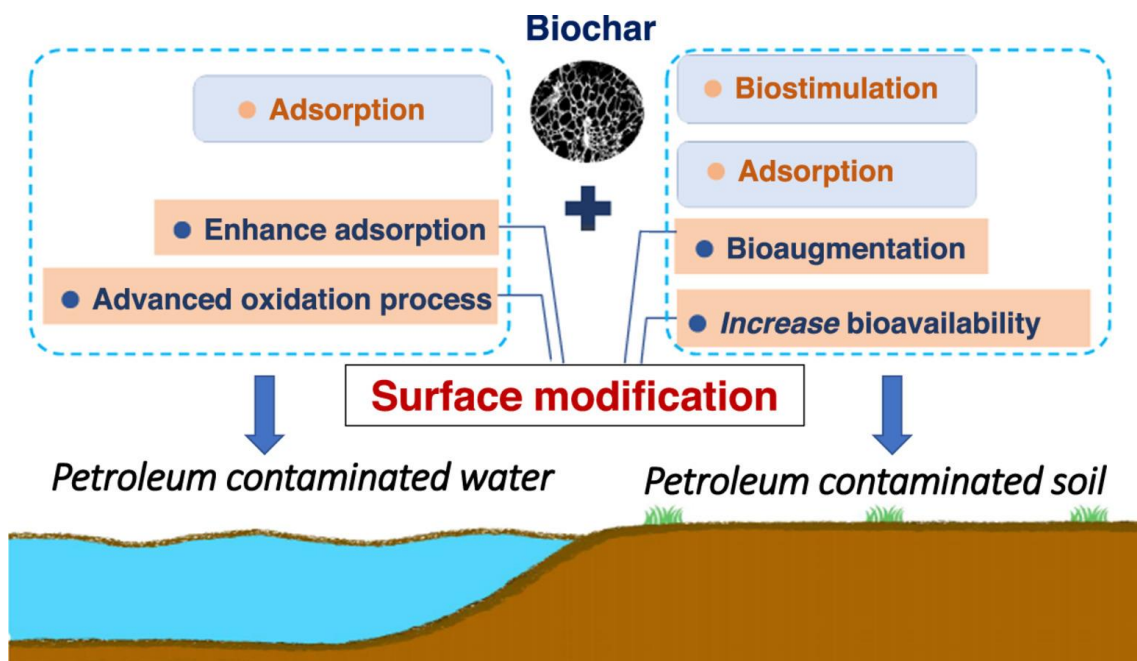
Siendo que, los residuos orgánicos en las enmiendas del suelo mejoran la materia orgánica (MO) del suelo, una característica vital íntimamente relacionada con la fertilidad del suelo (Iqbal A. et al., 2020, p.1).

Debido a su elevada hidrofobicidad superficial, abundante estructura porosa y vasta área superficial, los sorbentes carbonosos se han utilizado para eliminar HAP mediante procesos como la partición, la interacción hidrofóbica, el llenado

de poros, el contacto electrostático y la interacción donante-aceptante de electrones (Abbas Z. et al., 2018, p.3).

Estos adsorbentes a base de carbono se utilizan para limpiar vertidos de petróleo porque permiten recuperar el petróleo y reutilizar el material, lo que resulta rentable y ecológicamente benigno. (ver figura 2).

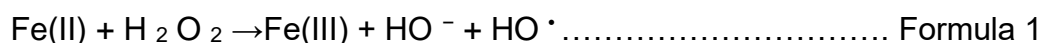
Figura 2. Biocarbón para el tratamiento de suelo contaminado con hidrocarburos



Fuente: Wei Z. et al., (2023)

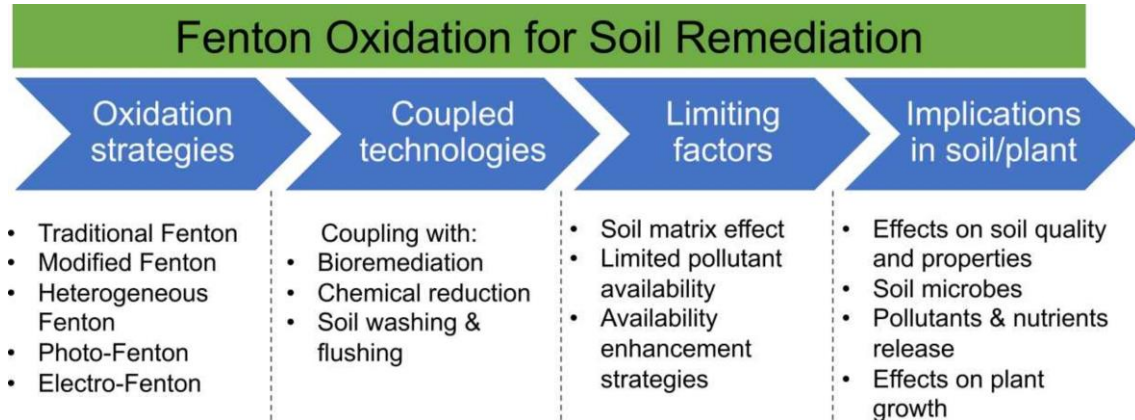
Pero, además, uno de los procesos de oxidación avanzada por sus siglas POA más atractivos para el tratamiento de suelos contaminados con HAP, entre otros es la tecnología Fenton (Li X. et al., 2022, p.1).

Fenton fue el primero en proponer el uso de una solución de H₂O₂ y sal de Fe(II) para la oxidación y se basa en el mecanismo catalítico, donde los radicales hidroxilos (HO⁻) se producen principalmente en niveles de pH ácido; donde, para comprender su mecanismo de reacción, a continuación, se presenta la ilustración más conocida (Usman M. et al., 2022, p.3):



Cabe destacar que la reacción de Fenton produce radicales hidroxilos (-OH) con un alto potencial de oxidación de 2,8 V, que se ha demostrado que oxida prácticamente todos los materiales orgánicos, incluidas las moléculas biorrefractarias (Lai C. et al., 2021, p.4).

Figura 3. Oxidación Fenton para la recuperación de suelos



Fuente: (Usman M. et al., 2022)

Pero para incrementar su eficiencia se ha estudiado la adición de agentes quelantes en el proceso Fenton, el cual permite modificar el pH a un estado neutro y lograr mejorar la oxidación del hidrocarburo presente en el suelo (Ma X. et al., 2018, p.2). Pero también, se ha creado una creciente variedad de catalizadores para promover reacciones tipo Fenton, entre los que se incluyen óxidos de hierro, ferritas y otros metales. (Gao Y. et al., 2023, p.3).

Además, para superar ciertos inconvenientes del proceso Fenton se utiliza la adición de catalizadores para incrementar la eficiencia de degradación de contaminantes como los HAP; entre estos catalizadores se encuentran óxidos minerales de hierro (ferrihidrita ($\text{Fe}_2(\text{OH})_6$), hematita (Fe_2O_3) o goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$)) o hierro de valencia cero (Ouriache H. et al., 2019, p.4).

Por lo que; el empleo conjunto de varios procesos de forma que se produzca un impacto sinérgico beneficioso es un enfoque que podría utilizarse para desarrollar una tecnología eficaz para tratar las condiciones tecnogénicas del suelo; siendo el biocarbón combinado en el proceso Fenton un método mucho más eficaz (Mazarji M. et al., 2022, p.7).

La hipótesis General está planteada por: La aplicación del tratamiento combinado Fenton-biochar tiene un efecto significativo en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos a nivel de laboratorio en 2023.

Hipótesis Especificas: HE1: La caracterización inicial del suelo contaminado con hidrocarburos indica que los valores en cada parámetro sobrepasan los ECA. HE2: La dosis óptima de reactivos Fenton y biochar en el tratamiento combinado demostrará una mayor reducción en los niveles de hidrocarburos en comparación con otras dosis. PE3: ¿Cuál es el método (fenton o biochar) con mayor porcentaje de remoción del contaminante en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio?, HE4: La caracterización final del suelo contaminado con hidrocarburos indica que los valores en cada parámetro están por debajo de los ECA.

II. METODOLOGÍA

En el **tipo y diseño de investigación**; el tipo de investigación en el presente trabajo es de tipo aplicada, ya que, se hace uso de conocimientos teóricos y se realiza un trabajo práctico, en el que se busca resolver un problema que engloba a un grupo de personas; además las conclusiones a las que se llegaron son en base a los resultados que se obtuvieron.

Además, se presenta un enfoque cuantitativo; ante ello, Abrahamse W., (2019, p.2), un enfoque cuantitativo explora una solución innovadora a un dilema que afecta a una persona, un grupo o una sociedad.

En el **diseño de investigación**; el diseño que se utilizó fue el experimental de tipo cuasi experimental, siendo que este permitió utilizar la alteración de una variable para poder observar cómo funciona la segunda variable; en el presente trabajo se manipuló la variable independiente. Además, mediante el diseño experimental a realizar se buscó cuantificar las causas del efecto de los tratamientos aplicados.

Un diseño experimental de acuerdo con Byron F. et al., (2018, p.1); elige una muestra representativa; ya que, este tipo de diseño experimental manipula una o más de una variable, y el diseño experimental se construye de forma que puedan utilizarse varios valores de tratamiento.

Dentro de la **variable y operacionalización**; la matriz de operacionalización de variables consta de la definición operacional y conceptual, así como de dimensiones e indicadores que detallan cada variable dependiente e independiente (ver anexo 1).

Variable dependiente: Eficiencia en la remediación sinérgica de hidrocarburos.

Definición conceptual: es el nivel de remediación de un suelo contaminados con hidrocarburos mediante el sistema combinado de dos tratamientos, determinando la capacidad de degradación utilizando fórmulas para determinar cuantitativamente los valores obtenidos al final de los tratamientos.

Definición operacional: Se realizará una combinación de tratamiento Fenton - biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos y se comparará los valores finales versus los iniciales mediante la siguiente fórmula: $C_f/C_i \times 100$ (Li Xiaoying et al., 2023, p.2).

Las **dimensiones** se encuentran conformadas por el porcentaje de remoción, caracterización fisicoquímica

Los **indicadores**, se encuentran conformados por la concentración inicial, concentración final; pH, T°, Hidrocarburo totales de petróleo

La variable independiente: Tratamiento combinado Fenton-biochar.

Definición conceptual: el proceso Fenton utiliza una solución de H₂O₂ y sal de Fe(II) para la oxidación y se basa en el mecanismo catalítico, donde los radicales hidroxilos (HO·) se producen principalmente en niveles de pH ácido (Usman M. et al., 2022, p.3). En el tratamiento con biocarbón mediante su estructura porosa y vasta área superficial, los sorbentes carbonosos eliminan HAP mediante procesos como la partición, la interacción hidrofóbica, el llenado de poros, el contacto electrostático y la interacción donante-aceptante de electrones (Abbas Z. et al., 2018, p.3).

Definición operacional: Se buscará demostrar la viabilidad y la relevancia de combinar biocarbón con el proceso Fenton para la mejora simultánea de la degradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) en procesos reales de remediación de suelos a pH diferentes; donde el biocarbón será pirolizado elaborado y aplicado al suelo contaminado a diferentes dosis y este será utilizado como catalizador de la reacción Fenton. Para el proceso Fenton la muestra de suelo será estabilizado a pH 3 y se aplicará como agente oxidante al peróxido de hidrogeno (H₂O₂) y como agente catalizador al sulfato ferroso (FeSO₄). Variando los tiempos y las dosis del oxidante en 30, 60 y 120 minutos con 5, 10 y 15 mL. Para el proceso biológico; después de obtener el biochar se realizó 3 tratamientos con dosis de 10, 30 y 50 gramos de este productor obtenido; donde cada tratamiento fue de 4 experimentaciones en un tiempo de 20 días.

Las **dimensiones** se encuentran conformadas por el tratamiento Fenton, Tratamiento biológico

Los **indicadores**, se encuentran conformados por la dosis de oxidante H₂O₂, Tiempo de oxidación; Dosis de biochar, tiempo.

Con respecto a la **población, muestra y muestreo**; la población se conforma por 10 kilos de suelos contaminados con hidrocarburos.

Teniendo en cuenta el **criterio de inclusión** del suelo limpio sin contaminar de manera intencional y el **criterio de exclusión**: Suelo contaminado de alguna fábrica o que se sepa que pudo haber estado expuesto a algún contaminante, ya que, lo que se quiere es tratar un suelo contaminado con HAP por lo que se contaminará intencionalmente un suelo limpio en laboratorio.

La muestra estuvo conformada por un kilo de suelo contaminado con HPA para cada tratamiento con su respectiva réplica; porque es una muestra manejable y representativa para todas las pruebas de laboratorio realizadas en los tratamientos fenton-biocarbón.

El muestreo fue no probabilístico debido que, al ser elegido la muestra elaborada a nivel de laboratorio los valores no fueron tomados al azar, por lo que fueron contaminados con valores que sobrepasen los LMP. La **unidad de análisis**: Suelo contaminado con HAP en laboratorio.

En la **técnicas e instrumentos de recolección de datos**; la observación fue la técnica utilizada, ya que, los resultados de los tratamientos combinado Fenton-biochar que se obtuvieron fueron plasmados mediante gráficos y tablas.

Así mismo, los instrumento a utilizar serán las fichas de recolección de datos con sus dimensiones, los cuales se encuentran en Anexos y estas fichas permiten contribuir con la confiabilidad de los datos recaudados. Siendo 3 los tipos de fichas a utilizar; características fisicoquímicas, tratamiento Fenton y tratamiento Biológico

Además, los equipos de los que se hará uso en el laboratorio para procedimiento como la caracterización fisicoquímica serán descritos en la tabla 1; dichos

equipos se encuentran debidamente calibrados lo cual permitirá la confiabilidad de los resultados obtenidos en cada toma de muestra.

Tabla 1. Validación de equipos de laboratorio

Equipos	Modelo	Definición	Aplicación
pH metro	HANNA 8424	La acidez o alcalinidad de una solución acuosa puede determinarse por su pH. La concentración de iones de hidrógeno en una solución dada se indica mediante el pH (Vitthal S. et al., 2016, p.193).	Se utilizará para mediar el grado de acidez en la caracterización fisicoquímica.
Termómetro digital	DO Meter Portable HANNA HI 9146, Dissolved Oxygen Meter	En un termómetro digital la información de los datos se transforma en señales digitales que pueden leerse con gran precisión (Prasannakumaran K. et al., 2021, p.1).	Se utilizará para mediar la temperatura inicial de la muestra.

En el **procedimiento**

La recolección de muestras de suelo: se realizó la obtención de 3 muestras de suelo limpio, con 3 texturas diferentes una de la otra, cada muestra fue designada con nomenclaturas de M1, M2, M3, fueron recolectados y trasladados a laboratorio en bolsas de cierre hermético.

Las muestras limpias fueron sometidas a tres procesos antes de ser contaminadas, secadas en la estufa a 45°C durante 12 horas, trituradas en moteros y tamizadas mediante una malla seleccionada.

Seguidamente se realizó la contaminación de las muestras (M1, M2, y M3) con petróleo crudo, cabe agregar que de cada muestra se separaron una porción

antes de la contaminación las cuales se denominaron MB1, MB2 y MB3 para ser designadas como muestras de control respectivamente.

Las muestras contaminadas fueron sometidas nuevamente a 3 procesos de secado, triturado y tamizado.

En el **TRATAMIENTO QUIMICO “FENTON”**;

En viales de vidrio de aproximadamente 3000 ml de capacidad con tapa hermética se realizó la separación de 15 sub-muestras de suelo por cada textura; con aproximadamente 200 gramos, haciendo un total de 45 ensayos.

Las muestras fueron estabilizadas a un pH 3, ya que el proceso fenton actúa en matriz acida.

Como agente oxidante se tuvo al reactivo peróxido de hidrogeno (H₂O₂) y como agente catalizador al sulfato ferroso (FeSo₄) con una dosis constante de 20 mL.

Se realizó la evaluación de 3 tratamientos con diferentes dosis de oxidante peróxido de hidrogeno siendo de 5, 10 y 15 mL de H₂O₂ respectivamente.

Cada ensayo se dejó reaccionar durante 7 días, paso el periodo se evaluó la concentración de los parámetros principales.

Cada tratamiento fue compuesto por 4 repeticiones y/o ensayos (R1, R2, R3 y R4) además de una muestra en blanco (MB), de tal modo validar los resultados.

Tabla 2. Especificaciones para tratamiento químico Fenton

Tratamientos	Dosis H₂O₂	Tiempo	Dosis FeSo₄	Masa de muestra	Experimentos
T1	5 ml	5 días	4 ml	200 g	MB
T2	10 ml				R1
T3	15 ml				R2
					R3
					R4

En el **TRATAMIENTO BIOLÓGICO**;

Se realizó la recolección de la materia prima (cascara de pecana) aproximadamente 10 kg, que fueron trasladadas al laboratorio en bolsas herméticas ziploc.

Inicialmente el material fue expuesto y secado a temperatura ambiente para luego pasar al proceso de la primera trituración.

Seguidamente se llevó el material triturado al horno a una temperatura de 300°C por 5 horas, para luego pasar por un segundo proceso de trituración y tamizado.

Se realizó la separación de 12 muestras de suelo por cada textura; con aproximadamente 100 g por muestra.

Se consideró, realizar 3 tratamientos con dosis de 10, 30 y 50 gramos de biochar respectivamente. Cada tratamiento fue de 4 experimentaciones (R1, R2, R3 y R4), almacenadas por un periodo de 20 días.

Tabla 3. Especificaciones para tratamiento biológico

Tratamientos	Dosis (g)	Tiempo	Masa de muestra	Experimentos
T1	10	20 días	200 g	MB
T2	30			R1
T3	50			R2
				R3
				R4

En el **método de análisis de datos**, los resultados se analizaron mediante estadística inferencial, estadística descriptiva, la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y la prueba de Tukey empleando el programa estadístico MINITAB para evaluar las hipótesis.

En los aspectos éticos, el presente trabajo cumple con los siguientes códigos de éticos:

La responsabilidad y veracidad: Se cumple ello mediante un el uso adecuado de la información recogida a través de los enfoques que se utilizarán en esta investigación; además el autor responsable se compromete a no hacer mal uso ni a alterar la información tomada de los estudios utilizados de otros trabajos.

Honestidad: Ello se da mediante el cumplimiento adecuado de la Norma ISO 690 para cada cita utilizada respetando el derecho a la autoría; además de respetar el código de ética de la Universidad Cesar Vallejo.

III. RESULTADOS

En respuesta al primer objetivo, a continuación, se presenta los resultados obtenidos de la caracterización inicial del suelo contaminado con hidrocarburos a nivel laboratorio, los análisis realizados fueron tanto en parámetros físicos como químicos.

Tabla 4. Caracterización inicial de muestras de suelo

PARÁMETROS	MUESTRAS				ECA.
	Unidad	M1	M2	M3	
Tipo de muestra		Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Franco Limoso	-
Color		gris	plomo	crema	-
Humedad	%	9.7	9.8	9.9	-
pH	Unidad	6.73	7.01	6.78	-
Temperatura	°C	20.3	19.9	20.1	-
Conductividad Eléctrica	mS/cm	0.101	0.103	0.102	-
Materia Orgánica	%	3.51	3.45	3.82	-
Hidrocarburos Totales	mg/kg	612.08	612.12	612.15	0.03
Cadmio	mg/kg	6.83	6.76	6.79	22
Cromo VI	mg/kg	8.3	8.0	8.6	1.4
Plomo	mg/kg	1181.2	1185.2	1184.2	800

Tal como se muestra en la tabla anterior, los valores en los metales analizados determinan que estos superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA - Suelo), determinado por el D.S. N° 011-2017-MINAM.

Para iniciar el primer tratamiento “Fenton”, se realizó la estabilización de pH del suelo en las 3 muestras (M1, M2 y M3) a un valor ácido es decir pH 3, añadiendo sulfato de aluminio a las muestras.

En respuesta al segundo objetivo específico “Definir cuál es la dosis óptima de los reactivos fenton y biochar en el tratamiento combinado para reducir los niveles de hidrocarburos en suelos, a nivel laboratorio”, en las siguientes tablas 5, 6 y 7 visualizamos los valores obtenidos en los principales parámetros, después de realizar el primer tratamiento fenton con 5, 10 y 15 mL del oxidante H₂O₂ en las muestras de estudio.

Tabla 5. Proceso fenton con muestra Franco Arenoso (M1)

Identificación de la Muestra		Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales
		%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.08
	R1 5ml	9.8	0.102	3.62	6.85	8.5	1182.2	611.98
	R2 5ml	9.6	0.100	3.58	6.86	8.7	1182	611.90
	R3 5ml	9.8	0.103	3.61	6.89	8.6	1181.9	611.88
	R4 5ml	9.9	0.101	3.51	6.82	8.4	1181.7	611.92
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.08
	R1 10ml	9.6	0.100	3.60	6.14	8.5	1179.2	611.88
	R2 10ml	9.5	0.103	3.56	6.13	8.7	1178.52	611.09
	R3 10ml	9.4	0.104	3.61	6.18	8.6	1179.9	611.78
	R4 10ml	9.6	0.101	3.53	6.14	8.4	1178.7	611.72
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.08
	R1 15ml	9.9	0.103	3.69	5.86	6.5	1162.2	611.88
	R2 15ml	9.8	0.102	3.68	5.87	6.7	1162	611.09
	R3 15ml	9.7	0.104	3.67	5.89	6.6	1161.9	611.78
	R4 15ml	9.9	0.103	3.69	5.84	6.4	1161.7	611.72

Tal como se observa en la tabla anterior, la muestra con suelo franco arenoso (M1), al ser sometido al primer tratamiento fenton con diferentes dosis del oxidante H₂O₂, obtuvo una disminución en los parámetros contaminantes es decir a medida que se aumentó la dosis del oxidante los contaminantes disminuyeron en sus valores tal como son; cadmio de una concentración inicial de 6.83 a 5.84 mg/kg, en cromo de 8.3 a 6.4 mg/kg, en plomo de 1181.2 a 1161.7 mg/kg y en hidrocarburos totales de 612.08 a 611.72 mg/kg siendo la dosis de 15 mL de oxidante H₂O₂ más efectiva.

Seguidamente en la siguiente tabla observaremos los valores obtenidos en los principales parámetros, después de realizar el primer tratamiento fenton a la segunda muestra M2 (Franco Arcilloso).

Tabla 6. Proceso fenton con muestra Franco Arcilloso (M2)

Identificación de la Muestra		Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales
		%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
M2	MB	9.8	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 5ml	10.0	0.102	3.62	6.85	8.5	1182.2	611.78
	R2 5ml	9	0.10	3.58	6.86	8.7	1182	611.8
	R3 5ml	9.8	0.103	3.61	6.89	8.6	1181.9	611.68
	R4 5ml	9.9	0.101	3.51	6.82	8.4	1181.7	611.72
M2	MB	9.8	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 10ml	9.9	0.100	3.60	6.84	8.5	1182.2	611.78
	R2 10ml	9.8	0.103	3.56	6.83	8.7	1182	611.69
	R3 10ml	9.7	0.104	3.61	6.88	8.6	1181.9	611.58
	R4 10ml	9.8	0.101	3.53	6.84	8.4	1181.7	611.52
M2	MB	9.8	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 15ml	10.6	0.102	3.7	5.76	5.5	1152.2	611.08
	R2 15ml	10.4	0.103	3.71	5.77	5.7	1152	611.09

	R3 15ml	10.3	0.101	3.72	5.79	5.6	1151.9	611.08
	R4 15ml	10.5	0.103	3.73	5.74	5.4	1151.7	611.02

Como se visualiza en la tabla anterior, la muestra con suelo franco arcilloso (M2), al ser sometido al primer tratamiento fenton con diferentes dosis del oxidante H₂O₂, obtuvo una disminución en los parámetros contaminantes es decir a medida que se aumentó la dosis del oxidante los contaminantes disminuyeron en sus valores tal como son; cadmio de una concentración inicial de 6.83 a 5.74 mg/kg, en cromo de 8.3 a 5.4 mg/kg, en plomo de 1181.2 a 1151.7 mg/kg y en hidrocarburos totales de 612.12 a 611.02 mg/kg siendo la dosis de 15 mL de oxidante H₂O₂ más efectiva.

Ahora bien, en la siguiente tabla observaremos los valores obtenidos en los principales parámetros, después de realizar el primer tratamiento fenton a la tercera muestra M3 (Franco Limoso).

Tabla 7. Proceso fenton con muestra Franco Limoso (M3)

Identificación de la Muestra		Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales
		%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
M3	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 5ml	9.8	0.102	3.62	6.85	8.5	1182.2	611.78
	R2 5ml	9.6	0.10	3.58	6.86	8.7	1182	611.8
	R3 5ml	9.8	0.103	3.61	6.89	8.6	1181.9	611.68
	R4 5ml	9.9	0.101	3.51	6.82	8.4	1181.7	611.72
M3	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 10ml	9.6	0.100	3.61	5.94	6.5	1182.2	611.78
	R2 10ml	9.5	0.103	3.63	5.91	6.7	1182	611.69
	R3 10ml	9.4	0.104	3.64	5.92	6.6	1181.9	611.58
	R4 10ml	9.6	0.101	3.63	5.91	6.4	1181.7	611.52

M3	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 15ml	9.69	0.102	3.61	5.86	4.5	1152.2	611.08
	R2 15ml	9.49	0.103	3.65	5.87	4.7	1154.1	611.09
	R3 15ml	9.39	0.101	3.64	5.89	4.6	1156.2	611.08
	R4 15ml	9.58	0.103	3.63	5.84	4.4	1157.7	611.02

Finalmente para el primer tratamiento al someter a la tercera muestra de suelo franco limoso (M3), se obtuvieron una disminución en los parámetros contaminantes es decir a medida que se aumentó la dosis del oxidante los contaminantes disminuyeron en sus valores tal como son; cadmio de una concentración inicial de 6.83 a 5.84 mg/kg, en cromo de 8.3 a 4.4 mg/kg, en plomo de 1181.2 a 1157.7 mg/kg y en hidrocarburos totales de 612.15 a 611.02 mg/kg siendo la dosis de 15 mL de oxidante H₂O₂ más efectiva.

Seguidamente, para iniciar el segundo proceso biológico utilizando biochar en base a cascara de pecanas, se realizó la estabilización de pH del suelo en las 3 muestras (M1, M2 y M3) a un valor neutro de 7, añadiendo cal viva. Es así que al aplicar el segundo tratamiento con biochar a las 3 muestras de estudio se obtuvieron los resultados descritos en las tablas 8, 9 y 10.

En la siguiente tabla se observa el análisis de la primera muestra M1 (Franco Arenoso al aplicar el segundo tratamiento biológico con biochar.

Tabla 8. Proceso biológico con muestra franco arenoso (M1)

Identificación de la Muestra		Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales
		%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 10g	9.8	0.110	3.62	6.85	8.5	1182.2	600.1
	R2 10g	9.6	0.109	3.58	6.86	8.7	1182	600.0
	R3 10g	9.8	0.111	3.61	6.89	8.6	1181.9	598.9
	R4	9.9	0.110	3.51	6.82	8.4	1181.7	598.82

	10g							
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 30g	9.6	0.119	3.69	5.84	6.1	1171.2	581.0
	R2 30g	9.5	0.118	3.68	5.81	6.5	1172.2	581.5
	R3 30g	9.4	0.119	3.69	5.82	6.2	1172	582.0
	R4 30g	9.6	0.117	3.68	5.81	6.1	1174.9	581.2
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 50g	9.70	0.110	4.61	5.16	4.2	1132.2	200.0
	R2 50g	9.69	0.112	4.65	5.17	4.1	1134.0	188.8
	R3 50g	9.69	0.113	4.64	5.19	4.3	1136.0	187.8
	R4 50g	9.68	0.110	4.63	5.14	4.2	1137.1	187.9

Tal como se observa en la tabla anterior, la muestra con suelo franco arenoso (M1), al ser sometido al segundo tratamiento biológico (biochar) con diferentes dosis, obtuvo una disminución en los parámetros contaminantes es decir a medida que se aumentó la dosis de biochar los contaminantes disminuyeron en sus valores tal como son; cadmio de una concentración inicial de 6.83 a 5.14 mg/kg, en cromo de 8.3 a 4.2 mg/kg, en plomo de 1181.2 a 1137.1 mg/kg y en hidrocarburos totales de 612.15 a 187.9 mg/kg siendo la dosis de 50 gramos de biochar la más efectiva.

Seguidamente en la siguiente tabla observaremos los valores obtenidos en los principales parámetros, después de realizar el segundo tratamiento biológico (biochar) a la segunda muestra M2 (Franco Arcilloso).

Tabla 9. Proceso biológico con muestra franco arcilloso (M2)

Identificación de la Muestra		Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales
		%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
M2	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 10g	9.89	0.110	3.62	6.85	8.5	1182.2	598.1

	R2 10g	9.69	0.109	3.58	6.86	8.7	1182	600.0
	R3 10g	9.82	0.111	3.61	6.89	8.6	1181.9	597.9
	R4 10g	9.97	0.110	3.51	6.82	8.4	1181.7	596.82
M2	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 30g	9.89	0.113	3.62	6.15	6.5	1132.2	501.0
	R2 30g	9.68	0.119	3.58	6.16	6.7	1134.0	501.5
	R3 30g	9.88	0.118	3.61	6.19	6.6	1136.0	502.0
	R4 30g	9.95	0.117	3.51	6.12	6.4	1137.1	501.2
M2	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 50g	9.89	0.119	4.69	4.16	4.02	1122.2	190.0
	R2 50g	9.87	0.118	4.68	4.17	4.01	1124.0	190.8
	R3 50g	9.89	0.117	4.69	4.19	4.03	1126.0	190.8
	R4 50g	9.88	0.119	4.68	4.14	4.02	1127.1	190.9

Como se visualiza en la tabla anterior, la muestra con suelo franco arcilloso (M2), al ser sometido al segundo tratamiento biológico con diferentes dosis, obtuvo una disminución en los parámetros contaminantes es decir a medida que se aumentó la dosis de biochar los contaminantes disminuyeron en sus valores tal como son; cadmio de una concentración inicial de 6.83 a 4.14 mg/kg, en cromo de 8.3 a 4.02 mg/kg, en plomo de 1181.2 a 1127.1 mg/kg y en hidrocarburos totales de 612.12 a 190.9 mg/kg siendo la dosis de 30 gramos de biochar la más efectiva.

Ahora bien, en la siguiente tabla observaremos los valores obtenidos en los principales parámetros, después de realizar el segundo tratamiento biológico (biochar) a la tercera muestra M3 (Franco Limoso).

Tabla 10. Proceso biológico con muestra Franco Limoso (M3)

Identificación de la Muestra		Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales
		%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
M3	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 10g	9.81	0.110	3.62	6.85	8.5	1182.2	600.1
	R2 10g	9.71	0.109	3.58	6.86	8.7	1182	600.0
	R3 10g	9.80	0.111	3.61	6.89	8.6	1181.9	598.9
	R4 10g	9.91	0.110	3.51	6.82	8.4	1181.7	598.82
M3	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 30g	9.81	0.113	3.62	4.13	4.01	902	507.0
	R2 30g	9.81	0.119	3.58	3.86	4.02	900	507.5
	R3 30g	9.82	0.118	3.61	3.57	4.01	898	507.0
	R4 30g	9.88	0.117	3.51	3.59	4.03	901	506.2
M3	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 50g	9.92	0.113	4.79	3.98	4.32	1130.2	190.0
	R2 50g	9.97	0.116	4.78	3.97	4.31	1130.0	190.8
	R3 50g	9.99	0.115	4.79	3.95	4.33	1130.2	190.8
	R4 50g	9.88	0.114	4.8	3.54	4.02	1130.1	190.9

Finalmente para el segundo tratamiento al someter a la tercera muestra de suelo franco limoso (M3), se obtuvieron una disminución en los parámetros contaminantes es decir a medida que se aumentó la dosis de biochar los contaminantes disminuyeron en sus valores tal como son; cadmio de una concentración inicial de 6.83 a 3.54 mg/kg, en cromo de 8.3 a 4.02 mg/kg, en plomo de 1181.2 a 1130.1 mg/kg y en hidrocarburos totales de 612.15 a 190.9 mg/kg siendo la dosis de 30 gramos de biochar la más efectiva.

De este modo, en respuesta al tercer objetivo “Determinar el método (fenton o biochar) con mayor porcentaje de remoción del contaminante en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio”, en la siguiente tabla se muestran los promedios de las repeticiones de los mejores resultados obtenidos en cada tratamiento y muestra, de tal modo se determinó el porcentaje de remoción respectivamente.

Tabla 11. Porcentaje de remoción

Identificación de la Muestra		Cadmio		Cr VI		Plomo		Hidrocarburos totales	
		(mg/kg)	%R	(mg/kg)	%R	(mg/kg)	%R	(mg/kg)	%R
M1	C.I	6.83		8.3		1181.2		612.08	
	Fenton	5.87	14.13	6.6	21.1	1162	1.63	611.6	0.08
	Biochar	5.17	24.38	4.2	49.4	1134.8	3.93	191.1	68.78
	Remoción Total	11.04	38.51	10.8	70.5	2296.8	5.56	80.27	68.86
M2	C.I	6.83		8.3		1181.2		612.12	
	Fenton	5.77	15.59	5.55	33.13	1152	2.48	611.07	0.17
	Biochar	4.17	39.02	4.02	51.57	1124.8	4.77	190.63	68.86
	Remoción Total	9.94	52.61	9.57	84.7	2276.8	7.25	807.7	69.03
M3	C.I	6.83		8.3		1181.2		612.15	
	Fenton	5.87	14.49	4.55	45.18	1155.1	2.21	611.07	0.18
	Biochar	3.86	48.17	4.25	48.86	1130.1	4.32	190.63	68.86
	Remoción Total	9.73	62.66	8.8	94.04	2285.2	6.53	801.7	69.04

Tal como se observa en la tabla anterior, los porcentajes de remoción evidenciaron una eficiencia en la aplicación sinérgica de los tratamientos fenton y biochar, removiendo hasta 62.66% en metal cadmio, 94.04% en metal cromo

VI y 69.04% en hidrocarburos totales siendo estos porcentajes más altos en el suelo franco limoso, sin embargo, en el metal plomo se dio mayor remoción en suelo arcilloso con remoción de hasta 7.25%.

Finalmente se realizó una caracterización final de las muestras de suelo, obteniendo así los siguientes valores.

Tabla 12. Caracterización final de muestras de suelo

PARÁMETROS	MUESTRAS				ECA
	Unidad	M1	M2	M3	
Tipo de muestra		Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Franco Limoso	-
Color		gris	plomo	crema	-
Humedad	%	9.69	9.88	9.94	-
pH	Unidad	6.7	7.01	6.78	-
Temperatura	°C	20.3	19.9	20.1	-
Conductividad Eléctrica	mS/cm	0.111	0.118	0.115	-
Materia Orgánica	%	4.63	4.69	4.79	-
Hidrocarburos Totales	mg/kg	191.1	190.63	190.63	0.03
Cadmio	mg/kg	5.17	4.17	3.86	22
Cromo VI	mg/kg	4.2	4.02	4.25	1.4
Plomo	mg/kg	1134.8	1124.8	1130.1	800

Estadística:

HE1: La caracterización inicial del suelo contaminado con hidrocarburos indica que los valores en cada parámetro sobrepasan los ECA.

Tabla 13. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso químico a una dosis de 10mL

Grupo	Parámetro	Iniicales	Media	S	Prueba T	Sig
Franco Arenoso	H	9.7	9.775	0.13	1.19	0.841
Franco Arenoso	CE	0.101	0.1015	0.00	0.77	0.752
Franco Arenoso	Mo	3.51	3.58	0.05	2.82	0.967
Franco Arenoso	Cd	6.83	6.855	0.03	1.73	0.909
Franco Arenoso	Cr VI	8.3	8.55	0.13	3.87	0.985
Franco Arenoso	Pb	1181.2	1181.95	0.21	7.21	0.997
Franco Arenoso	Hidrocarburos totales	612.08	611.92	0.04	-7.41	0.003
Franco Arcilloso	H	9.8	9.68	0.46	-0.55	0.311

Franco Arcilloso	CE	0.103	0.10	0.00	-2.32	0.051
Franco Arcilloso	Mo	3.45	3.58	0.05	5.24	0.993
Franco Arcilloso	Cd	6.76	6.86	0.03	6.58	0.996
Franco Arcilloso	Cr VI	8	8.55	0.13	8.52	0.998
Franco Arcilloso	Pb	1185.2	1181.95	0.21	-31.22	0.000
Franco Arcilloso	Hidrocarburos totales	612.12	611.75	0.06	-13.62	0.000
Franco Limoso	H	9.9	9.78	0.13	-1.99	0.071
Franco Limoso	CE	0.102	0.10	0.00	-0.77	0.248
Franco Limoso	Mo	3.82	3.58	0.05	-9.66	0.001
Franco Limoso	Cd	6.79	6.86	0.03	4.50	0.990
Franco Limoso	Cr VI	8.6	8.55	0.13	-0.77	0.248
Franco Limoso	Pb	1184.2	1181.95	0.21	-21.62	0.000
Franco Limoso	Hidrocarburos totales	612.15	611.75	0.06	-14.71	0.000

Interpretación: Como resultado de la investigación solo hidrocarburos totales evidencio una disminución significativa en los tres tipos de suelo (sus valores de Sig resultaron menores que 0.05. además, en suelo franco arcilloso el Plomo evidencio una disminución significativa (Sig=0.000 menor que 0.05). En suelo franco limoso Mo y Pb evidenciaron disminución significativa (valores de Sig menores que 0.05).

Tabla 14. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso químico a una dosis de 30mL

Grupo	Parámetro	Iniciales	Media	S	Prueba T	Sig
Franco Arenoso	H	9.7	9.525	0.10	-3.66	0.018 (*)
Franco Arenoso	CE	0.101	0.102	0.00	1.10	0.823
Franco Arenoso	Mo	3.51	3.58	0.04	3.52	0.980
Franco Arenoso	Cd	6.83	6.1475	0.02	-61.56	0.000 (*)
Franco Arenoso	Cr VI	8.3	8.55	0.13	3.87	0.985
Franco Arenoso	Pb	1181.2	1179.08	0.62	-6.86	0.003 (*)
Franco Arenoso	Hidrocarburos totales	612.08	611.62	0.36	-2.59	0.041 (*)

Franco Arci- lloso	H	9.8	9.80	0.0 8	0.00	0.500
Franco Arci- lloso	CE	0.103	0.10	0.0 0	-1.10	0.177
Franco Arci- lloso	Mo	3.45	3.58	0.0 4	6.76	0.997
Franco Arci- lloso	Cd	6.76	6.85	0.0 2	7.89	0.998
Franco Arci- lloso	Cr VI	8	8.55	0.1 3	8.52	0.998
Franco Arci- lloso	Pb	1185.2	1181.9 5	0.2 1	-31.22	0.000 (*)
Franco Arci- lloso	Hidrocar- buros to- tales	612.12	611.64	0.1 2	-8.26	0.002 (*)
Franco Limoso	H	9.9	9.53	0.1 0	-7.83	0.002 (*)
Franco Limoso	CE	0.102	0.10	0.0 0	0.00	0.500
Franco Limoso	Mo	3.82	3.63	0.0 1	-30.60	0.000 (*)
Franco Limoso	Cd	6.79	5.92	0.0 1	-123.04	0.000 (*)
Franco Limoso	Cr VI	8.6	6.55	0.1 3	-31.76	0.000 (*)
Franco Limoso	Pb	1184.2	1181.9 5	0.2 1	-21.62	0.000 (*)
Franco Limoso	Hidrocar- buros to- tales	612.15	611.64	0.1 2	-8.78	0.002 (*)

Interpretación: En suelo franco limoso se detectó un cambio significativo en todos los parámetros con excepción de CE presento un valor de Sig superior que 0.05. Los parámetros que evidencian cambio significativo son resaltados con un asterisco.

Tabla 15. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso químico a una dosis de 50mL

Grupo	Paráme- tro	Iniica- les	Media	S	Prueba T	Sig
Franco Arenoso	H	9.7	9.825	0.1 0	2.61	0.960
Franco Arenoso	CE	0.101	0.103	0.0 0	4.90	0.992
Franco Arenoso	Mo	3.51	3.68	0.0 1	36.03	1.000

Franco Arenoso	Cd	6.83	5.865	0.0 2	-92.71	0.000 (*)
Franco Arenoso	Cr VI	8.3	6.55	0.1 3	-27.11	0.000 (*)
Franco Arenoso	Pb	1181.2	1161.9 5	0.2 1	-184.95	0.000 (*)
Franco Arenoso	Hidrocarburos totales	612.08	611.62	0.3 6	-2.59	0.041 (*)
Franco Arcilloso	H	9.8	10.45	0.1 3	10.07	0.999
Franco Arcilloso	CE	0.103	0.10	0.0 0	-1.57	0.108
Franco Arcilloso	Mo	3.45	3.72	0.0 1	41.05	1.000
Franco Arcilloso	Cd	6.76	5.77	0.0 2	-95.60	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Cr VI	8	5.55	0.1 3	-37.96	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Pb	1185.2	1151.9 5	0.2 1	-319.46	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Hidrocarburos totales	612.12	611.07	0.0 3	-65.75	0.000 (*)
Franco Limoso	H	9.9	9.54	0.1 3	-5.67	0.005 (*)
Franco Limoso	CE	0.102	0.10	0.0 0	0.52	0.681
Franco Limoso	Mo	3.82	3.63	0.0 2	-21.96	0.000 (*)
Franco Limoso	Cd	6.79	5.87	0.0 2	-88.87	0.000 (*)
Franco Limoso	Cr VI	8.6	4.55	0.1 3	-62.74	0.000 (*)
Franco Limoso	Pb	1184.2	1155.0 5	2.4 1	-24.23	0.000 (*)
Franco Limoso	Hidrocarburos totales	612.15	611.07	0.0 3	-67.62	0.000 (*)

Interpretación: En suelo franco limoso se detectó un cambio significativo en todos los parámetros con excepción de CE que presento un valor de Sig superior que 0.05. Los parámetros que evidencian cambio significativo son resaltados con un asterisco

Tabla 16. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso biológico a una dosis de 10g

Grupo	Parámetro	Iniciales	Media	S	Prueba T	Sig
Franco Arenoso	H	9.7	9.775	0.13	1.19	0.841
Franco Arenoso	CE	0.101	0.11	0.00	22.05	1.000
Franco Arenoso	Mo	3.51	3.58	0.05	2.82	0.967
Franco Arenoso	Cd	6.83	6.855	0.03	1.73	0.909
Franco Arenoso	Cr VI	8.3	8.55	0.13	3.87	0.985
Franco Arenoso	Pb	1181.2	1181.95	0.21	7.21	0.997
Franco Arenoso	Hidrocarburos totales	612.08	599.46	0.69	-36.65	0.000 (*)
Franco Arcilloso	H	9.8	9.84	0.12	0.72	0.737
Franco Arcilloso	CE	0.103	0.11	0.00	17.15	1.000
Franco Arcilloso	Mo	3.45	3.58	0.05	5.24	0.993
Franco Arcilloso	Cd	6.76	6.86	0.03	6.58	0.996
Franco Arcilloso	Cr VI	8	8.55	0.13	8.52	0.998
Franco Arcilloso	Pb	1185.2	1181.95	0.21	-31.22	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Hidrocarburos totales	612.12	598.21	1.32	-21.05	0.000 (*)
Franco Limoso	H	9.9	9.81	0.08	-2.26	0.054
Franco Limoso	CE	0.102	0.11	0.00	19.60	1.000
Franco Limoso	Mo	3.82	3.58	0.05	-9.66	0.001 (*)
Franco Limoso	Cd	6.79	6.86	0.03	4.50	0.990
Franco Limoso	Cr VI	8.6	8.55	0.13	-0.77	0.248
Franco Limoso	Pb	1184.2	1181.95	0.21	-21.62	0.000 (*)

Franco Limoso	Hidrocarburos totales	612.15	599.46	0.69	-36.85	0.000 (*)
---------------	-----------------------	--------	--------	------	--------	-----------

Interpretación: Como resultado de la investigación, solo hidrocarburos totales evidencio una disminución significativa en los tres tipos de suelo (sus valores de Sig resultaron menores que 0.05). además, en suelo franco arcilloso el Plomo evidencio una disminución significativa (Sig=0.000 menor que 0.05). En suelo franco limoso Mo y Pb evidenciaron disminución significativa (valores de Sig menores que 0.05).

Tabla 17. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso biológico a una dosis de 30g

Grupo	Parámetro	Iniciales	Media	S	Prueba T	Sig
Franco Arenoso	H	9.7	9.525	0.10	-3.66	0.018 (*)
Franco Arenoso	CE	0.101	0.11825	0.00	36.03	1.000
Franco Arenoso	Mo	3.51	3.69	0.01	60.62	1.000
Franco Arenoso	Cd	6.83	5.82	0.01	-142.84	0.000 (*)
Franco Arenoso	Cr VI	8.3	6.225	0.19	-21.92	0.000 (*)
Franco Arenoso	Pb	1181.2	1172.58	1.61	-10.72	0.001 (*)
Franco Arenoso	Hidrocarburos totales	612.08	581.43	0.43	-140.96	0.000 (*)
Franco Arcilloso	H	9.8	9.85	0.12	0.85	0.771
Franco Arcilloso	CE	0.103	0.12	0.00	10.46	0.999
Franco Arcilloso	Mo	3.45	3.58	0.05	5.24	0.993
Franco Arcilloso	Cd	6.76	6.16	0.03	-41.92	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Cr VI	8	6.55	0.13	-22.46	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Pb	1185.2	1134.83	2.17	-46.43	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Hidrocarburos totales	612.12	501.43	0.43	-509.02	0.000 (*)

Franco Limoso	H	9.9	9.83	0.0 3	-4.16	0.013 (*)
Franco Limoso	CE	0.102	0.12	0.0 0	11.22	0.999
Franco Limoso	Mo	3.82	3.58	0.0 5	-9.66	0.001 (*)
Franco Limoso	Cd	6.79	3.79	0.2 6	-22.76	0.000 (*)
Franco Limoso	Cr VI	8.6	4.02	0.0 1	-957.25	0.000 (*)
Franco Limoso	Pb	1184.2	900.25	1.7 1	-332.53	0.000 (*)
Franco Limoso	Hidrocarburos totales	612.15	506.93	0.5 4	-391.36	0.000 (*)

Interpretación: En suelo franco limoso se detectó un cambio significativo en todos los parámetros con excepción de CE presento un valor de Sig superior que 0.05. Los parámetros que evidencian cambio significativo son resaltados con un asterisco

Tabla 18. Comparación de valores finales e iniciales para el proceso biológico a una dosis de 50g

Grupo	Parámetro	Iniciales	Media	S	Prueba T	Sig
Franco Arenoso	H	9.7	9.69	0.0 1	-2.45	0.046 (*)
Franco Arenoso	CE	0.101	0.1112 5	0.0 0	13.67	1.000
Franco Arenoso	Mo	3.51	4.63	0.0 2	131.45	1.000
Franco Arenoso	Cd	6.83	5.165	0.0 2	-159.97	0.000 (*)
Franco Arenoso	Cr VI	8.3	4.2	0.0 8	-100.43	0.000 (*)
Franco Arenoso	Pb	1181.2	1134.8 3	2.1 7	-42.74	0.000 (*)
Franco Arenoso	Hidrocarburos totales	612.08	191.13	5.9 3	-141.89	0.000 (*)
Franco Arcilloso	H	9.8	9.88	0.0 1	17.23	1.000
Franco Arcilloso	CE	0.103	0.12	0.0 0	31.86	1.000
Franco Arcilloso	Mo	3.45	4.69	0.0 1	427.82	1.000

Franco Arcilloso	Cd	6.76	4.17	0.02	-249.32	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Cr VI	8	4.02	0.01	-974.90	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Pb	1185.2	1124.83	2.17	-55.64	0.000 (*)
Franco Arcilloso	Hidrocarburos totales	612.12	190.63	0.42	-2010.35	0.000 (*)
Franco Limoso	H	9.9	9.94	0.05	1.61	0.897
Franco Limoso	CE	0.102	0.11	0.00	19.36	1.000
Franco Limoso	Mo	3.82	4.79	0.01	237.60	1.000
Franco Limoso	Cd	6.79	3.86	0.21	-27.42	0.000 (*)
Franco Limoso	Cr VI	8.6	4.25	0.15	-57.98	0.000 (*)
Franco Limoso	Pb	1184.2	1130.13	0.10	-1129.59	0.000 (*)
Franco Limoso	Hidrocarburos totales	612.15	190.63	0.42	-2010.49	0.000 (*)

Interpretación: Los parámetros que evidenciaron cambio significativo fueron Cd, Cr Vi, Pb e hidrocarburos totales, ya que sus valores de Sig son menores que 0.05. Los parámetros que evidencian cambio significativo son resaltados con un asterisco

HE2: La dosis óptima de reactivos Fenton y biochar en el tratamiento combinado demostrará una mayor reducción en los niveles de hidrocarburos en comparación con otras dosis.

Tabla 19. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco arenoso

Franco arenoso		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H	Entre grupos	0.1588	2	0.08	5.758	0.025
	Dentro de grupos	0.1241	9	0.01		
	Total	0.2828	11			

CE	Entre grupos	0.00	2	0.00	0.296	0.751
	Dentro de grupos	0.00	9	0.00		
	Total	0.00	11			
MO	Entre grupos	0.01	2	0.00336	3.454	0.077
	Dentro de grupos	0.01	9	0.00097		
	Total	0.02	11			
Cd	Entre grupos	2.48	2	1.24	2532.750	0.000
	Dentro de grupos	0.00	9	0.00		
	Total	2.48	11			
Cr VI	Entre grupos	32.00	2	16.00	960.000	0.000
	Dentro de grupos	0.15	9	0.02		
	Total	32.15	11			
Pb	Entre grupos	1929.63	2	964.81	492.531	0.000
	Dentro de grupos	17.63	9	1.96		
	Total	1947.26	11			
Hidrocarburos totales	Entre grupos	1.07	2	0.53	91.882	0.000
	Dentro de grupos	0.05	9	0.01		
	Total	1.12	11			

Interpretación: sobre la base de la prueba ANOVA se puede concluir que existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a cada parámetro (todos los valores de Sig resultaron menores que 0.05), salvo los parámetros CE y MO que no mostraron diferencias significativas (valores de Sig superiores que 0.05)

Tabla 20. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para humedad

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
30	4	9.53		
10	4		9.78	
50	4			9.83

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta de humedad se presentó a una dosis de 50.

Figura 4. Comparación de medias de humedad según dosis

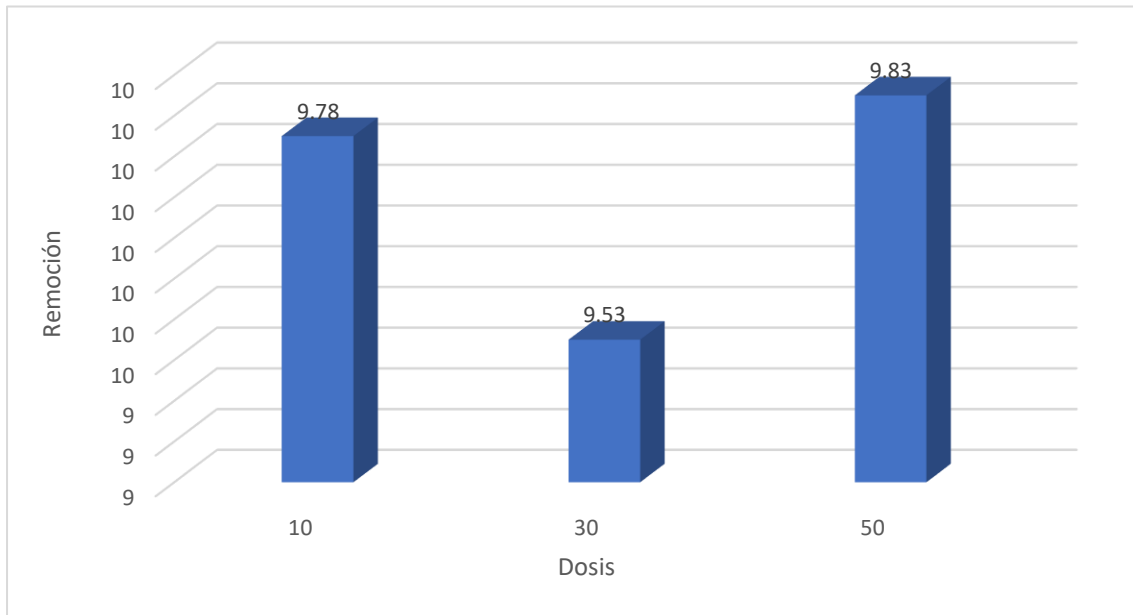


Tabla 21. Prueba de Tukey para comparar las dosis para CE

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
10,00	4	0.102
30,00	4	0.102
50,00	4	0.103

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de CE resultó estadísticamente iguales a las diferentes dosis.

Figura 5. Comparación de medias de remoción de CE según dosis

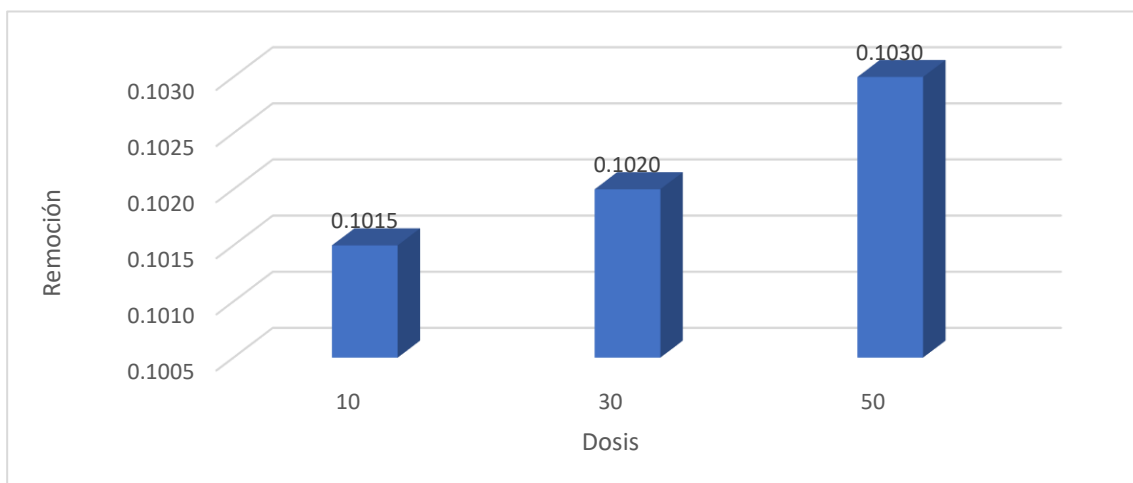


Tabla 22. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para MO

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
10,00	4	3.58
30,00	4	3.58
50,00	4	3.68

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de MO resultó estadísticamente iguales a las diferentes dosis

Figura 6. Comparación de medias de remoción de MO según dosis

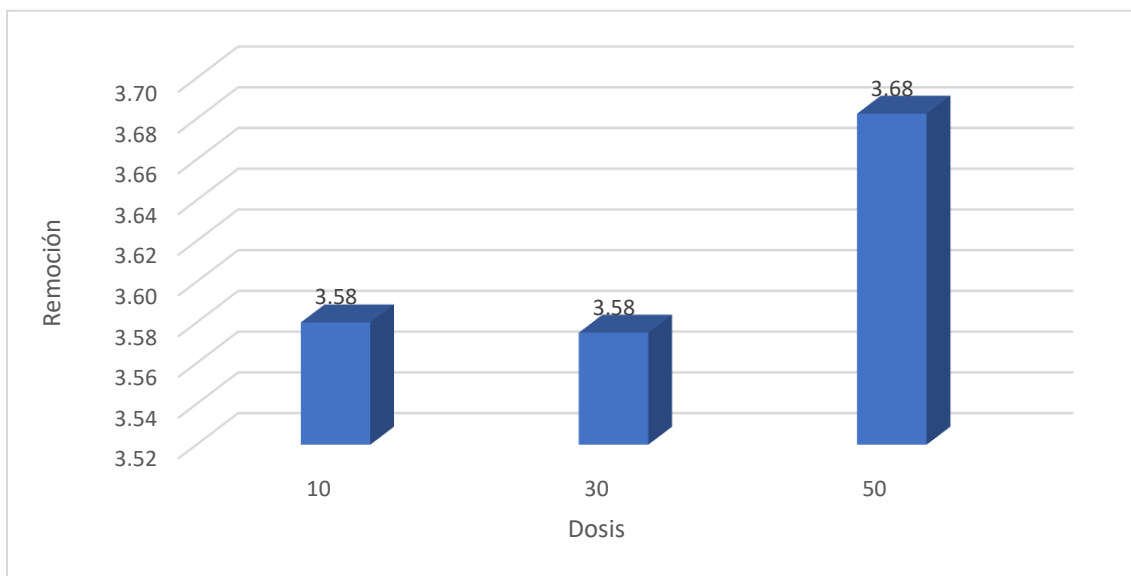


Tabla 23. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	5.865		
30	4		6.148	
10	4			6.855

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de Cadmio es más alta con una dosis de 10 mL

Figura 7. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis

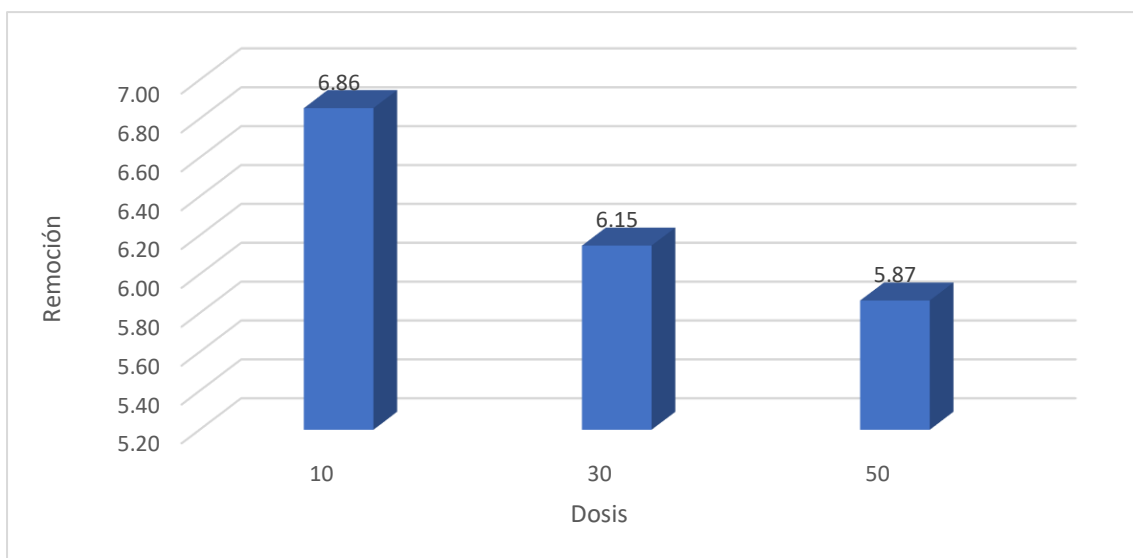


Tabla 24. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
50	4	6.550	
30	4		8.550
10	4		8.550

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de Cr VI más alta se encontró con una dosis de 10 y 30 mL

Figura 8. Comparación de medias de remoción de Cr VI según dosis

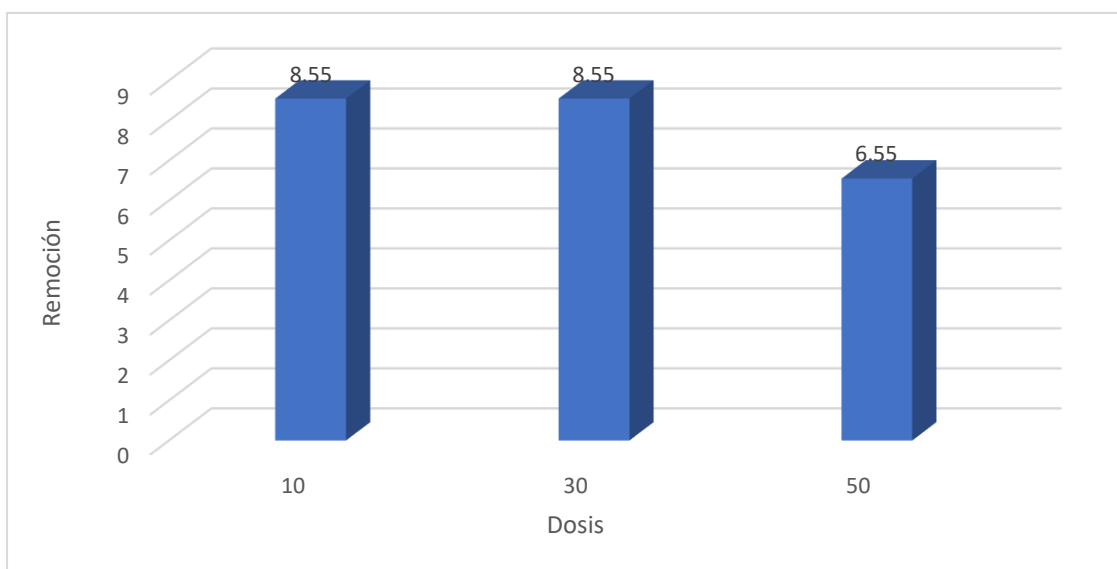


Tabla 25. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	1161.950		
30	4		1179.080	
10	4			1181.950

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de plomo más alta se encontró con una dosis de 10 mL

Figura 9. Comparación de medias de remoción de plomo según dosis

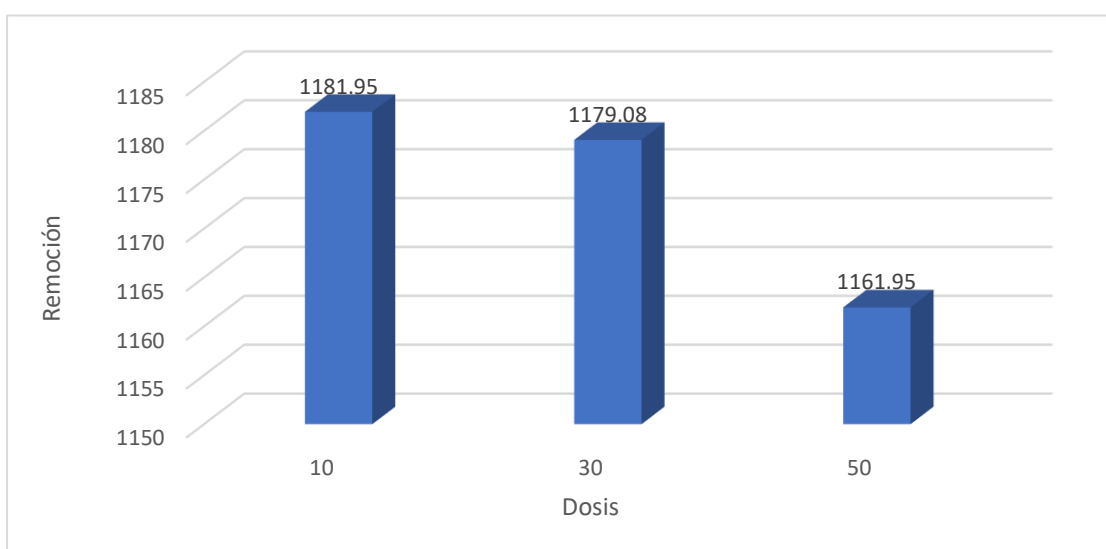


Tabla 26. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de hidrocarburos totales

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
50	4	611.618	
30	4	611.618	
10	4		611.920

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de hidrocarburos totales más alta se encontró con una dosis de 10 mL

Figura 10. Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis

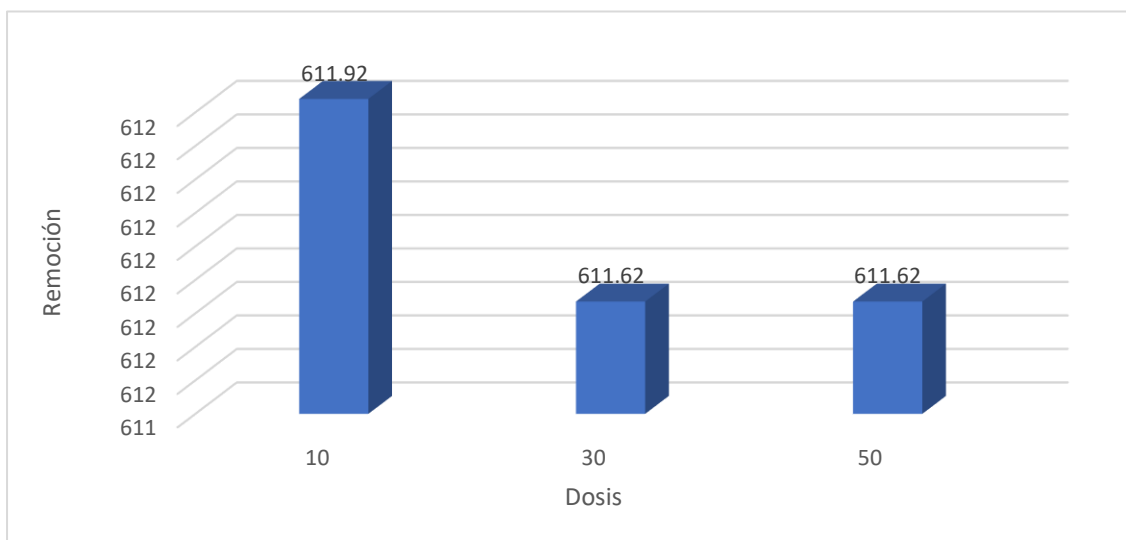


Tabla 27. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco Arcilloso

Franco Arcilloso		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H	Entre grupos	1.3850	2	0.69	8.935	0.007
	Dentro de grupos	0.6975	9	0.08		
	Total	2.0825	11			
CE	Entre grupos	0.00000	2	0.00	0.296	0.751
	Dentro de grupos	0.00002	9	0.00		
	Total	0.00002	11			
MO	Entre grupos	0.05	2	0.02523	18.925	0.001
	Dentro de grupos	0.01	9	0.00133		
	Total	0.06	11			
Cd	Entre grupos	3.15	2	1.57	2684.318	0.000
	Dentro de grupos	0.01	9	0.00		
	Total	3.15	11			
Cr VI	Entre grupos	24.00	2	12.00	720.000	0.000

	Dentro de grupos	0.15	9	0.02		
	Total	24.15	11			
Pb	Entre grupos	2400.00	2	1200.00	27692.308	0.000
	Dentro de grupos	0.39	9	0.04		
	Total	2400.39	11			
Hidrocarburos totales	Entre grupos	1.07	2	0.53	91.882	0.000
	Dentro de grupos	0.05	9	0.006		
	Total	1.12	11			

Interpretación: sobre la base de la prueba ANOVA se pudo concluir que existe diferencia significativa entre la media según dosis aplicada a cada parámetro (todos los valores de Sig resultaron menores que 0.05), solo en el caso de CE no se detectó diferencia significativa (Sig =0.751 mayor que 0.05)

Tabla 28. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de humedad

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
10	4	9.68		
30	4		9.80	
50	4			10.45

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 mL.

Figura 11. Comparación de medias de remoción de humedad según dosis

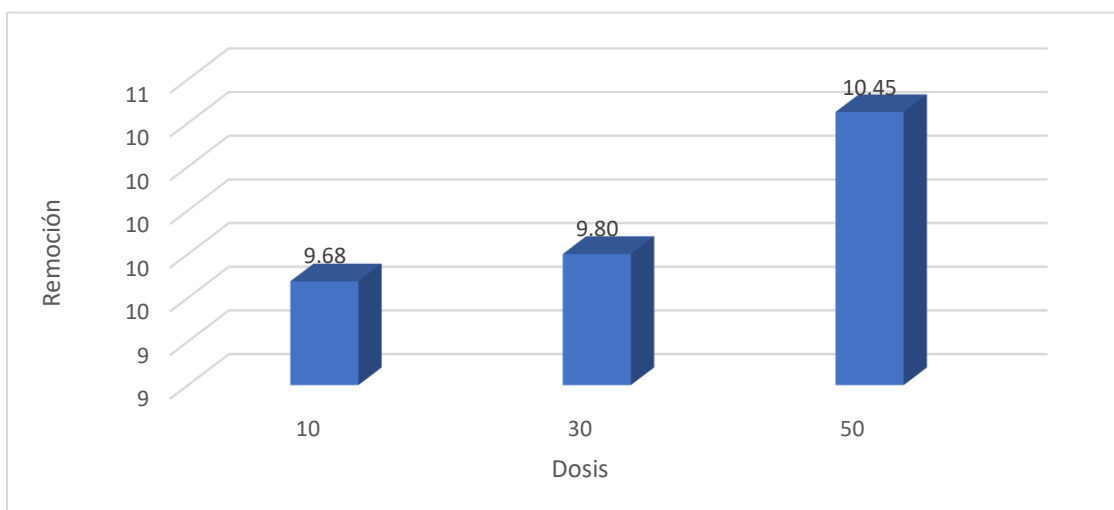


Tabla 29. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
10	4	0.102	
30	4	0.102	
50	4	0.102	

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de remoción según dosis resultó estadísticamente igual

Figura 12. Comparación de medias de remoción de CE según dosis

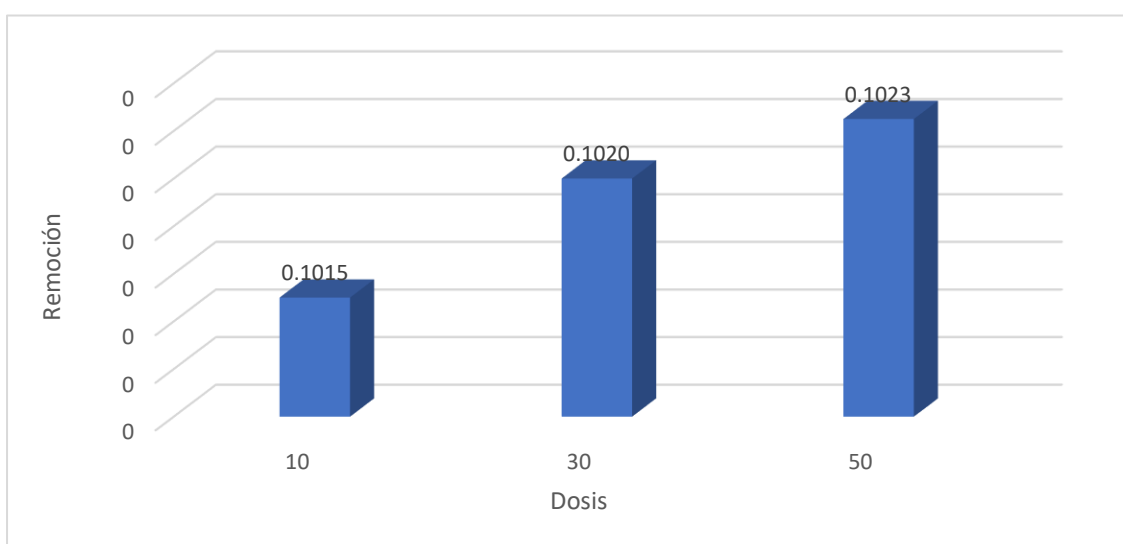


Tabla 30. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para MO

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
10	4	3.58	
30	4	3.58	
50	4		3.72

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50.

Figura 13. Comparación de medias de remoción de MO según dosis

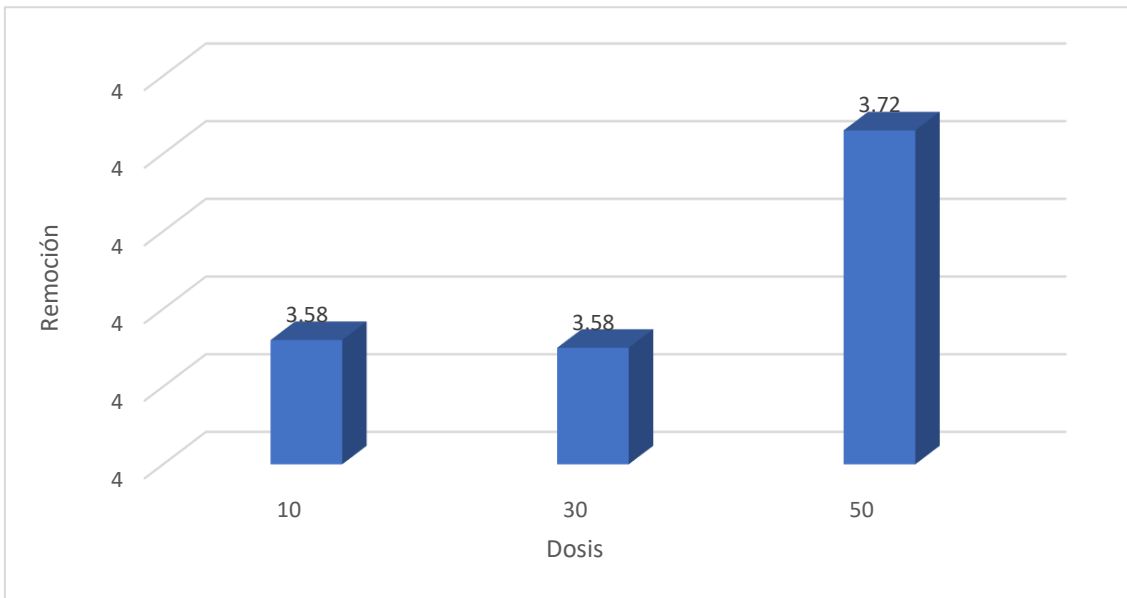


Tabla 31. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de cadmio

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	5.765		
30	4		6.848	
10	4			6.855

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de cadmio más alta se encontró con una dosis de 10

Figura 14. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis

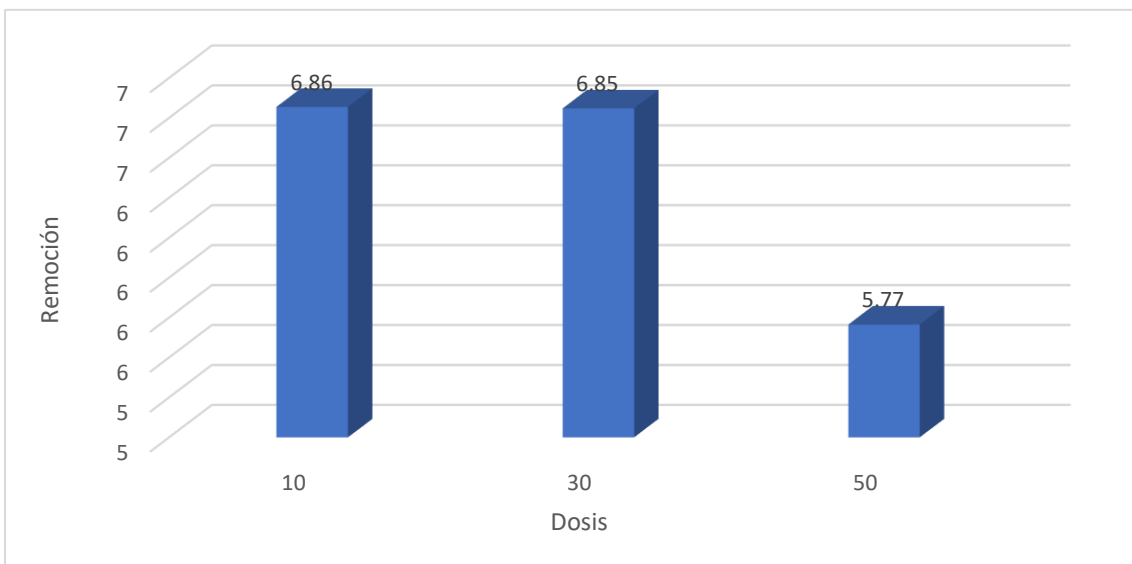


Tabla 32. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
50	4	5.550	
30	4		8.550
10	4		8.550

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de remoción más alta se encontró con una dosis de 10 y 30

Figura 15. Comparación de medias de remoción de Cr VI según dosis

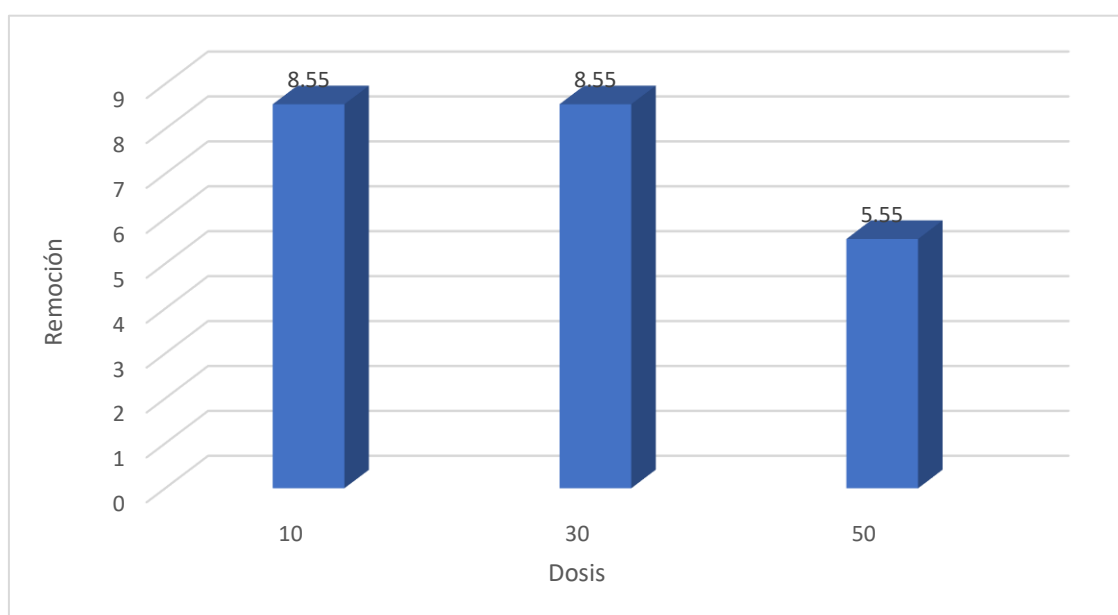


Tabla 33. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de plomo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
50	4	1151.950	
30	4		1181.950
10	4		1181.950

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de remoción más alta se encontró con una dosis de 10 y 30.

Figura 16. Comparación de medias de remoción de plomo según dosis

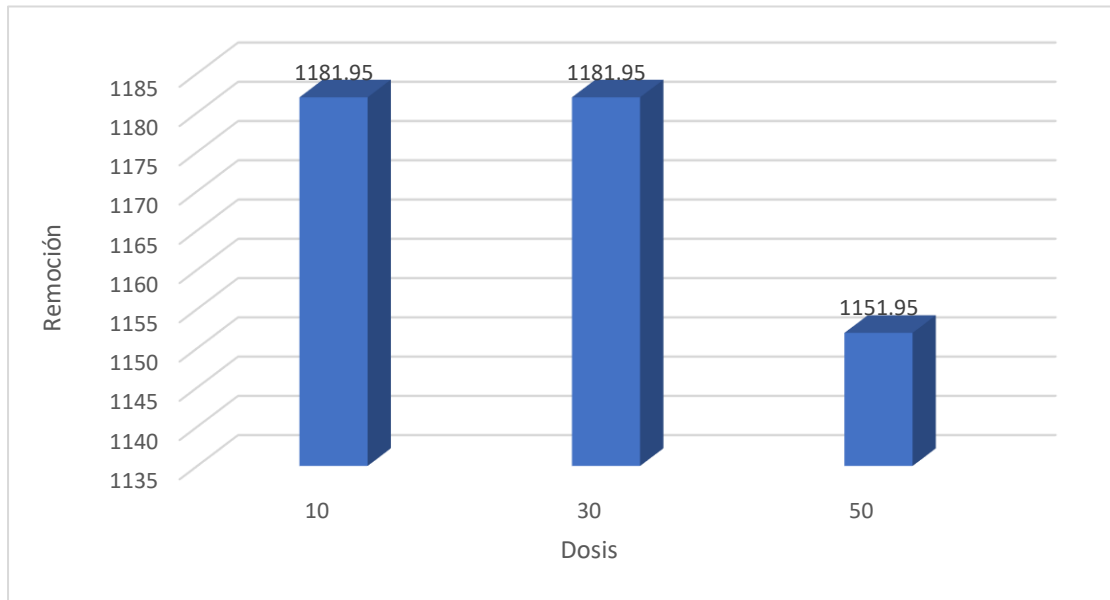


Tabla 34. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de hidrocarburos totales

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	611.068		
30	4		611.643	
10	4			611.745

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de remoción más alta se encontró con una dosis de 10

Figura 17. Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis

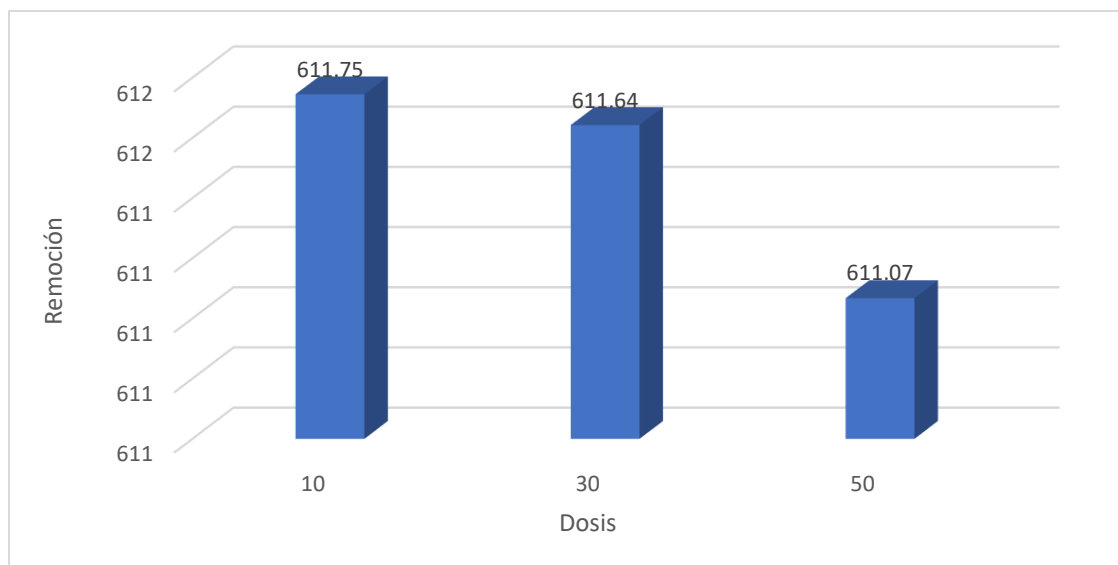


Tabla 35. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco arcilloso

Franco arcilloso		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H	Entre grupos	0.1588	2	0.08	5.758	0.025
	Dentro de grupos	0.1241	9	0.01		
	Total	0.2828	11			
CE	Entre grupos	0.00	2	0.00	0.296	0.751
	Dentro de grupos	0.00	9	0.00		
	Total	0.00	11			
MO	Entre grupos	0.01	2	0.00336	3.454	0.077
	Dentro de grupos	0.01	9	0.00097		
	Total	0.02	11			
Cd	Entre grupos	2.48	2	1.24	2532.750	0.000
	Dentro de grupos	0.00	9	0.00		
	Total	2.48	11			
Cr VI	Entre grupos	32.00	2	16.00	960.000	0.000
	Dentro de grupos	0.15	9	0.02		
	Total	32.15	11			
Pb	Entre grupos	1929.63	2	964.81	492.531	0.000
	Dentro de grupos	17.63	9	1.96		
	Total	1947.26	11			
Hidrocarburos totales	Entre grupos	1.07	2	0.53	91.882	0.000
	Dentro de grupos	0.05	9	0.01		
	Total	1.12	11			

Interpretación: sobre la base de la prueba ANOVA se puede concluir que existe diferencia significativa entre la media de remoción según dosis aplicada a cada

parámetro (todos los valores de Sig resultaron menores que 0.05), solo dos parámetros no mostraron diferencia significativa según las dosis, estos son CE y MO (los valores de Sig resultaron mayores que 0.05).

Tabla 36. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de humedad

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
30	4	9.53		
50	4		9.54	
10	4			9.78

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10.

Figura 18. Comparación de medias de remoción de humedad según dosis

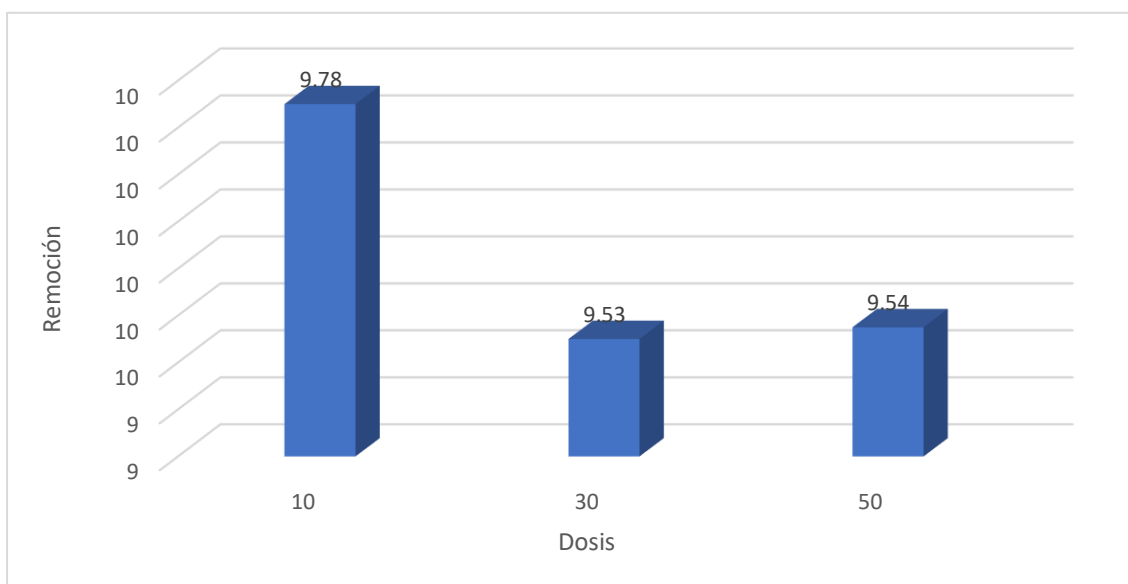


Tabla 37. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
10	4	0.1015
30	4	0.1020
50	4	0.1023

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que no existe diferencia significativa entre las dosis para remoción de CE.

Figura 19. Comparación de medias de remoción de CE según dosis

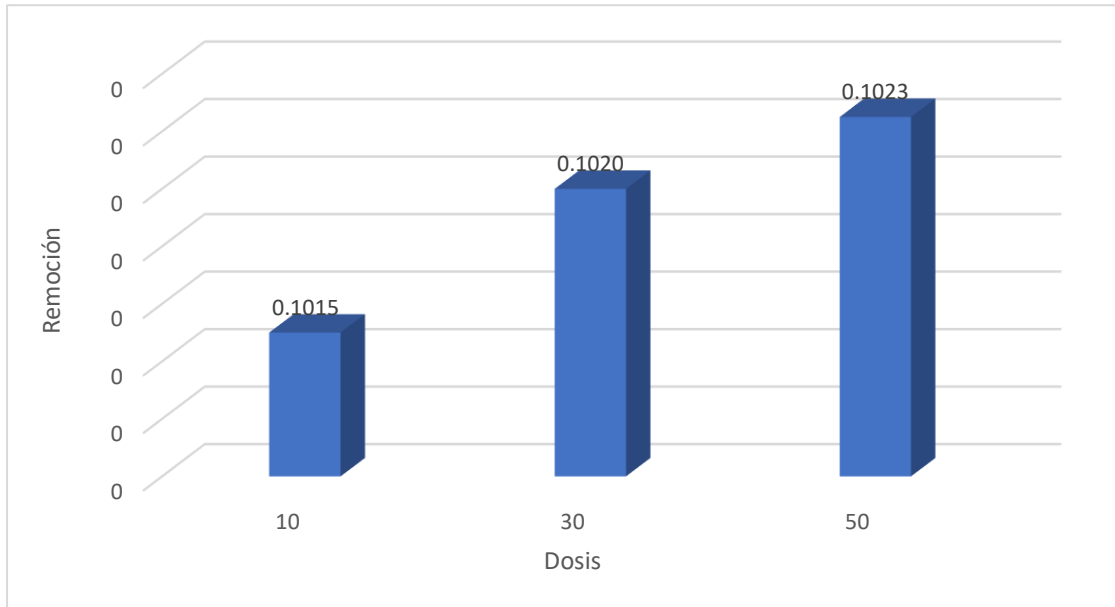


Tabla 38. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para MO

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
10	4	3.58	
30	4		3.63
50	4		3.63

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 30 y 50.

Figura 20. Comparación de medias de remoción de MO según dosis

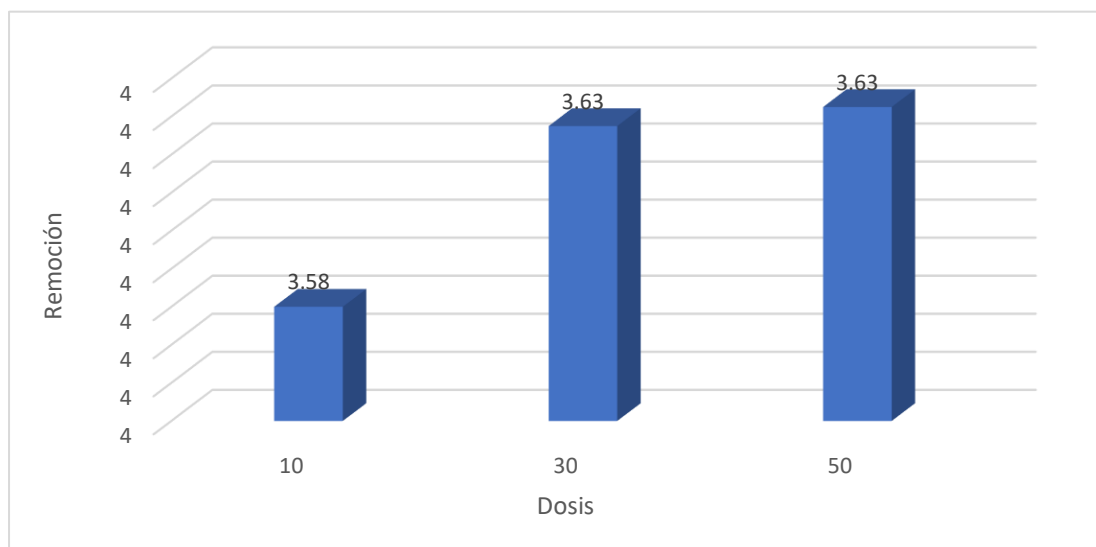


Tabla 39. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	5.865		
30	4		5.920	
10	4			6.855

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media de remoción más alta se encontró con una dosis de 10

Figura 21. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis

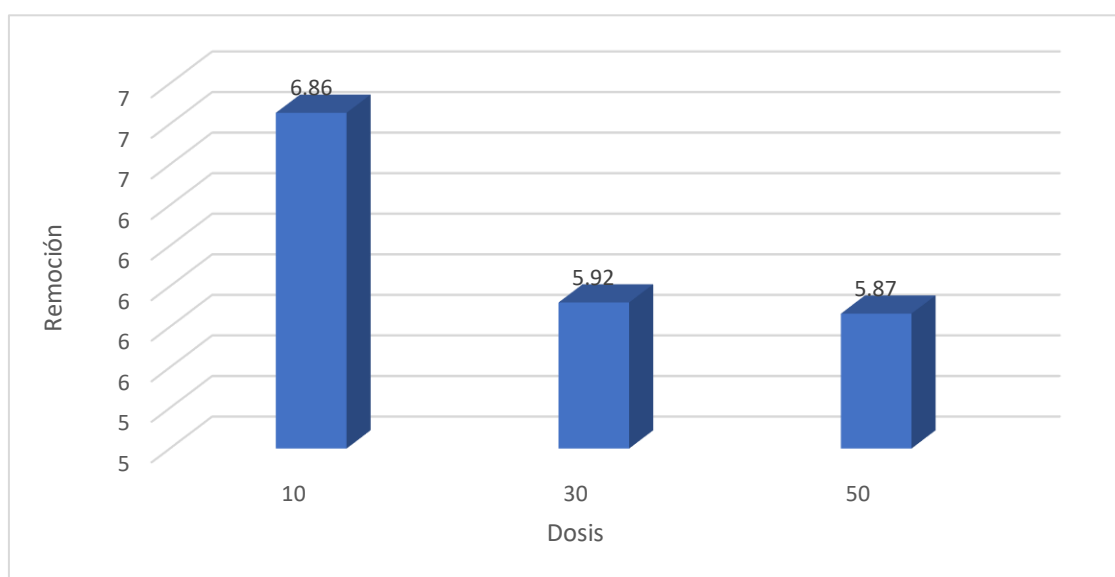


Tabla 40. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	4.550		
30	4		6.550	
10	4			8.550

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10.

Figura 22. Comparación de medias de remoción de Cr VI según dosis

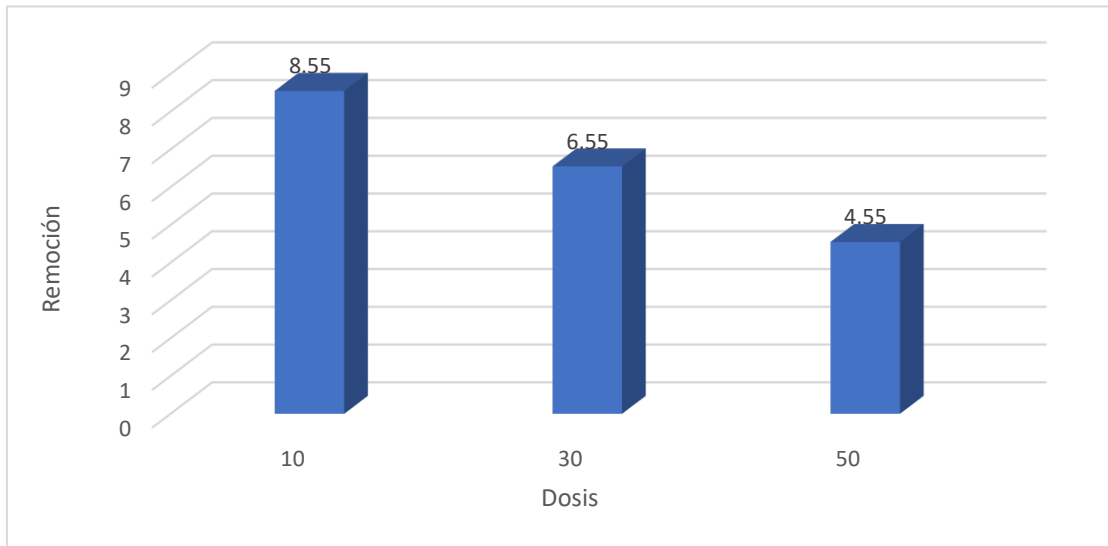


Tabla 41. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
50	4	1155.050	
30	4		1181.950
10	4		1181.950

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 y 30

Figura 23. Comparación de medias de remoción de Cr VI según dosis

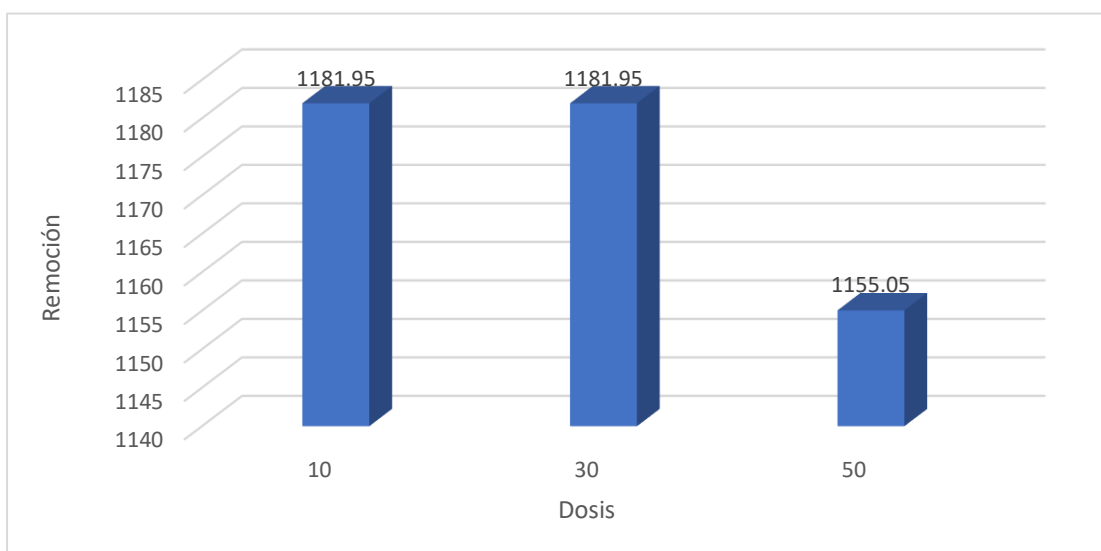


Tabla 42. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Hidrocarburos totales

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	611.068		
30	4		611.643	
10	4			611.745

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10

Figura 24. Comparación de medias de remoción de Hidrocarburos totales según dosis

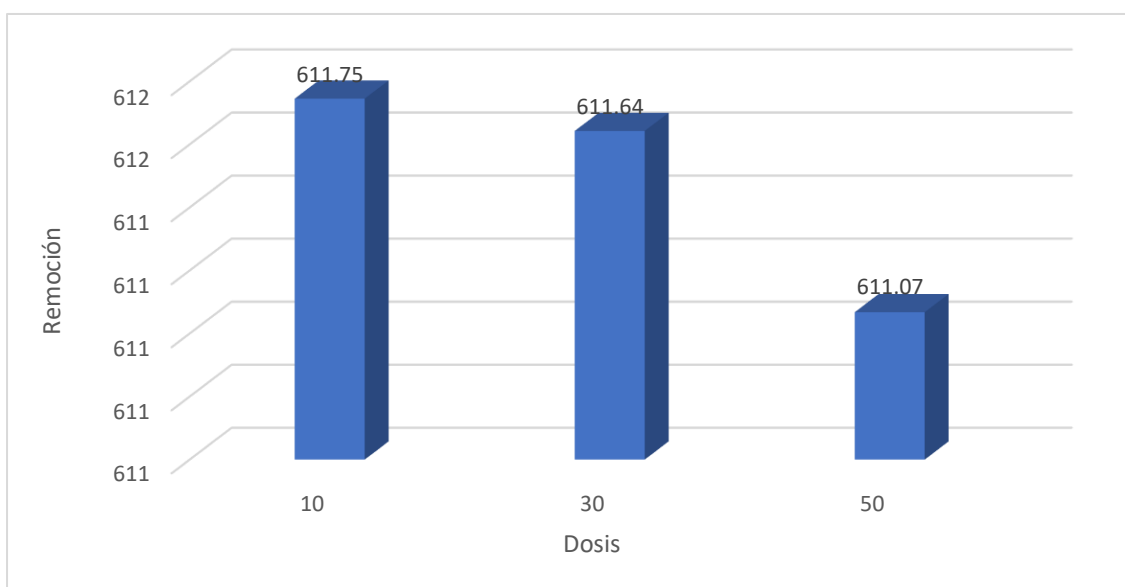


Tabla 43. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco arenoso

Franco Arenoso		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H	Entre grupos	0.13	2	0.06	7.735	0.011
	Dentro de grupos	0.08	9	0.01		
	Total	0.20	11			
CE	Entre grupos	0.00016	2	0.000079	61.891	0.000
	Dentro de grupos	0.00001	9	0.000001		
	Total	0.00017	11			

MO	Entre grupos	2.69	2	1.34436	1444.684	0.000
	Dentro de grupos	0.01	9	0.00093		
	Total	2.70	11			
Cd	Entre grupos	5.81	2	2.90423	5940.477	0.000
	Dentro de grupos	0.00	9	0.00049		
	Total	5.81	11			
Cr VI	Entre grupos	37.90	2	18.95	960.972	0.000
	Dentro de grupos	0.18	9	0.02		
	Total	38.08	11			
Pb	Entre grupos	4978.29	2	2489.15	1017.131	0.000
	Dentro de grupos	22.03	9	2.45		
	Total	5000.32	11			
Hidrocarburos totales	Entre grupos	425856.75	2	212928.37	17806.800	0.000
	Dentro de grupos	107.62	9	11.958		
	Total	425964.37	11			

Interpretación: sobre la base de la prueba ANOVA se puede concluir que existe diferencia significativa entre las dosis aplicadas a cada parámetro (todos los valores de Sig resultaron menores que 0.05)

Tabla 44. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para humedad

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
30	4	9.53		
50	4		9.69	
10	4			9.78

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 25. Comparación de medias de humedad según dosis

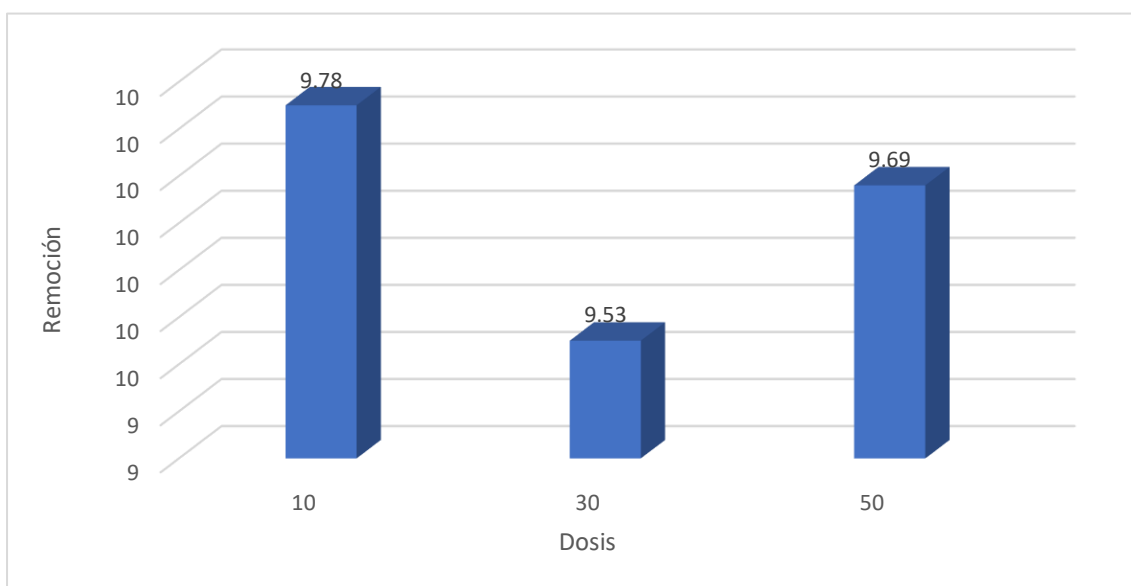


Tabla 45. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
10	4	0.110		
50	4		0.111	
30	4			0.118

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 26. Comparación de medias de remoción de CE según dosis

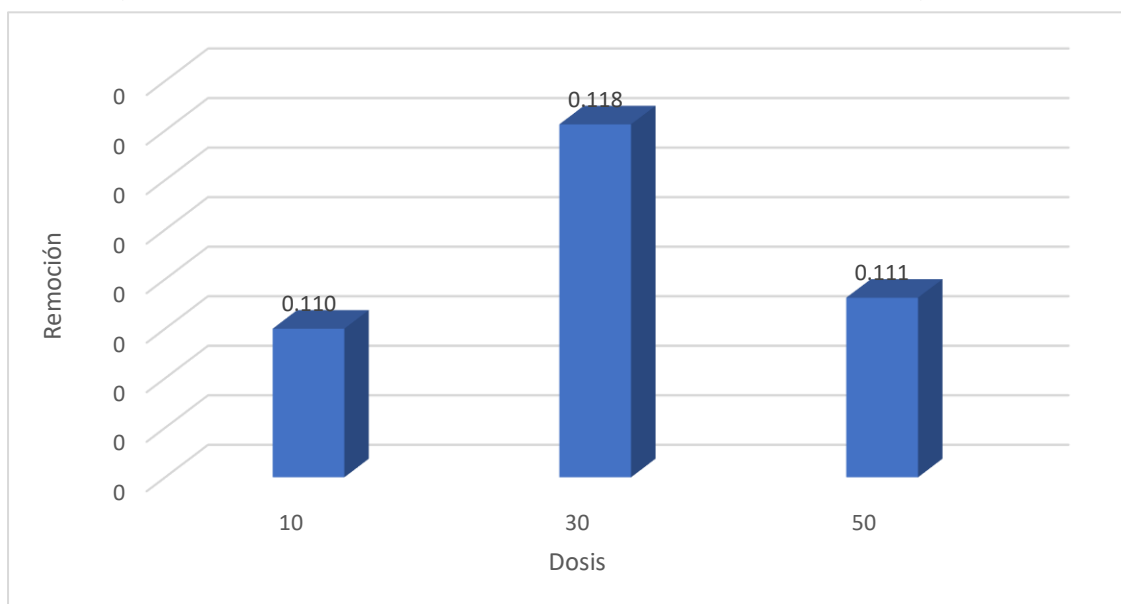


Tabla 46. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para Mo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
10	4	3.58		
30	4		3.69	
50	4			4.63

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 27. Comparación de medias de remoción de Mo según dosis

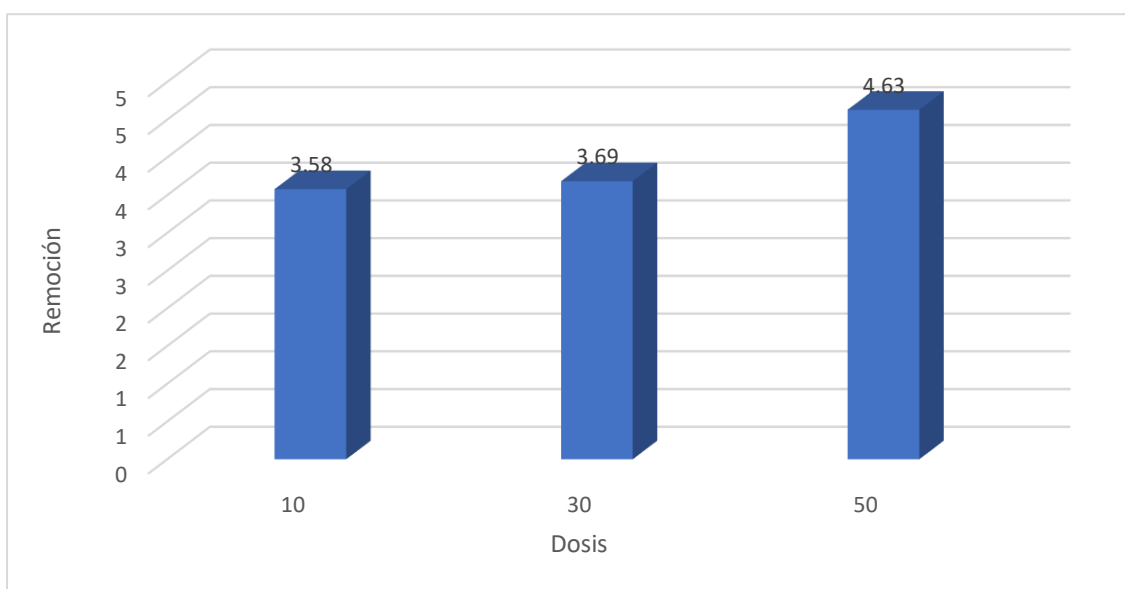


Tabla 47. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	5.165		
30	4		5.820	
10	4			6.855

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media fue más alta con una dosis de 10 g.

Figura 28. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis

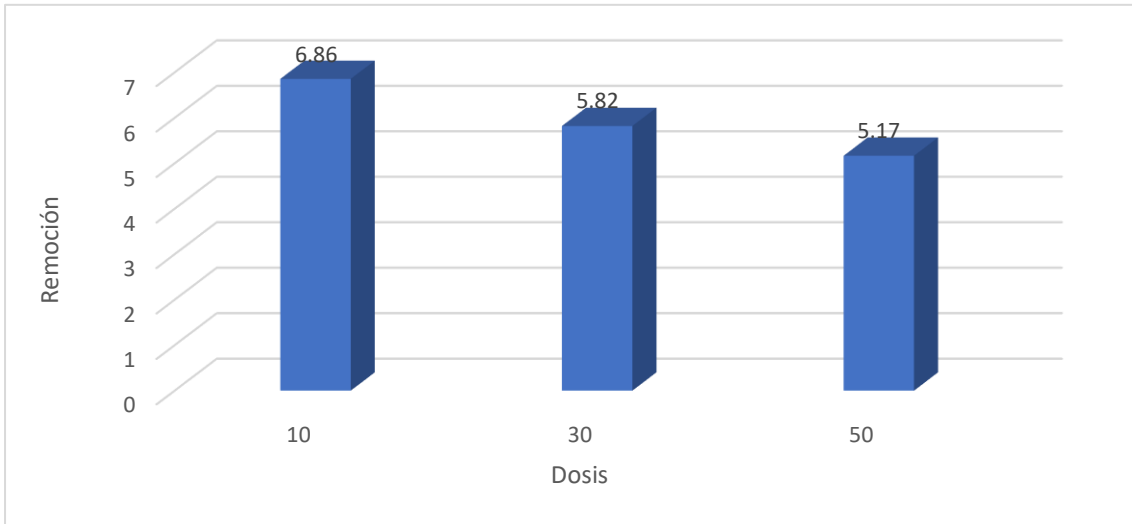


Tabla 48. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	4.200		
30	4		6.225	
10	4			8.550

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 29. Comparación de medias de remoción de Pb según dosis

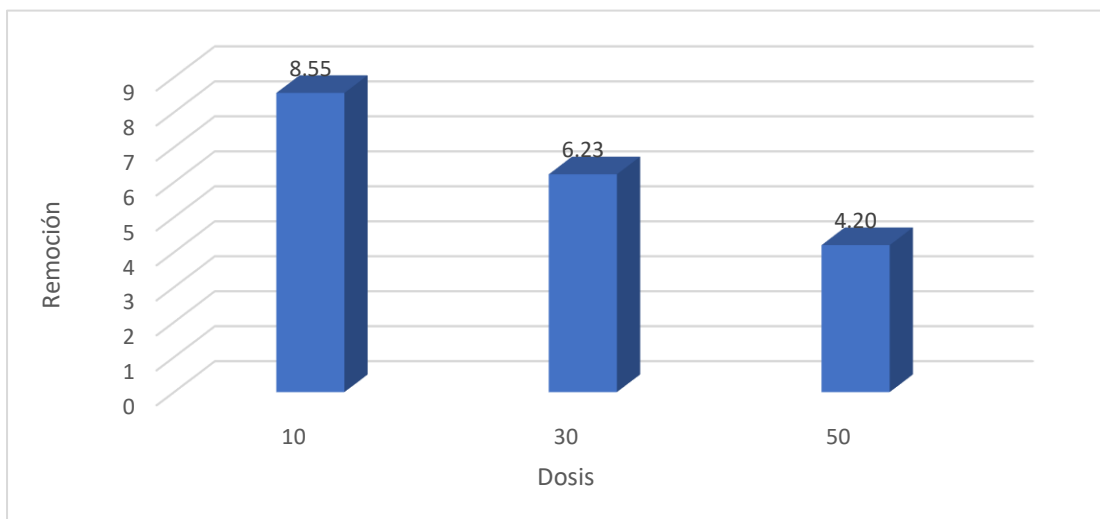


Tabla 49. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	1134.825		
30	4		1172.575	
10	4			1181.950

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 30. Comparación de medias de remoción de Plomo según dosis

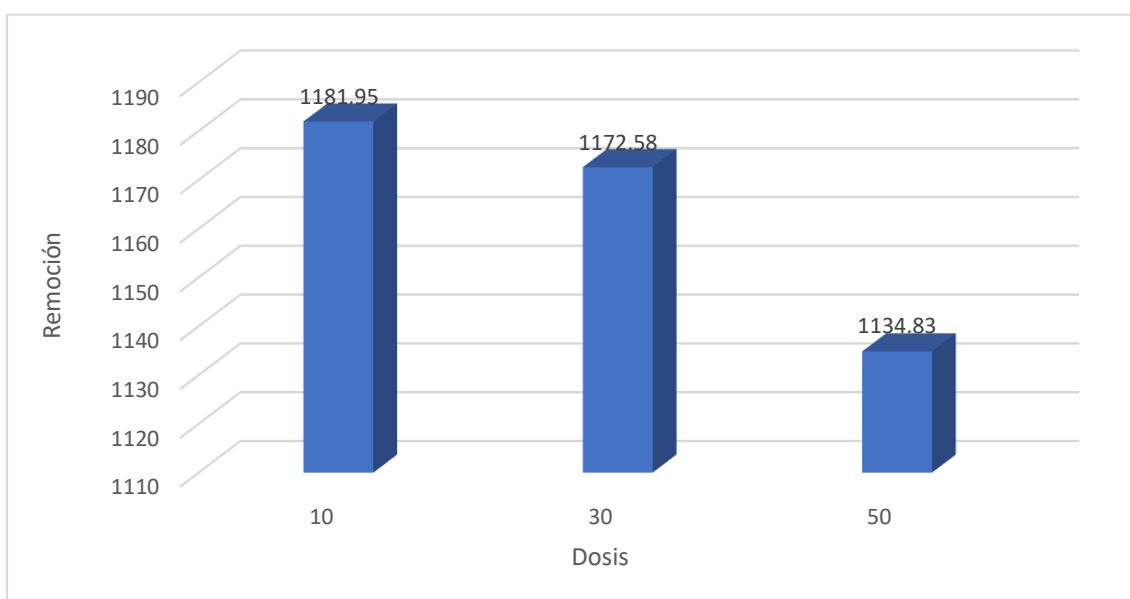


Tabla 50. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para hidrocarburos totales

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	191.125		
30	4		581.425	
10	4			599.455

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 31. Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis

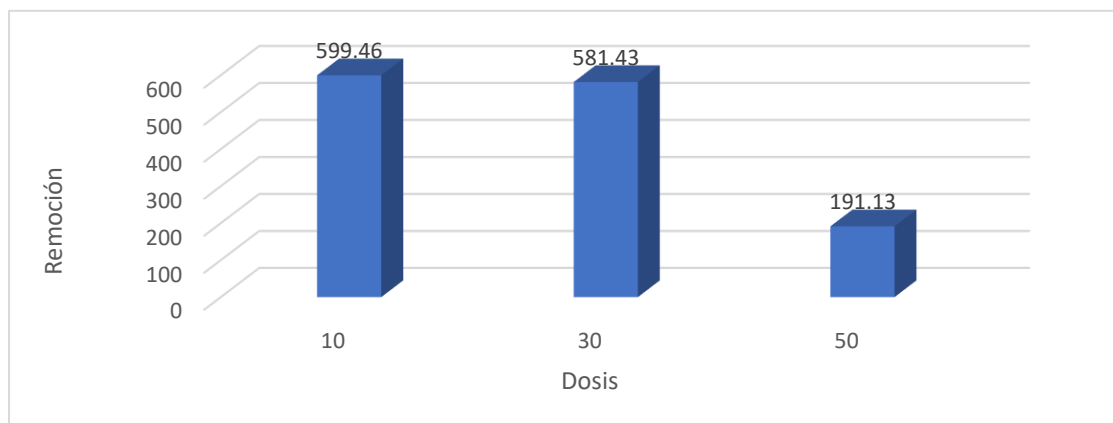


Tabla 51. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco Arcilloso

Franco Arcilloso		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H	Entre grupos	0.0036	2	0.00	0.194	0.827
	Dentro de grupos	0.0839	9	0.01		
	Total	0.0876	11			
CE	Entre grupos	0.00015	2	0.00	27.265	0.000
	Dentro de grupos	0.00003	9	0.00		
	Total	0.00018	11			
MO	Entre grupos	3.26	2	1.62803	983.376	0.000
	Dentro de grupos	0.01	9	0.00166		
	Total	3.27	11			
Cd	Entre grupos	15.58	2	7.79	11129.714	0.000
	Dentro de grupos	0.01	9	0.00		
	Total	15.59	11			
Cr VI	Entre grupos	41.23	2	20.61	1851.605	0.000
	Dentro de grupos	0.10	9	0.01		
	Total	41.33	11			
Pb	Entre grupos	7445.37	2	3722.69	1180.348	0.000

	Dentro de grupos	28.39	9	3.15		
	Total	7473.76	11			
Hidrocarburos totales	Entre grupos	362779.29	2	181389.64	257521.617	0.000
	Dentro de grupos	6.34	9	0.704		
	Total	362785.63	11			

Interpretación: sobre la base de la prueba ANOVA se pudo concluir que existe diferencia significativa entre la media de remoción según dosis aplicada a cada parámetro (todos los valores de Sig resultaron menores que 0.05).

Tabla 52. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para humedad

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
10	4	9.84		
30	4		9.85	
50	4			9.88

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 32. Comparación de medias de humedad según dosis

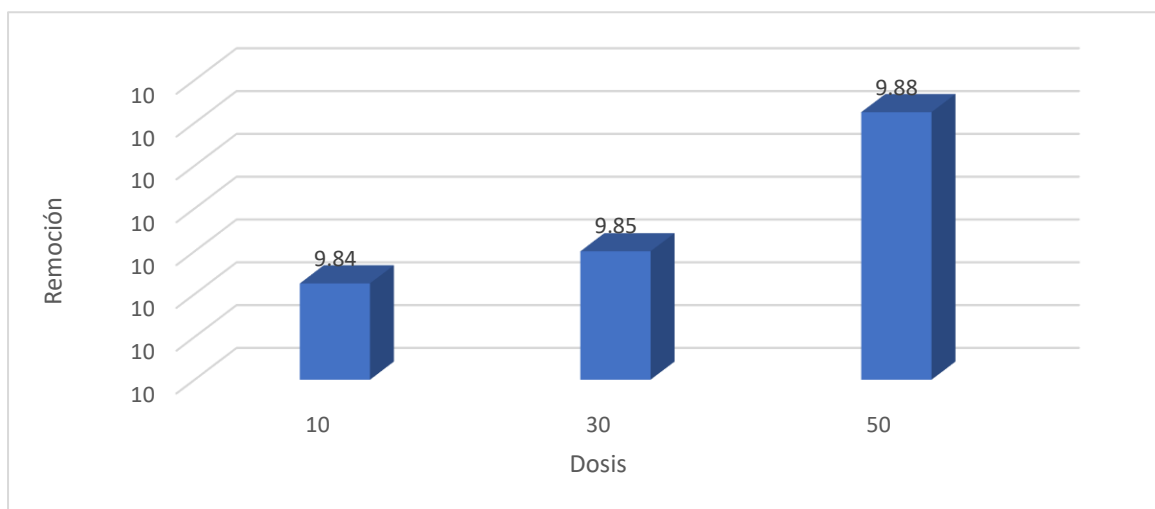


Tabla 53. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
10	4	0.110		
30	4		0.117	
50	4			0.118

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 33. Comparación de medias de remoción de CE según dosis

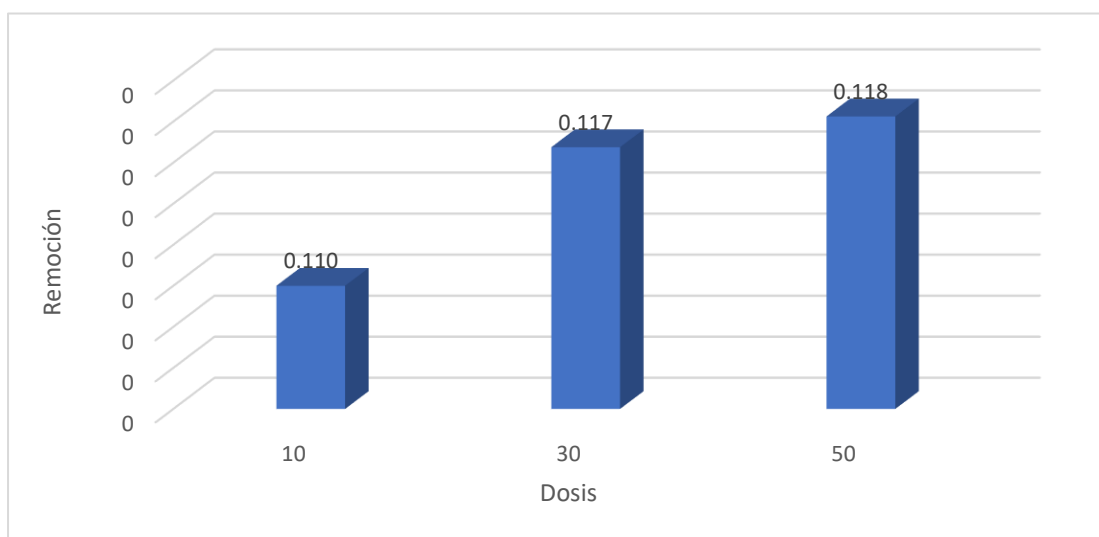


Tabla 54. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para Mo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
10	4	3,58	
30	4	3,58	
50	4		4,69

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 34. Comparación de medias de remoción de Mo según dosis

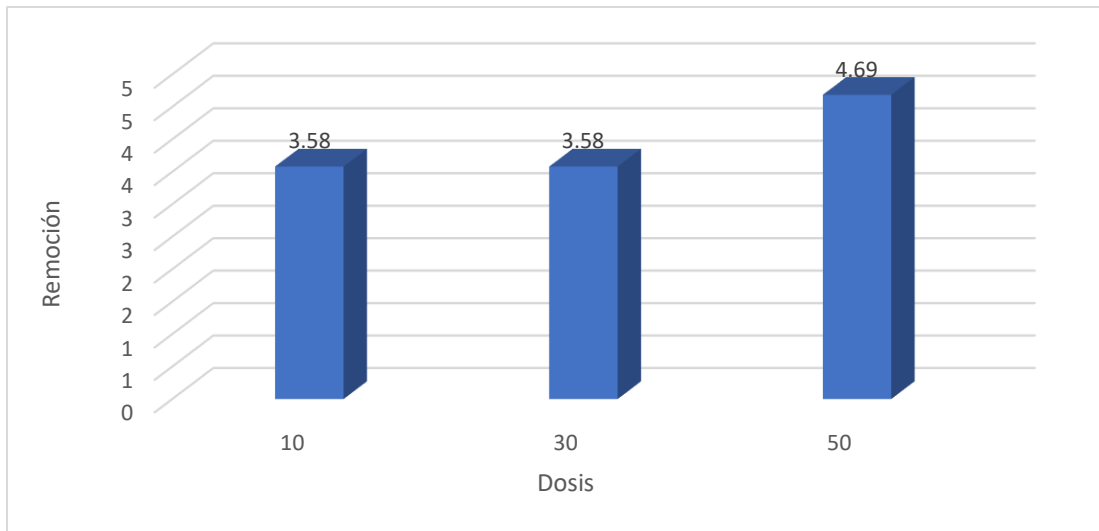


Tabla 55. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	4.165		
30	4		6.155	
10	4			6.855

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media fue más alta con una dosis de 10 g.

Figura 35 Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis

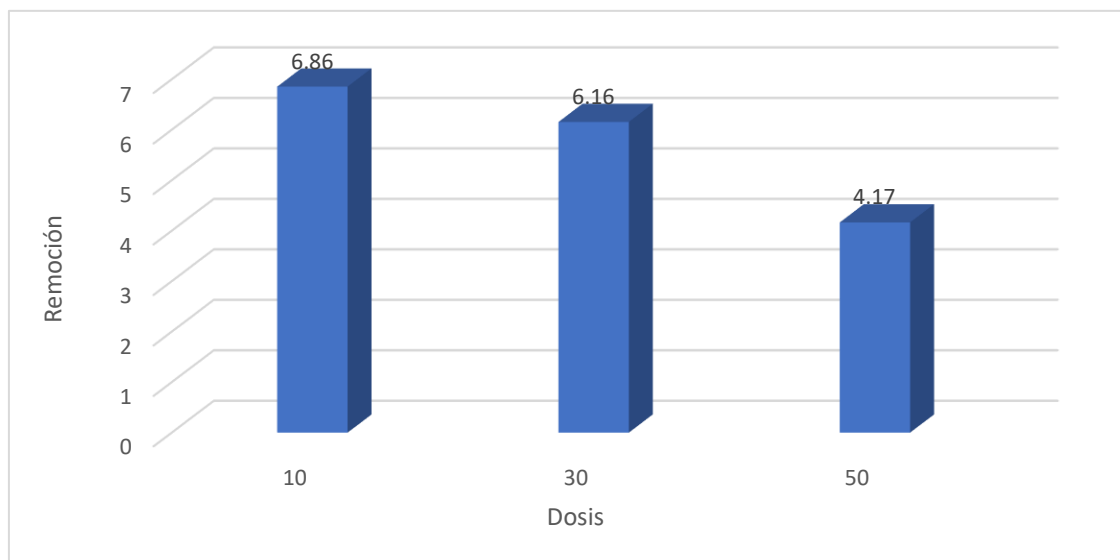


Tabla 56. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	4.020		
30	4		6.550	
10	4			8.550

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 36. Comparación de medias de remoción de Pb según dosis

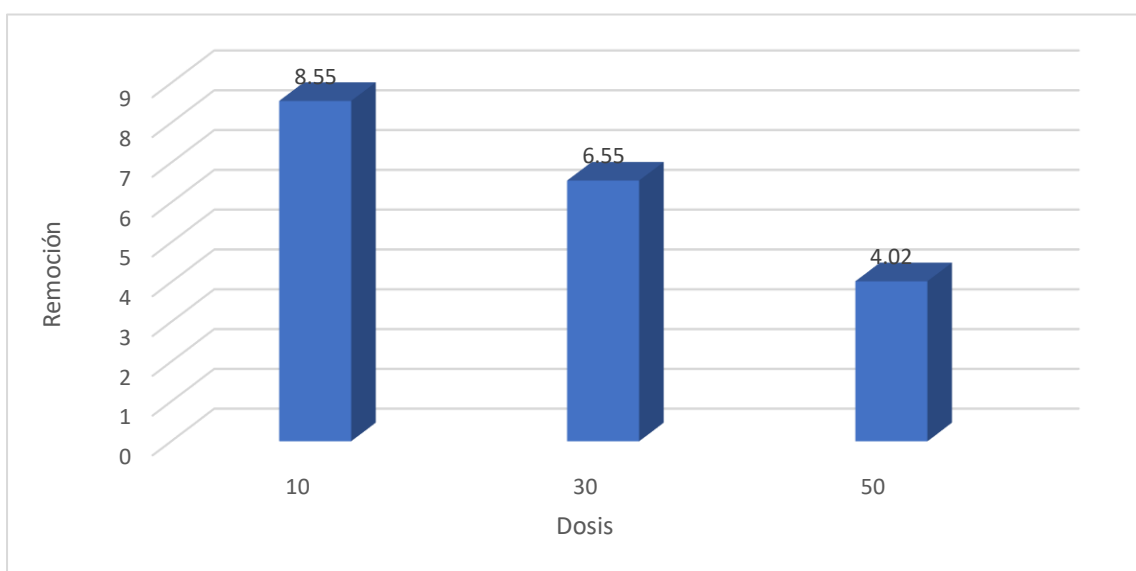


Tabla 57. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	1124.825		
30	4		1134.825	
10	4			1181.950

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 37. Comparación de medias de remoción de Plomo según dosis

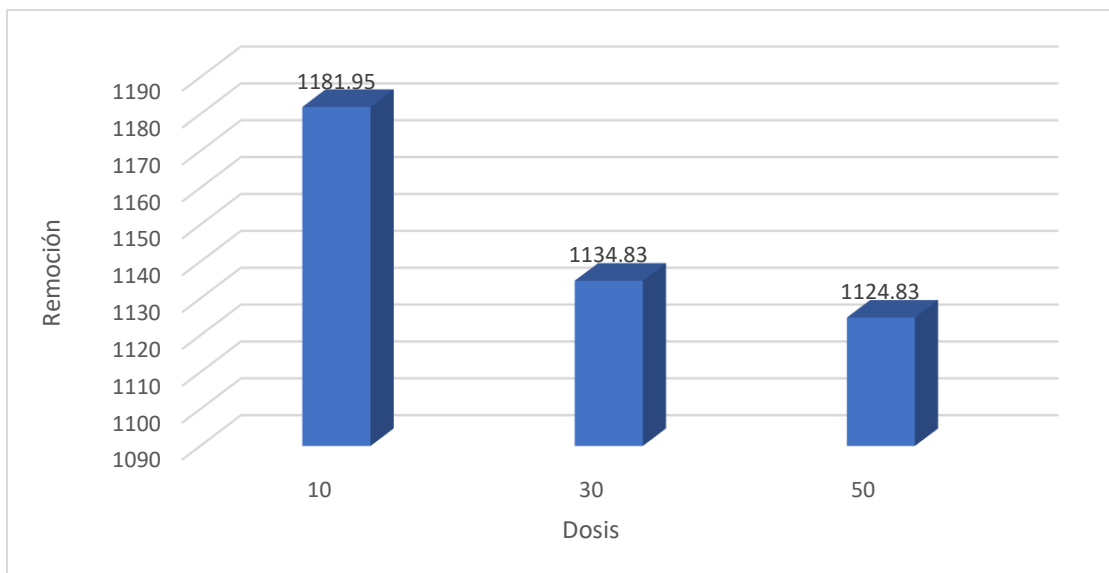


Tabla 58. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para hidrocarburos totales

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	190.625		
30	4		501.425	
10	4			598.205

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 38. Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis

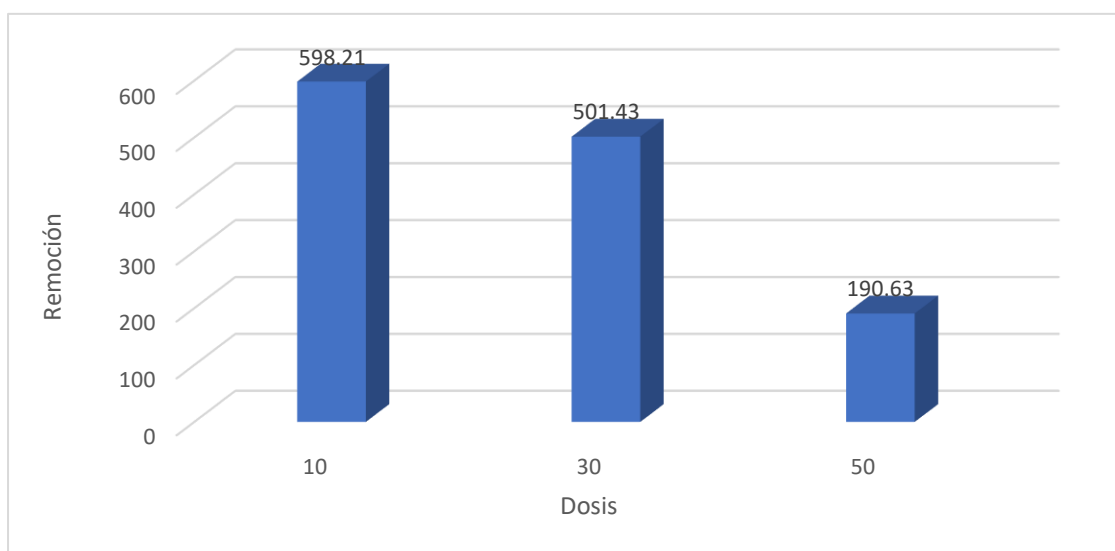


Tabla 59. Prueba ANOVA para comparar el efecto de las dosis en la remoción según parámetros en muestra Franco arcilloso

Franco Limoso		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H	Entre grupos	0.0402	2	0.02	5.862	0.023
	Dentro de grupos	0.0309	9	0.00		
	Total	0.0711	11			
CE	Entre grupos	0.00	2	0.00	15.324	0.001
	Dentro de grupos	0.00	9	0.00		
	Total	0.00	11			
MO	Entre grupos	3.90	2	1.95213	1171.280	0.000
	Dentro de grupos	0.01	9	0.00167		
	Total	3.92	11			
Cd	Entre grupos	24.51	2	12.26	316.639	0.000
	Dentro de grupos	0.35	9	0.04		
	Total	24.86	11			
Cr VI	Entre grupos	52.17	2	26.09	1989.998	0.000
	Dentro de grupos	0.12	9	0.01		
	Total	52.29	11			
Pb	Entre grupos	179844.31	2	89922.16	90855.955	0.000
	Dentro de grupos	8.91	9	0.99		
	Total	179853.22	11			
Hidro-carbu-ros tota-les	Entre grupos	367665.95	2	183832.97	586846.649	0.000
	Dentro de grupos	2.82	9	0.31		
	Total	367668.77	11			

Interpretación: sobre la base de la prueba ANOVA se puede concluir que existe diferencia significativa entre la media de remoción según dosis aplicada a cada parámetro (todos los valores de Sig resultaron menores que 0.05).

Tabla 60. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para humedad

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
10	4	9.81		
30	4		9.83	
50	4			9.94

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 39. Comparación de medias de humedad según dosis

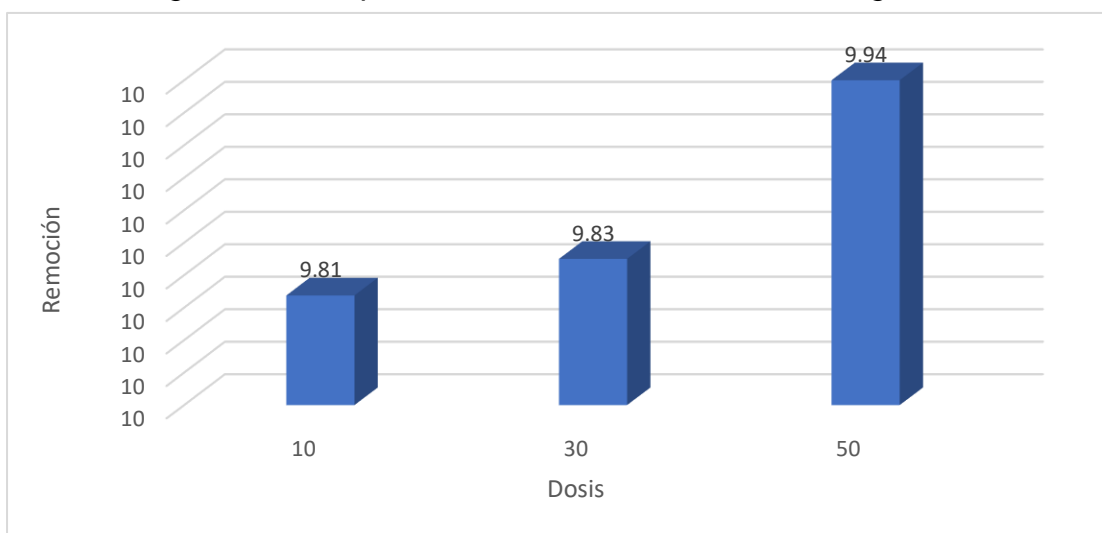


Tabla 61. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de CE

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
10	4	0.110		
50	4		0.115	
30	4			0.117

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 40. Comparación de medias de remoción de CE según dosis

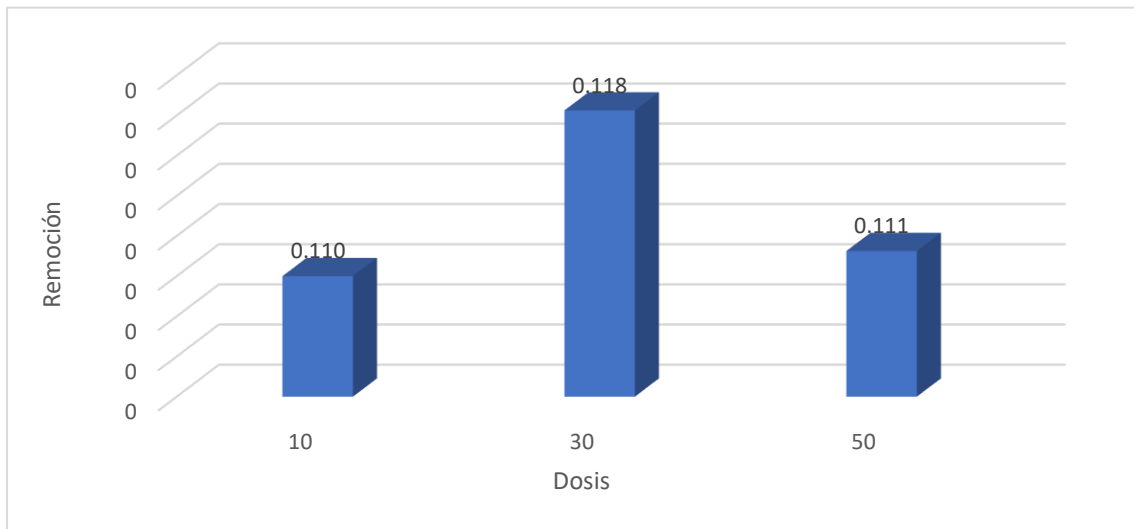


Tabla 62. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para Mo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
10	4	3,58	
30	4	3,58	
50	4		4,79

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 50 g.

Figura 41. Comparación de medias de remoción de Mo según dosis

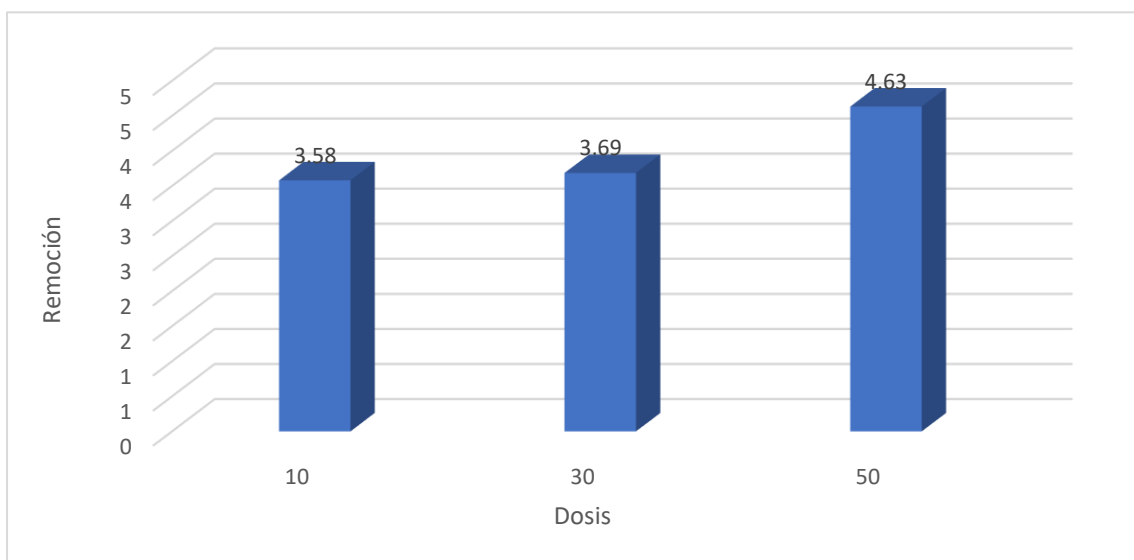


Tabla 63. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cadmio

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
30	4	3.788		
50	4		3.860	
10	4			6.855

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media fue más alta con una dosis de 10 g.

Figura 42. Comparación de medias de remoción de Cadmio según dosis

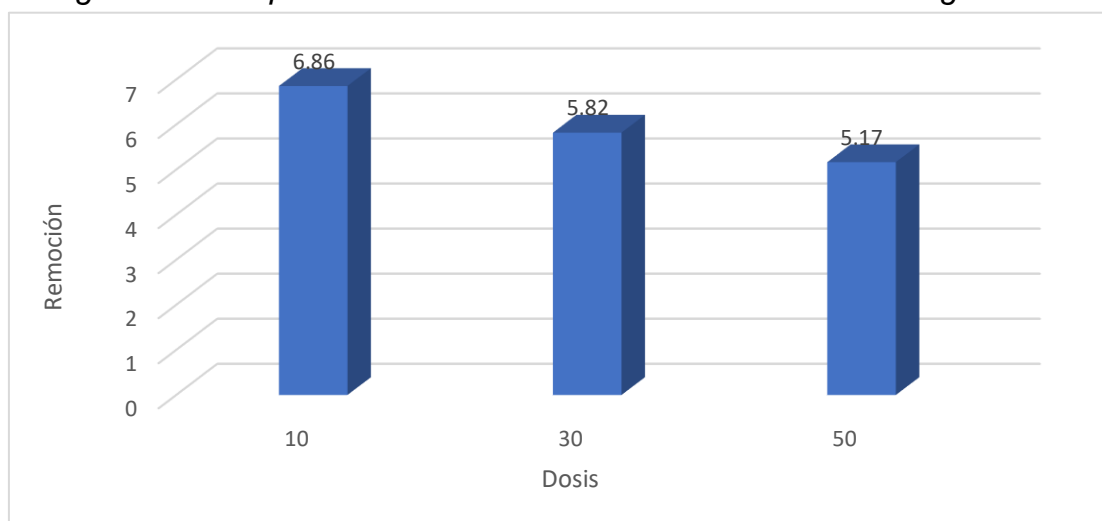


Tabla 64. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Cr VI

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
30	4	4.018		
50	4		4.245	
10	4			8.550

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 43. Comparación de medias de remoción de Pb según dosis

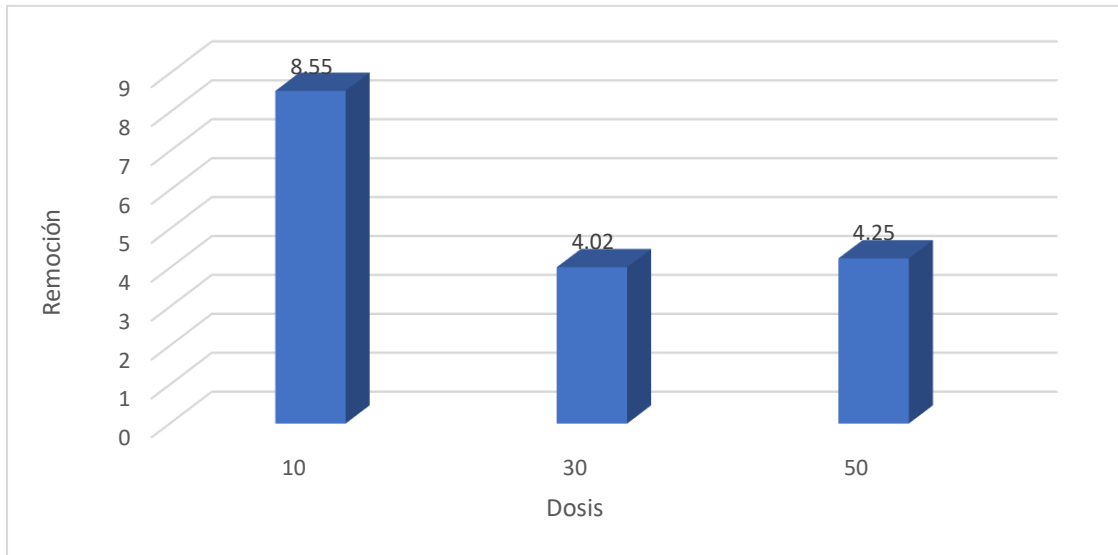


Tabla 65. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para remoción de Plomo

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
30	4	900.250		
50	4		1130.125	
10	4			1181.950

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 44. Comparación de medias de remoción de Plomo según dosis

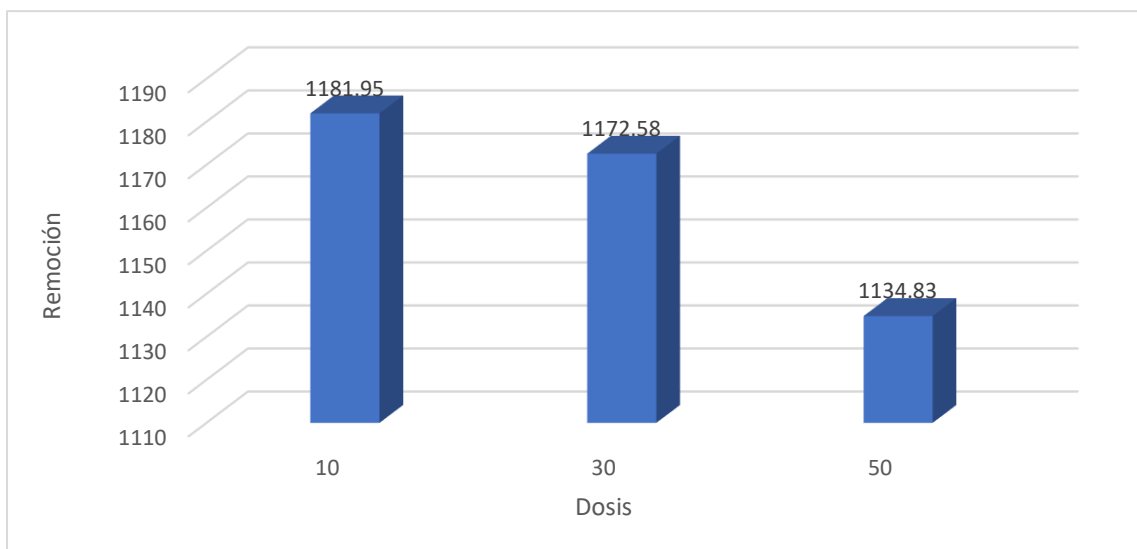
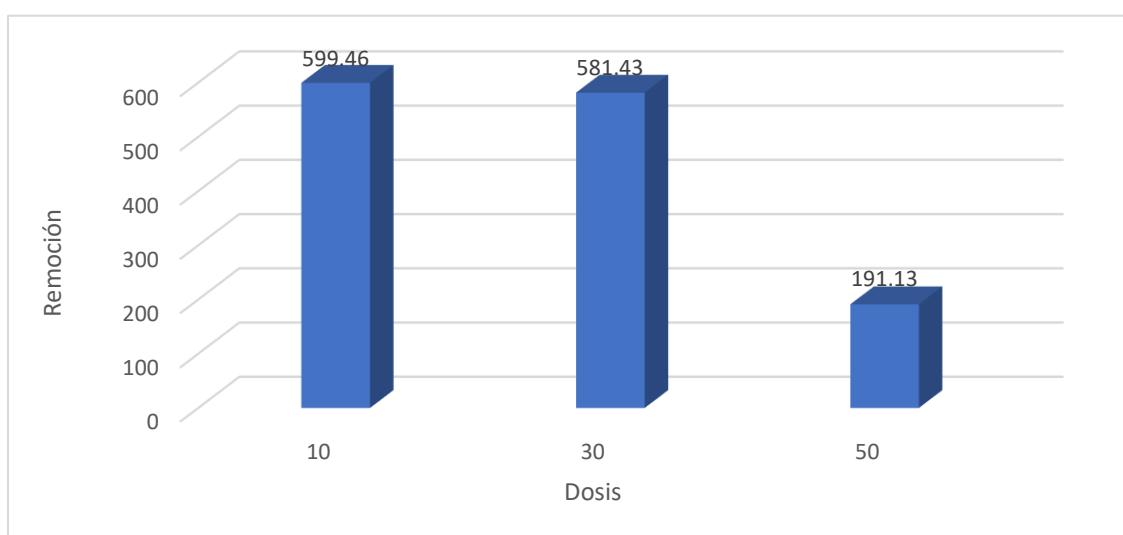


Tabla 66. Prueba de Tukey para seleccionar la mejor dosis para hidrocarburos totales

Dosis	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
50	4	190.625		
30	4		506.925	
10	4			599.455

Interpretación: Sobre la base de la prueba de Tukey se determinó que la media más alta se encontró con una dosis de 10 g.

Figura 45. Comparación de medias de remoción de hidrocarburos totales según dosis



OE3: Determinar el método (fenton o biochar) con mayor porcentaje de remoción del contaminante en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio

Tabla 67. Comparación de proceso biológico y químico, Franco Arenoso

grupo		valores Me- dia	t	gl	Sig. (bila- teral)
Humedad	Biológico	9.66	-0.721	22	0.239
	Químico	9.71			
CE	Biológico	0.113	9.137	22	0.000
	Químico	0.102			
MO	Biológico	4.0	2.453	22	0.011
	Químico	3.6			
Cd	Biológico	5.9	-1.400	22	0.088
	Químico	6.3			

CE VI	Biológico	6.3	-2.560	22	0.009
	Químico	7.9			
Pb	Biológico	1163.1	-1.671	22	0.054
	Químico	1174.3			
Hidrocarburos totales	Biológico	457.3	-2.718	22	0.006
	Químico	611.7			

Interpretación: Sobre la base de la prueba T de Student para muestras independientes se encontró que la media fue significativamente mayor en el proceso biológico para los parámetros CE (Sig=0.000 menor que 0.05), MO (Sig=0.011 menor que 0.05). La media fue significativamente mayor en el proceso químico para los parámetros Ce VI (Sig=0.009 menor que 0.05), Hidrocarburos totales (Sig=0.006 menor que 0.05). En el caso humedad (Sig=0.239 superior que 0.05). Cd (Sig=0.088 superior que 0.05), Pb (Sig=0.054 menor que 0.05) no se detectó diferencia significativa.

Tabla 68. Comparación de proceso biológico y químico, Franco Arcilloso

grupo		Remoción Media	t	gl	Sig. (bilateral)
Humedad	Biológico	9.9	-0.910	22	0.186
	Químico	10.0			
CE	Biológico	0.1150	10.658	22	0.000
	Químico	0.1019			
MO	Biológico	3.9	2.045	22	0.026
	Químico	3.6			
Cd	Biológico	5.7	-2.028	22	0.027
	Químico	6.5			
CE VI	Biológico	6.4	-1.671	22	0.054
	Químico	7.6			
Pb	Biológico	1147.2	-2.862	22	0.005
	Químico	1172.0			
Hidrocarburos totales	Biológico	430.1	-3.460	22	0.001
	Químico	611.5			

Interpretación: Sobre la base de la prueba T de Student para muestras independientes se encontró que la media fue significativamente mayor en el proceso biológico para los parámetros CE (Sig=0.000 menor que 0.05), MO (Sig=0.026 menor que 0.05). la media fue significativamente mayor en el proceso químico

para los parámetros Cd (Sig=0.027 menor que 0.05), Pb (Sig=0.005 menor que 0.05), Hidrocarburos totales (Sig=0.001 menor que 0.05). En el caso del Ce VI (Sig=0.054 superior que 0.05). humedad (Sig=0.186 superior que 0.05), no se detectó diferencia significativa.

Tabla 69. Comparación de proceso biológico y químico, Franco Limoso

grupo		Remoción Media	t	gl	Sig. (bilateral)
Humedad	Biológico	9.9	4.764	22	0.000
	Químico	9.6			
CE	Biológico	0.1138	11.443	22	0.000
	Químico	0.1019			
MO	Biológico	4.0	2.143	22	0.022
	Químico	3.6			
Cd	Biológico	4.8	-3.030	22	0.003
	Químico	6.2			
CE VI	Biológico	5.6	-1.183	22	0.125
	Químico	6.6			
Pb	Biológico	1070.8	-2.754	22	0.006
	Químico	1173.0			
Hidrocarburos totales	Biológico	432.3	-3.394	22	0.001
	Químico	611.5			

Interpretación: Sobre la base de la prueba T de Student para muestras independientes se encontró que la media fue significativamente mayor en el proceso biológico para los parámetros humedad (Sig=0.000 menor que 0.05), CE (Sig=0.000 menor que 0.05), MO (Sig=0.022 menor que 0.05). la media fue significativamente mayor en el proceso químico para los parámetros Cd (Sig=0.003 menor que 0.05), Pb (Sig=0.006 menor que 0.05), Hidrocarburos totales (Sig=0.001 menor que 0.05). En el caso del Ce VI no se detectó diferencia significativa (Sig=0.125 superior que 0.05).

HE4: La caracterización final del suelo contaminado con hidrocarburos indica que los valores en cada parámetro están por debajo de los ECA.

Tabla 70. Comparación de valores finales con el ECA para el proceso químico a una dosis de 5mL

Grupo	Parámetro	ECA	Media	S	Prueba T	Sig
-------	-----------	-----	-------	---	----------	-----

Franco Arenoso	CE		101.7	1.62	NA	
Franco Arenoso	Benceno	0.03	90.975	0.36	506.10	0.000
Franco Arenoso	Cd	22	207.25	1.71	216.94	0.000
Franco Arenoso	Cr VI	1.4	57.25	1.71	65.40	0.000
Franco Arenoso	Pb	800	2306.75	1.71	1764.52	0.000
Franco Arcilloso	CE		87.83	1.05	NA	
Franco Arcilloso	Benceno	0.03	72.43	1.00	144.13	0.000
Franco Arcilloso	Cd	22	187.25	1.71	193.52	0.000
Franco Arcilloso	Cr VI	1.4	42.75	0.96	86.38	0.000
Franco Arcilloso	Pb	800	2095.25	2.06	1256.58	0.000
Franco Limoso	CE		64.58	0.57	NA	
Franco Limoso	Benceno	0.03	51.38	0.55	186.71	0.000
Franco Limoso	Cd	22	138.00	0.82	284.14	0.000
Franco Limoso	Cr VI	1.4	30.00	0.82	70.06	0.000
Franco Limoso	Pb	800	1813.00	0.82	2481.33	0.000

Interpretación: Si bien los valores de la concentración para todos los parámetros han disminuido, como efecto de un proceso químico y a una dosis de 5mL de H₂O₂ con respecto a los valores iniciales, estos al final del experimento siguen siendo significativamente mayores a los estándares de Calidad Ambiental (todos los valores de Sig son menores que 0.05).

IV. DISCUSIÓN

Respecto al primer objetivo específico la caracterización inicial del suelo contaminado con hidrocarburos a nivel laboratorio, antes de aplicar el tratamiento combinado Fenton-biochar demuestra que los valores en los metales analizados superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA - Suelo), determinado por el D.S. N° 011-2017-MINAM.

Respecto al problema específico 2 la dosis óptima de los reactivos fenton es de 15mL, en el tratamiento combinado para reducir los niveles de hidrocarburos en los diferentes tipos de suelos; siendo directamente proporcional el nivel de promedio de remoción con el aumento de la dosis del H₂O₂.

Además, se observó que, entre los tres tipos de suelo, aquellos contaminantes que se encuentran en un suelo franco arcilloso son más fáciles de ser adsorbidos, seguido del franco limoso.

Como se observa en la tabla 6, la muestra con suelo franco arcilloso, al ser sometido al primer tratamiento (proceso fenton) obtuvo un aumento considerable en el parámetro de humedad de 9.8% a 10.5% en promedio y materia orgánica de 3.51% a 3.72% en promedio, del mismo modo para el parámetro de conductividad eléctrica que desde una concentración inicial de 0.101 dS/m este se mantuvo y/o genero un leve aumento a 0.102 dS/m en promedio, mientras que para los y metales estos tuvieron reducción mínima, tal es el caso del metal cadmio de una concentración inicial de 6.83 a 5.74 mg/kg, en cromo de 8.3 a 5.4 mg/kg, en plomo de 1181.2 a 1151.7 mg/kg y en hidrocarburos totales de 612.12 a 611.02 mg/kg en promedio de las repeticiones realizadas, siendo la dosis de 15 mL de oxidante H₂O₂ más efectiva.

De acuerdo con Saeed M. et al., (2023, p.1); ello se debe a que la adición del biochar como método de tratamiento sirve como almacenamiento de carbono y fertilizante para el suelo, y también promueve la actividad microbiana, por su contenido en enzimas y respiración microbológica; logrando disminuir la concentración de los contaminantes.

En la tabla 9, la muestra 2 con suelo franco arcilloso, al aplicar el segundo tratamiento obtuvo un aumento considerable en el parámetro de materia orgánica de hasta 4.69% en promedio, del mismo modo para el parámetros de C.E que aumento hasta 0.118 dS/m en promedio, por otro lado con este segundo tratamiento los valores en los metales tuvieron reducción considerable siendo en cadmio de una concentración inicial de 6.83 a 4.14 mg/kg, en cromo de 8.3 a 4.02 mg/kg, en plomo de 1181.2 a 1127.1 mg/kg y en hidrocarburos totales de 612.12 a 190.9 mg/kg considerando una dosis de 30 gramos de biochar la más efectiva en promedio de las repeticiones realizadas.

Ello es respaldado por Ahmadkalaei s. et al., (2021, p.1); donde señala que con una dosis óptima de 150 mg/l, el ácido húmico tenía una función más beneficiosa en la reacción de Fenton cuando se aumentaba la dosis de ácido húmico en todo el TPH; además, la eficiencia de eliminación varió al aumentar el pH.

Respecto al problema específico 2 la dosis óptima de biochar es de 50 gramos, en el tratamiento combinado para reducir los niveles de hidrocarburos en los diferentes tipos de suelos; siendo directamente proporcional el nivel de promedio de remoción con el aumento de la dosis de biochar.

Además, también se observó que, entre los tres tipos de suelo, aquellos contaminantes que se encuentran en un suelo franco arcilloso son más fáciles de ser adsorbidos en todas las diferentes dosis de biochar, seguido del franco limoso y el suelo arenoso fue el que menos remoción de contaminantes presenta en todos los casos.

Siendo como se demuestra en la tabla 9, donde la muestra M2 con suelo franco arcilloso, al ser sometido al segundo tratamiento con 10 gramos de biochar los parámetros ya tuvieron resultados óptimos tal como el parámetro de humedad que tuvo ligero aumento máximos de 9.78% hasta 9.97%, en cuanto a materia orgánica con una concentración inicial de 3.51% este aumento a 3.62% en su primera repetición, mientras que para C.E con un valor inicial de 0.101 dS/m aumento a 0.111 dS/m, por otro lado en el análisis de metales se obtuvieron reducción de hasta 6.82 mg/kg en cadmio, 8.4 mg/kg en cromo vi y 1181.2 mg/kg

en plomo con respecto a sus valores iniciales. Del mismo modo para hidrocarburos totales este redujo su concentración hasta 596.82 mg/kg.

Pero ello es refutado por Yousaf U. et al., (2022, p.1); quien estudió la aplicación del biochar como método de remediación, obteniendo que se puede lograr la eliminación de TPHs por biocarbón y compost de solo el 27,24% y 6,01%, respectivamente.

Rushimisha I. et al., (2023, p.1); señala que la carga acumulada para el FB después de 78 días fue de 750 C, que fue un 12 y un 98% mayor que las cargas acumuladas para el AB y el control sin biocarbón (CK), respectivamente.

Pero Dike C. et al., (2022, p.1); rechaza la afirmación de Yousaf U. et al., (2022, p.1); señalando mediante su estudio experimental que la aplicación conjunta de biocarbón a menudo producía una mayor eliminación de hidrocarburos que el tratamiento de biocarbón en solitario, con una eliminación hasta 4 veces mayor en algunos casos; es por ello que la aplicación conjunta de biocarbón con bioaumentación es más eficaz en la eliminación de hidrocarburos que la aplicación conjunta de biocarbón con fitorremediación o bioestimulación.

Así mismo, Dike C. et al., (2022, p.1); por su parte afirma que la eficiencia de remoción al aplicar un tratamiento biológico se debe a parámetros específicos, como el tiempo, la temperatura de producción de biochar, la dosis y concentración.

Respecto al problema específico 3, el método (fenton o biochar) con mayor porcentaje de remoción del contaminante en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos fue el método de biochar, ya que este obtuvo los valores mayores en promedios de remoción con biochar siendo para el metal cadmio una remoción de hasta 24.38% en suelo arenoso, 39.02% en suelo arcilloso y 48.17% en suelo limoso, para cromo VI la remoción con biochar llegó a 49.4% en suelo arenoso, 51.57% en suelo arcilloso y 49.86% en suelo limoso, ahora bien para el metal plomo se obtuvo remoción de 3.93% en suelo arenoso, 4.77% en suelo arcilloso y 4.32% en suelo limoso, finalmente para hidrocarburos

totales el método biochar dio como resultados un 68.78% de remoción en suelo arenoso, 68.86% en suelo arcilloso y 68.86% en suelo limoso.

Ahora bien, de acuerdo a los resultados obtenidos y tal como se visualiza en la tabla 11 al aplicar los tratamientos combinados Fenton–Biochar, estos tuvieron remoción de hasta 62.66% en metal cadmio, 94.04% en metal cromo VI y 69.04% en hidrocarburos totales siendo estos porcentajes más altos en el suelo franco limoso, sin embargo, en el metal plomo se dio mayor remoción en suelo arcilloso con remoción de hasta 7.25%.

Así también, los resultados son apoyado por Li X. et al., (2023, p.1); quien demostró que el sistema combinado puede descontaminar el suelo contaminado de forma sinérgica al confirmar la capacidad de degradación del biocarbón y el proceso Fenton al tiempo que atenúa sus efectos negativos.

Respecto al problema específico 4, la caracterización final del suelo contaminado con hidrocarburos a nivel laboratorio, después de aplicar el tratamiento combinado Fenton-biochar demostró que los valores de cadmio se encuentran por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA - Suelo), determinado por el D.S. N° 011-2017-MINAM, sin embargo, para los metales de cromo VI, plomo e hidrocarburos totales aun no lograron obtener el valor deseado.

Así también, el estudio de Ambaye T. et al., (2023, p.1); demostró que, tras 72 horas, la combinación del proceso electro-Fenton y el proceso biológico condujo a una degradación del 93,6% de los PHC, y se determinó que la alteración introducida durante el pretratamiento en un periodo determinado era adecuada para la etapa del proceso biológico, logrando conseguir reducir los valores iniciales hasta los valores permitidos.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo al presente trabajo experimental se pudo llegar a la conclusión general de estudio determinando que el tratamiento combinado Fenton-biochar incide en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos presentando efectos positivos al aplicar la dosis adecuada; detallándolos en los 4 siguientes puntos:

1. Respecto al primer objetivo específico la caracterización inicial del suelo contaminado con hidrocarburos a nivel laboratorio, antes de aplicar el tratamiento combinado Fenton-biochar demuestra que los valores en los metales analizados superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA - Suelo), determinado por el D.S. N° 011-2017-MINAM.
2. Respecto al problema específico 2 la dosis óptima de los reactivos Fenton es de 15mL, y la dosis óptima de los reactivos biochar es de 50gramos, en el tratamiento combinado para reducir los niveles de hidrocarburos en los diferentes tipos de suelos; siendo directamente proporcional el nivel de promedio de remoción con el aumento de la dosis del H₂O₂ en el proceso Fenton y el nivel de promedio de remoción con el aumento de la dosis de biochar.
3. El método (fenton o biochar) con mayor porcentaje de remoción del contaminante en el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos fue el método de biochar, ya que, los mayores promedios de remoción con biochar fueron para el metal cadmio de hasta 48.17% en suelo limoso, para cromo VI llegó a 51.57% en suelo arcilloso, para el plomo de 4.77% en suelo arcilloso y finalmente para hidrocarburos totales un 68.86% en suelo arcilloso y suelo limoso.
4. Respecto al problema específico 4, la caracterización final del suelo contaminado con hidrocarburos, después de aplicar el tratamiento combinado Fenton-biochar demostró que los valores de cadmio se encuentran por debajo de los ECA para suelo, sin embargo, para los metales de cromo VI, plomo e hidrocarburos totales estos aun no lograron obtener el valor deseado.

VI. RECOMENDACIONES

1. En el Perú existe poca información sobre el efecto sinérgico de tratamientos combinados para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, por ello se recomienda seguir investigando nuevas tecnologías tanto para la extracción de hidrocarburos como para la aplicación sinérgica de procesos combinados
2. Para una estrategia de remediación viable, la investigación futura debería incorporar las consecuencias eco toxicológicas y financieras de la aplicación conjunta de biocarbón.
3. Se recomienda tomar en cuenta la concentración y dosis de aplicación de los procesos combinados en tiempos de 24 horas a más; ya que se ha observado en estudios similares que a mayores tiempos y tomando en cuenta dichos parámetros la eficiencia de remoción incrementa sustancialmente.
4. Además, se sugiere realizar una base de datos con tratamientos combinados aplicados a pH ácidos neutros y alcalinos, ya que, se ha determinado por algunos estudios que la eficiencia de eliminación varía al aumentar el valor de pH.

BIBLIOGRAFÍA:

1. ABBAS, Zohaib, et al. A critical review of mechanisms involved in the adsorption of organic and inorganic contaminants through biochar. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, vol. 11, p. 1-23. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3790-1>
2. Abrahamse Wokje. Chapter 1 - Introduction. Encouraging Pro-Environmental Behaviour. What Works, What Doesn't, and Why. 2019, Pages 3-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811359-2.00001-9>
3. AHMADKALAEI, Seyedeh Pegah Jalilian, et al. The role of humic acid in Fenton reaction for the removal of aliphatic fraction of total petroleum hydrocarbons (diesel range) in soil. *Environmental Science and Ecotechnology*, 2021, vol. 7, p. 100109. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esec.2021.100109>
4. AL-HAWASH, Adnan B., et al. Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2018, vol. 44, no 2, p. 71-76. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.06.001>
5. AMBAYE, Teklit Gebregiorgis, et al. Treatment of petroleum hydrocarbon contaminated soil by combination of electro-Fenton and biosurfactant-assisted bioslurry process. *Chemosphere*, 2023, vol. 319, p. 138013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138013>
6. ÁVILA, Raúl. La economía petrolera en un mundo politizado y global. México y Colombia. *Cuaderno de economía*, (2016, vol. 35(69), pp.791-798. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ceco/v35n69/0121-4772-ceco-35-69-791.pdf>
7. BROEKEMA, Wout. Crisis-induced learning and issue politicization in the EU: The braer, sea empress, erika, and prestige oil spill disasters. *Public Administration*, 2016, vol. 94, no 2, p. 381-398. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/padm.12170>

8. CASTILLO, Rosita; MORE, Francis; CORNEJO, Melitza; FERNANDEZ, Jaime & MIALHE, Eric. Aislamiento de bacterias con potencial biorremediador y análisis de comunidades bacterianas de zona impactada por derrame de petróleo en Condorcanqui – Amazonas – Perú. *Journal of High Andean Research*, 2020; vol. 22(3): 215 – 225 pp. Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v22n3/2313-2957-ria-22-03-215.pdf](http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v22n3/2313-2957-ria-22-03-215.pdf)
9. CABEZA, Ivan; MOSQUERA, Jhessica; MOSCOSO, Maria & MUÑOZ, Joan. Analisis de la tendencia en la recuperación de suelos empleando vigilancia tecnológica. *Revista ITECKNE*, Colombia, 2022, vol. 19(1), 1 – 7 pp. Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v19n1/1692-1798-itec-19-01-39.pdf](http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v19n1/1692-1798-itec-19-01-39.pdf)
10. DIKE, Charles Chinyere, et al. The co-application of biochar with bioremediation for the removal of petroleum hydrocarbons from contaminated soil. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 849, p. 157753. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157753>
11. DIKE, Charles Chinyere, et al. Biosolids-derived biochar enhances the bioremediation of diesel-contaminated soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, vol. 10, no 6, p. 108633. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108633>
12. ENNACERI, Houda, et al. Progress of non-destructive hydrocarbon extraction technology of *Botryococcus braunii*. *Algal Research*, 2023, p. 103156. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103156>
13. GAO, Yue, et al. Remediation of soil contaminated with PAHs and γ -HCH using Fenton oxidation activated by carboxymethyl cellulose-modified iron oxide-biochar. *Journal of Hazardous Materials*, 2023, vol. 453, p. 131450. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131450>
14. HUGUENOT, David, et al. Combination of surfactant enhanced soil washing and electro-Fenton process for the treatment of soils contaminated by

- petroleum hydrocarbons. *Journal of environmental management*, 2015, vol. 153, p. 40-47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.037>
15. HUMADI, Jasim I., et al. Fast, non-extractive, and ultradeep desulfurization of diesel in an oscillatory baffled reactor. *Process Safety and Environmental Protection*, 2021, vol. 152, p. 178-187. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.05.028>
 16. HUSSAIN, Fida, et al. Combined application of biochar, compost, and bacterial consortia with Italian ryegrass enhanced phytoremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil. *Environmental and Experimental Botany*, 2018, vol. 153, p. 80-88.
 17. HUSSAIN, Fida, et al. Soil conditioners improve rhizodegradation of aged petroleum hydrocarbons and enhance the growth of *Lolium multiflorum*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, p. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16149-7>
 18. IQBAL, Ameena, et al. Influence of *Pseudomonas japonica* and organic amendments on the growth and metal tolerance of *Celosia argentea* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, p. 24671-24685. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06181-z>
 19. KUNDU, Anirban; HARRISSON, Orfeo; GHOSHAL, Subhasis. Impacts of Arctic diesel contamination on microbial community composition and degradative gene abundance during hydrocarbon biodegradation with and without nutrients: A case study of seven sub-Arctic soils. *Science of The Total Environment*, 2023, vol. 871, p. 161777. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161777>
 20. LAI, Cui, et al. Enhanced visible-light-driven photocatalytic activity of bismuth oxide via the decoration of titanium carbide quantum dots. *Journal of colloid and interface science*, 2021, vol. 600, p. 161-173. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.05.022>

21. LEON, Aymara & ZUÑIGA, Mario. La sombra de los hidrocarburos en el Perú: Actualización de la información sobre sitios con daño hidrocarburífero en el Perú: 1997-2021. *Oxfam*, 1° edición, 2022. 54 pp. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://oi-files-cng-prod.s3.amazonaws.com/peru.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/La-sombra-de-los-hidrocarburos-en-el-Peru%CC%81.pdf
22. LI, Lu, et al. Efficient removal of heavily oil-contaminated soil using a combination of fenton pre-oxidation with biostimulated iron and bioremediation. *Journal of Environmental Management*, 2022, vol. 308, p. 114590. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114590>
23. LI, Xiaoying, et al. Synergic remediation of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated soil by a combined system of persulfate oxidation activated by biochar and phytoremediation with basil: A compatible, robust, and sustainable approach. *Chemical Engineering Journal*, 2023, vol. 452, p. 139502. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139502>
24. LI, Yuan, et al. Feasibility of soil oxidation-reduction potential in judging shear behaviour of hydrocarbon-contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, 2023, vol. 342, p. 118303. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118303>
25. LI, Xiaoying, et al. Synergic remediation of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated soil by a combined system of persulfate oxidation activated by biochar and phytoremediation with basil: A compatible, robust, and sustainable approach. *Chemical Engineering Journal*, 2023, vol. 452, p. 139502. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139502>
26. LI, Xiumin; XU, Jinlan; YANG, Zhilin. Efficient oriented interfacial oxidation of petroleum hydrocarbons by functionalized Fe/N co-doped biochar-mediated heterogeneous Fenton for heavily contaminated soil remediation. *Chemical Engineering Journal*, 2022, vol. 450, p. 138466. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138466>
27. MA, Xiao-Hong, et al. Enhanced Fenton degradation of polychlorinated biphenyls in capacitor-oil-contaminated soil by chelating agents. *Chemical*

- Engineering Journal*, 2018, vol. 333, p. 370-379. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.167>
28. MAZARJI, Mahmoud, et al. Decrypting the synergistic action of the Fenton process and biochar addition for sustainable remediation of real technogenic soil from PAHs and heavy metals. *Environmental Pollution*, 2022, vol. 303, p. 119096. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119096>
 29. Morales-Guzmán, G., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Rivera-Cruz, M.C., Torres-Bustillos, L.G., & Mendoza-López, M.R. Efecto de bacterias emulsificantes en la atenuación de la fitotoxicidad de suelos contaminados con petróleo intemperizado. *Revista de Biología Tropical*, 2020, vol. 68(2), 692-703. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v68n2/0034-7744-rbt-68-02-692.pdf>
 30. OURIACHE, H., et al. Treatment of petroleum hydrocarbons contaminated soil by Fenton like oxidation. *Chemosphere*, 2019, vol. 232, p. 377-386. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.060>
 31. PATEL, Avani Bharatkumar, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, toxicity, and remediation approaches. *Frontiers in Microbiology*, 2020, vol. 11, p. 562813. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.562813>
 32. RAJABI, Hamid; SHARIFIPOUR, Mohammad. Geotechnical properties of hydrocarbon-contaminated soils: a comprehensive review. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2019, vol. 78, p. 3685-3717. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1343-1>
 33. RUSHIMISHA, Iranzi Emile, et al. Effect of fresh and aged biochar on electrogenic hydrocarbon degradation in soil microbial electrochemical remediation. *Electrochimica Acta*, 2023, vol. 440, p. 141713. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.141713>
 34. SAJID, Muhammad; NAZAL, Mazen Khaled; IHSANULLAH, Ihsanullah. Novel materials for dispersive (micro) solid-phase extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental water samples: A review. *Analytica*

- Chimica Acta*, 2021, vol. 1141, p. 246-262. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.07.064>
35. SAEED, Maimona, et al. Development of novel kinetic model based on microbiome and biochar for in-situ remediation of total petroleum hydrocarbons (TPHs) contaminated soil. *Chemosphere*, 2023, vol. 324, p. 138311. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138311>
36. SALIMNEZHAD, Araz; SOLTANI-JIGHEH, Hossein; SOORKI, Ali Abolhasani. Effects of oil contamination and bioremediation on geotechnical properties of highly plastic clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2021, vol. 13, no 3, p. 653-670. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.11.011>
37. SANTOS, A., FIRAK, D.S., EMMEL, A., SIEDLECKI, K., LOPES, A. y PERALTA-ZAMORA, P., Evaluation of the Fenton process effectiveness in the remediation of soils contaminated by gasoline: Effect of soil physicochemical properties. *Chemosphere*, 2018, vol. 207, pp. 154-161. ISSN 18791298. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.087
38. SIERRA, Yvette. Derrame de más de tres mil barriles de petróleo afecta a por lo menos 30 comunidades indígenas en la Amazonia del Perú. *Rev. Mongabay*, 2023. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2023/01/derrame-de-petroleo-afecta-a-por-lo-menos-30-comunidades-indigenas-en-la-amazonia-de-peru/>
39. SIVAGAMI, K., et al. Application of combined chemical oxidation and microwave treatment for hydrocarbon-contaminated soil from an urban oil spill site. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 2021, vol. 25, no 2, p. 04020074. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000570](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000570)
40. USMAN, Muhammad, et al. Fenton oxidation for soil remediation: A critical review of observations in historically contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, vol. 424, p. 127670. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127670>

41. VELÁSQUEZ, Johana. Contamination of soil and water by hydrocarbons in Colombia. Analysis of phytoremediation as a biotechnology strategy for recovery. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2017, vol. 8(1). ISSN: 2145-6097
42. VILLACRECES, Luis. Aplicación de oxidación química tipo fenton asistida con detergente para tratamiento de suelos contaminados con petróleo. Tesis de postgrado, ESPE, Universidad de las Fuerzas Armadas, 2018. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7802/1/T-ESPE-047460.pdf
43. WEI, Zhuo, et al. Applications of biochar in the remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil and water: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.04.008>
44. XU, Jinlan, et al. Novel iron bound to soil organic matter catalyzes H₂O₂ to oxidize long-chain alkanes effectively in soil. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 339, p. 566-574. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.127>
45. YOUSAF, Uzma, et al. Interactive effect of biochar and compost with Poaceae and Fabaceae plants on remediation of total petroleum hydrocarbons in crude oil contaminated soil. *Chemosphere*, 2022, vol. 286, p. 131782. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131782>
46. ZABALA, Rolando., et al. Estudio de la Contaminación de Suelos por Hidrocarburos en la Comunidad Virgen del Carmen y Propuesta de Remediación mediante Bioventing. *Rev. Polo del conocimiento*, 2023, vol. 8 (83) pp. 222-244. Doi: 10.23857/pc.v8i6
47. ZHANG, Tong, et al. Particle-size-based elution of petroleum hydrocarbon contaminated soil by surfactant mixture. *Journal of Environmental Management*, 2022, vol. 302, p. 113983. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113983>

48. ZHANG, Tong, et al. Efficient removal of petroleum hydrocarbons from soil by percarbonate with catechin-promoted Fe (III)/Fe (II) redox cycling: Activation of ferrous and roles of $\cdot\text{OH}$ and $\cdot\text{CO}_3$. *Journal of Hazardous Materials*, 2023, vol. 448, p. 130875. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130875>
49. ZIRITT, José. El petróleo en cifras. Revista Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador, 2021. Disponible en: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00065.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable dependiente: Eficiencia en la remediación sinérgica de hidrocarburos	Es el nivel de remediación de un suelo contaminados con hidrocarburos mediante el sistema combinado de dos tratamientos, determinando la capacidad de degradación utilizando fórmulas para determinar cuantitativamente los valores obtenidos al final de los tratamientos.	Se realizará una combinación de tratamiento Fenton - biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos y se comparará los valores finales versus los iniciales mediante la siguiente formula: C_f/C_i*100 (Li Xiaoying et al., 2023, p.2).	Características fisicoquímicas	Potencial de Hidrógenos	-
				Temperatura	°C
				Hidrocarburo totales de petróleo	mg/l
			porcentaje de remoción	Concentración inicial	%
	Concentración final	%			

Variable independiente: Tratamiento combinado Fenton-biochar	El proceso Fenton utiliza una solución de H ₂ O ₂ y sal de Fe(II) para la oxidación y se basa en el mecanismo catalítico, donde los radicales hidroxilos (HO·) se producen principalmente en niveles de pH ácido (Usman M. et al., 2022, p.3). En el tratamiento con biocarbón mediante su estructura porosa y vasta área superficial, los sorbentes carbonosos eliminan HAP mediante procesos como la partición, la interacción hidrofóbica, el llenado de poros, el contacto electrostático y la interacción donante-aceptante de electrones (Abbas Z. et al., 2018, p.3).	Se buscará demostrar la viabilidad y la relevancia de combinar biocarbón con el proceso Fenton para la mejora simultánea de la degradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) en procesos reales de remediación de suelos a pH diferentes; donde el biocarbón será pirolizado elaborado y aplicado al suelo contaminado a diferentes dosis y este será utilizado como catalizador de la reacción Fenton. Para el proceso Fenton la muestra de suelo será estabilizado a pH 3 y se aplicará como agente oxidante al peróxido de hidrogeno (H ₂ O ₂) y como agente catalizador al sulfato ferroso (FeSO ₄). Variando los tiempos y las dosis del oxidante en 30, 60 y 120 minutos con 5, 10 y 15 mL. Para el proceso biológico; después de obtener el biochar se realizó 3 tratamientos con dosis de 10, 30 y 50 gramos de este productor obtenido; donde cada tratamiento fue de 4 experimentaciones en un tiempo de 20 días.	Tratamiento Fenton	Dosis de oxidante H ₂ O ₂	ml
				Tiempo de oxidación	minutos
			Tratamiento biológico	Dosis de biochar	gramos
				Tiempo	días

SOLICITUD: Validación de instrumento de recolección de datos.

EDUARDO RONALD ESPINOZA FARFAN

Yo Mendoza Flores, Kelly Lorena con DNI N° 43711974, alumna de la Universidad Cesar Vallejo de Ingeniería Ambiental, asesorado por el ingeniero YIMI TOM LOZANO SULCA, me dirijo a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: **“Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023”** solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Ficha de evaluación
- Instrumento
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.



.....
TESISTA Mendoza Flores, Kelly Lorena
DNI: 43711974

Lima, 6 de octubre del 2023

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** EDUARDO RONALD ESPINOZA FARFAN
1.2. Cargo e institución donde labora: Docente / UCV Lima Este
1.3. Especialidad o línea de investigación: Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Características fisicoquímicas
1.5. Autor(A) de Instrumento: Mendoza Flores, Kelly Lorena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMA- MENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

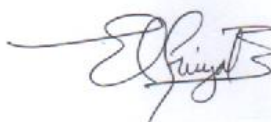
III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%



Lima, 13 de julio de 2023

EDUARDO RONALD ESPINOZA FARFAN

CIP: 92135

Ficha 1: Características fisicoquímicas

Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023				
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena				
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA				
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático				
Lugar	Nivel de laboratorio				
Fecha	21/07/2023				
Muestras	Agua acondicionada para 4 muestras				Unidad de análisis
Color					-
Humedad					%
pH					Unidad
Temperatura					C°
Conductividad eléctrica					mS/cm
Materia orgánica					%

Benceno					mg/kg
Cadmio					mg/kg
Cromo VI					mg/kg
Plomo					mg/kg

Ficha 2: Tratamiento Fenton			
Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023		
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena		
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA		
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático		
Lugar	Nivel de laboratorio		
Fecha	21/07/2023		
FeSo4	4ml	Concentración inicial	Concentración final
Experimentos	MB	Observaciones	
	R1 / R2 / R3 / R4		
Tratamientos	1		
	2		
	3		
Tiempo	5 días		

Ficha 3: Tratamiento Biológico

Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023		
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena		
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA		
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático		
Lugar	Nivel de laboratorio		
Fecha	21/07/2023		
Dosis	10	Concentración inicial	Concentración final
	30		
	50		
Experimentos	MB	Observaciones	
	R1 / R2 / R3 / R4		
Tratamientos	1		
	2		
	3		
Tiempo	20 días		

SOLICITUD: Validación de instrumento de recolección de datos.

DR. FERNANDO ANTONIO SERNAQUE AUCCAHUASI

Yo Mendoza Flores, Kelly Lorena con DNI N° 43711974, alumna de la Universidad Cesar Vallejo de Ingeniería Ambiental, asesorado por el ingeniero YIMI TOM LOZANO SULCA, me dirijo a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: **“Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023”** solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Ficha de evaluación
- Instrumento
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.



.....
TESISTA Mendoza Flores, Kelly Lorena
DNI: 43711974

Lima, 6 de octubre del 2023

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: DR. FERNANDO ANTONIO SERNAQUE AUCCAHUASI

1.2. Cargo e institución donde labora: Docente / UCV Lima Este

1.3. Especialidad o línea de investigación: Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Tratamiento Fenton

1.5. Autor(A) de Instrumento: Mendoza Flores, Kelly Lorena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMA-MENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%

Lima, 13 de julio de 2023



DR. FERNANDO ANTONIO SERNAQUE AUCCAHUASI

CIP: 152797

Ficha 1: Características fisicoquímicas

Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023				
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena				
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA				
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático				
Lugar	Nivel de laboratorio				
Fecha	21/07/2023				
Muestras	Agua acondicionada para 4 muestras				Unidad de análisis
Color					-
Humedad					%
pH					Unidad
Temperatura					C°
Conductividad eléctrica					mS/cm
Materia orgánica					%

Benceno					mg/kg
Cadmio					mg/kg
Cromo VI					mg/kg
Plomo					mg/kg

Ficha 2: Tratamiento Fenton			
Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023		
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena		
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA		
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático		
Lugar	Nivel de laboratorio		
Fecha	21/07/2023		
FeSo4	4ml	Concentración inicial	Concentración final
Experimentos	MB	Observaciones	
	R1 / R2 / R3 / R4		
Tratamientos	1		
	2		
	3		
Tiempo	5 días		

Ficha 3: Tratamiento Biológico

Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023		
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena		
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA		
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático		
Lugar	Nivel de laboratorio		
Fecha	21/07/2023		
Dosis	10	Concentración inicial	Concentración final
	30		
	50		
Experimentos	MB	Observaciones	
	R1 / R2 / R3 / R4		
Tratamientos	1		
	2		
	3		
Tiempo	20 días		

SOLICITUD: Validación de instrumento de recolección de datos.

MG. RITA JAQUELINE CABELLO TORRES

Yo Mendoza Flores, Kelly Lorena con DNI N° 43711974, alumna de la Universidad Cesar Vallejo de Ingeniería Ambiental, asesorado por el ingeniero YIMI TOM LOZANO SULCA, me dirijo a usted con el debido respeto me presento y le manifiesto:

Que siendo requisito indispensable el recojo de datos necesarios para la tesis que vengo elaborando titulada: **“Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023”** solicito a Ud. Se sirva validar el instrumento que le adjunto bajo los criterios académicos correspondientes. Para este efecto adjunto los siguientes documentos:

- Ficha de evaluación
- Instrumento
- Matriz de operacionalización de variables

Por tanto:

A usted, ruego acceder mi petición.



.....
TESISTA Mendoza Flores, Kelly Lorena
DNI: 43711974

Lima, 6 de octubre del 2023

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:** MG. RITA JAQUELINE CABELLO TORRES
1.2. Cargo e institución donde labora: Docente / UCV Lima Este
1.3. Especialidad o línea de investigación: Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático
1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Tratamiento Biológico
1.5. Autor(A) de Instrumento: Mendoza Flores, Kelly Lorena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMA-MENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%

Lima, 13 de julio de 2023



 MG. RITA JAQUELINE CABELLO TORRES
 CIP: 145791

Ficha 1: Características fisicoquímicas

Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023				
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena				
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA				
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático				
Lugar	Nivel de laboratorio				
Fecha	21/07/2023				
Muestras	Agua acondicionada para 4 muestras				Unidad de análisis
Color					-
Humedad					%
pH					Unidad
Temperatura					C°
Conductividad eléctrica					mS/cm
Materia orgánica					%

Benceno					mg/kg
Cadmio					mg/kg
Cromo VI					mg/kg
Plomo					mg/kg

Ficha 2: Tratamiento Fenton			
Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023		
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena		
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA		
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático		
Lugar	Nivel de laboratorio		
Fecha	21/07/2023		
FeSo4	4ml	Concentración inicial	Concentración final
Experimentos	MB	Observaciones	
	R1 / R2 / R3 / R4		
Tratamientos	1		
	2		
	3		
Tiempo	5 días		

Ficha 3: Tratamiento Biológico			
Título del proyecto	Estudio del efecto sinérgico del tratamiento combinado Fenton-biochar para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, a nivel laboratorio 2023		
Responsables	Mendoza Flores, Kelly Lorena		
Asesor	Dr. YIMI TOM LOZANO SULCA		
Línea de investigación	Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático		
Lugar	Nivel de laboratorio		
Fecha	21/07/2023		
Dosis	10	Concentración inicial	Concentración final
	30		
	50		
Experimentos	MB	Observaciones	
	R1 / R2 / R3 / R4		
Tratamientos	1		
	2		
	3		
Tiempo	20 días		

Fotos de laboratorio



Caracterización del suelo de las muestras M1, M2, y M3, midiendo el grado de acidez, temperatura, entre otros parámetros.



Separación de una porción de las muestras (M1, M2, y M3) antes de contaminarlas con petróleo crudo.



Evaluación de 3 tratamientos con diferentes dosis de oxidante peróxido de hidrogeno siendo de 5, 10 y 15 mL de H₂O₂ respectivamente y como agente catalizador al sulfato ferroso (FeSO₄) con una dosis constante de 20 mL.



Después de dejar reaccionar durante 7 días, se evaluó la concentración de los parámetros principales



La materia prima (cascara de pecana) después de ser secado a temperatura ambiente pasó al proceso de la primera trititación.



Se llevó el material trititado al horno a una temperatura de 300°C por 5 horas, para luego pasar por un segundo proceso de trititación y tamizado.



Pesado para la separación de 12 muestras de suelo por cada textura; con aproximadamente 100 g por muestra.



Almacenamiento de los 3 tratamientos con dosis de 10, 30 y 50 gramos de biochar respectivamente. Cada tratamiento fue de 4 experimentaciones (R1, R2, R3 y R4), almacenadas por un periodo de 20 días.



Lectura de los resultados después del tratamiento biológico para medir la concentración de los parámetros principales.



Zona de laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo en la que se llevó a cabo el tratamiento combinado Fenton-biochar.

Certificados de calibración de equipos de laboratorio

BALANZA ANALITICA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PM-049-2022

Página 1 de 3

Expediente : OTF22-006
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 640 - SAN JUAN DE LURIGANCHO
Instrumento : BALANZA ANALITICA (0.0001 g)
Funcionamiento : NO AUTOMÁTICO
Alcance de Indicación : 0 g a 220 g
Div. Min. de Escala (d) : 0.0001 g
Div. de Verificación (e) : 0.001 g (*)
Clase de Exactitud : CLASE II (**)
Capacidad Mínima : 10 E (***)
Marca : SARTORIUS
Modelo : QUINTIX224 -1S
Tipo : ELECTRÓNICA
Procedencia : ALEMANIA
Número de Serie : 34650280
Código de Identificación : D07006634
Ubicación : BIOTECNOLOGIA
Fecha de Calibración : 2022 - 11 - 30
Fecha de Emisión : 2022 - 12 - 01

Método de Calibración Empleado

La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones utilizando el procedimiento INACAL-DM PC-011: 2019 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y II".

Observaciones

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

Se adhirió una etiqueta "Calibrado" a la balanza indicando la fecha de realizado.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

(*) El valor de división de verificación (e) se escogió de acuerdo PC-011 Ed. 2019, ver 10.1 o manual de fabricante.

Se calibro hasta el alcance de 220 g



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PM-049-2022

Página 2 de 3

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa del Instituto Nacional de Calidad INACAL-DM en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Patrón de Trabajo Pesas Acero inoxidable (Clase de Exactitud E2)	Patrón de Peseo Certif./ Inf. Calibración KOSSOMET PE21-C-1136
--	---

Resultados de Calibración

Inspección Visual

Ajuste de Cero	TIENE
Oscilación Libre	TIENE
Plataforma	TIENE
Sistema de Traba	NO TIENE

Escala	NO TIENE
Cursor	NO TIENE
Nivelación	TIENE

Ensayo de Repetibilidad

Condiciones Ambientales	Inicio	Fin
Temperatura	25.0 °C	25.5 °C
Humedad Relativa	64 %	64 %

N° Evento	Carga (g)	I (g)	E (g)
1	110.0000	110.0001	0.00010
2		110.0000	0.00000
3		110.0002	0.00020
4		109.9999	-0.00010
5		109.9999	-0.00010
6		110.0000	0.00000
7		110.0001	0.00010
8		110.0000	0.00000
9		110.0000	0.00000
10		110.0002	0.00020
E. Máx. - E. Min.		0.0003	g
e.m.p	1	0.0020	g

N° Evento	Carga (g)	I (g)	E (g)
1	220.0000	220.0001	0.0001
2		220.0001	0.0001
3		220.0000	0.0000
4		219.9999	-0.0001
5		220.0001	0.0001
6		220.0001	0.0001
7		219.9999	-0.0001
8		220.0002	0.0002
9		220.0001	0.0001
10		220.0000	0.0000
E. Máx. - E. Min.		0.0003	g
e.m.p	1	0.0030	g

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PM-049-2022

Página 3 de 3

Ensayo de Pesaje

Condiciones Ambientales	Inicio	Fin
Temperatura	26.0 °C	26.7 °C
Humedad Relativa	64 %	65 %

N° Evento	Carga (g)	Prueba de Ascenso			Prueba de Descenso			e.m.p. (±g)
		I (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	E (g)	Ec (g)	
0	0.0010	0.0009	-0.0001		0.1003	0.0003	0.0004	0.001
1	0.1000	0.1001	0.0001	0.0002	1.0005	0.0006	0.0007	0.001
2	1.0000	1.0002	0.0002	0.0003	5.0007	0.0007	0.0008	0.001
3	5.0000	5.0003	0.0003	0.0004	10.0008	0.0008	0.0009	0.001
4	10.0000	10.0004	0.0004	0.0005	24.9997	-0.0003	-0.0002	0.001
5	25.0000	25.0002	0.0002	0.0003	50.0000	0.0000	0.0001	0.001
6	50.0000	50.0000	0.0000	0.0001	110.0002	0.0002	0.0003	0.002
7	110.0000	110.0001	0.0001	0.0002	120.0000	0.0000	0.0001	0.002
8	120.0000	120.0001	0.0001	0.0002	150.0000	0.0000	0.0001	0.002
9	150.0000	149.9999	-0.0001	0.0000	180.0001	0.0001	0.0002	0.002
10	180.0000	179.9999	-0.0001	0.0000	199.9999	-0.0001	0.0000	0.002
11	200.0000	200.0000	0.0000	0.0001	220.0001	0.0001	0.0002	0.002
12	220.0000	220.0001	0.0001	0.0002				

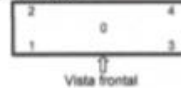
Ensayo de Excentricidad

Condiciones Ambientales	Inicio	Fin
Temperatura	26.4 °C	26.8 °C
Humedad Relativa	65 %	64 %

Posic. Carga	Carga (g)	Determinación de Error Eo		Carga (g)	Determinación de Error Corregido Ec			e.m.p. (±g)
		I (g)	Eo (g)		I (g)	E (g)	Ec (g)	
0	0.00101	0.00101	0.0000	70.0000	70.0001	0.0001	0.0001	0.002
1		0.00099	0.0000		70.0000	0.0000	0.0000	
2		0.00102	0.0000		70.0001	0.0001	0.0001	
3		0.00101	0.0000		70.0001	0.0001	0.0001	
4	0.00101	0.0000	69.9999	-0.0001	-0.0001	-0.0001		

Donde: e.m.p. Error Máximo Permiso para Balanzas de Funcionamiento No Automático con Clase de Exactitud

- I, R Indicación o lectura de la balanza en gramos (g)
- AL Carga agregada
- E Error Encontrado
- Eo Error en cero
- Ec Error corregido



Vista frontal

Lectura Corregida

$$R_c = R - 9.617 \times 10^{-7} \times R$$

Incert. de Medición

$$U = 2 \times \sqrt{3.405 \times 10^{-8} \text{ g}^2 + 9.419 \times 10^{-12} \times R^2}$$

Incertidumbre

La Incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un Nivel de Confianza de aproximadamente 95%.

Fin del Certificado de Calibración

WCP001.01

MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD

**PRESITEC SAC**
PRECISIÓN Y TECNOLOGÍA CONTINUA S.A.S.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PFQ-030-2022

Página 1 de 2

Expediente : 01F22-002
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 640 - SAN JUAN DE LURIGANCHO

Instrumento : MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD

Rango de Indicación : 01 Us a 1200 Us 0
Div. Min. de Escala (d) (*) : 0.01 0
Clase de Exactitud : No Indica

Marca : CRISON
Modelo : BASIC 30 EC
Tipo de Indicación : Digital
Procedencia : España
Número de Serie : 223158
Código de Identificación : No Indica
Ubicación : Laboratorio de Biotecnología

Fecha de Calibración : 2022 - 11 - 30
Fecha de Emisión : 2022 - 12 - 01

Método de Calibración Empleado
Método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del instrumento y disoluciones patrón. Tomando como referencia el procedimiento INDECOPI/SNM PC-020: 2010 "Procedimiento de calibración de medidores de pH"

Observaciones
(*) Obtenida a partir de la División Mínima de Escala (d) del equipo.
Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.
(**) Se adhirió una etiqueta "Calibrado" al equipo indicando la fecha de realizado.


Edgar Cárdenas
Jefe de Metrología

HCPFQ-05-Rev 00

AV. PERU NRO. 236 URB. HUAQUILLAY LIMA - LIMA - COMAS TELF.: 983466251 / WEB: www.precitecsac.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PFQ-030-2022

Página 2 de 2

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del National Institute of Standards and Technology (NIST) en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SILUMP)

Trazabilidad		Patrón de PRESITEC	
Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certif. / Inf. Calibración	
Disolución Tampón 12.83 mS PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml LI 190265(A) U(k=2) ±0.14	SI Analytica GmbH DIN 55 350	
Disolución Tampón 12.83 mS PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml LI 1180115(A) U(k=2) ±0.13	SI Analytica GmbH DIN 55 350	
Disolución Tampón 12.83 mS PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml LI 170124(A) U(k=2) ±3	SI Analytica GmbH DIN 55 350	
Disolución Tampón 12.83 mS PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml LI 170124(A) U(k=2) ±3	SI Analytica GmbH DIN 55 350	

Condiciones Ambientales

Condiciones Ambientales	Mínima	Máxima
Temperatura	20.3 °C	20.5 °C
Humedad Relativa	65 %	69 %

Resultados de Calibración

Temperatura de Ensayo (°C)	Valor Certificado μS	Lectura de equipo μS	Error μS	Incertidumbre μS (k=2)
25.0	12.80	12.83	0.03	0.14

Temperatura de Ensayo (°C)	Valor Certificado μS	Lectura de equipo μS	Error μS	Incertidumbre μS (k=2)
25.0	12.80	12.81	0.01	0.15

Incertidumbre

La Incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un Nivel de Confianza de aproximadamente 95%.

Fin del Certificado de Calibración

HCFFQ-05-Rev 00

COLORIMETRO



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PQ-0012-2022

Página 1 de 2

Expediente : OTF22-002
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 640 - SAN JUAN DE LURIGANCHO
Instrumento : COLORIMETRO PORTATIL
Alcance de Indicación : 610 nm
Gama dimensión onda : 420 nm 0 620 nm
Clase de Exactitud : No Indica
Marca : HACH
Modelo : DR890
Tipo de Indicación : Digital
Procedencia : USA
Número de Serie : 121190C92859
Código de Identificación : D07006154
Ubicación : LABORATORIO BIOTECNOLOGIA
Fecha de Calibración : 2022 - 11 - 30
Fecha de Emisión : 2022 - 12 - 01

Método de Calibración Empleado

Método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del instrumento y disoluciones patrón.

Observaciones

(*) Obtenida a partir de la División Mínima de Escala (d) del equipo.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

(**) Se adhirió una etiqueta "Calibrado" al equipo indicando la fecha de realizado.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PQ-0012-2022

Página 2 de 2

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del National Institute of Standards and Technology (NIST) en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Trazabilidad		Patrón de PRESITEC	
Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certif. Int. Calibración	
REACTIVO	IK 1286-2021	INAC 4521 2021	

Condiciones Ambientales

	Minima	Máxima
Temperatura	20.3 °C	20.8 °C
Humedad Relativa	68 %	69 %

Resultados de Calibración

LONGITUD DE ONDA	Valor Certificado	Lectura de equipo	Error	Incertidumbre 0 (k=2)
	0	0	0	0
420 nm	420.00	0.00	0.00	0.00
500 nm	500.00	0.25	0.00	0.00
550 nm	550.00	0.10	0.00	0.00
610 nm	610.00	0.10	0.00	0.00

Incertidumbre

La Incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un Nivel de Confianza de aproximadamente 95%.

.....
 Fin del Certificado de Calibración

ESPECTOFOTOMETRO UV VISIBLE



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PQ-00134-2022

Página 1 de 2

Expiente : OTF22-003
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 540 - SAN JUAN DE LURIGANCHO
Instrumento : ESPECTOFOTOMETRO UV / VISIBLE
Ancho de banda espectral : 1.8 NM 5.1 MN
Rango : 190 A 1100 NM
Marca : THERMO Fisher SCIENTIFIC
Modelo : G10S UV - Vis
Tipo de Indicación : Digital
Procedencia : USA
Número de Serie : 2LSR059149
Código de Identificación : D07006633
Ubicación : LABORATORIO BIOTECNOLOGIA
Fecha de Calibración : 2022 - 11 - 30
Fecha de Emisión : 2022 - 12 - 01

Método de Calibración Empleado

Método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del instrumento y disoluciones patrón.

Observaciones

(*) Obtenida a partir de la División Mínima de Escala (d) del equipo.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

(**) Se adhirió una etiqueta "Calibrado" al equipo indicando la fecha de realizado.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PQ-00134-2022

Página 2 de 2

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del National Institute of Standards and Technology (NIST) en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Trazabilidad	Patrón de PRESITEC		
	Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certif. Int. Calibración
PATRON DE FLURECENCIA		LIG 258 2021	UJHY 25478 2021

Condiciones Ambientales

	Minima	Máxima
Temperatura	20.3 °C	20.8 °C
Humedad Relativa	68 %	69 %

Resultados de Calibración

RANGO DE LINEALIDAD	Valor Certificado	Lectura de equipo	Error	Incertidumbre 0 (k=2)
3 nm	3 nm	3 nm	0.00	0.00
50 nm	50 nm	50 nm	0.00	0.00
200 nm	200 nm	200 nm	0.00	0.00
340 nm	340 nm	340 nm	0.00	0.00

Incertidumbre

La Incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un Nivel de Confianza de aproximadamente 95%.

.....
 Fin del Certificado de Calibración

ESTUFA DE SECADO DIGITAL



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT-029-2022

Página 1 de 3

Expediente : OTF22-003
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 640 - SAN JUAN DE LURIGANCHO

Equipo de Medición : ESTUFA DE SECADO DIGITAL
Marca : BINDR
Modelo : ED 115 E3
Procedencia : UK
Código de Identificación : D07008642
Número de Serie : 16 - 10040
Temperatura de trabajo : 300°C
Ventilación : FORZADO
Lugar de Calibración : LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA
Carga : 0%
Instrumento de Medición :

Nombre	Marca/ Modelo	Código de Identificación	Alcance de Indicación	División mínima	Tipo de Indicación
BINDR	ED 115 E3	D07008642	Amb. + 5 °C a 300 °C	1 °C	Digital

Fecha de Calibración : 2022-11-30
Fecha de Emisión : 2022-12-01

Método de Calibración Empleado

La calibración se realizó empleando el Método de Comparación Directa entre las indicaciones de lectura del controlador de temperatura del equipo a calibrar y un termómetro digital con un termopar Patrón, utilizando como referencia el Procedimiento de INDECOPUSNM "PC-D18, Ed. 02 - Junio 2009: Procedimiento para la Calibración o Caracterización de Medios Isotermos con Aire como Medio Termostático".

Condiciones Ambientales:

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	20.2	20.4
Humedad (%)	65	66

Observaciones

- Se programó el controlador del equipo en 600 °C para temperatura de trabajo.
 - El tiempo de calentamiento y estabilización del equipo fue de aproximadamente 2 horas.
- Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.
- PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.
- El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
- El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PT-029-2022**

Página 2 de 3

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Temperatura del Instituto Nacional de Calidad INACAL-DM en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Patrón de Referencia	Certificado / Informe de Calibración	Patrón Utilizado PRESITEC	Certificado / Informe de Calibración
Termómetro de indicación Digital con incertidumbre del orden de 1.2 °C	INACAL-DM LT-170-2021/ LT-171-2021	Indicador Digital (PT-04) con incertidumbre del orden de 3 °C	UNIMETRO S.A.C. CT-012-2022

Resultados de la calibración:

CALIBRACIÓN PARA 300 °C ± 5 °C

TIEMPO (min.)	Temperatura Termómetro del equipo (°C)	Temperatura Patrón (°C)	Corrección (°C)
0	300	300	0.0
1	300	300	0.0
2	300	300	0.0
3	300	300	0.0
4	300	300	0.0
5	300	300	0.0
6	300	300	0.0
7	300	300	0.0
8	300	300	0.0
9	300	300	0.0
10	300	300	0.0
11	300	300	0.0
12	300	300	0.0
13	300	300	0.0
14	300	300	0.0
15	300	300	0.0
16	300	300	0.0
17	300	300	0.0
18	300	300	0.0
19	300	300	0.0
20	300	300	0.0
21	300	300	0.0
22	300	300	0.0
23	300	300	0.0
24	300	300	0.0
25	300	300	0.0
26	300	300	0.0
27	300	300	0.0
28	300	300	0.0
29	300	300	0.0
30	300	300	0.0
T.PROM	300.0	300.0	0.0
T.MAX	300.0	300	
T.MIN	300.0	300	
DTT	300.0	0	

HCT-02 Rev 00

AV. PERU NRO. 236 URB. HUAQUILLAY LIMA - LIMA - COMAS TELF.: 983466251 / WEB: www.precitecsac.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
 PT-029-2022**

Página 3 de 3

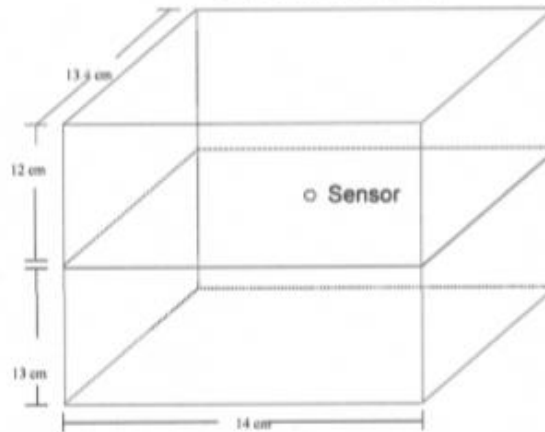
PARÁMETRO	Valor (°C)
Máxima Temperatura Medida	300
Mínima Temperatura Medida	300.0
Desviación de Temperatura en el Tiempo	0
Estabilidad Medida	± 0.0

T.PROM. : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.
 T.prom. : Promedio de la temperatura de medición para un instante dado.
 T.MAX. : Temperatura máxima
 T.MIN. : Temperatura mínima
 DTT. : Desviación de Temperatura en el tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del medio isotermo: **3,8°C**

DISTRIBUCIÓN DEL TERMOPAR



El Termopar o sensor de alta está ubicado en el centro de la mufla

Incertidumbre

La incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con la guía OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100:2008) y OIML G1-101-en: 2008 (JCGM 101:2008) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones". La cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el factor de cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

.....
 Fin del certificado de calibración

HCT-02 Rev 00

AV. PERU NRO. 236 URB. HUAQUILLAY LIMA - LIMA - COMAS TELF.: 983466251 / WEB: www.precifecsac.com

REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN

INFORME DE ENSAYO N° 014- 2023

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA – UCV

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

Tipo de ensayos:	Análisis físico – químico
Tipo de muestra:	Suelo contaminado
Descripción de la muestra:	Suelo
Muestra tomada por:	Estudiante
Lugar que se realizó el ensayo:	Laboratorio de Biotecnología – UCV Lima Este
Fecha de realización de ensayos:	14 octubre 2023

PARÁMETROS	MUESTRAS			
		M1	M2	M3
Color		Gris	plomo	crema
Humedad	%	9.7	9.8	9.9
pH	Unidad	6.73	7.01	6.78
Temperatura	°C	20.3	19.9	20.1
Conductividad Eléctrica	dS/m	0.101	0.103	0.102
Materia Orgánica	%	3.51	3.45	3.82
Hidrocarburos totales	mg/kg	612.08	612.12	612.15
Cadmio	mg/kg	6.83	6.76	6.79
Cromo VI	mg/kg	8.3	8.0	8.6
Plomo	mg/kg	1181.2	1185.2	1184.2

Tipo de muestra: Fenton con muestra Franco Arenoso

Identificación de la Muestra		Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales
		%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.08
	R1 5ml	9.8	0.102	3.62	6.85	8.5	1182.2	611.98
	R2 5ml	9.6	0.100	3.58	6.86	8.7	1182	611.90
	R3 5ml	9.8	0.103	3.61	6.89	8.6	1181.9	611.88
	R4 5ml	9.9	0.101	3.51	6.82	8.4	1181.7	611.92
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.08
	R1 10ml	9.6	0.100	3.60	6.14	8.5	1179.2	611.88
	R2 10ml	9.5	0.103	3.56	6.13	8.7	1178.52	611.09
	R3 10ml	9.4	0.104	3.61	6.18	8.6	1179.9	611.78
M1	R4 10ml	9.6	0.101	3.53	6.14	8.4	1178.7	611.72
	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.08
	R1 15ml	9.9	0.103	3.69	5.86	6.5	1162.2	611.88
	R2 15ml	9.8	0.102	3.68	5.87	6.7	1162	611.09
	R3 15ml	9.7	0.104	3.67	5.89	6.6	1161.9	611.78
R4 15ml	9.9	0.103	3.69	5.84	6.4	1161.7	611.72	
Tipo de muestra:		Fenton con muestra Franco arcilloso						
M2	MB	9.8	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 5ml	10.0	0.102	3.62	6.85	8.5	1182.2	611.78
	R2 5ml	9	0.10	3.58	6.86	8.7	1182	611.8

Daniel Neciosup Gonzales
Asistente Del Laboratorio De Biotecnología

INFORME DE ENSAYO N° 014- 2023

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA – UCV

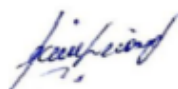
	R3 5ml	9.8	0.103	3.61	6.89	8.6	1181.9	611.68
	R4 5ml	9.9	0.101	3.51	6.82	8.4	1181.7	611.72
M2	MB	9.8	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 10ml	9.9	0.100	3.60	6.84	8.5	1182.2	611.78
	R2 10ml	9.8	0.103	3.56	6.83	8.7	1182	611.69
	R3 10ml	9.7	0.104	3.61	6.88	8.6	1181.9	611.58
	R4 10ml	9.8	0.101	3.53	6.84	8.4	1181.7	611.52
M2	MB	9.8	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 15ml	10.6	0.102	3.7	5.76	5.5	1152.2	611.08
	R2 15ml	10.4	0.103	3.71	5.77	5.7	1152	611.09
	R3 15ml	10.3	0.101	3.72	5.79	5.6	1151.9	611.08
	R4 15ml	10.5	0.103	3.73	5.74	5.4	1151.7	611.02

*Los resultados emitidos válidos para desarrollo académico

Tipo de muestra: Fenton con muestra Franco Limoso

Identificación de la Muestra	Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales	
	%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	
M3	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 5ml	9.8	0.102	3.62	6.85	8.5	1182.2	611.78
	R2 5ml	9.6	0.10	3.58	6.86	8.7	1182	611.8
	R3 5ml	9.8	0.103	3.61	6.89	8.6	1181.9	611.68
	R4 5ml	9.9	0.101	3.51	6.82	8.4	1181.7	611.72
M3	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 10ml	9.6	0.100	3.61	5.94	6.5	1182.2	611.78
	R2 10ml	9.5	0.103	3.63	5.91	6.7	1182	611.69
	R3 10ml	9.4	0.104	3.64	5.92	6.6	1181.9	611.58
	R4 10ml	9.6	0.101	3.63	5.91	6.4	1181.7	611.52
M3	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 15ml	9.69	0.102	3.61	5.86	4.5	1152.2	611.08
	R2 15ml	9.49	0.103	3.65	5.87	4.7	1154.1	611.09
	R3 15ml	9.39	0.101	3.64	5.89	4.6	1156.2	611.08
	R4 15ml	9.58	0.103	3.63	5.84	4.4	1157.7	611.02

*Los resultados emitidos válidos para desarrollo académico



Daniel Neciosup Gonzales
Asistente Del Laboratorio De Biotecnología

INFORME DE ENSAYO N° 014- 2023

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA – UCV

Tipo de muestra: Biochar con muestra Franco Arenoso

Identificación de la Muestra	Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales	
	%	d5/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 10 g	9.8	0.110	3.62	6.85	8.5	1182.2	600.1
	R2 10 g	9.6	0.109	3.58	6.86	8.7	1182	600.0
	R3 10 g	9.8	0.111	3.61	6.89	8.6	1181.9	598.9
	R4 10 g	9.9	0.110	3.51	6.82	8.4	1181.7	598.82
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 30 g	9.6	0.119	3.69	5.84	6.1	1171.2	581.0
	R2 30 g	9.5	0.118	3.68	5.81	6.5	1172.2	581.5
	R3 30 g	9.4	0.119	3.69	5.82	6.2	1172	582.0
	R4 30 g	9.6	0.117	3.68	5.81	6.1	1174.9	581.2
M1	MB	9.7	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 50 g	9.70	0.110	4.61	5.16	4.2	1132.2	200.0
	R2 50 g	9.69	0.112	4.65	5.17	4.1	1134.0	188.8
	R3 50 g	9.69	0.113	4.64	5.19	4.3	1136.0	187.8
	R4 50 g	9.68	0.110	4.63	5.14	4.2	1137.1	187.9
Tipo de muestra:		Biochar con muestra Franco arcilloso						
M2	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 10 g	9.89	0.110	3.62	6.85	8.5	1182.2	598.1
	R2 10 g	9.69	0.109	3.58	6.86	8.7	1182	600.0
	R3 10 g	9.82	0.111	3.61	6.89	8.6	1181.9	597.9
	R4 10 g	9.97	0.110	3.51	6.82	8.4	1181.7	596.82
M2	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 30 g	9.89	0.113	3.62	6.15	6.5	1132.2	501.0
	R2 30 g	9.68	0.119	3.58	6.16	6.7	1134.0	501.5
	R3 30 g	9.88	0.118	3.61	6.19	6.6	1136.0	502.0
	R4 30 g	9.95	0.117	3.51	6.12	6.4	1137.1	501.2
M2	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.12
	R1 50 g	9.89	0.119	4.69	4.16	4.02	1122.2	190.0
	R2 50 g	9.87	0.118	4.68	4.17	4.01	1124.0	190.8
	R3 50 g	9.89	0.117	4.69	4.19	4.03	1126.0	190.8
	R4 50 g	9.88	0.119	4.68	4.14	4.02	1127.1	190.9

*Los resultados emitidos válidos para desarrollo académico



Daniel Neciosup Gonzales
Asistente Del Laboratorio De Biotecnología

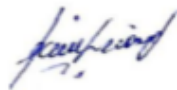
INFORME DE ENSAYO N° 014- 2023

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA – UCV

Tipo de muestra: Biochar con muestra Franco Limoso

Identificación de la Muestra	Humedad	C.E	M.O	Cadmio	Cr VI	Plomo	Hidrocarburos totales	
	%	dS/m	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	
M3	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 10 g	9.81	0.110	3.62	6.85	8.5	1182.2	600.1
	R2 10 g	9.71	0.109	3.58	6.86	8.7	1182	600.0
	R3 10 g	9.80	0.111	3.61	6.89	8.6	1181.9	598.9
	R4 10 g	9.91	0.110	3.51	6.82	8.4	1181.7	598.82
M3	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 30 g	9.81	0.113	3.62	4.13	4.01	902	507.0
	R2 30 g	9.81	0.119	3.58	3.86	4.02	900	507.5
	R3 30 g	9.82	0.118	3.61	3.57	4.01	898	507.0
	R4 30 g	9.88	0.117	3.51	3.59	4.03	901	506.2
M3	MB	9.78	0.101	3.51	6.83	8.3	1181.2	612.15
	R1 50 g	9.92	0.113	4.79	3.98	4.32	1130.2	190.0
	R2 50 g	9.97	0.116	4.78	3.97	4.31	1130.0	190.8
	R3 50 g	9.99	0.115	4.79	3.95	4.33	1130.2	190.8
	R4 50 g	9.88	0.114	4.8	3.54	4.02	1130.1	190.9

*Los resultados emitidos válidos para desarrollo académico



Daniel Neciosup Gonzales
Asistente Del Laboratorio De Biotecnología

MEDIDOR DE PH DE MESA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PFQ-024-2022

Página 1 de 2

Expediente : OTF22-003
Solicitante : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO S.A.C.
Dirección : AV. PARQUE N° 640 - SAN JUAN DE LURIGANCHO
Instrumento : Medidor de PH de mesa
Alcance de Indicación : 0.00 pH a 14.0 pH
Div. Min. de Escala (d) (*) : 0.01 pH
Clase de Exactitud : No Indica
Marca : CRISON
Modelo : BASIC 20
Tipo de Indicación : Digital
Procedencia : No Indica
Número de Serie : 234053
Código de Identificación : D07006138
Ubicación : BIOTECNOLOGIA
Fecha de Calibración : 2022 - 11 - 30
Fecha de Emisión : 2022 - 12 - 01

Método de Calibración Empleado

Método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del instrumento y disoluciones patrón. Tomando como referencia el procedimiento INDECOPI/SNM PC-020. 2010 "Procedimiento de calibración de medidores de pH"

Observaciones

(*) Obtenida a partir de la División Mínima de Escala (d) del equipo.

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe utilizarse como certificado de conformidad de producto.

PRESITEC no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones incorrectas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.

(**) Se adhirió una etiqueta "Calibrado" al equipo indicando la fecha de realizado.


Edg. Gulden Crisóstomo
Jefe de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
PFQ-024-2022

Página 2 de 2

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales del National Institute of Standards and Technology (NIST) en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Trazabilidad	Patrón de PRESITEC	
	Patrón de Trabajo	Certif / Inf. Calibración
Disolución Tampón 4.00 PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml Lt. 190265/A U(k=2) ±0.14	SI Analytics GmbH DIN 55 350
Disolución Tampón 7.00 PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml Lt. 1160115/A U(K=2) ±0.13	SI Analytics GmbH DIN 55 350
Disolución Tampón 10.00 PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml Lt. 170124/A U(k=2) ±3	SI Analytics GmbH DIN 55 350
Disolución Tampón 12.83 mS PH a 25°C NIST - USA	Ampolla de 20 ml Lt. 170124/A U(k=2) ±3	SI Analytics GmbH DIN 55 350

Condiciones Ambientales

Condiciones Ambientales	Mínima	Máxima
Temperatura	20.3 °C	20.8 °C
Humedad Relativa	68 %	69 %

Resultados de Calibración

Temperatura de Ensayo (°C)	Valor Certificado pH	Lectura de equipo pH	Error pH	Incertidumbre pH (k=2)
25.0	4.00	3.99	-0.01	0.14
24.3	7.00	7.01	0.01	0.14
24.6	10.01	10.02	0.01	0.15

Incertidumbre

La Incertidumbre de medición reportada ha sido calculada de acuerdo con las Guías OIML G1-100-en: 2008 (JCGM 100: 2008) y OIML G1-104-en: 2009 (JCGM 104: 2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

La Incertidumbre indicada no incluye una estimación de las variaciones a largo plazo.

La Incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U) y se obtiene de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k). Generalmente se expresa un factor k=2 para un Nivel de Confianza de aproximadamente 95%.

Fin del Certificado de Calibración