

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y AMBIENTAL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**RESTAURACIÓN DE LA BIOTA EDÁFICA DE UN SUELO
ROZADO MEDIANTE LA BIORREMEDIACIÓN EN EL
DISTRITO LA COIPA, REGIÓN CAJAMARCA**

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

Autores: Bach. Carrero Fernández, Joel

Bach. Romero Carhuapoma, Johny

Asesor: Dr. Garay Román, Juan Manuel.

Línea de investigación: Mitigación del cambio climático

JAÉN – PERÚ, AGOSTO 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

INFORME final TESIS JOCAFER AGOST
O.pdf

AUTOR

Joel y Johny Carrero Fernández y Romer
o Carhuapoma

RECUENTO DE PALABRAS

9218 Words

RECUENTO DE CARACTERES

49907 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

51 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.2MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 24, 2023 11:07 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 24, 2023 11:07 AM GMT-5

● **6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Christian Zepeda Panca
RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 19 de setiembre del año 2023, siendo las 9:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado de manera presencial, en la sala de docentes del pabellón de ingeniería forestal y ambiental

Presidente : Dr. Alexander Huamán Mera

Secretario : PhD. Wilfredo Ruiz Camacho

Vocal : Dra. Delicia Liliana Bazán Tantalean, para evaluar la Sustentación del informe final:

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

Titulado: "RESTAURACION DE LA BIOTA EDÁFICA DE UN SUELO ROZADO MEDIANTE LA BIORREMEDIACIÓN EN EL DISTRITO LA COIPA, REGIÓN CAJAMARCA", presentado por los bachilleres: Joel Carrero Fernández y Johny Romero Carhuapoma de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.


Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

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


Con la siguiente mención:

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

Siendo las 10:13. horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	4
2.1 <i>Población, muestra y muestreo</i>	4
2.1.1 Población:.....	4
2.1.2 Muestra.....	4
2.1.3 Muestreo.....	6
2.2 <i>Metodología</i>	7
2.3 <i>Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos</i>	7
2.3.1 Método	7
2.3.2 Técnica:	8
2.4 <i>Procedimiento</i>	9
III. RESULTADOS.....	15
IV. DISCUSIÓN.....	24
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
AGRADECIMIENTOS.....	31
DEDICATORIA.....	32
ANEXO 1: Análisis de suelos	34

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. <i>Diseño de optimización</i>	6
Tabla 2. <i>Calidad del suelo por su conductividad eléctrica</i>	9
Tabla 3. <i>Factores de C.E</i>	9
Tabla 4. <i>Clasificación de pH de suelos</i>	10
Tabla 5. <i>Calidad del suelo por su % de fósforo total</i>	10
Tabla 6. <i>Calidad del suelo por su ratio C/N</i>	11
Tabla 7. <i>Calidad del suelo por su % de carbono orgánico</i>	11
Tabla 8. <i>Calidad del suelo por su % de nitrógeno total</i>	12
Tabla 9. <i>Modelo de respuesta Box – Behnken</i>	13
Tabla 10. <i>Parámetros químicos del suelo natural antes del rozo</i>	15
Tabla 11. <i>Análisis biótico del estiércol (aves y ganado vacuno)</i>	16
Tabla 12. <i>Parámetros químicos del suelo restaurado</i>	16
Tabla 13. <i>Análisis biótico del suelo restaurado</i>	17
Tabla 14. <i>Parámetros químicos del suelo natural Vs estiércol</i>	18
Tabla 15. <i>Comparación pH del suelo natural Vs pH del suelo restaurado</i>	19
Tabla 16. <i>Conductividad eléctrica (C.E) del suelo natural Vs C.E del suelo restaurado</i>	19
Tabla 17. <i>Fósforo del suelo natural Vs Fósforo del suelo restaurado</i>	19
Tabla 18. <i>Cálculos para la ratio C/N</i>	20
Tabla 19. <i>R cuadrada C/N</i>	21
Tabla 20. <i>Regresión para ratio C/N</i>	21
Tabla 21. <i>Optimización de las variables intervinientes</i>	22
Tabla 22. <i>Propiedades químicas del análisis de suelos</i>	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1. <i>Superficie de respuesta a la restauración</i>	23
Figura 2. <i>Preparación y acondicionamiento de estiércol doméstico</i>	37
Figura 3. <i>Método de señalización del terreno</i>	37
Figura 4. <i>Toma de muestra de suelo antes del rozo</i>	37
Figura 5. <i>Tamizado y pesado de estiércol doméstico y fertilizante NPK</i>	38
Figura 6. <i>Construcción de los identificadores de los puntos de muestreo</i>	38
Figura 7. <i>Muestreo del suelo restaurado</i>	38
Figura 8. <i>Especies arbóreas comunes en la zona de estudio</i>	39
Figura 9. <i>Ramas especies arbóreas cortadas</i>	39
Figura 10. <i>Aserrado de los árboles</i>	40
Figura 11. <i>Surqueado de la maleza seca</i>	40
Figura 12. <i>Quema en el área rozada</i>	40
Figura 13. <i>Área rozada</i>	41
Figura 14. <i>Apilado de leña para comercio</i>	41
Figura 15. <i>Muestreo del suelo restaurado</i>	41
Figura 16. <i>pH del suelo natural comparado al suelo restaurado</i>	42
Figura 17. <i>C.E. del suelo natural y restaurado</i>	42
Figura 18. <i>Fósforo del suelo natural y restaurado</i>	42
Figura 19. <i>Ratio C/N en las muestras de suelo restaurado y del control testigo</i>	43
Figura 20. <i>Plano topográfico zona de estudio: Caserío Pampa Hermosa – La Coipa</i>	43

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la consecuencia del rozo, quema de maleza y su impacto en suelo, agua y atmósfera. La metodología consistió en tratar 13 sectores de suelo impactados por el rozo y quemado de maleza, mediante biorremediación con mezclas de estiércol de ganado, cuyes, aves, sales NPK y mecanizado del suelo. Las mezclas se realizaron siguiendo el modelo de respuesta Box – Behnken. Resultado: El proceso de 45 días arrojó M-4 con mayor ratio C/N= 25, de formulación 2000 g de estiércol doméstico (formado por 400 g de aves, 600 g de cuy y 1000 g de ganado vacuno); 300 g de NPK; mecanizado cada 8 días, pH fue 6.24, conductividad eléctrica 61 mS/cm, 9.04 % C orgánico, 0.36 % de N total, 241 ppm P total. Conclusiones: Se restauró la calidad del suelo elevando ratio C/N mediante formulación de estiércol cuyo análisis microbiológico arrojó 6.88 % de C orgánico, 0.24 % de N total y C/N= 28.6; además *Bacillus toyonensis*, *Pseudomonas spp.*, *Bacterias: Streptomyces spp.*, *Campylobacter jejuni*, *Penicillium spp.*, *Trichoderma spp.* Aplicando la optimización del proceso se pudo mejorar el ratio C/N a 27, aplicando 2000 g de estiércol doméstico, 299.592 g de NPK mecanizando cada 2 días.

Palabras claves: *Rozo-quema, carbono/nitrógeno, microbiota.*

ABSTRACT

The objective was to evaluate the consequence of slashing, brush burning and its impact on soil, water and atmosphere. The methodology consisted of treating 13 sectors of soil impacted by the clearing and burning of weeds, through bioremediation with mixtures of cattle manure, guinea pigs, birds, NPK salts and soil mechanization. The mixtures were made following the Box-Behnken response model. Result: The 45-day process yielded M-4 with the highest C/N ratio= 25, formulated with 2000 g of domestic manure (consisting of 400 g of poultry, 600 g of guinea pig and 1000 g of cattle); 300 g of NPK; machining every 8 days, pH was 6.24, electrical conductivity 61 mS/cm, 9.04% organic C, 0.36% total N, 241 ppm total P. Conclusions: The quality of the soil was restored by raising the C/N ratio by formulating manure whose microbiological analysis yielded 6.88% organic C, 0.24% total N and C/N= 28.6; also *Bacillus toyonensis*, *Pseudomonas spp.*, *Bacteria: Streptomyces spp.*, *Campylobacter jejuni*, *Penicillium spp.*, *Trichoderma spp.* Applying the optimization of the process it was possible to improve the C/N ratio to 27, applying 2000 g of domestic manure, 299,592 g of NPK machining every 2 days.

Keywords: *Slash-burn, carbon/nitrogen, microbiota.*

I. INTRODUCCIÓN

La provocación de un incendio en un bosque o montaña afecta el ciclo bioquímico de los componentes del suelo; de esta manera, los incendios sobre la foresta perjudican los ecosistemas forestales generando inmediatamente deforestación, cambios en el medio ambiente y en los usos del suelo. Específicamente, el mayor impacto evidente de una actividad del rozo y quema es la pérdida de vegetación, alterando el ecosistema local, que ve merma en la calidad del mantillo (horizonte A) del suelo. De esta manera, las diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas se ven afectadas según la gravedad o dimensión del incendio forestal: Topografía, velocidad del viento, cantidad de la naturaleza (Barreiro y Díaz, 2021). Sin embargo, es la biota edáfica la que se convierte en un factor clave para cada ecosistema edáfico porque son responsables del 80 - 90% del proceso de mineralización de los nutrientes dentro del suelo y por ende son responsables de la fertilidad y calidad del suelo (Barreiro y Díaz, 2021). Así, del impacto y dimensión del incendio forestal sobre la biota se determinará el tiempo de la recuperación del suelo después del incendio, de forma que, temperaturas superiores a los 120 °C generan la muerte instantánea de microorganismos. Sin embargo, es preciso afirmar que los efectos de un incendio no son igual para todos los microorganismos; de forma general, existen opiniones que afirman que microorganismos del ciclo del carbono son más sensibles que las bacterias y microorganismos del ciclo nitrógeno (Díaz et al., 2010).

Al trasladar esta práctica a la región que está catalogada como ceja de selva, se puede advertir que la práctica de quemar terrenos forestales es muy común en la mayor parte de áreas agrícolas (Vargas, 2017). Por ejemplo, se suele rozar para contar con terrenos que se pueden dedicar a la siembra de café, cacao, arroz, pastizales como lo fue en la presente investigación. El incendio de la foresta y maleza fue realizado con fines agrícolas en aras de conseguir mayores áreas de cultivo para la siembra de pasto Camerún (pasto morado), el cual se caracterizó por ser apropiado para la zona (tropical), puesto sobre este forraje se ha

evidenciado su uso en zonas aledañas a la zona de estudio: Caserío Pampa Hermosa, San Ignacio, en la zona nor oriental.

La parcela de experimentación tuvo un área aproximada de 0.5 hectáreas con la finalidad de registrar cada una de las etapas e incidencias del rozo, para lo cual se ejecutó un muestreo del suelo antes del rozo y un similar muestreo del suelo post rozo y quema de la foresta en la zona de estudio (Mendoza y Espinoza, 2017). El objetivo de esta investigación fue determinar el impacto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas sobre el mantillo del suelo (cinco centímetros de profundidad desde la superficie) sobre trece muestras de suelo que fueron sometidas a variados tratamientos de biorremediación para restaurarlos del impacto del incendio y una muestra de control para identificar el comportamiento de un suelo que no recibió ningún tratamiento de restauración.

Los incendios forestales fueron investigaron por Ospina-Céspedes (2017) evaluó el impacto sobre la estructura de la biota edáfica; además, determinó los parámetros fisicoquímicos del suelo quemado: pH (5.7), humedad edáfica (18.4 %), carbono orgánico (2.05 %), nitrógeno total (0.22 %), fósforo disponible (0.675 ppm) y amonio NH_4^+ (13 ppm). Entre los más afectados de los parámetros fisicoquímicos fueron los microorganismos residentes en la biota de suelo, obtuvieron aislamientos identificados: *Bacillus sp*, el aislamiento 7 como *Pseudomonas sp* y el aislamiento 6 como *Erwinia sp*; los celulolíticos más efectivos fueron los hongos *Penicillium griseofulvum* y *Aspergillus fumigatus*.

La importancia de los bosques influye en el clima ambiente tal como lo evidenció Vargas-Rodríguez, (2017) al evaluar los procesos físicos, químicos y biológicos que afectan la composición atmosférica, la energía planetaria y el ciclo hidrológico; estas interacciones no lineales y complejas pueden ampliar o amortiguar el cambio climático antropogénico, además Rodríguez, (2017) estudió el incremento de la actividad que han tenido los incendios forestales en las últimas décadas los que se han dado por una serie de factores; entre ellos el legado de los asentamientos humanos y la supresión de incendios, la variabilidad natural del clima y el cambio climático antropogénico. Parte de su metodología, fue la revisión de información bibliográfica global y ecuatoriana, encontrando como resultado que los incendios forestales tienen una estrecha relación con el cambio climático antropogénico (CCA), el mismo que se expresó a través de las emisiones de gases de efecto invernadero.

De esta manera se está provocando el incremento de la temperatura global y el cambio del clima; por otra parte, las altas temperaturas aumentan la evapotranspiración, lo cual significa que la atmósfera secó la humedad de los suelos. Otro de los efectos del cambio climático es el aumento de la duración de la temporada de incendios, el tamaño de la superficie quemada cada año y el número de incendios forestales.

La identificación de la foresta es importante para cuantificar el daño de los incendios forestales, tal como la investigación realizada por Manríquez-Zapata (2019) al haber identificado foresta afectada por el calor, como ejemplo consideró el “lucmito” (*Hyeronima andina*), “tara” (*Caesalpinia spinosa*).

Calderón-Vásquez (2019) investigó incendios forestales. Buscó determinar el impacto ambiental sobre la biodiversidad del suelo productivo que fue rozado y posteriormente incendiado para utilizar el suelo en cultivos nuevos como los pastizales. La metodología que se utilizó para cuantificar el daño ambiental fue elaborar las matrices de Leopold, de cuya matriz original consideró los recursos naturales más afectados como son los organismos del suelo.

Un estudio en esta línea fue formulado por Pacheco-Isasi (2019) cuando realizó su trabajo respecto a efectos del calor por las altas temperaturas del incendio sobre el suelo. Concluyó un impacto sobre los recursos naturales.

La investigación fijó como objetivo principal el restaurar la biota edáfica de un suelo rozado mediante la biorremediación en el distrito La Coipa, región Cajamarca; el cual se logró mediante la ejecución de los siguientes objetivos específicos:

- Determinar un análisis químico del suelo antes del rozo,
- Realizar un análisis biótico de la enmienda de la biorremediación: Estiércol de aves y ganado vacuno.
- Realizar un análisis químico y biótico del suelo restaurado por la estimulación bacteriana
- Realizar una propuesta ecológica para restaurar la biota edáfica de un suelo rozado.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Población, muestra y muestreo

2.1.1 Población

La población del universo muestral estuvo constituida por media hectárea de área agrícola forestal ubicado en el caserío Pampa Hermosa, Cajamarca. El sector en estudio tuvo una altitud de 680 msnm y de acuerdo a la clasificación formulada por Holdridge (2000), en su obra titulada: *Ecología basada en zonas de vida*, perteneció al “bosque seco pre-montano tropical” (bs-PT) con una temperatura anual de 24 °C, una temperatura mínima de 18.5 °C y una temperatura máxima de 34 °C; durante la georreferenciación de la zona en estudio la temperatura ambiental a la sombra fue de 28 °C. Por los antecedentes del área se concluyó que se tuvo un otoño e invierno muy secos (abril-noviembre) y con un verano con presencia de lluvias (diciembre a marzo). No obstante, este patrón climático durante el último lustro se vio perturbado al menos en dos ocasiones (según versión de su administrador). Respecto a las lluvias se conoció por Romero et al, 2020, citó a SENAMHI, 2018, que la precipitación típica anual fue de 800 mm, siendo la mayor tasa de precipitación de 197 mm/año correspondiente al mes de marzo y la menor tasa fue de 16 mm/año y que correspondió al mes de noviembre.

2.1.2 Muestra

La muestra objeto de estudio se obtuvo de la siguiente manera:

a.- Muestra de suelo natural:

Esta fue una muestra representativa del suelo antes del rozo y quema dentro de una extensión de 0.5 hectáreas. Este suelo perteneció a la clase I (horizonte A) – válidos para siembras tropicales, cuya característica fue su buen color de suelo marrón en tono medio, tal como se constató *in situ*; además por la presencia de árboles: Faique (*Acacia macracantha*), catahua (*hura crepitans*) y algarrobo (*Ceratonia siliqua*).

Peso de la muestra: 1 kg.

Rotulo: Suelo agrícola.

Fecha: diciembre 2021.

b.- Muestras de estiércol de ganado, cuyes y aves:

Esta muestra fue el resultado de mezclar estiércol de ganado, cuyes y aves. La investigación contempló tres niveles de mezcla (tabla 1). De ambas muestras se solicitó el análisis de la riqueza cualitativa y microbiológica, además de su contenido biótico de nutrientes (C/N), la preparación de la formulación se aprecia en la figura 2.

Muestra b.1 rotulado:

400 g estiércol aves.

600 g estiércol cuy.

1000 g estiércol ganado.

Peso muestra: 2 kg.

Muestra b.2 rotulado:

100 g estiércol aves.

100 g estiércol cuy.

200 g estiércol ganado.

Peso muestra: 400 g.

c.- Muestra de suelo restaurado:

Cada una de las muestras de suelo fue tomado al final de la investigación. Lo cual ayudó a realizar las comparaciones de ventajas y desventajas del suelo restaurado y suelo no tratado. Se tomaron 13 muestras de suelo de 250 g cada uno de los cuales fueron resultado de un tratamiento de restauración por biorremediación para el incremento de la mineralización de la materia orgánica del suelo, expresado por su bajo o alto ratio de C/N (carbono/nitrógeno). Las muestras fueron acopiadas en bolsas negras y selladas con cinta de embalaje y rotuladas con un número para su identificación de cada una. Además, se tomó una muestra N° 14 (MC), igualmente de 250 g para su análisis comparativo con el resto de muestras, a diferencia de las demás, esta última no recibió ningún tratamiento de restauración. Todas las muestras tomadas de la investigación fueron enviadas a un laboratorio especializado.

2.1.3 Muestreo

Para el muestreo del suelo agrícola no impactado se siguieron las recomendaciones formuladas por Mendoza y Espinoza (2017) donde los puntos de muestreo abarcaron un panorama vertical y horizontal, así se dispuso de todo el terreno disponible para la investigación. Cada punto escogido para el muestreo fue limpiado en un metro cuadrado hasta retirar raíces, hojarasca, etc. Se utilizó la técnica de señalización denominado zigzag debido a que se acercó mejor al quemado por surcos (ver Anexo 3).

Demarcado los 14 puntos de muestreo ($M_1, M_2, \dots, M_{13}, M_C$), se excavó una calicata de 30 x 30 centímetros, y con la ayuda de una barreta se removió tierra del horizonte superficial "A" hasta una profundidad máxima de cinco centímetros, tal como se realizó en la figura 3; se tomó de este suelo superficial un kilogramo de peso. Luego todas estas muestras se mezclaron entre sí, hasta que se obtuvo una única muestra para su análisis químico (carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo total) y biótico (C/N). Esta muestra fue homogénea y representativa del suelo tropical en su estado natural. La muestra se envolvió y rotulo en una bolsa plástica negra para evitar posibles reacciones fotoquímicas y se selló con cinta de embalaje y junto a bloques de hielo se garantizó la refrigeración (4 °C) de las muestras para su envío al Laboratorio Rivelab S.A.C.

Para el muestreo del estiércol doméstico: ganado, cuyes y aves. Se tomó muestras frescas las cuales se secaron al sol y luego se aplicó un tamizado de las muestras. Luego, las mezclas se realizaron de acuerdo a las formulaciones planteadas según el modelo de respuesta de Box – Behnken, propuestos en la tabla 1 (con la mención que se adaptó la mecanización en lugar del "riego", debido al inicio de las lluvias de temporada).

Tabla 1.

Diseño de optimización.

Nivel de concentración	A: g. Estiércol/m² Aves/cuy/ganado	B: Sales Nutritivas: N, P, K.	C: Mecanizado del suelo.
Máximo (+)	400/600/1000=2000 g.	300 g.	Cada 14 días.
Media (0)	250/350/600=1200 g.	170 g.	Cada 8 días.
Mínimo (-)	100/100/200=400 g.	40 g.	Cada 2 días.

Fuente: Adaptado de (Jaramillo et al., 2013).

Las concentraciones de las fórmulas de biorremediación fueron adaptadas a una medida máxima y una mínima de peso, según correspondió a cada tratamiento, tal como se observó en la figura 4 (ver anexos), para el muestreo del suelo restaurado. En primer lugar, se señaló los puntos del suelo rozado y quemado con estacas numeradas, de forma que se pudo identificar cada punto (figura 6) señalado para la biorremediación de acuerdo a la tabla 9. Al cabo de 45 días se dio por concluida la investigación (obsérvese el tamaño del maíz sembrado en los alrededores, ver figura 7), y nuevamente se procedió a muestrear cada punto de suelo que fue quemado y restaurado por biorremediación; y, con ayuda de una barreta se extrajo tierra con profundidad de cinco centímetros.

2.2 Metodología

Se aplicó una metodología acorde a un diseño cuasi experimental; para el que Fernández et al (2014) citó a Arnau, (1995) cuando definió que un diseño cuasi experimental “*es resultado de un plan de trabajo con el que se pretende estudiar el impacto de los tratamientos y/o los procesos de cambio*”. En tal sentido, la investigación se orientó a manipular un grupo de variables (formulación de estiércol de aves/cuy/ganado, sales nutritivas: N, P, K y la mecanización del suelo) sobre muestras de suelo para conocer el resultado del impacto positivo o negativo. Para el análisis de los datos hallados se aplicó un tratamiento estadístico.

2.3 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

2.3.1 Método

Primera actividad: Se llevó a cabo una constatación de las especies forestales de la zona, reconociéndose una abundante vegetación de la especie arbórea leguminosa nativa espinosa como el faique (*Acacia macracantha*) observados en la figura 8, que fue muy común en pastizales tropicales, además se halló otros árboles espinosos como la catahua y en menor proporción el algarrobo.

Segunda actividad: Se realizó el reconocimiento del área rozada y quemada y el levantamiento topográfico de la zona de estudio mediante el uso del GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Los datos de cada punto cartográfico se calcularon mediante las proyecciones Standard UTM (Universal Transverse Mercator) se almacenaron en la tarjeta de memoria para ser transferidas al laptop y así se plasmó el plano cartográfico

con la ayuda de una leyenda descriptiva (Anexos: figura 20). A continuación, se registró cada una de las etapas del rozo.

2.3.2 Técnica:

La actividad del rozo se empezó en noviembre del 2021.

a. Corte de maleza: Se procedió a cortar la maleza como las enredaderas, lianas y ramas de árboles como los faiques para poder secarlos en filas (como se observó en la figura 8). Esta operación fue conocida como la “sucola” mediante surcos.

b. Aserrado de la foresta: Se realizó con la ayuda de una motosierra. Los mismos fueron apilados para su comercio posterior. Esta actividad fue conocida como la “tumba”. De esta operación solamente se separó aquellos troncos que fueron útiles para arder como leña (figura 9). Los troncos “malos” se juntaron en surcos para la quema.

c. Surcar la maleza: Se realizó el apilamiento de la maleza para su secado y posterior quemado, el método aplicado fue el ancestralmente conocido como el “surqueado” como se evidenció en la figura 11; de forma que se junta la maleza por surcos para su combustión total.

d. Quema de la maleza: Una vez secos los surcos de maleza, se procedió al quemado de la misma. De esta forma se evidenció con claridad el área rozada (ver figura 12).

e. Zona rozada:

Después de la quema se tuvo un terreno listo para aplicar cultivos propios de la zona, despejado y listo para su operación con las actividades programadas como se observó en la figura 13. Los puntos señalados fueron exclusivos para las formulaciones de biorremediación. Otras áreas fueron para pastizales y maíz. Los troncos con buena calidad fueron seleccionados en lo exteriores de la zona de investigación (ver figura 14).

Para el logro de todas las operaciones se emplearon los siguientes materiales: Mascarilla N95, guantes de polietileno comerciales, libreta de campo y lapicero, caja cooler para refrigeración, cinta embalaje, cámara digital, GPS localizador, machetes de primer y segundo tamaño, barreta de fierro, motosierra 2.9 KW, 3.8 Hp y gasolina.

2.4 Procedimiento

Primer objetivo: Determinar un análisis químico del suelo antes del rozo.

Conductividad eléctrica:

Para su interpretación se utilizó la tabla 2.

Tabla 2.

Calidad del suelo por su conductividad eléctrica.

Clasificación	Conductividad eléctrica (mS/m)
Alta	> 200
Media	50 - 200
Baja	< 50

Fuente: Moore, G. (2001).

La conductividad eléctrica permitió conocer el grado de salinidad del suelo, además fue importante conocer esta variable para evitar recomendar sobre cargar los nutrientes sobre el suelo (Moore, 2001). Su determinación se realizó mediante potenciometría, y para ayuda memoria de los factores de conversión se utilizó la tabla 3.

Tabla 3.

Factores de C.E.

Unidades	Conductividad eléctrica (mS/m)
1 mS/m	10 μ S/cm
	10 μ mhos/cm
	0.01 dS/m
	0.01 mS/cm
	0.01 mmhos/cm

Fuente: Moore, G. (2001).

pH

El pH señaló si el suelo estuvo habilitado para el cultivo de pastos. Su determinación se realizó aplicando el método potenciometría. Para la interpretación se utilizó la tabla 4 que describió los niveles de acidez.

Tabla 4.*Clasificación de pH de suelos.*

Rango del pH	Clasificación
< 4.60	Extremadamente ácido
4.60 – 5.19	Muy fuertemente ácido
5.20 – 5.59	Fuertemente ácido
5.60 – 6.19	Medianamente ácido
6.20 – 6.59	Ligeramente ácido
6.60 – 6.79	Muy ligeramente ácido
6.80 – 7.19	Neutralidad
7.20 – 7.39	Muy ligeramente alcalino
7.40 – 7.79	Ligeramente alcalino
7.80 – 8.39	Medianamente alcalino
8.40– 8.79	Fuertemente alcalino
> 9.40	Extremadamente alcalino

Fuente: Conklin, A. R. (2014).

% Fósforo total:

El contenido de fósforo total (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_3^{3-}) fue resultado de la determinación de sus aniones presentes en la muestra de suelo (Conklin, 2014). Para determinar su valor se realizó un tratamiento físico, químico y analítico del suelo Y su interpretación fue a partir de la tabla 5.

Tabla 5.*Calidad del suelo por su % de fósforo total.*

Clase	Fósforo total (ppm)
Alta	> 800
Media	200 - 800
Baja	< 200

Fuente: Moore, G. (2001).

Relación C/N:

Este parámetro fue necesario conocerlo para conocer indirectamente la fertilidad del suelo. Así, Radočaj et al (2021) afirmó: *La relación carbono-nitrógeno (C/N) del suelo representa un indicador de la calidad y fertilidad del suelo, que tiene un gran impacto en gestión de tierras agrícolas para la agricultura ecológica.* De forma similar, Zhang,

et al (2016) afirmó: *Debido a la alta correlación con la inmovilización y mineralización del suelo, la C/N del suelo se reconoce como un indicador confiable de la fertilidad del suelo.* Por otra parte, se determinó mediante un procedimiento físico, químico y analítico. Para su interpretación se utilizó la siguiente tabla 6.

Tabla 6.

Calidad del suelo por su ratio C/N.

Clase	Ratio C/N
Alta	> 16
Media	10 - 16
Baja	< 10

Fuente: Moore, G. (2001).

Para determinar este índice o ratio C/N, fue necesario determinar el % de carbono (C) y del % de nitrógeno total. Es decir, para que el laboratorio reporte la razón C/N de cada muestra determinó antes la concentración porcentual de ambos componentes orgánicos.

% Carbono orgánico:

La cantidad de carbono orgánico señaló la baja o alta etapa de humificación de la materia orgánica y su dinámica estuvo relacionada con la actividad microbiológica principalmente de organismos heterotróficos (Burbano, 2018). Para su interpretación sobre la calidad se utilizó la tabla 7.

Tabla 7.

Calidad del suelo por su % de carbono orgánico.

Clase	% carbono orgánico
Alta	> 2
Media	1 - 2
Baja	< 1

Fuente: Moore, G. (2001).

% Nitrógeno total:

El análisis químico del nitrógeno total (NO_3^- , NH_4^+) en el suelo indicó la simbiosis de la vegetación existente con el medio atmosférico para fijar el nitrógeno (debido al abandono del terreno). Se analizó mediante el método de digestión de Kjeldahl

(Conklin, 2014). Y para la interpretación de los valores obtenidos se utilizó información entregada por Moore, G. (2001 en la tabla 8).

Tabla 8.

Calidad del suelo por su % de nitrógeno total.

Clase	% nitrógeno total orgánico
Alta	> 0.25
Media	0.15 - 0.25
Baja	< 0.15

Fuente: Moore, G. (2001).

Segundo objetivo: Realizar un análisis biótico de la enmienda de la biorremediación: Estiércol de aves y ganado vacuno.

Se realizó un análisis biótico que consistió en la identificación de microorganismos (bacterias, hongos, etc.), además de la riqueza nutritiva del estiércol (contenido de carbono y nitrógeno) ambos valores expresados por el índice C/N. Es decir, ambos componentes fueron factores importantes para descomposición de la materia orgánica en el suelo.

Tercer objetivo: Realizar un análisis químico y biótico del suelo restaurado por la estimulación bacteriana.

El suelo restaurado fue el resultado de haber aplicado una formulación biorremediadora sobre cada punto de suelo demarcado. La formulación aplicada fue acorde a la tabla 1. La restauración del suelo fértil se midió por la medida del incremento del índice C/N del suelo, en cada punto señalado previamente. Para ello se optimizó el proceso.

Tabla 9.*Modelo de respuesta Box – Behnken.*

Nº	A: Estiércol g/m ²	B: Sales nutritivas (g)	C: Mecanizado (días)	ratio C/N (*)
1	400	40	8	<i>a</i>
2	2000	40	8	<i>b</i>
3	400	300	8	<i>c</i>
4	2000	300	8	<i>d</i>
5	400	170	2	<i>e</i>
6	2000	170	2	<i>f</i>
7	400	170	14	<i>g</i>
8	2000	170	14	<i>h</i>
9	1200	40	2	<i>i</i>
10	1200	300	2	<i>j</i>
11	1200	40	14	<i>k</i>
12	1200	300	14	<i>l</i>
13	1200	170	8	<i>ll</i>

Fuente: Adaptado de (Jaramillo et al., 2013).

(*) Resultados Rivelab SAC.

Donde:

X₁: g. Estiércol/m² (Aves/cuy/ganado).X₂: Sales nutritivas (N, P, K.).X₃: Mecanizado del suelo (días)

La finalidad de esta actividad tuvo como objetivo recuperar la biota pérdida por el impacto del fuego sobre el suelo. La investigación del impacto del fuego sobre la biota del suelo, algunos ecologistas afirmaron: “Temperaturas tan bajas como 50 °C son letales para algunas bacterias, sobre todo organismos gramnegativos, como nitrificantes, que tienen paredes celulares delgadas. Por encima de 200 °C, prácticamente todas las bacterias son sensibles. Los hongos generalmente mueren a temperaturas más bajas que las bacterias, y las temperaturas letales oscilan entre 50 –155 °C. Prácticamente, el umbral de las temperaturas para las bacterias y los hongos suelen alcanzarse a una profundidad de 2 pulgadas (5 cm) o más en el suelo mineral durante incendios de mediana o alta severidad” (Beyers et al., 2005, pág. 24-27).

Cuarto objetivo: Realizar una propuesta ecológica para restaurar la biota edáfica de un suelo rozado.

La propuesta de enmienda fue realizada en base a los resultados de enmienda aplicados a 13 puntos de muestreo del suelo del terreno deforestado. Es decir, la propuesta se desarrolló en el capítulo siguiente y concordante a los análisis de los anexos y a la optimización que manifestó el proceso de enmienda.

III. RESULTADOS

3.1 Primer objetivo: *Determinar un análisis químico del suelo antes del rozo.*

Las muestras de suelo antes del rozo fueron analizadas y arrojaron los siguientes resultados.

Tabla 10.

Parámetros químicos y biótico del suelo natural antes del rozo.

Parámetros	Método	Unid.	Valor
Acidez	Potenciométrico	[H ⁺]	6.82
Conductividad eléctrica	Potenciométrico	mS/cm	32
Carbono orgánico	Analítico	% peso	1.14
Nitrógeno total	Digestión Kjeldahl	% peso	0.16
Fósforo total	Kjeldahl	ppm	187
C/N ratio	Cálculo	-	13.3

Interpretación:

El análisis químico del suelo denotó un pH dentro de la neutralidad que no es lo más deseable. El porcentaje de carbono orgánico es bajo debido a la descomposición diaria que hace mermar el tiempo. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo total son bajas debido a los motivos anteriores, esto es la degradación natural con el paso del tiempo.

**3.2 Segundo objetivo: Realizar un análisis biótico de la enmienda de la biorremediación:
Estiércol de aves y ganado vacuno.**

Tabla 11.

Análisis biótico del estiércol (aves y ganado vacuno).

Parámetros	Método	Unid.	Valor
Carbono orgánico	Analítico	% peso	6.88
Nitrógeno total	Digestión Kjeldahl	% peso	0.24
Presencia de bacterias: <i>Bacillus toyonensis</i> , <i>Pseudomonas spp.</i> , Bacterias: <i>Streptomyces spp.</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Penicillium spp.</i> , <i>Trichoderma spp</i> (ver Anexo 1).			
C/N ratio = 28.6			

Interpretación:

El análisis biótico del estiércol fue importante para corroborar la riqueza orgánica del estiércol (aves y ganado vacuno). Por ejemplo, el porcentaje de carbono carbónico fue 6.88 esto es cinco veces más la que presentó el suelo natural. De la misma forma el nitrógeno total del estiércol es mayor al del suelo. Por otra parte, el análisis reveló una alta tasa de comunidades bacterianas y respecto al ratio C/N fue 28.6, lo que representó una alta riqueza orgánica comparable a un fertilizante comercial.

3.3 Tercer objetivo: Realizar un análisis químico y biótico del suelo restaurado por la estimulación bacteriana.

Tabla 12.

Parámetros químicos del suelo restaurado.

Parámetros	Método	Unid.	Valor
pH	Potenciométrico		6.24
Conductividad eléctrica	Potenciométrico	mS/cm	61
Carbono orgánico	Analítico	% peso	9.04
Nitrógeno total	Digestión Kjeldahl	% peso	0.36
Fósforo total	Kjeldahl	ppm	241
Presencia de bacterias: <i>Anabaena sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Azotobacter spp.</i> , <i>Nitrobacter sp.</i> , <i>Actinomyces sp.</i>			

Interpretación:

El análisis químico del suelo restaurado arrojó valores mucho más altos que el suelo natural. Esto es el pH tiende de la neutralidad hacia una ligera acidez ideal para un suelo productivo. El contenido de sales del suelo se ha duplicado esto lo corrobora el valor alto de la conductividad eléctrica. El porcentaje de carbono orgánico es ocho veces el valor que posee el suelo natural. El porcentaje de nitrógeno total se ha duplicado desde 0.16 % a 0.36 %. respecto a la concentración de fósforo total esta es mucho mayor que en el suelo natural es decir de 187 ppm subió a 241 ppm. Y lo más importante, el suelo restaurado reveló un crecimiento de bacterias en el suelo.

Tabla 13.

Análisis biótico del suelo restaurado.

N°	A: Estiércol g/m ²	B: Sales nutritivas (g)	C: Mecanizado (días)	ratio C/N (*)
1	400	40	8	20
2	2000	40	8	19
3	400	300	8	17
4	2000	300	8	25
5	400	170	2	23
6	2000	170	2	21
7	400	170	14	12
8	2000	170	14	21
9	1200	40	2	23
10	1200	300	2	16
11	1200	40	14	22
12	1200	300	14	24
13	1200	170	8	20

Interpretación:

El análisis biótico del suelo restaurado determinó valores de la razón C/N (hasta 25) mucho más alto que la razón C/N del suelo natural (13.3) y mucho más alto que la C/N de la muestra control (9.7). Estos resultados son un indicador del buen resultado que produjo la biorremediación del suelo rozado y quemado al restaurar la biota edáfica.

3.4 Cuarto objetivo: Realizar una propuesta ecológica para restaurar la biota edáfica de un suelo rozado.

Para la presente investigación sobre el suelo rozado y quemado, cuyo daño implícito por las altas temperaturas fue la mortandad de microorganismos y su consecuente merma del ratio C/N, el proceso de biorremediación se sometió a un modelo estadístico de superficie de respuesta denominado optimización Box-Behnken. La restauración óptima máxima alcanzada fue de un ratio C/N = 27.3644; la formulación más cercana a este rendimiento fue opción número 4 (estiércol = 2000 g; sales NPK = 300 g y mecanización = 8 días) cuyo rendimiento de restauración fue de un ratio C/N = 25. El modelo recomendó mecanizar el suelo cada dos días y no cada 8 días como se hizo.

Obtenido toda la data del suelo natural, rozado, quemado y restaurado. Se procedió a realizar comparaciones sobre la base de los resultados de los análisis químicos.

Tabla 14.

Parámetros químicos del suelo natural Vs estiércol.

Parámetros	Método	Unid.	Valor de la muestra
Carbono orgánico suelo natural	F, Q y A.	%	1.14
Carbono orgánico estiércol	F, Q y A.	%	6.88
Nitrógeno total suelo natural	Kjeldahl	%	0.16
Nitrógeno total estiércol	Kjeldahl	%	0.24

Interpretación:

Se pudo concluir que el contenido del % de carbono orgánico del suelo fue menor que en el estiércol; una realidad similar ocurrió en el % de nitrógeno total del suelo natural versus el estiércol. Esta diferencia, podría explicarse en razón que los animales domésticos ingieren variedades ricas en contenido fibroso y proteínico. En cambio, en el suelo estos componentes sufren degradación bajando sus niveles iniciales.

Tabla 15.*Comparación pH del suelo natural Vs pH del suelo restaurado.*

Parámetros	Método	Valor de la muestra
pH del suelo natural	Potenciometría	6.82
pH del suelo restaurado	Potenciometría	6.24

Interpretación:

El suelo natural tuvo un (pH= 6.82) que fue un valor de neutralidad desde el punto de vista de la acidez, lo cual no es un valor óptimo. El suelo restaurado tuvo un pH 6.24 que es un poco más ácido respecto a las condiciones naturales, lo cual incrementa su fertilidad. Debe recordarse que un buen suelo fértil tiene un pH entre 5.5 - 6.5. Este valor ligeramente ácido ayudó a una descomposición de la materia orgánica.

Tabla 16.*Conductividad eléctrica (C.E) del suelo natural Vs C.E del suelo restaurado.*

Parámetros	Método	Valor de la muestra mS/cm
Conductividad eléctrica de suelo natural	Potenciometría	32
Conductividad eléctrica de suelo restaurado	Potenciometría	61

Interpretación:

El análisis químico de comparación arrojó que la conductividad del suelo restaurado (61 mS/cm) es mayor por tanto presentó mayor contenido de sales disueltas en comparación del suelo natural (32 mS/cm). Desde el punto de vista de la calidad o fertilidad del suelo si esta es mayor entonces mayor será su calidad.

Tabla 17.*Fósforo del suelo natural Vs Fósforo del suelo restaurado.*

Parámetros	Método	Valor de la muestra m/kg ó ppm
Fósforo de suelo natural	F, Q y A.	187
Fósforo de suelo restaurado	F, Q y A.	241

Interpretación:

El análisis químico del fósforo presente en el suelo restaurado fue mayor (241 ppm) respecto al fósforo del suelo natural (187 ppm). Esta ventaja hace al suelo más fértil pues la presencia del fósforo indicó un macro nutriente elemental en la fertilidad del suelo. puede afirmarse como el alimento natural del suelo para un cultivo.

Análisis de la optimización

Para la optimización del proceso de biorremediación del suelo se utilizó un diseño de superficie de respuesta.

Tabla 18.

Cálculos para la ratio C/N.

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
Promedio	20.0	1.76541	
A:Estiercol	0.5	2.16217	1.0
B:Sales NPK	2.75	2.16217	1.0
C:Mecanización	-1.25	2.16217	1.0
AA	1.25	3.18264	1.01111
AB	-2.0	3.05778	1.0
AC	-3.0	3.05778	1.0
BB	-1.25	3.18264	1.01111
BC	-8.5	3.05778	1.0
CC	0.75	3.18264	1.01111

Fuente: Statgraphics Centurion.

Interpretación:

Esta tabla mostró las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También evidenció el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.01111.

Tabla 19.*R cuadrada para la ratio C/N.*

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Estiércol	0.5	1	0.5	0.05	0.8263
B: Sales NPK	15.125	1	15.125	1.62	0.2594
C: Mecanización	3.125	1	3.125	0.33	0.5882
AA	1.44231	1	1.44231	0.15	0.7107
AB	4.0	1	4.0	0.43	0.5420
AC	9.0	1	9.0	0.96	0.3716
BB	1.44231	1	1.44231	0.15	0.7107
BC	72.25	1	72.25	7.73	0.0389
CC	0.519231	1	0.519231	0.06	0.8230
Error total	46.75	5	9.35		
Total (corr.)	154.4	14			

Fuente: Statgraphics Centurion.

R-cuadrada = 69.7215 %

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 15.2202 %

Error estándar del est. = 3.05778

Estadístico Durbin-Watson = 2.71424 (P=0.8881)

Error absoluto medio = 1.33333

Auto-correlación residual de Lag 1 = -0.405414

Interpretación:

El valor-P fue mayor que 5.0 %, no hay indicación de auto-correlación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0 %.

Tabla 20.*Regresión para ratio C/N.*

Coefficiente	Estimado
Constante	7.29259
A:Estiercol	0.00210337
B:Sales NPK	0.0782791
C:Mecanización	1.03045
AA	0.000000976562
AB	-0.00000961538
AC	-0.0003125
BB	-0.0000369822
BC	-0.00544872
CC	0.0104167

Fuente: Statgraphics Centurion.

Interpretación:

La superficie de respuesta fue resultado de determinar la alternativa óptima mediante la aplicación del modelo ajustado de Box–Behnken desarrollado en Statgraphics:

$$\begin{aligned} \text{Ratio C/N} = & 7.29259 + 0.00210337 * \text{ESTIERCOL} + 0.0782791 * \\ & \text{SALES NPK} + 1.03045 * \text{MECANIZACIÓN} + \\ & 0.000000976562 * \text{ESTIERCOL}^2 - 0.00000961538 * \\ & \text{ESTIERCOL} * \text{SALES NPK} - \\ & 0.0003125 * \text{ESTIERCOL} * \text{MECANIZACIÓN} - \\ & 0.0000369822 * \text{SALES NPK}^2 - 0.00544872 * \text{SALES NPK} \\ & * \text{MECANIZACIÓN} + 0.0104167 * \text{MECANIZACIÓN}^2 \end{aligned}$$

Optimización de respuesta

Meta: maximizar ratio C/N

Valor óptimo = 27.3644

Interpretación:

El modelo de respuesta generó un algoritmo en el cual se estableció la ruta de encontrar la respuesta (ratio óptimo C/N), de forma que si se aplicará las condiciones recomendadas por el modelo estadístico se podría mejorar la ratio C/N desde el punto de vista teórico. Para ello se tendría que realizar una modificación en el mecanizado del terreno de 8 a 2 días tal como lo propuso el modelo.

Tabla 21.

Optimización de las variables intervinientes.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Estiércol	400.0	2000.0	2000.0
Sales NPK	40.0	300.0	299.592
Mecanización	2.0	14.0	2.0

Fuente: Statgraphics Centurion.

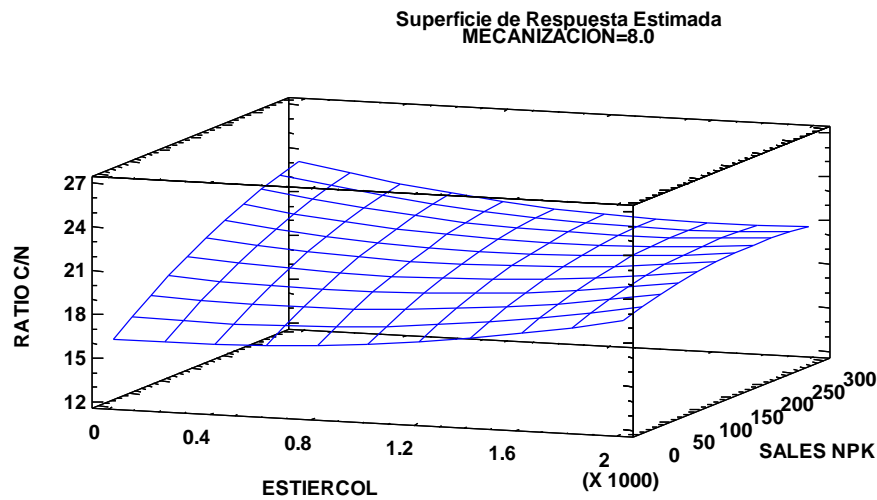
Reemplazando los valores para corroboración del modelo estadístico:

$$\begin{aligned} \text{Ratio C/N} = & 7.29259 + 0.00210337 * 2000 + 0.0782791 * 299.592 + \\ & 1.03045 * 2 + 0.000000976562 * 2000^2 - \\ & 0.00000961538 * 2000 * 299.592 - \\ & 0.0003125 * 2000 * 2.0 - 0.0000369822 * 299.592 - \\ & 0.00544872 * 299.592 * 2.0 + 0.0104167 * 2.0^2 \end{aligned}$$

Ratio C/N = 27.3644

Figura 1.

Área de la restauración.



Interpretación:

La figura es la representación de una superficie que ha respondido a trece tratamientos (ver tabla 9 y 13) de restauración mediante biorremediación. En la superficie se aprecia que el índice o ratio C/N más bajo fue 16, y estas condiciones son el resultado de superponer las superficies de un mecanizado en 2 días, la adición de 300 g de sales nutritivas y 1200 g de estiércol. De forma similar, al superponer las superficies del mecanizado del terreno durante 2 días, la adición de 300 g de sales y 2000 g de estiércol dará un óptimo ratio igual a 27.3644.

IV. DISCUSIÓN

Una finalidad de la investigación fue determinar las características químicas del suelo, así Ospina-Céspedes (2017) basó su investigación en el análisis del suelo, determinó que el suelo quemado arrojó un pH (5.7), humedad edáfica (18.4 %), carbono orgánico (2.05 %), nitrógeno total (0.22 %), fósforo disponible (0.675 ppm) y amonio NH_4^+ (13 ppm), además reportó en sus resultados que los parámetros más afectados fueron las sustancias nitrogenadas y carbonadas. Es decir, que indirectamente expresó una disminución de los valores de carbono-nitrógeno (C/N). Lo cual para (Radočaj et al., 2021) significó un impacto de la calidad y fertilidad del suelo.

En condiciones similares de incendio, la investigación arrojó un un pH = 6.82, conductividad eléctrica 32 mS/cm, % carbono orgánico 1.14; % de nitrógeno total = 0.16; fósforo total= 187 ppm.; ratio C/N = 13.3; esto significó que después del incendio el % de carbono se incrementó, debido a que la maleza quemada se volvió ceniza (C: carbono); sin embargo, bajo similares condiciones Pacheco-Isasi (2019) encontró que la concentración de nitrógeno fue mayor después del incendio forestal, pero que el pH como la concentración de potasio (K) habían disminuido; y de forma general los valores de conductividad, nitrógeno total, sustancias en base al fósforo y compuestos orgánicos se incrementaron. A su vez, Calderón-Vásquez (2019) reportó el análisis físico químico del suelo que analizó en su estado natural el cual arrojó un pH (6.1); % materia orgánica (4.62); fósforo (160 ppm); potasio (252 ppm).

Respecto al análisis biótico del suelo y de la fórmula de biorremediación Ospina-Céspedes (2017) reportó aislamientos microbiológicos en el suelo como *Bacillus sp*, *Pseudomonas*, *Erwinia sp*; *Penicillium griseofulvum* y *Aspergillus fumigatus*; en cambio, en el suelo rozado, quemado y restaurado con la fórmula de la biorremediación M-4 se encontraron aislamientos microbiológicos *Anabaena sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Azotobacter spp.*, *Nitrobacter sp.*, *Actinomyces sp.*, esta comunidad microbiota garantizó un proceso óptimo de mineralización de la materia orgánica del suelo restaurado basado en índice alto de M-4,

esto fue $C/N = 25$ (ver Anexo 2); en cambio, Calderón-Vásquez (2019) reportó una microbiota conformada por bacterias totales UFC/g 75×10^6 . Paralelamente, Calderón-Vásquez (2019) en su investigación afirmó que en pocas horas hubo pequeña cantidad de hongos y solamente trazas de microbiota bacteriana. Esto significó que el proceso de recuperación de la calidad del suelo iba a ser lenta.

Sobre la propuesta ecológica, el análisis de la mejor fórmula de biorremediación fue la muestra M-4 cuyo índice de C/N fue 25, siendo el valor más cercano al recomendado por el modelo estadístico, que expreso era posible alcanzar un C/N igual a 27.3644. Lo real es que el suelo restaurado tuvo un análisis que arrojó un $pH = 6.24$; conductividad eléctrica (61 mS/cm); % de carbono orgánico (9.04); % nitrógeno total (0.36); fósforo total (241 mg/kg ó ppm) y un índice $C/N = 25$. Es decir, en todos los casos de análisis de suelos, la muestra de suelo restaurado tuvo mayor concentración de carbono y nitrógeno, tanto para la muestra estudiada de Ospina-Céspedes (2017) y el suelo investigado por Calderón-Vásquez (2019), que mostró una concentración menor de fósforo total (160 ppm) respecto al suelo restaurado (241 ppm).

La propuesta ecológica generó una alta movilidad y pronta mineralización del suelo, lo cual es un buen indicador de restauración, tal como lo afirmó Zhang, et al (2016). Ante la creciente actividad agrícola este fenómeno del rozado y quemado de la maleza sobre un suelo genera impacto de la microbiota por las altas temperaturas. Así, Vargas-Rodríguez (2017) concluyó que los incendios forestales guardan relación con el cambio climático debido a la emisión de gases de efecto invernadero. Es decir, los incendios forestales no solamente impactaron la microbiota del suelo, sino que además se hace daño al planeta pues la merma de foresta en el mundo causa el calentamiento global a través de la tala de foresta, así lo mostró Manríquez-Zapata (2019) al describir la estadística en Amazonas sobre el impacto de 342,50 has debido a incendios forestales Chachapoyas 236.50 has. quemadas y Luya tuvo un impacto de 106 has. de bosques como ejemplo, el “lucmito” (*Hyeronima andina*), “tara” (*Caesalpinia spinosa*).

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- El análisis químico del suelo natural arrojó un pH 6.82, una conductividad eléctrica 32 mS/cm, un 1.14 % de carbono orgánico, 0.16 % de nitrógeno total, 187 ppm de fósforo total y su análisis biótico del ratio C/N fue 13.3.
- Un análisis biótico de la enmienda de la biorremediación: Estiércol de aves, cuyes y ganado vacuno, arrojó en cambio el análisis biótico del estiércol arrojó un 6.88 % de carbono orgánico, un 0.24 % de nitrógeno total y un ratio C/N igual a 28.6; además, de un grupo de bacterias como *Bacillus toyonensis*, *Pseudomonas spp.*, *Bacterias: Streptomyces spp.*, *Campylobacter jejuni*, *Penicillum spp.*, *Trichoderma spp.*
- El suelo restaurado identificado como la muestra M-4, arrojó un pH 6.24, una conductividad eléctrica 61 mS/cm, un 9.04 % de carbono orgánico, 0.36 % de nitrógeno total, 241 ppm de fósforo total y su análisis biótico del ratio C/N fue 25.
- La propuesta ecológica para restaurar en 45 días el suelo quemado por la actividad del rozo se relacionó con el manejo de las siguientes variables se agregó 2000 g de estiércol doméstico (400 g de aves, 600 g de cuy y 1000 g de ganado vacuno) por cada metro cuadrado de terreno; se agregó 300 g de sales fertilizantes NPK y se realizó una mecanización del terreno con barreta cada 8 días. En el escenario hipotético de muchas lluvias se recomienda realizar la mecanización cada dos días. En cuanto a la humedad, esta se dejó al tiempo, por cuanto en la fecha de restauración se produjo considerable presencia de lluvias.

Recomendaciones:

- A la Universidad Nacional de Jaén, proyectarse con mayor intensidad a la sociedad jaena y aledaña para participar con propuestas técnicas sobre actividades que en apariencia son inofensivas, pero que en la suma de ellas resulta una problemática seria como coadyuvar al calentamiento global.
- A las instituciones gubernamentales como las Agencias Agrarias del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – MIDAGRI, la oportunidad de participar en los proyectos que desarrollan anualmente, para poder realizar los aportes tecnológicos y académicos aprendidos en las aulas universitarias.
- Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) financiar proyectos de investigación a nivel de tesis para los egresados de las carreras profesionales como Ingeniería Forestal y Ambiental, que tiene una línea de conocimientos importantes para la labor agropecuaria.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barreiro, A. & Diaz, M. (2021). *Fire impacts on soil microorganisms: Mass, activity, and diversity*. Current Opinion in Environmental Science & Health 2021, 22:100264. Science Direct.
- 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.
- Calderón-Vásquez, W. R. (2019). *Evaluación del impacto ambiental sobre la biodiversidad del suelo causado por un incendio forestal en la provincia de Jaén, 2019*. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal y Ambiental.
- Conklin, A. R. (2014). *Introduction to Soil Chemistry. Analysis and Instrumentation*. Second Edition. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Díaz, M., Fontúrbel, M. T., Guerrero, C., Carballas, A. T. (2010). *Determinación de propiedades bioquímicas y microbiológicas de suelos quemados*. A. Cerdá, A. Jordan (Eds.), Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales. pp. 465 – 497.
- Fernández, P., Vallejo, G., Pablo E. Livacic, P- E., y Tuero, E. (2014). Validez Estructurada para una investigación cuasi-experimental de calidad. Se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasi-experimentales. *Anales de psicología*, Vol. 30, N° 2 (mayo), 756-771.
- Jaksic, F. M. y Fariña, J. M. (2015). Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 2015. Vol. 43(1):23-34.

- Holdridge, L. (2000). Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica: IICA. 216 - 217 pág.
- INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil). (2016). Reportes de Emergencias. <https://www.gob.pe/indeci>
- Jaramillo, A. C., Echavarría, A. M. y Hormaza, A. (2013). Diseño Box-Behnken para la optimización de la adsorción del colorante azul ácido sobre residuos de flores. *Revista Ingeniería y Ciencia*. Vol. 9, N° 18, pp. 75–91, julio-diciembre. 2013.
- Manríquez-Zapata, H. M. (2019). Especies forestales afectadas en incendios ocurridos en Amazonas: Un análisis de la información fiscal de los casos de Chachapoyas y Luya. *Arnaldoa* 26 (3): 965-976, 2019.
- 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>
- Moore, G. (2001). Soil guide. A handbook for understanding and managing agricultural soils. *Agriculture Western Australia Bulletin* N° 4343.
- Ospina-Céspedes, L. C. (2017). *Efecto de un incendio forestal sobre la microbiota de un suelo de bosque seco tropical, en el departamento del Tolima*. Tesis para optar el título de Biólogo. Facultad de Ciencias. Universidad del Tolima. <https://core.ac.uk/download/pdf/199456732.pdf>
- Radočaj, D., Jurišić, M. & Antonić, O. (2021). Determination of soil C:N suitability zones for organic farming using an unsupervised classification in eastern Croatia. *Ecological Indicators* 123 (2021) 107382.
- Romero, G., Echevarría, M., Trillo, F., Hidalgo, V., Aguirre, L., Robles, R. y Núñez, J. (2020). Efecto del faique (*Acacia macracantha*) sobre el valor nutricional del

pasto guinea (*Panicum maximum Jacq.*) en un sistema silvopastoril. *Rev Inv Vet Perú*; 31(1): e17562.

SENAMHI. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2018.
Reportes del clima.
<https://www.gob.pe/senamhi>

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>.

Zhang, S., L., Huang, J., Mu, L., Huang, Y., Zhang, X. & Sun, Y., (2016). *Spatial heterogeneity of soil C:N ratio in a mollisol watershed of Northeast China: spatial heterogeneity of soil C:N ratio in a mollisol watershed* Land Degrad. Dev., 27 (2) (2016), pp. 295-304.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra Santa Madre de Dios y a nuestro Padre eterno por darnos la vida de poder terminar nuestra investigación.

Joel Carrero Fernández y Johny Romero Carhuapoma

DEDICATORIA

Dedico este Informe Final de Tesis, a mi padre Santos Carrero delgado, a mi madre María Hilda Fernández Llamas, a mis hermanos, y amigos que siempre estuvieron presentes apoyándome con sus consejos, guiándome por el buen camino para no rendirme y seguir luchando por mis metas.

Joel Carrero Fernández

Le dedico a mi padre Andrés Romero Julca, a mi madre Simona Carhuapoma Chanta, a mis hermanos por su apoyo constante, a mis amigos quienes nos damos ánimos de no rendirnos y lograr la meta universitaria.

Johny Romero Carhuapoma

ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de suelos



RIVELAB - S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYOS



REPORTE DE ANALISIS RIVELAB 2022-695

Interesado: Joel Carrero Fernández.
Muestra: Suelo
Solicitud: Análisis químico y biótico (C/N).
Muestra con rotulo: 1 kg. de suelo, estiércol 2 kg. (b1) y 400 gr. (b2)
Procedencia: Jaén, distrito La Coipa, Cajamarca.
Fecha de recepción: 28 diciembre 2021.
Fecha de entrega: 14 enero 2022.

RESULTADOS


Análisis suelo:

	Método	Resultado	Unidades
pH	potenciométrico	6.82	-
Conductividad eléctrica	potenciométrico	32	mS/cm
Carbono orgánico	físico, químico y analítico	1.14	% en peso
Nitrógeno total	digestión Kjeldahl	0.16	% en peso
Fósforo total	físico, químico y analítico	187	mg / kg
C/N ratio	-	13.3	-

Análisis biótico estiércol:

	Método	Resultado	Unidades
Carbono orgánico	físico, químico y analítico	6.88	% en peso
Nitrógeno total	digestión Kjeldahl	0.24	% en peso

Se identificó: *Bacillus toyonensis*, *Pseudomonas spp.*, Bacterias: *Streptomyces spp.*,
Campylobacter jejuni, *Penicillium spp.*, *Trichoderma spp.*
C/N= 28.6


Ing. José Rivero Méndez
CIP 20384



AGUA

SUELOS

ALIMENTOS

Av. Bobadilla N° 524 – Urb. Monserrate -
Trujillo - Peru

rivelabperu@hotmail.com
jofenme@hotmail.com

Cel. 917 163 730
Cel. 932 240 834

ANEXO 2: Análisis de suelos



RIVELAB - S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYOS



REPORTE DE ANALISIS RIVELAB 2022-696

Interesado: Joel Carrero Fernández.
Muestra: Suelos
Solicitud: Análisis C/N
Muestras con rotulo: 14 bolsas selladas de 250 gramos.
Procedencia: Jaén, distrito La Coipa, Cajamarca.
Fecha de recepción: 22 febrero 2022.
Fecha de entrega: 11 marzo 2022.

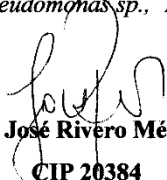
RESULTADOS

Muestra suelo	Ratio C/N	Muestra suelo	Ratio C/N
M-1	20	M-8	21
M-2	19	M-9	23
M-3	17	M-10	16
M-4	25	M-11	22
M-5	23	M-12	24
M-6	21	M-13	20
M-7	12	M-C	9.7

Análisis suelo M-4:

	Método	Resultado	Unidades
pH	potenciométrico	6.24	-
Conductividad eléctrica	potenciométrico	61	mS/cm
Carbono orgánico	físico, químico y analítico	9.04	% en peso
Nitrógeno total	digestión Kjeldahl	0.36	% en peso
Fósforo total	físico, químico y analítico	241	mg / kg

Se identificó: *Anabaena sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Azotobacter spp.*, *Nitrobacter sp.*, *Actinomyces sp.*


Ing. José Rivero Méndez
CIP 20384



AGUA

SUELOS

ALIMENTOS

Av. Bobadilla N° 524 – Urb. Monseñate
Trujillo - Perú

rve@hperu@hotmail.com
jofenme@hotmail.com

Cel. 917 163 730
Cel. 932 240 834

Tabla 22. Propiedades químicas del análisis de suelos.

Analysis	Units of measurement	Rating			Method codes	
		low	medium	high	ACL	R+H
pH _w	nil	<5.5	5.5-8.0	>8.0	S01	4A1
pH _{Ca}	nil	<4.5			S03	4B1, 4B2
EC (1:5)	mS/m	<50	50-200	>200	S02	3A1
ECe	mS/m	<400	400-1600	>1600		14B1
SAR	nil	<5	5-25	>25		
Org C (W/B) A1 horizon	%C	<1	1-2	>2	S09	6A1
Org C (W/B) A2, B horizons	%C	<0.10	0.10-0.50	>0.50	S09	6A1
N (total)	%N	<0.15	0.15-0.25	>0.25	S10	7A2
C/N ratio	nil	<10	10-16	>16	S09 + S10	6A1 + 7A2
P (total)	µg/g (ppm)	<200	200-800	>800	S14	na
P (PRf)	mL/g	<2	2-35	>35	S15	na
P retention	%	<10	10-60	>60		9H1
P (HCO ₃)	µg/g (ppm)	<10	10-30	>30	S12	9B2
K (HCO ₃)	µg/g (ppm)	<70	70-200	>200	S17.0	18A1
CaCO ₃	%	calcareous if >0.5%			S08	(19A1)
oxalate-extractable Fe	%Fe	<0.05	0.05-0.2	>0.2	S29	13A1
Al	%Al	<0.05	0.05-0.3	>0.3	S29	13A1
Si	%Si	<0.15	0.15-0.50	>0.5	S29	13A1
pyrophosphate-extractable Fe	%Fe	<0.3	0.3-1.2	>1.2		13B1
Al	%Al	<0.4	0.4-2.0	>2.0		13B1
citrate/dithionite-extract. Fe	%Fe	<1.0	1.0-5.0	5.0	S20	13C1
Al	%Al	<0.5	0.5-2.0	2.0	S20	13C1
Al (CaCl ₂)	µg/g (ppm)	<1	1-10	>10	S18	na
B (CaCl ₂)	µg/g (ppm)	<0.3	0.3-5.0	>5.0	S34	12C1
pH buffering capacity	cmol(H ⁺)/kg (per pH unit)	<1	1-2	>2		

Fuente: Moore, G. (2001).

ANEXO 3: Fotografías del proceso de investigación.

Figura 2. *Preparación y acondicionamiento de estiércol doméstico.*



Figura 3. *Método de señalización del terreno.*

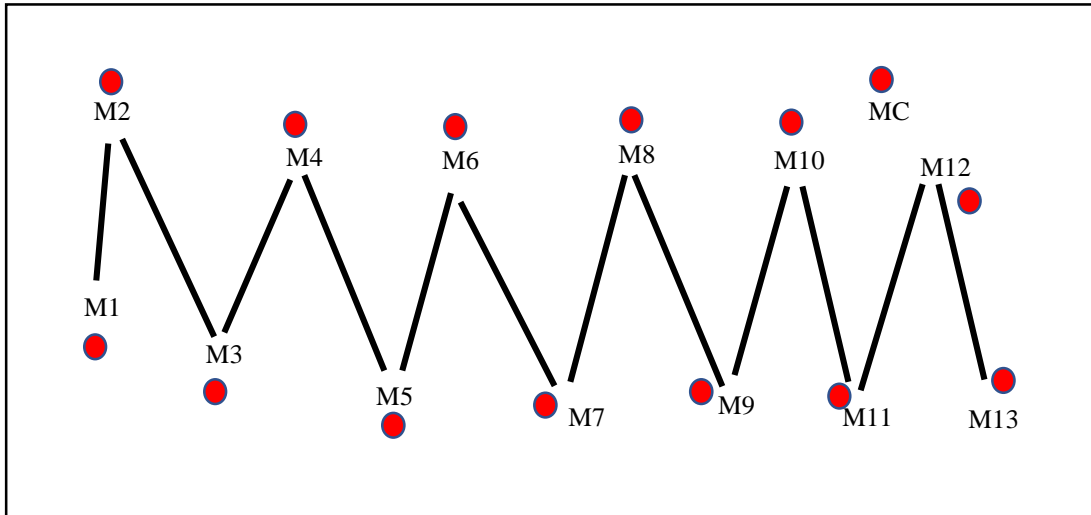


Figura 4. *Toma de muestra de suelo antes del rozo.*



Figura 5. Tamizado y pesado de estiércol doméstico y fertilizante NPK.



Figura 6. Construcción de los identificadores de los puntos de muestreo.



Figura 7. Muestreo del suelo restaurado.



Figura 8 Especies arbóreas comunes en la zona de estudio



Figura 9. *Ramas especies arbóreas cortadas.*



Figura 10. *Aserrado de los árboles.*



Figura 11. *Surqueado de la maleza seca.*

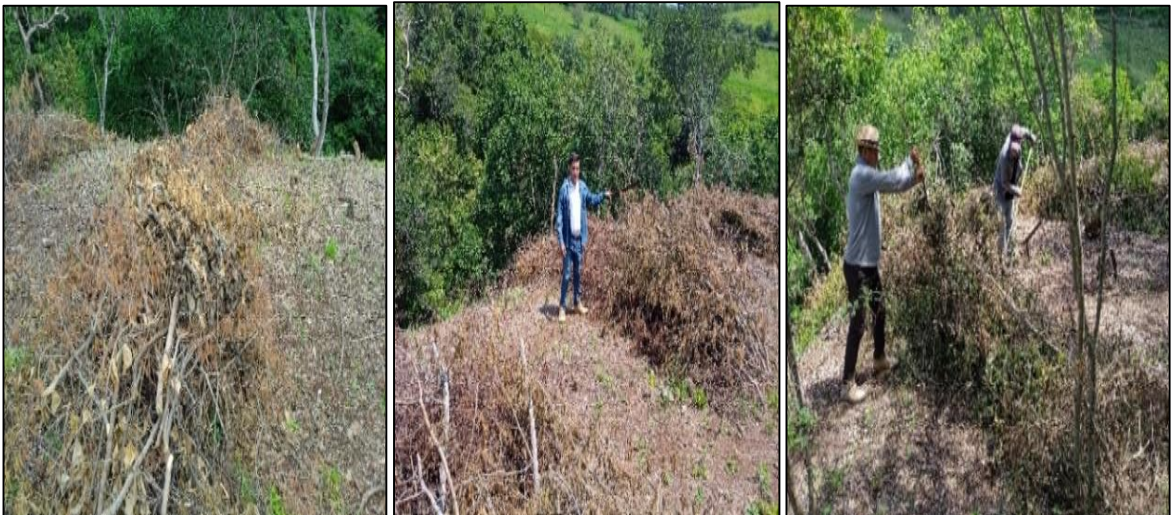


Figura 12. *Quema en el área rozada-*



Figura 13. Área rozada.



Figura 14. Apilado de leña para comercio.



Figura 15 Muestreo del suelo restaurado

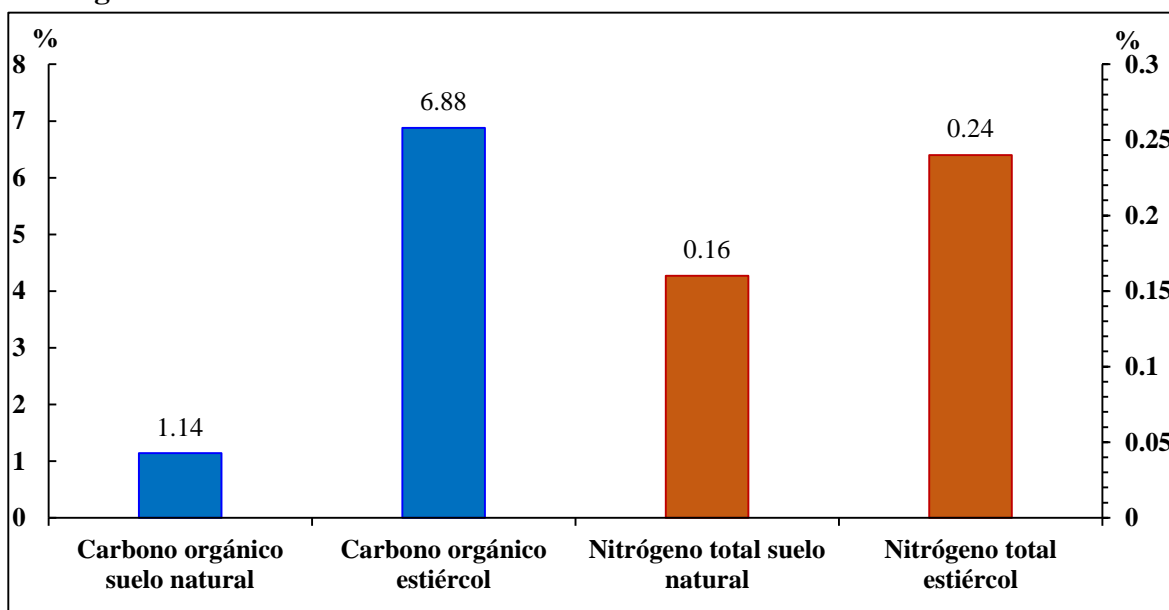


Figura 16. *pH del suelo natural comparado al suelo restaurado.*

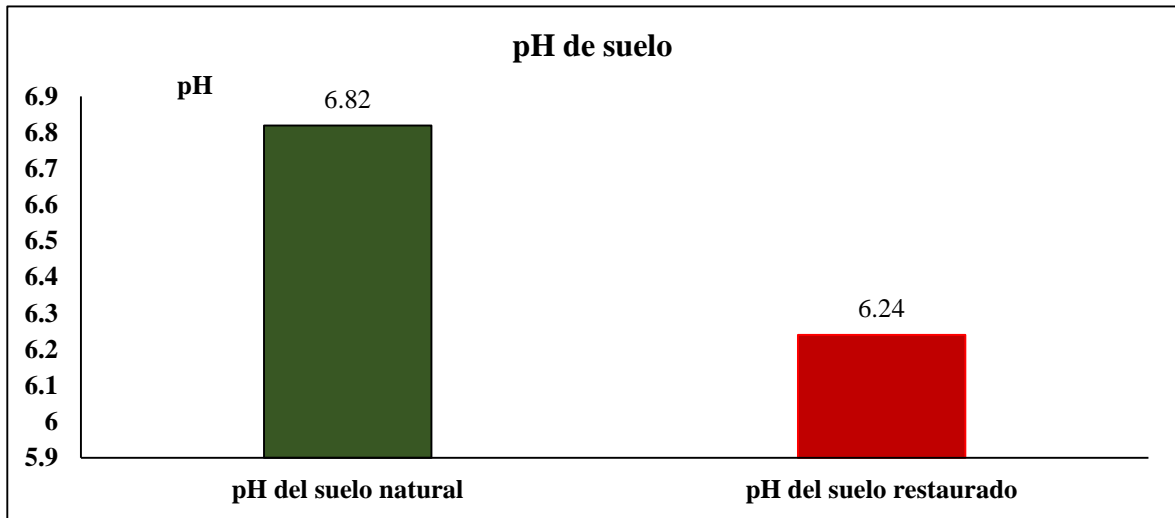


Figura 17. *C.E. del suelo natural y restaurado.*

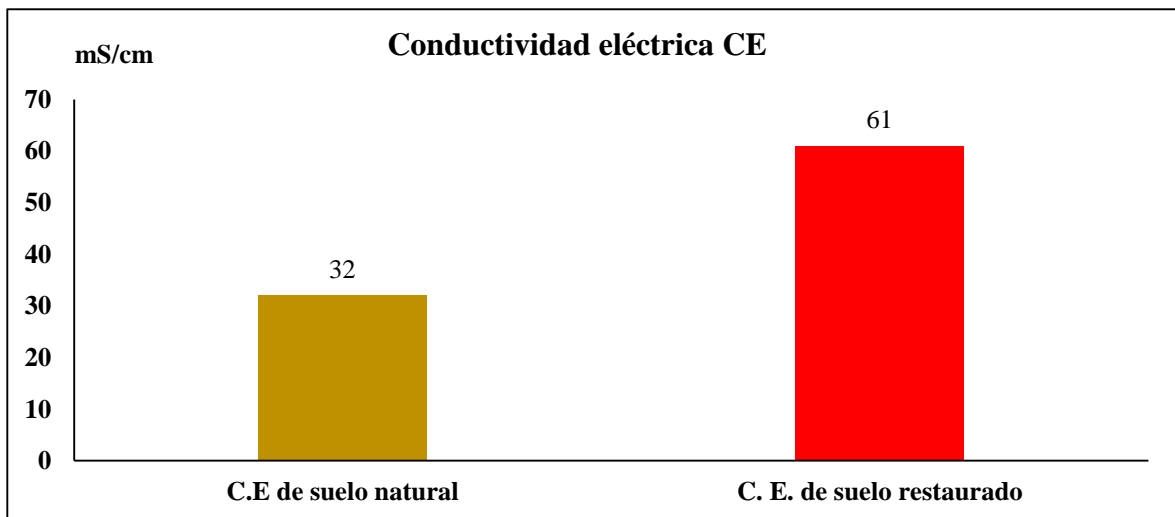


Figura 18. *Fósforo del suelo natural y restaurado.*

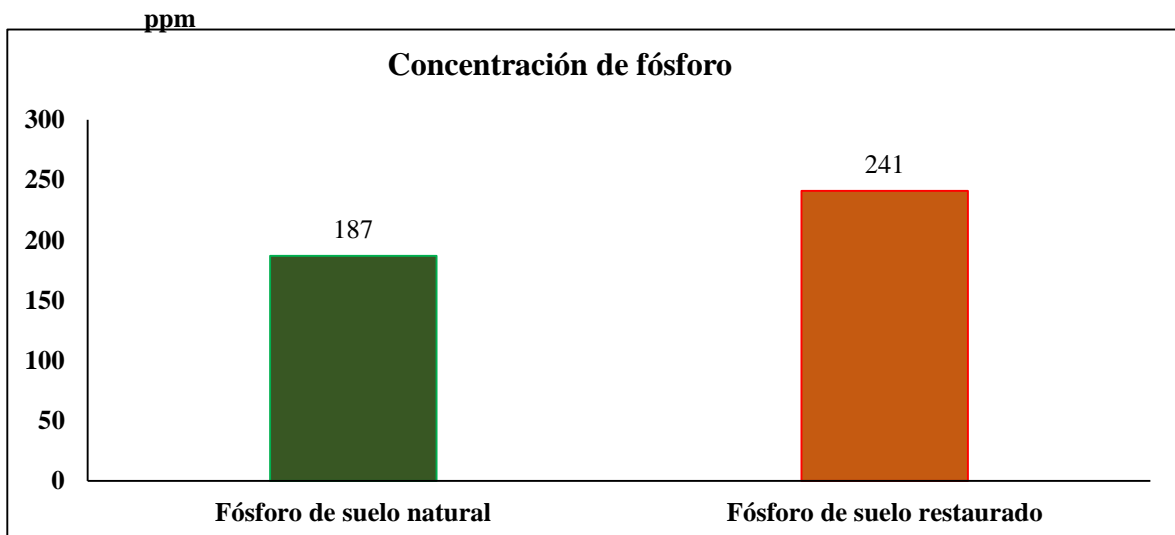


Figura 19. *Ratio C/N en las muestras de suelo restaurado y del control testigo.*

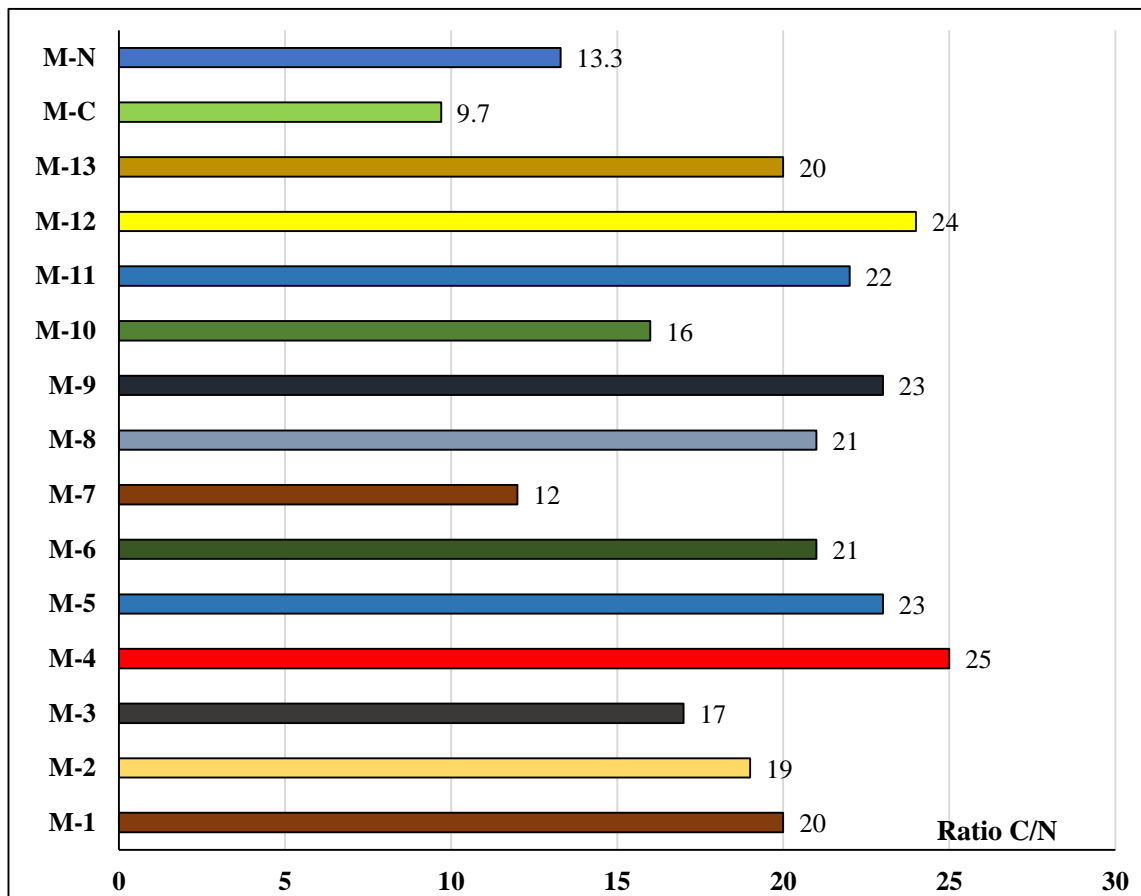
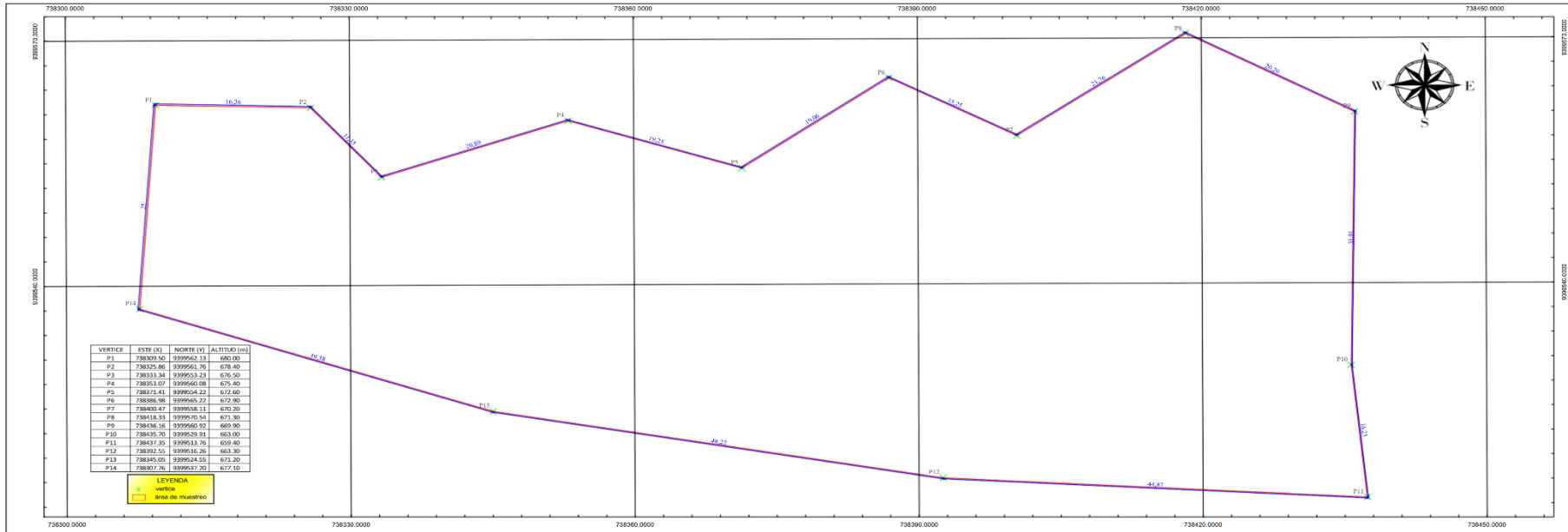
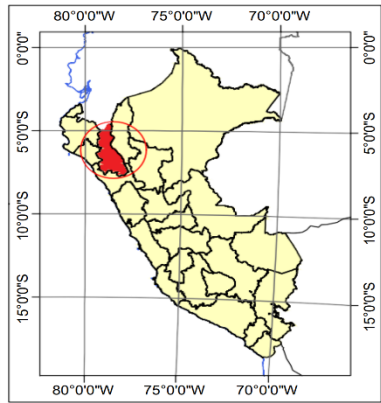


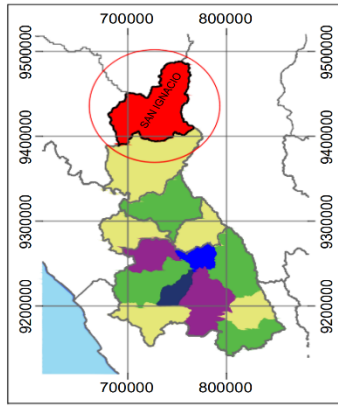
Figura 20. *Plano topográfico zona de estudio: Caserío Pampa Hermosa – La Coipa*



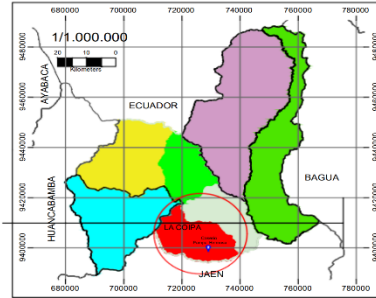
MAPA DEL PERÚ



DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA



PROVINCIA DE SAN IGNACIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Restauración de la biota edáfica de un suelo rozado mediante la biorremediación en el distrito La Coipa, Región Cajamarca

MAPA M-01

Mapa:
Mapa de ubicación

DATUM : WGS-84
 PROYECCIÓN : UTM
 ZONA : 17M

Ubicación:
 Departamento : Cajamarca
 Provincia : San Ignacio
 Distrito : La Coipa
 Caserío : Pampa Hermosa

Tesisistas:
 Carrero Fernández Joel
 Romero Carhuapoma Johny

Fecha:
Marzo, 2022

Escala:
1/200