

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL
Y AMBIENTAL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y AMBIENTAL**

**BIORREMEDIACIÓN DE UN SUELO IMPACTADO POR
ROZO Y QUEMA AGRÍCOLA EN EL DISTRITO
BELLAVISTA REGIÓN CAJAMARCA**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autores: Bach. Alex Ivan Cusma Vargas

Bach. Jhon Eduard Chasquero Samaniego

Asesor: Dr. Garay Román, Juan Manuel

Línea de investigación: Gestión de la Calidad Ambiental

JAÉN – PERÚ

2025

Alex I. Cusma Vargas; Jhon E. Chasquero Samaniego

BIORREMEDIACIÓN DE UN SUELO IMPACTADO POR ROZO Y QUEMA AGRÍCOLA EN EL DISTRITO BELLAVISTA REGIÓN CAJ

- My Files
- My Files
- Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::20206:412179068

47 Páginas

Fecha de entrega

3 dic 2024, 10:08 a.m. GMT-5

7,637 Palabras

Fecha de descarga

3 dic 2024, 10:22 a.m. GMT-5

41,440 Caracteres

Nombre de archivo

BIORREMEDIACIÓN DE UN SUELO IMPACTADO POR ROZO Y QUEMA AGRÍCOLA EN EL DISTRITO B...pdf

Tamaño de archivo

3,1 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería




10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Ley de Creación N° 29304
Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-
SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 18 de Diciembre del año 2024 siendo las 11 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Wagner Colmenares Mayanga
Secretario : Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo
Vocal : Mg. Noly Cristóbal Vilchez Parra, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
() Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "Biorremediación de un suelo impactado por rozo y quema agrícola en el distrito bellavista región Cajamarca.", presentado por los bachilleres: Cusma Vargas, Alex Ivan y Chasquero Samaniego, Jhon Eduard, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental


Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- () Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría


Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

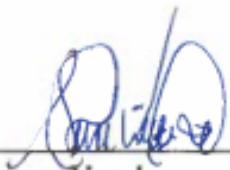
Siendo las 11:40 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Ley de Creación N° 29304
Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-
SUNEDU/CD

FORMATO 04: DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Alex Ivan Cusma Vargas
identificado con DNI N° 73694617, estudiante de la Escuela Profesional de
Ingeniería Forestal y Ambiental
.....de la Universidad Nacional de Jaén; declaro bajo juramento que soy autor del Trabajo
de investigación:

"Biorremediación de un suelo Impactado por Rizo y Quema
Agrícola en el Distrito Bellavista Región Cajamarca"

1. El mismo que presento para optar: () Grado Académico de Bachiller Título Profesional
2. El Trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
El Trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
El Trabajo de investigación no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados. Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de investigación, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del Trabajo de investigación.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 31 de Enero del 2025.

Dr. Juan Manuel Coray Roman
DNI: 17808601

Firma - Huella Digital

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Ley de Creación N° 29304
Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-
SUNEDU/CD

FORMATO 04: DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Jhon Eduard Chasquero Samaniego
identificado con DNI N° 76922762, estudiante de la Escuela Profesional de
Ingeniería Forestal y Ambiental
de la Universidad Nacional de Jaén; declaro bajo juramento que soy autor del Trabajo
de investigación:

"Biorremediación de un suelo Impactado por Rizo y Quema
Agrícola en el Distrito Bellavista Región Cajamarca"

1. El mismo que presento para optar: () Grado Académico de Bachiller Título Profesional
2. El Trabajo de investigación no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
El Trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
El Trabajo de investigación no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados. Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de investigación, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNJ en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del Trabajo de investigación.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Jaén, 31 de Enero del 2025

Dr. Juan Manuel Goray Roman
DNI: 17808001

Firma - Huella Digital

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	01
II. MATERIAL Y MÉTODOS	04
2.1 Población, muestra y muestreo	04
2.1.1 Población	04
2.1.2 Muestra	04
2.1.3 Muestreo	05
2.2 Metodología	05
2.2.1 Procedimiento	06
III. RESULTADOS	11
IV. DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
AGRADECIMIENTOS	27
DEDICATORIA	28
ANEXOS	29

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. Rangos de operación del modelo	05
Tabla 2. Diseño estadístico Box – Behnken	06
Tabla 3. Parámetros de N en suelos agrícolas	07
Tabla 4. Parámetros de materia orgánica en suelos	08
Tabla 5. Fórmulas ajustadas al diseño de estadístico Box – Behnken	09
Tabla 6. Análisis cualitativo de la microbiota de suelo agrícola y quemado	11
Tabla 7. Determinación de nitrógeno y materia orgánica en suelo agrícola	12
Tabla 8. Determinación de nitrógeno y materia orgánica en suelo quemado	12
Tabla 9. Diseño estadístico Box–Behnken	13
Tabla 10. Análisis de varianza para % nitrógeno	14
Tabla 11. Parámetros óptimos para la producción de % nitrógeno	15
Tabla 12. Análisis de varianza para % materia orgánica	16
Tabla 13. Parámetros óptimos para la producción de materia orgánica	17
Tabla 14. Respuestas reales después de la biorremediación de N y MO	18
Tabla 15. Respuestas optimizadas después de biorremediación según Box-Behnken .	18
Tabla 16 El resultado de la identificación de la microbiota	19
Tabla 17 Modelo Box-Behnken	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1. <i>Diagrama de Pareto estandarizada para el % nitrógeno</i>	15
Figura 2. <i>Superficie de respuesta estimada</i>	16
Figura 3. <i>Diagrama de Pareto estandarizada para materia orgánica</i>	17
Figura 4. <i>Superficie de respuesta estimada</i>	18
Figura 5. <i>Reconocimiento del área de estudio agrícola</i>	35
Figura 6. <i>Toma de muestra de tierra agrícola</i>	35
Figura 7. <i>Toma de muestra de tierra rozada y quemada</i>	36
Figura 8. <i>Toma de muestra de tierra rozada y quemada</i>	36
Figura 9. <i>Actividad del rozo</i>	37
Figura 10. <i>Actividad de la quema</i>	37
Figura 11. <i>Pesado de estiércol de ganado vacuno</i>	38
Figura 12. <i>Preparación de los volúmenes de humus</i>	38
Figura 13. <i>Acondicionamiento del suelo quemado para la biorremediación</i>	39
Figura 14. <i>Aplicación de fórmulas de biorremediación</i>	39

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo recuperar microbiota del suelo agrícola a partir de las actividades de rozo y quema mediante biorremediación. El análisis del suelo quemado arrojó ausencia de actinomicetos y bacterias y trazas de hongos; la concentración de nitrógeno fue 0.06 % y 1.2 % de materia orgánica. La metodología empleada fue una optimización de superficie de respuesta, se aplicaron trece fórmulas de biorremediación en trece puntos georreferenciados consistentes en estiércol ganado (g/m^2), solución líquida de humus (mL) y riego ($\text{LH}_2\text{O/m}^2$), aplicadas en niveles bajos, medios y altos. La biorremediación duró 45 días. Se obtuvo mejor respuesta en el punto 8, cuya fórmula fue 3000 g estiércol ganado/ m^2 , 700 mL humus líquido / m^2 y 12 L/ m^2 y su análisis de suelo biorremediado arrojó 0.42 % nitrógeno y 6.40 % materia orgánica y una recuperación de la microbiota valorada en actinomicetos y bacterias 10^9 UFC/gramo suelo y hongos 10^6 UFC/gramo suelo. Mediante el diseño Box-Behnken se logra incrementar a 0.49 % nitrógeno y 7.94 % materia orgánica aplicando entre 1000-1034.9 g estiércol ganado/ m^2 , 1185.4-1200 mL humus líquido/ m^2 y 12 L/ m^2 . En conclusión, la biorremediación es un proceso de optimización para recuperar suelos impactados por incendios, respecto a su microbiota, nitrógeno y materia orgánica.

Palabras claves: optimización, suelos, microbiota, impacto ambiental.

ABSTRACT

The objective of the research was to recover microbiota from agricultural soil from slash and burn activities through bioremediation. The analysis of the burned soil showed absence of actinomycetes and bacteria and traces of fungi; the nitrogen concentration was 0.06 % and 1.2 % organic matter. The methodology used was a response surface optimization, thirteen bioremediation formulas were applied in thirteen georeferenced points consisting of cattle manure (g/m²), liquid humus solution (mL) and irrigation (LH₂O/m²), applied at low, medium and high levels. Bioremediation lasted 45 days. The best response was obtained in point 8, whose formula was 3000 g livestock manure/m², 700 mL liquid humus/m² and 12 L/m² and its bioremediated soil analysis showed 0.42 % nitrogen and 6.40 % organic matter and a recovery of the microbiota valued in actinomycetes and bacteria 109 CFU/gram soil and fungi 106 CFU/gram soil. By means of the Box-Behnken design, an increase to 0.49 % nitrogen and 7.94 % organic matter was achieved by applying between 1000-1034.9 g cattle manure/m², 1185.4-1200 mL liquid humus/m² and 12 L/m². In conclusion, bioremediation is an optimization process to recover soils impacted by fires, with respect to their microbiota, nitrogen and organic matter.

Key words: optimization, soils, microbiota, environmental impact.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación se enfocó en recuperar un suelo impactado cuando este, fue sometido a un rozo de maleza proveniente de faiques (*Acacia macracantha*) y maleza cortada. Todo fue apilado para su posterior quema. La zona de estudio constituyó un terreno tropical ubicado en el distrito Bellavista, provincia Jaén. La jurisdicción comprendida abarca una extensión considerable de tierra con montaña apropiada para nuevos terrenos orientados a la siembra de arroz (*Oryza sativa*) y cacao (*Theobroma cacao*) (MIDAGRI, 2018) gracias al efluente del río Marañón que cruza grandes extensiones de terreno de esta jurisdicción. Estas condiciones favorables de clima y capacidad hídrica la convierten en una zona con recurrentes actividades de rozo y quema de matorrales y foresta sin uso. Esta actividad de impacto al medio ambiente fue justificada por el deseo de obtener nuevas áreas de cultivo a pesar de lo que significa negativamente a lo largo del tiempo sobre el medio ambiente; pues, si se proyecta esta práctica en el mundo sin importar la causa (involuntaria o voluntaria) se comprende su contribución perjudicial al cambio climático (Khudhaier *et al.*, 2020).

La práctica agrícola abordada es bastante común en los actuales tiempos; sin embargo, la problemática del impacto se aprecia más cuando el fuego extingue microorganismos en el suelo y afecta por evaporación el % carbono orgánico y % nitrógeno total presente en la capa superficial (Gómez *et al.*, 2013), la problemática debe comprenderse como que la quema ha restado en el término inmediato la pérdida de tres componentes importantes para la calidad nutritiva del suelo: Microorganismos, % C y % N; componentes indispensables para desarrollar el proceso de mineralización de los nutrientes en la capa superficial (Jaksic y Fariña, 2015). Sin embargo, este impacto sobre el suelo es reversible, de forma natural sin intervención remediadora sobre el suelo quemado, se empleará mucho tiempo en recuperar la población bacteriana, la materia orgánica (MO) y el contenido de nitrógeno total (N); esto es, que al no haber bacterias sobre el suelo, no será posible descomponer la materia orgánica depositada

sobre el suelo (hojas secas) y por ende no se recuperará el contenido de nitrógeno sobre el suelo, de esta manera se afectará la calidad nutritiva del suelo (Díaz *et al.*, 2014). La rápida recuperación edáfica fue la finalidad de la actual investigación, cual se basó en un tratamiento ambiental como la biorremediación que permitió la recuperación de la presencia de microorganismos del suelo, sobre todo utilizando los materiales e insumos propios de la zona de investigación, que aplicados a través de un diseño de superficie se logró determinar la fórmula más beneficiosa para recuperar bacterias en el suelo, sobre todo que son los responsables de la descomposición de los restos orgánicos presente en el suelo, factor clave para la nutrición de la vegetación (D'Ascoli *et al.*, 2005). La biorremediación es una metodología que corrige accidentes o daños ambientales al ecosistema, en tal sentido Prasad (2016) lo definió de la siguiente manera: “...*La biorremediación y la bio-economía brindan una plataforma común para que científicos de diversos orígenes encuentren soluciones sostenibles a los problemas ambientales, incluida la creciente falta de recursos hídricos (por tala y quema de foresta) que se hallan bajo presión debido a la erosión de la tierra, la contaminación, la explosión demográfica, la urbanización y el desarrollo económico mundial...*”, de otra parte, Sánchez de Prager *et al.* (2006), describieron la descomposición orgánica como una dinámica bioquímica mediante el cual los microorganismos del suelo adquieren movilidad enzimática adecuada. Así, la descomposición de compuestos orgánicos por los microorganismos del suelo según Azcón y Talón (2008) convierten el nitrógeno orgánico en nitrógeno inorgánico, favoreciendo así su % de nitrógeno total y por ende la nutrición del suelo. Según Bautista *et al.* (2009) las parcelas impactadas no tratadas pueden afectar la vegetación de la zona en cuanto al desarrollo de los microorganismos, de forma tal que la mineralización del nitrógeno puede volverse ineficiente, apareciendo a su vez nuevas sustancias no nutricionales para las plantas. Otra forma de expresar este concepto lo sintetizó Reitsma & Clay (2011) cuando relacionó la nutrición de la vegetación con la presencia de microorganismos en el suelo de la siguiente manera: ... “*Varias comunidades microbianas y reacciones químicas trabajan en el suelo para proporcionar a la planta nutrientes utilizables, pero también son responsables de las ineficiencias o pérdidas en el sistema...*” Morales *et al.* (2011) mostraron que la optimización de procesos es una herramienta importante dentro de la Ingeniería de Sistemas de Procesos, aplicable a un proceso de biorremediación cuyo modelo suele

ser utilizado en la toma de decisiones y mejora de los procesos químicos (diseño, síntesis y operación), con el objetivo de maximizar el rendimiento del proceso mientras se minimiza los costos. En un contexto similar, Barrios *et al.* (2020) desarrollaron modelos de optimización multi respuesta, mediante la investigación del metabolismo funcional de microorganismos, ensayada como respuesta catabólica en los suelos afectados por el fuego comparados con el control de la primera semana después de la quema. En particular, la uniformidad catabólica mostró valores significativamente más bajos en suelos quemados con diferencias entre suelos afectados por incendios de diferente gravedad; sobre la respuesta catabólica Díaz *et al.* (2014) observaron que el mantillo edáfico mostró distinta sensibilidad para el impacto de su superficie. En tanto que, Sánchez de Prager *et al.* (2006) al investigar los efectos sobre suelos quemados, concluyeron que no observó tendencias temporales identificables de contenido total de C y N del suelo debido a la gran reserva de MOS (materiales orgánicos). En tanto que, Barrios *et al.* (2020) recolectaron muestras de suelo del horizonte con una profundidad entre 0 y 2 cm durante un periodo de tiempo de 4, 8 y 12 meses después del incendio. Analizaron la biomasa total y biomasa específica (bacterias, hongos) en la fracción < 2 mm de diámetro y mediante análisis de ácidos grasos fosfolípidos. Encontraron que la biomasa disminuyó inmediatamente después del incendio forestal y aunque este efecto fue atenuado con el tiempo, aún persistió después de un año. Reitsma *et al.* (2011) explicaron que el efecto bio-estimulador de residuos orgánicos (estiércol doméstico) aportó biodegradación de mínimo a promedio, por ejemplo, los valores medios más altos (UFC/mL) del aumento de biomasa se registraron en *Pseudomonas sp* tanto para estiércol de vaca (42.03 %) como excremento de pollo (38.46 %). Y, Díaz *et al.* (2014) mencionaron sobre la posibilidad de aplicar paja cortada como medida de restauración.

La investigación tuvo como objetivo general el recuperar microbiota del suelo agrícola rozado y quemado en el distrito Bellavista región Cajamarca, mediante la ejecución de los siguientes objetivos específicos: Identificar cualitativamente la microbiota del suelo antes y después del rozo-quema. Determinar concentración de nitrógeno y materia orgánica de suelo agrícola y suelo quemado. Determinar la fórmula de biorremediación del suelo biorremediado con mayor nitrógeno y materia orgánica e identificar y cuantificar la microbiota del suelo biorremediado con mayor nitrógeno y % materia orgánica.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Población, muestra y muestreo

2.1.1 Población:

La población de la investigación fue un terreno agrícola ubicado en el distrito Bellavista, provincia de Jaén, región Cajamarca (cuyas coordenadas se registraron en el anexo 1), perteneciente al bosque seco, sin uso productivo y actualmente en calidad no productivo (Figura 5).

2.1.2 Muestra

El suelo tomado como muestra, tuvo dos características diferentes: Una muestra antes de ejecutar actividad de rozo y quema; y, otra muestra de suelo después del rozo y quema.

Muestra de suelo antes de rozo y quema:

En las condiciones de suelo agrícola se procedió a despejar raíces, hojarasca de la superficie del suelo (Figura 6). Se tomaron tres muestras aleatorias de 300 gramos cada uno, las cuales se mezclaron entre sí. Luego se pesó una muestra representativa que fue enviada al Laboratorio de análisis Rivelab SAC.

Muestra de suelo después de rozo y quema:

Después de ejecutar las labores agrícolas de rozo y quema se procedió a tomar muestras de la superficie de suelo quemada. Se tuvo cuidado de separar la ceniza y sobre una profundidad máxima de hasta cinco centímetros se extrajo tres muestras de suelo (Figura 7). Para su posterior evaluación en Laboratorio de análisis Rivelab SAC.

2.1.3 Muestreo

El número de muestras fue concordante al diseño estadístico Superficie de Respuesta (Tablas 1 y 2), las cuales embaladas con criterios de seguridad fueron trasladadas y enviadas al laboratorio para su análisis. Cada muestra pesó 300 g (Figura 8).

2.2 Metodología

Se desarrolló un trabajo experimental adaptado a un modelo estadístico de optimización diseñado por Box – Behnken elegido por conveniencia de los investigadores. De forma que las actividades específicas fueron diseñadas con la finalidad de determinar la superficie de respuesta al proceso de biorremediación.

Tabla 1

Rangos de operación del modelo Box – Behnken.

Grado de operación	A: g. de estiércol ganado/m²	B: Solución de humus mL./m²	C: Riego Lt H₂O /m²
+	3000	1200	12
0	2000	700	8
-	1000	200	4

Fuente: Adaptado de Barrios *et al.* (2020).

Tabla 2*Diseño estadístico Box – Behnken*

Punto de muestreo	X₁ Estiércol ganado g/m²	X₂ Humus líquido mL/m²	X₃ Riego L/m²	Nitrógeno (N %)	Materia orgánica (% MO)
1	-	-	0	N ₁	MO ₁
2	+	-	0	N ₂	MO ₂
3	-	+	0	N ₃	MO ₃
4	+	+	0	N ₄	MO ₄
5	-	0	-	N ₅	MO ₅
6	+	0	-	N ₆	MO ₆
7	-	0	+	N ₇	MO ₇
8	+	0	+	N ₈	MO ₈
9	0	-	-	N ₉	MO ₉
10	0	+	-	N ₁₀	MO ₁₀
11	0	-	+	N ₁₁	MO ₁₁
12	0	+	+	N ₁₂	MO ₁₂
13	0	0	0	N ₁₃	MO ₁₃
T	Nada	Nada	Nada	N ₁₄	MO ₁₄

Fuente: Adaptado de Barrios *et al.* (2020).**2.2.1 Procedimiento:**

La ejecución de este proyecto se inició con la delimitación del área de trabajo perteneciente al bosque seco, sin uso productivo ubicada en el distrito Bellavista, cuyas coordenadas se encuentran georreferenciadas (Anexo 1).

A continuación, se llevó a cabo el rozo que consistió en eliminar toda maleza sobre el terreno con especies vegetativas oportunistas, y designadas en préstamo para la actual investigación con un área aproximada de 1000 m² (Figura 9).

Después de realizada la tala de maleza se procedió a dejar los restos cortados de maleza por un lapso de 20 días para su respectivo secado. Al cabo de ese tiempo se procedió a realizar la quema, con el cuidado de aislar el terreno a quemar (Figura 10).

Identificar cualitativamente la microbiota del suelo antes y después del rozo-quema.

Se muestreó siguiendo las recomendaciones formuladas en la guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2013) y de acuerdo con las necesidades de la investigación. Además, el número de muestras fue según el diseño estadístico de optimización de respuesta que exigió 13 muestras de control y una muestra testigo. Las muestras de suelo fueron tomadas a profundidad no mayor a cinco centímetros y trasladadas al Laboratorio de análisis Rivelab SAC.

Determinar concentración de nitrógeno y materia orgánica de suelo agrícola y suelo quemado.

La determinación de nitrógeno en el suelo biorremediado fue comparado con los niveles formulados por (Sánchez de Prager *et al.*, 2006) que caracteriza desde un nivel muy bajo hasta un nivel muy alto.

La metodología aplicada para el análisis de nitrógeno fue: *ISO 11261:1995. First Edition 1995 Soil Quality-Determination of total nitrogen-Modified Kjeldahl method.*

Tabla 3

Parámetros de N en suelos agrícolas

Categoría	% de N
Muy bajo	<0.05
Bajo	0.05-0.10
Medio	0.10-0.15
Alto	0.15-0.25
Muy alto	>0.25

Fuente: (Sánchez de Prager *et al.*, 2006).

La referencia de comparación del impacto sobre la materia orgánica se dedujo en la Tabla 4. La metodología aplicada para el análisis de materia orgánica fue: Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda sección (31 de diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07 Determinación de materia orgánica del suelo (AS-07 Método de Walkley y Black).

Tabla 4

Parámetros de materia orgánica en suelos

Categoría	% de MO
Muy bajo	<1.5
Bajo	1.6-3.0
Medio	3.1-4.5
Alto	4.6-6.0
Muy alto	> 6

Fuente: (Morales *et al.*, 2011).

Determinar la fórmula de biorremediación del suelo biorremediado con mayor nitrógeno y materia orgánica.

En primer lugar, se prepararon las fórmulas de biorremediación en concordancia a la Tabla 1. Para ello, se tuvo en cuenta las tres variables de operación, estiércol de ganado vacuno, humus y riego del suelo. Se acopió estiércol de ganado vacuno en condición seca. Fue pesado en cantidades cuatro muestras de 3000 gramos, cuatro muestras de 1000 gramos y cinco muestras de 2000 gramos (Figura 11).

Se midió en un vaso con graduación volumétrica los volúmenes (Tabla 1):

- Cuatro volúmenes de humus de 1200 mililitros.
- Cuatro volúmenes de humus de 200 mililitros.
- Cinco volúmenes de humus de 700 mililitros.

Cada volumen fue disuelto en un balde con 18 litros de agua con la finalidad de homogenizar el humus sobre la superficie de suelo tratado (Figura 12).

Respecto al riego, se tomó en cuenta el periodo de riego, es decir las áreas de biorremediación se regaron en periodos de tiempo: Cada cuatro días, cada ocho días y cada doce días (valores del tipo no probabilístico y a criterios de los tesistas). La biorremediación del suelo impactado por fuego se llevó a cabo con fórmulas biológicas, basadas con estiércol de ganado vacuno, humus y la humedad adecuada. Para ello se despejaba la superficie del suelo de su contenido de ceniza. De forma que las fórmulas de biorremediación hagan efecto sobre la superficie del suelo al ser regadas. El tiempo fue una de las tantas variables no consignadas en el proceso

de biorremediación, por cuanto su efecto es predecible, es decir, es obvio que, a mayor tiempo, mayor rendimiento, mayor degradación y biorremediación (Figuras 13 y 14).

La quema impactó la presencia de microorganismos en el suelo por la alta temperatura. La biorremediación duró 45 días. Cada punto de muestreo fue biorremediado con una fórmula específica (Tabla 5).

Tabla 5

Fórmulas ajustadas al diseño estadístico Box – Behnken

Punto de muestreo	X₁ Estiércol ganado gr/m²	X₂ Humus líquido mL/m²	X₃ Riego L/m²	Nitrógeno (N %)	Materia orgánica (% MO)
1	1000	200	8	N ₁	MO ₁
2	3000	200	8	N ₂	MO ₂
3	1000	1200	8	N ₃	MO ₃
4	3000	1200	8	N ₄	MO ₄
5	1000	700	4	N ₅	MO ₅
6	3000	700	4	N ₆	MO ₆
7	1000	700	12	N ₇	MO ₇
8	3000	700	12	N ₈	MO ₈
9	2000	200	4	N ₉	MO ₉
10	2000	1200	4	N ₁₀	MO ₁₀
11	2000	200	12	N ₁₁	MO ₁₁
12	2000	1200	12	N ₁₂	MO ₁₂
13	2000	700	8	N ₁₃	MO ₁₃
T	Nada	Nada	Nada	N ₁₄	MO ₁₄

Fuente: Adaptado de Barrios *et al.* (2020).

Identificar la microbiota del suelo biorremediado con mayor nitrógeno y % materia orgánica.

Para el cumplimiento de este objetivo se solicitó al Laboratorio de análisis Rivelab SAC la identidad y cantidad aproximada de los microorganismos existentes en aquel suelo cuya fórmula correspondió a una mayor cantidad de nitrógeno y % de materia orgánica en el proceso de optimización según diseño propuesto.

Análisis estadístico.

El análisis de los datos y resultados obtenidos de la biorremediación fueron ejecutados en el software Statgraphics Centurion 19 aplicados al modelo Box y Behnken. El cual ejecuta un conjunto de corridas donde cada par de factores es variado entre sus niveles bajo y alto, mientras los demás factores experimentales se fijan en el nivel medio. Cada conjunto de 4 corridas consecutivas es un diseño experimental con 2 niveles implicando seleccionar un par de factores. Además, de 3-5 puntos al centro en (0,0,0) pueden agregarse al diseño. El diseño es comparable en tamaño al central compuesto y considerablemente más pequeño que una factorial a tres niveles.

III. RESULTADOS

Identificar cualitativamente la microbiota del suelo antes y después del rozo-quema

Los resultados evidenciaron el impacto ambiental sobre la capa superficial del suelo debido a las altas temperatura de la quema de la maleza. Entiéndase por el término "microorganismos" que abarca un grupo diverso que incluye bacterias, hongos, arqueobacterias, protozoos, algas y virus (Khudhaier *et al.*, 2020).

Tabla 6

Análisis cualitativo de la microbiota de suelo agrícola y quemado

Muestra de suelo	Análisis microbiológico	
Suelo agrícola antes del rozo y quema	Actinomicetos y bacterias	10 ⁶ UFC / gramo suelo
	Hongos	6 x 10 ³ UFC /gramo suelo
Suelo agrícola después del rozo y quema	Actinomicetos y bacterias	Negativo
	Hongos	Trazas.

Fuente: Resultado del análisis de suelos.

Interpretación:

La cuantificación de microbiota fue a través del conteo de la Unidad Formadora de Colonias (UFC). El suelo agrícola presentó cuantitativamente UFC 10⁶ UFC actinomicetos y bacterias /gramo suelo. La presencia de hongos fue UFC 6x10³ UFC/gramo suelo. Características microbiológicas positivas en un suelo agrícola. De otra parte, la ausencia de bacterias en el suelo quemado representó un verdadero impacto a la vida biológica, microbiológica y nutritiva del suelo.

Determinar concentración de nitrógeno y materia orgánica de suelo agrícola y suelo quemado.

Tabla 7

Determinación de nitrógeno y materia orgánica en suelo agrícola

Parámetro de análisis	Método	% N	% MO
Nitrógeno	Kjeldahl	0.13	
Materia orgánica	Walkley y Black		3.4

Fuente: Lab. Rivelab SAC.

Interpretación:

Según Sánchez de Prager *et al.* (2006) por la concentración media de nitrógeno total determinada por el método Kjeldahl el suelo agrícola de Bellavista sin ninguna intervención antropogénica al menos por más de 15 años (expresado por sus propietarios), mostró una presencia cerca al nivel medio (0.10-0.15 %). Lo cual es explicado por el abandono del terreno, sin ningún cultivo que absorba el nitrógeno existente en el suelo.

Respecto al porcentaje (%) de la materia orgánica, Morales *et al.* (2011), la materia orgánica del suelo se halla en concentración media, es decir, se trataría de un suelo que acumuló materia orgánica caída sobre su superficie, y que por la humedad y el tiempo se ha degradado liberando carbono orgánico en la superficie (Tabla 4).

Tabla 8

Determinación de nitrógeno y materia orgánica en suelo quemado

Tipo de suelo	Método	% N	% MO
Suelo rozado y quemado	Kjeldahl	0.06	-
	Walkley & Black	-	1.2

Fuente: Lab. Rivelab SAC.

Determinar la fórmula de biorremediación del suelo biorremediado con mayor nitrógeno y materia orgánica.

Tabla 9

Diseño de estadístico Box–Behnken

Punto de muestreo	Estiércol ganado g/m²	Humus líquido mL/m²	Riego L/m²	Nitrógeno (N %)	Materia orgánica (% MO)
1	1000	200	8	0.37	5.4
2	3000	200	8	0.40	4.8
3	1000	1200	8	0.26	3.8
4	3000	1200	8	0.34	5.6
5	1000	700	4	0.32	5.5
6	3000	700	4	0.29	6.3
7	1000	700	12	0.22	3.4
8	3000	700	12	0.42	6.4
9	2000	200	4	0.29	3.5
10	2000	1200	4	0.23	4.1
11	2000	200	12	0.37	4.9
12	2000	1200	12	0.29	5.7
13	2000	700	8	0.34	4.3
T	Nada	Nada	Nada	0.08	4.2
Promedio				0.30	4.85

Fuente: Adaptado de Barrios *et al.* (2020).

Interpretación:

De los resultados arrojados por el reporte de análisis de suelos, se observó que el suelo biorremediado presentó niveles de nitrógeno N restaurado (pasó de un nivel bajo 0.06 % N a nivel muy alto 0.22 -0.42 % N), siendo catalogado en esta nueva condición como muy alto (Sánchez de Prager *et al.*, 2006). Respecto al suelo agrícola abandonado y en condiciones de rozado y quemado; similarmente, los niveles de materia orgánica fueron restaurados respecto al inicio de la intervención de rozo y quema (pasó de nivel bajo 1.2 % MO por el incendio forestal a un nivel muy alto 3.4 – 6.4 % MO, siendo catalogado en esta nueva condición como alto (Morales *et al.*, 2011).

Optimización de la biorremediación: Diseño de superficie de respuesta.
Análisis estadístico: % Nitrógeno

Tabla 10

Análisis de varianza para % nitrógeno

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:ESTIÉRCOL	0.0028125	1	0.0028125	2.28	0.1917
B:HUMUS LÍQUIDO	0.0001125	1	0.0001125	0.09	0.7749
C:RIEGO	0.0002	1	0.0002	0.16	0.7040
AA	0.000207692	1	0.000207692	0.17	0.6987
AB	0.0049	1	0.0049	3.97	0.1030
AC (estiércol-riego)	0.013225	1	0.013225	10.71	0.0221
BB	0.000207692	1	0.000207692	0.17	0.6987
BC (humus-riego)	0.018225	1	0.018225	14.76	0.0121
CC	0.00147692	1	0.00147692	1.20	0.3240
Error total	0.006175	5	0.001235		
Total (corr.)	0.0473733	14			

Fuente: Statgraphics Centurion 18.

Interpretación:

En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, lo que indica que, son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. En este caso, para producir más nitrógeno se observó más significancia (más cerca 0.00) lo tiene la conjunción **BC** (correspondiente a la fórmula conjunta entre humus líquido y riego), es decir, al trabajo conjunto de ácidos húmicos y la humedad en el suelo.

Algoritmo del proceso:

$$\begin{aligned} \% \text{ Nitrógeno} = & 0.30505 + 0.00007725 * \text{ESTIÉRCOL} - 0.0003755 * \text{HUMUS LÍQUIDO} + \\ & 0.026375 * \text{RIEGO} - 7.5E-9 * \text{ESTIÉRCOL}^2 + 7.E-8 * \text{ESTIÉRCOL} * \text{HUMUS} \\ & \text{LÍQUIDO} - 0.000014375 * \text{ESTIÉRCOL} * \text{RIEGO} - 3.E-8 * \text{HUMUS LÍQUIDO}^2 + \\ & 0.00003375 * \text{HUMUS LÍQUIDO} * \text{RIEGO} - 0.00125 * \text{RIEGO}^2 \end{aligned}$$

Optimización de la respuesta % Nitrógeno:

Valor óptimo = 0.414075 (%) (*valor calculado del software Statgraphics Centurion 19*).

El mismo valor calculado manualmente, a partir del algoritmo anterior;

$$\% \text{ Nitrógeno} = +0.30505 + 0.079946798 - 0.4506 + 0.3165 - 0.00803279 + 0.08693244 - 0.178521975 - 0.0432 + 0.486 - 0.18$$

$$\% \text{ Nitrógeno} = +1.274429238 - 0.860354765$$

$$\% \text{ Nitrógeno} = 0.414074473 (\%).$$

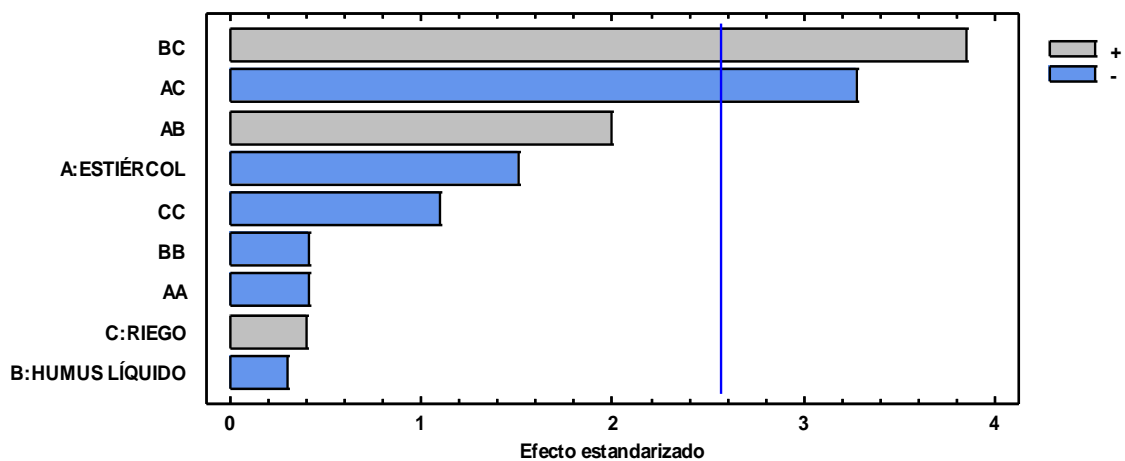
Tabla 11

Parámetros óptimos para la producción de % nitrógeno

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
ESTIÉRCOL GANADO	1000.0	3000.0	1034.91
HUMUS	200.0	1200.0	1200.0
RIEGO	2.0	12.0	12.0

Figura 1

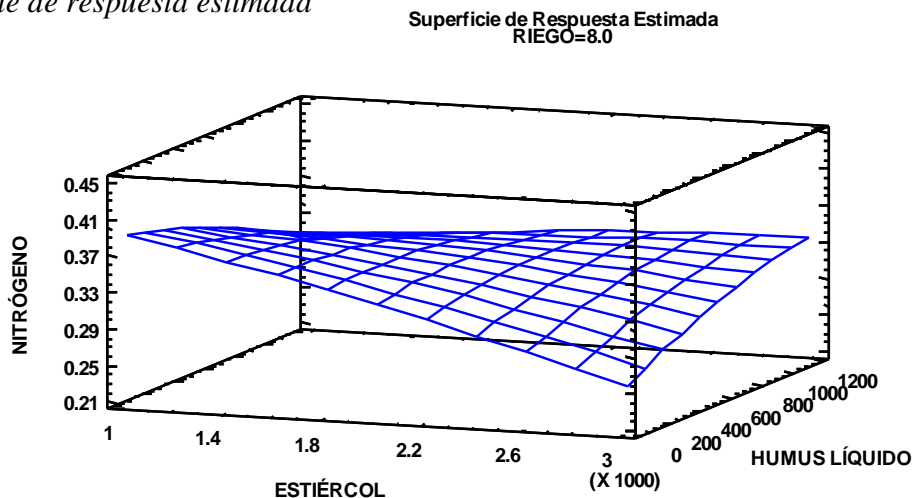
Diagrama de Pareto estandarizada para el % nitrógeno



Se observó la conjunción o mezcla entre BC (Humus líquido y riego) tuvieron un impacto mayor sobre la presencia del % de nitrógeno total. En segundo lugar, la conjunción de AC (estiércol de ganado y riego) y en tercer lugar la conjunción AB (estiércol y Humus líquido).

Figura 2

Superficie de respuesta estimada



Análisis estadístico: % materia orgánica

Tabla 12

Análisis de varianza para % materia orgánica

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:ESTIÉRCOL	0.03125	1	0.03125	2.31	0.1886
B:HUMUS LÍQUIDO	0.72	1	0.72	53.33	0.0008
C:RIEGO	0.10125	1	0.10125	7.50	0.0409
AA	0.332308	1	0.332308	24.62	0.0042
AB	0.7225	1	0.7225	53.52	0.0007
AC	2.89	1	2.89	214.07	0.0000
BB	3.51	1	3.51	260.00	0.0000
BC	4.2025	1	4.2025	311.30	0.0000
CC	0.332308	1	0.332308	24.62	0.0042
Error total	0.0675	5	0.0135		
Total (corr.)	13.004	14			

Fuente: Statgraphics Centurion 19.

Interpretación:

En este caso, 8 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. En este caso, para producir más materia orgánica se observó más significancia (valor 0.00) la conjunción AC (estiércol-riego), por igual BB (humus líquido) y BC (humus líquido-riego).

Algoritmo del proceso:

$$\begin{aligned} \% \text{ Materia orgánica} = & 3.971 + 0.0010325 * \text{ESTIÉRCOL} - 0.00726 * \text{HUMUS LÍQUIDO} + \\ & 0.394375 * \text{RIEGO} + 3.E-7 * \text{ESTIÉRCOL}^2 - 8.5E-7 * \text{ESTIÉRCOL} * \text{HUMUS} \\ & \text{LÍQUIDO} - 0.0002125 * \text{ESTIÉRCOL} * \text{RIEGO} + 0.0000039 * \text{HUMUS} \\ & \text{LÍQUIDO}^2 + 0.0005125 * \text{HUMUS LÍQUIDO} * \text{RIEGO} - 0.01875 * \text{RIEGO}^2 \end{aligned}$$

Optimización de la respuesta: % materia orgánica

Valor óptimo = 7.94244 % MO.

Tabla 13

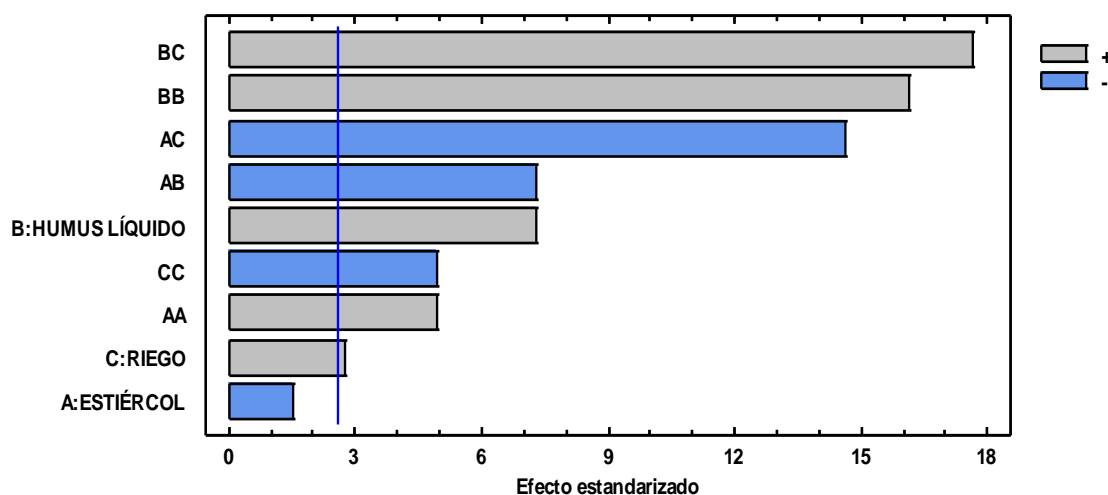
Parámetros óptimos para la producción de materia orgánica

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
ESTIÉRCOL GANADO	1000.0	3000.0	1000.17
HUMUS	200.0	1200.0	1185.4
RIEGO	2.0	12.0	12.0

Fuente: Statgraphics Centurion 18.

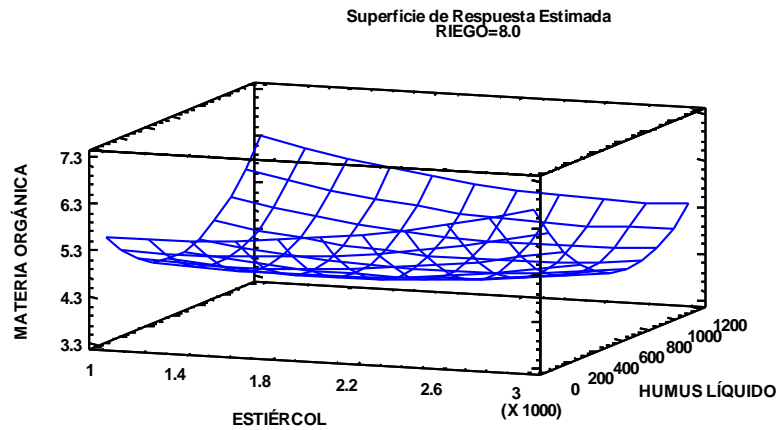
Figura 3

Diagrama de Pareto estandarizada para materia orgánica



Interpretación:

Se observó la conjunción o mezcla entre BC (Humus líquido y riego) tuvieron un impacto mayor sobre la presencia del % de nitrógeno total. En segundo lugar, la conjunción de BB (humus líquido) y en tercer lugar la conjunción AC (estiércol y riego).

Figura 4*Superficie de respuesta estimada***Tabla 14***Respuestas después de la biorremediación de nitrógeno y materia orgánica*

Punto de muestreo	Estiercol ganado g/m ²	Humus líquido mL/m ²	Riego L/m ²	Nitrógeno (N %)	Materia orgánica (% MO)
8	3000	700	12	0.42	--
8	3000	700	12	--	6.40

Fuente: Adaptación de los tesis.

Tabla 15*Respuestas optimizadas después de la biorremediación según Box-Behnken*

Estiercol ganado g/m ²	Humus líquido mL/m ²	Riego L/m ²	Nitrógeno (N %)	Materia orgánica (% MO)
1034.9	1200	12	0.49	
1000	1185.4	12		7.94

Interpretación:

De acuerdo con el modelo las respuestas de nitrógeno y materia orgánica se pueden aumentar, optando por las siguientes fórmulas:

Respuesta: 0.49 % N: 1034.9 g estiércol, 1200 mL humus líquido y 12 L H₂O/m².

Respuesta: 7.75 % MO: 1000 g estiércol, 1185.4 mL humus líquido y 12 L H₂O/m².

Identificar la microbiota del suelo biorremediado con mayor nitrógeno y % materia orgánica.

El suelo con mejor respuesta se consiguió en el punto 8, cuya fórmula de biorremediación consistió en: Estiércol de ganado: 3000 gr estiércol, 700 mL humus líquido y 12 días de riego. A este suelo se sometió un análisis microbiológico para conocer la identidad de la microbiota del suelo biorremediado.

fue el siguiente:

Tabla 16

El resultado de la identificación de la microbiota

Identidad de microorganismos	Por 1 gramo de suelo
Actinomicetos y bacterias	10^9 UFC/gramo suelo
Hongos	10^6 UFC/gramo suelo

IV. DISCUSIÓN

La investigación se basó en formular una alternativa a la problemática tradicional de rozar y quemar tierras de cultivo, a través de un proceso de biorremediación. Según expresaron Khudhaier *et al.* (2020) esta actividad influye en el cambio climático. El análisis de suelo agrícola arrojó que antes del incendio forestal se tuvo una cantidad de actinomicetos, bacterias 10^6 UFC /gramo suelo y hongos 6×10^3 UFC /gramo suelo y en tanto que el suelo rozado y quemado mostró ausencia de actinomicetos y bacterias y trazas de hongos. Valores coincidentes con Gómez *et al.* (2013) que afirmaron encontraron impacto o mortalidad sobre microorganismos (bacterias, hongos, arqueobacterias, protozoos, algas y virus); De otro lado, D'Ascoli *et al.* (2005) afirmó que los microorganismos son responsables de descomponer los restos orgánicos del suelo, factor clave para la nutrición de la vegetación; mientras que, Díaz *et al.* (2014) recomendaron la biorremediación para la recuperación de microorganismos impactados por el incendio forestal. En tanto que, D'Ascoli, (2005) reportó el daño que afecta el incendio forestal. Expresó que al eliminar bacterias se restringen actividades biológicas como la mineralización de la materia orgánica, y procesos como la amonificación, nitrificación y adquisición de nutrientes para las plantas; frente a esta problemática recurrente Prasad (2016) recomendó emplear la biorremediación como una metodología que corrige accidentes forestales o daños ambientales al ecosistema. Sobre todo, relacionó la biorremediación y la bio-economía como una plataforma común para encontrar soluciones sostenibles a los problemas ambientales. Otro análisis del suelo agrícola antes del incendio arrojó 0.13 % nitrógeno y 3.4 % materia orgánica; valores considerados por Sánchez de Prager *et al.* (2006) como niveles que al no tener cultivos productivos el suelo conserva sus niveles de nutrientes y sobre la materia orgánica esta es resultado de la acumulación de hojas muertas denominada hojarasca. En tanto que, el terreno en estudio sometido a rozo y quema de la maleza arrojó 0.06 % nitrógeno y 1.2 % materia orgánica, valores que mostraron un gran impacto negativo sobre el suelo, comparados con la tabla 3 y 4 alcanzaron niveles bajos. Sobre la caída de estos valores en el suelo quemado, Díaz *et al.* (2014) explicó que los incendios forestales impactan sobre todo el mantillo edáfico del suelo [profundidad superficial máxima de cinco centímetros, según Beyers *et al.* (2005), pág. 24-27] de forma que la respuesta catabólica microbiana se afecta. Sobre este contexto, Jaksic y Fariña, (2015) afirmaron que un suelo quemado es más resistente a la remediación, porque sus componentes se vuelven ceniza (carbono). En cuanto al actual diseño de la investigación se empleó la metodología de superficie de respuesta obteniéndose con la formulación 8 la mejor

respuesta: 0.42 % nitrógeno y 6.40 % materia orgánica, la cual fue posible al biorremediar el suelo quemado con 3000 gr estiércol ganado/m², 700 mL/m² y 12 L/m². En un contexto similar, Barrios *et al.* (2020) desarrollaron modelos de optimización multi respuesta, mediante la investigación del metabolismo funcional de microorganismos, ensayada como respuesta catabólica en los suelos afectados por el fuego comparados con el control de la primera semana después de la quema. El incremento de nitrógeno y materia orgánica se debe según Azcón y Talón (2008) al proceso de mineralización, es decir, a la conversión de nitrógeno orgánico en nitrógeno inorgánico favoreciéndose la calidad nutritiva del suelo. A su vez Sánchez de Prager *et al.* (2006) fundamentó que la presencia de bacterias en el estiércol de ganado vacuno ha contribuido a la descomposición orgánica como una dinámica bioquímica mediante el cual los microorganismos del suelo adquieren movilidad enzimática adecuada. Esto se explica por cuanto después del incendio forestal la presencia de actinomicetos y bacterias disminuyó a la ausencia y trazas respectivamente en el suelo quemado. Pero que después de la biorremediación el suelo con mejor respuesta (punto 8) mostró una actinomicetos y bacterias 10⁹ UFC/gramo suelo y hongos 10⁶ UFC/gramo suelo. Esta recuperación edáfica fue explicada por D'Ascoli *et al.* (2005) que basó su tratamiento ambiental en la biorremediación por la presencia de microorganismos sobre el suelo, así su diseño le permitió encontrar el procedimiento más beneficioso para recuperar bacterias del suelo. De otra parte, la ausencia de bacterias en el suelo quemado representó un verdadero impacto a la vida biológica, microbiológica y nutritiva del suelo, pues las funciones de las bacterias incluyen la fijación N, mineralización, amonificación, nitrificación, descomposición, recambio y adquisición de nutrientes (D'Ascoli, 2005). Una consecuencia de las altas temperaturas sobre el suelo es el impacto sobre la presencia del nitrógeno y materia orgánica. Ambos parámetros bajaron de niveles después del incendio forestal, afectándose la vida biológica del ecosistema. Según Jaksic y Fariña, (2015) un suelo quemado es más resistente a la remediación, porque sus componentes se vuelven orgánicos al ser carbonizados se volvieron ceniza (C).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- La microbiota del suelo agrícola estuvo conformada por la presencia de actinomicetos, bacterias 10^6 UFC/gramo suelo y hongos 6×10^3 UFC/gramo suelo, a diferencia del suelo que fue rozado y quemado, cuyo análisis de microbiota arrojó la ausencia de actinomicetos y bacterias y la presencia de trazas de hongos sobre el suelo.
- El análisis químico realizado al suelo agrícola arrojó un 0.13 % de nitrógeno (método Kjeldahl) y 3.4 % de materia orgánica (método Walkley & Black). En cambio, el suelo rozado y quemado arrojó un 0.06 % de nitrógeno (Kjeldahl) y 1.2 % de materia orgánica (Walkley & Black).
- La fórmula de biorremediación con mejor respuesta de nitrógeno y materia orgánica se consiguió en el punto 8, cuya fórmula de biorremediación consistió en 3000 g estiércol ganado/m², 700 mL/m² de humus líquido y 12 L/m² de H₂O y cuyo análisis de suelo biorremediado arrojó 0.42% N (nitrógeno) y 6.4 % MO (materia orgánica).
- La microbiota del suelo biorremediado con mejor respuesta mostró un crecimiento de los microorganismos determinado en actinomicetos y bacterias 10^9 UFC/gramo suelo y hongos 10^6 UFC/gramo suelo.

Recomendaciones:

- Promover concientización de los agricultores para amparar el medio ambiente en las asociaciones de agricultores de forma que se fortalezcan los criterios técnicos de desarrollar agricultura sin la necesidad de realizar un incendio forestal. Para evitar la tala indiscriminada en aras de desarrollar cultivos de café, cacao y/o pastos.
- A nuestra alma mater la Universidad Nacional de Jaén, se recomienda incentivar las investigaciones relacionadas a la defensa del medio ambiente, de forma que se evite el progreso del calentamiento global por la quema forestal. Una estrategia que se puede implementar es la subvención de proyectos de investigación denominadas tesis. Así mismo, renovar las líneas de investigación en la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, de forma que se priorice la defensa del medio ambiente.,

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azcón, J. y Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª ed. McGraw-Hill - Interamericana y UBE Editores, Madrid, España.
- Barrios, A., Vaquera, H., Romero, J. M., Crossa J. y Burguete, E. (2020). Estudio comparativo de técnicas de optimización multi respuesta en diseños experimentales. *Ingeniería Investigación y Tecnología*. XXI (número 2), abril-junio, 1-12.
- Bautista, S., Robichaud, P.R., Bladé, C. (2009). Post-fire mulching. In: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Publishers, pp. 353-372.
- Beyers, J. L., Brown, J. K., Busse, M. D., DeBano, L. F., Elliot, W. J., Ffolliott, P. F., Jacoby, G. R., Knoepp, J. D., Landsberg, J. D., Neary, D. G., Reardon, J. R., Rinne, J. N., Robichaud, P. R., Ryan, K. C., Tiedemann, A. R. & Zwolinski, M. J., (2005). Wildland Fire in Ecosystems: Effects of Fire on Soil and Water. Editors Neary, Daniel G.; Ryan, Kevin C.; DeBano, Leonard F., Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-Vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de ciencias agrícolas: Agrícola*. 35(1): 82-96.
- D'Ascoli, R., Rutigliano, F. A., De Pascale, R. A., Gentile, A. and De Santo, A. V. (2005). Functional diversity of the microbial community in Mediterranean maquis soils as affected by fires. *International Journal of Wildland Fire*. N° 14, 355–363.
- Díaz, M., González, S., Martín, A., Gómez, M.X., Barreiro, A., Lombao, A. y Carballas, T. (2014). Proyecto TREFOQUE: Evaluación de técnicas de protección de suelos y revegetación para restaurar ecosistemas forestales quemados. *FLAMMA*, 5 (1), 60-65.

- Gómez, M., Couto, A., García, S., González, S.J. (2013). Impact of fire and post-fire management techniques on soil chemical properties. *Geoderma* 195-196:155-164.
- Jaksic, F. M. y Fariña, J M. (2015). Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 43(1):23-34.
- Khudhaier SR, Al-AMA & Abbas R. F. (2020) A review article-technology of bioremediation. *Int J Res Appl Sci Biotechnol* 7(5):349–353.
- Mendoza, R. B. y Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*. Universidad Nacional Agraria (UNA), y el programa de Agricultura, Suelo y Agua (ASA), financiado por la Fundación Haward Buffett (HGBF) y ejecutado por el Catholic Relief Services (CRS). p. 21.
<https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- MINAM (Ministerio del Ambiente) (2013). Guía para el muestreo de suelos. D.S. N° 002-2013-MINAM.
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego) (2018).
- Morales, R., Meyer, A. S., Gernaey, K. V. & Sin, G. (2011). Computer Aided Chemical Engineering. 21 t European Symposium on Computer Aided Process Engineering. 29, 1455-1459. *University of Denmark, DK-2800 Lyngby, Denmark*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54298-4.50070-2>
- Prasad, M.N.V. (2016). Department of Plant Sciences, University of Hyderabad, Telangana, India. ISBN. 978-0-12-802830-8.
- Reitsma, K. D. & Clay, D. E. (2011). Soil Fertility. Chapter two.
<https://www.researchgate.net/publication/262798335>.

Radočaj, D., Jurišić, M. & Antičić, O. (2021). Determination of soil C:N suitability zones for organic farming using an unsupervised classification in eastern Croatia. *Ecological Indicators* 123 (2021) 107382.

Sánchez de Prager, M., Rojas, A., Pérez, J., Zúñiga O. y Gascó, J.M. (2006). Actividad y biomasa microbianas como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agron.* 55(4), 7-12.

Vargas-Rodríguez, J. J. (2017). *Incendios forestales en Quito: acción humana o acción de la naturaleza*. Tesis para optar Licenciatura en gestión para el desarrollo local sostenible. Universidad Politécnica Salesiana - Sede Quito.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14884/1/UPS-QT12106.pdf>.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, la salud y la fuerza que me brindó día a día para poder culminar mis estudios.

A mi familia por guiarme y acompañarme en el proceso de formación que me condujo a formarme como profesional y persona de bien.

A la Universidad por darme la oportunidad de graduarme en una carrera profesional de Ingeniería.

Alex Ivan Cusma Vargas

Agradezco a Dios por la vida, la salud y por permitirme culminar mis estudios exitosamente, a mi familia por guiarme por la senda del bien y apoyarme incondicionalmente para cumplir uno de mis objetivos anhelados.

A la Universidad por darme la oportunidad de graduarme en una carrera profesional de Ingeniería.

Jhon Eduard Chasquero Samaniego

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A mis padres, Edin Cusma y Elsa Vargas con amor y cariño por su sacrificio y esfuerzo a lo largo de mi carrera, pues sin ellos no lo habría logrado, sus enseñanzas y consejos han sido fundamentales para alcanzar mis anhelos y conducirme siempre por el buen camino.

Alex Ivan Cusma Vargas

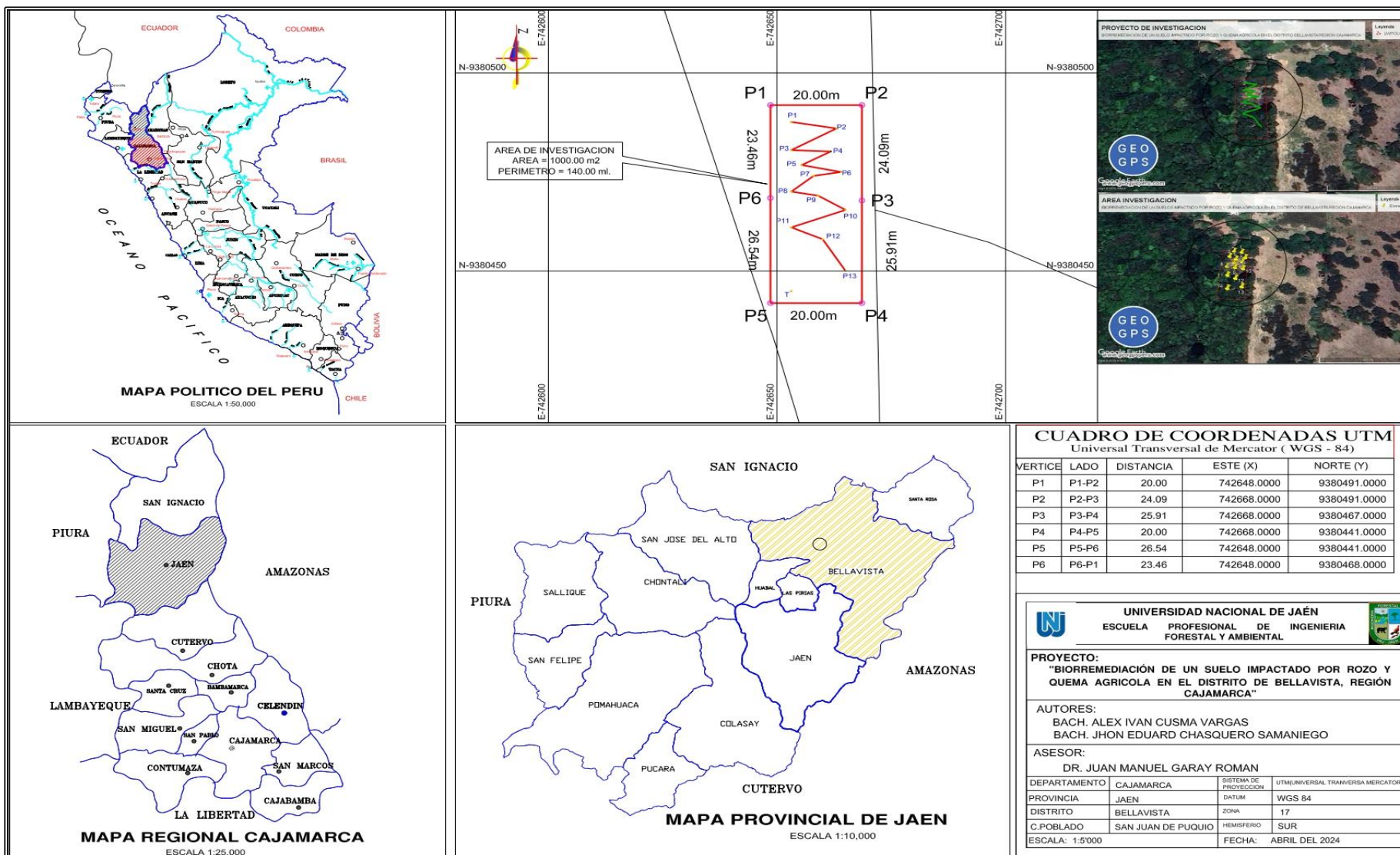
Dedico este trabajo:

A mis queridos padres Edwar y Dionila, pues su sacrificio y esfuerzo incansable a lo largo de mi carrera han sido fundamentales para obtener este logro tan anhelado, su amor, sus consejos y enseñanzas me han conducido siempre a lograr mis objetivos.

Jhon Eduard Chasquero Samaniego

ANEXOS

Anexo 1: plano georreferencial de la zona de estudio



Anexo 2: resultados de análisis de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE ENSAYO N°395-2024 RIVELAB

Emitido en Trujillo, 27 de febrero de 2024

Pág. 1 de 1

1. DATOS DEL SOLICITANTE

N° ORDEN DE TRABAJO : 21-200224S
SOLICITANTES : Cusma Vargas Alex Iván
Chasquero Samaniego Jhon Eduard

2. DATOS DEL SERVICIO

TIPO DE MUESTRA : Suelo
ENSAYO SOLICITADO : Químico y Microbiológico
NUMERO DE MUESTRAS : 2
CODIGOS DE MUESTRAS : MS-01 (suelo agrícola)
MS-02 (suelo de incendio forestal)
CANTIDAD DE MUESTRA : 300 g de ctu
0

3. DATOS DEL MUESTREO Y/O RECEPCIÓN DE MUESTRA

LUGAR Y FECHA DE TOMA DE MUESTRA : Muestra proporcionada por el cliente
LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN : Av. Bobadilla 524 Urb. Monserrate - Trujillo, 20 de febrero del 2024
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS : 20-02-2024
FECHA DE TERMINO DE ANALISIS : 27-02-2024

4. RESULTADOS

ENSAYO MICROBIOLÓGICO

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS MS-01	RESULTADOS MS-02
Actinomicetos y bacterias	UFC / gramo suelo	10 ⁶	Ausencia
Hongos	UFC / gramo suelo	6x10 ³	Trazas

ENSAYO QUIMICO

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS MS-01	RESULTADOS MS-02
Nitrógeno	%	0.13	0.06
Materia Orgánica	%	3.4	1.2

5. METODOS DE ENSAYO

ENSAYOS	REFERENCIA O NORMA
Nitrógeno	ISO 11261:1995, First Edition 1995 Soil Quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07 Determinación de materia orgánica del suelo (AS-07 Método de Walkley y Black).

Dr. JOSE RIVERO CORCUERA
Ingeniero Químico
R. CIP. 130519



Este documento y la información contenida en él es confidencial y propiedad de LABORATORIO RIVERO SAC - RIVELAB SAC. No debe ser distribuido sin autorización, queda prohibida su modificación, reproducción parcial y/o total.

LABORATORIO DE ENSAYOS INFORME DE ENSAYO N°616-2024 RIVELAB

Emitido en Trujillo, 26 de abril de 2024

Pág. 1 de 2

1. DATOS DEL SOLICITANTE

N° ORDEN DE TRABAJO : 11-090424S
SOLICITANTES : Cusma Vargas Alex Iván
Chasquero Samaniego Jhon Eduard

2. DATOS DEL SERVICIO

TIPO DE MUESTRA : Suelo
ENSAYO SOLICITADO : Químico y Microbiológico
NUMERO DE MUESTRAS : 14
CODIGOS DE MUESTRAS : M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, MT
CANTIDAD DE MUESTRA : 300 g c/u
0

3. DATOS DEL MUESTREO Y/O RECEPCIÓN DE MUESTRA

LUGAR Y FECHA DE TOMA DE MUESTRA : Muestra proporcionada por el cliente
LUGAR Y FECHA DE RECEPCIÓN : Av. Bobadilla 524 Urb. Monserrate - Trujillo, 09 de abril del 2024
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS : 09-04-2024
FECHA DE TERMINO DE ANALISIS : 26-04-2024

4. RESULTADOS

ENSAYO QUIMICO

Id. Muestra	Unidades	Nitrógeno	Materia orgánica
M-1	%	0.37	5.4
M-2	%	0.40	4.8
M-3	%	0.26	3.8
M-4	%	0.34	5.6
M-5	%	0.32	5.5
M-6	%	0.29	6.3
M-7	%	0.22	3.4
M-8	%	0.42	6.4
M-9	%	0.29	3.5
M-10	%	0.23	4.1
M-11	%	0.37	4.9
M-12	%	0.29	5.7
M-13	%	0.34	4.3
M-T	%	0.08	4.2



ENSAYO MICROBIOLÓGICO

Id. Muestra	Unidades	RESULTADO M-8
Actinomicetos y bacterias	UFC / gramo suelo	10 ⁹
Hongos	UFC / gramo suelo	10 ⁵

Este documento y la información contenida en él es confidencial y propiedad de LABORATORIO RIVERO SAC - RIVELAB SAC. No debe ser distribuido sin autorización, queda prohibida su modificación, reproducción parcial y/o total.




**LABORATORIO DE ENSAYOS
INFORME DE ENSAYO N°616-2024 RIVELAB**

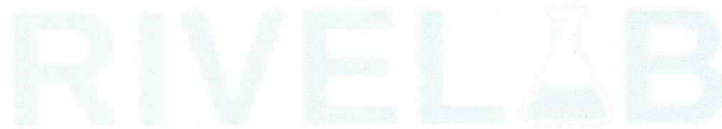
Emitido en Trujillo, 26 de abril de 2024

Pág. 2 de 2

5. METODOS DE ENSAYO

ENSAYOS	REFERENCIA O NORMA
Nitrógeno	ISO 11261:1995, First Edition 1995 Soil Quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002), Item 7.1.7, AS-07 Determinación de materia orgánica del suelo (AS-07 Método de Walkley y Black).


Dr. JOSE RIVERO CORCUERA
Ingeniero Químico
R. CIP. 130519



Este documento y la información contenida en él es confidencial y propiedad de LABORATORIO RIVERO SAC - RIVELAB SAC. No debe ser distribuido sin autorización, queda prohibida su modificación, reproducción parcial y/o total

 Av. Bobadilla N° 524 Urb. Monserrate - Trujillo

 informes@rivelab.pe

 917163730

Anexo 3: Modelo estadístico de optimización

El diseño Box-Behnken consiste en un conjunto de corridas donde cada par de factores es variado entre sus niveles bajo y alto, mientras los demás factores experimentales se fijan en el nivel medio.

Tabla 17

Modelo Box-Behnken

Corrida	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0

El modelo estadístico en el que se basa el análisis del diseño de superficie de respuesta expresa la variable respuesta Y como una función lineal de los factores experimentales, interacciones entre los factores, términos cuadráticos y término del error. Existen dos tipos de modelos que generalmente se estiman, se ilustran abajo para 3 factores experimentales:

1. Modelos de Primer Orden – Contiene términos que solamente representan efectos principales.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

2. Modelos de Segundo Orden – Contiene términos que representan efectos principales, interacciones de segundo orden, y efectos cuadráticos.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \varepsilon$$

El error experimental ε se asume que fue aleatorio y que proviene de una distribución normal con media 0 y desviación estándar igual a σ . La única diferencia en los análisis entre diseños de superficie de respuesta y diseños para investigación es la inclusión de los efectos cuadráticos. Estos aparecen en el Gráfico de Pareto y destacan otros efectos etiquetados como AA, BB, y CC:

ANEXO 4: fotografías del proceso de tesis

Figura 5

Reconocimiento del área de estudio agrícola



Figura 6

Toma de muestra de tierra agrícola



Figura 7

Toma de muestra de tierra rozada y quemada



Figura 8

Toma de muestra de tierra rozada y quemada



Figura 9

Actividad del rozo



Figura 10

Actividad de la quema



Figura 11

Pesado de estiércol de ganado vacuno



Figura 12

Preparación de los volúmenes de humus



Figura 13

Acondicionamiento del suelo quemado para la biorremediación



Figura 14

Aplicación de fórmulas de biorremediación



Anexo 4: Panel fotográfico 1



Anexo 5: Panel fotográfico 2

