

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Coberturas vegetales para la recuperación de suelos de uso agropecuario en el Páramo del Almorzadero, Cerrito, Santander.

Briyit Fernanda Villamizar Calderón

1005302282

Laura Marcela Laverde Jiménez

1002621807

Programa de Ingeniera Agronómica

2025

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Coberturas vegetales para la recuperación de suelos de uso agropecuario en el Páramo del Almorzadero, Cerrito, Santander.

Trabajo de grado bajo la modalidad de investigación presentado como requisito para optar el título de Ingeniera Agrónoma

Briyit Fernanda Villamizar Calderón

1005302282

Laura Marcela Laverde Jiménez

1002621807

Directora: Mónica Liliana Fuentes Beltrán Ingeniera Agrónoma, MSc. Suelos y Nutrición vegetal.

Codirectora: Bruna Arruda Ingeniera Agrónoma, MSc. Phd Suelos y Nutrición vegetal.

Programa de Ingeniera Agronómica

2025

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo de todo corazón y con todo el amor del mundo a nuestras mamás y papás, hermanas, hermanos, sobrinos y sobrinas, a nuestra familia en general, este trabajo es para ustedes, por sus años de amor, compañía y esfuerzo con nosotras. Al páramo, quien fue el principal actor de esta investigación, por su cuidado y el de su gente. A las personas que llevamos en el corazón y que saben lo importantes que son para nosotras, a esos que celebran nuestros triunfos como propios, gracias por existir, este trabajo también es para ustedes.

Agradecimientos

Agradecemos ante todo a Dios por guiarnos durante este proceso y darnos sabiduría, al páramo que siempre nos permitió trabajar en él y nos dio unos hermosos días, a todas las personas que hicieron el camino de esta investigación más fácil, a las profesoras y profesores que siempre resolvieron nuestras dudas y nos explicaron con cariño, a las mujeres que siempre nos brindaron una sonrisa y nos explicaron con vocación los procedimientos necesarios para el desarrollo de las practicas, a nuestra familia, que sin entender el sentido del trabajo, nos apoyó firmemente y nunca dudaron de nuestro trabajo y nuestros conocimientos, a Luis Fernando, quien nos acompañó desde el primer día hasta el último, cuidándonos y haciendo más fácil nuestro trabajo. A nosotras, que nunca dudamos de la importancia de nuestra investigación y seguimos adelante a pesar de los obstáculos que se nos presentaron una y otra vez. A todos lo que aportaron un granito de arena, se interesaron en preguntar y nos ayudaron a cargar y procesar muestras, muchas gracias.

Tabla de contenido

Introducción.....	1
Problema.....	5
Planteamiento del problema.....	5
Justificación	7
Objetivos.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
Marco teórico.....	10
Antecedentes	10
Antecedentes internacionales	10
Antecedentes nacionales	11
Marco contextual	12
Ubicación geográfica.....	12
Economía.....	12
Bases conceptuales	14
Páramo.....	14
Prácticas de conservación del suelo	14
Calidad física, química y biológica del suelo.....	17
Marco legal	19
Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 18 de diciembre de 1974. D. O. No. 34243.....	19
Artículo 178.....	19
Ley 1930 de 2018. Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia. 27 de julio de 2018. D.O. No. 50.667.....	19
Acuerdo No.186. Por el cual compila y actualiza el reglamento académico estudiantil de pregrado.02 de diciembre de 2005	21
Metodología.....	22
Zona de estudio	22

Diseño metodológico y experimental.....	23
Variables evaluadas.....	26
Métodos de análisis	28
Resultados y discusión	29
Diferencias físicas entre los sistemas PR y PA.....	29
Efecto de las coberturas en las propiedades químicas del suelo	31
Efecto de las coberturas vegetales sobre las propiedades biológicas del suelo	34
Calidad biológica y química del suelo	37
Conclusiones.....	40
Recomendaciones	41
Referencias	42
Anexos.....	51

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de los sistemas productivos.....	22
Figura 2. Croquis de los dos sistemas productivos establecidos.	23
Figura 3. Establecimiento de las coberturas en cada unidad experimental.	24
Figura 4. Procedimiento para la recolección de muestras de suelo:	25
Figura 5. Comparación de la densidad aparente en los dos sistemas productivos.	30
Figura 6. Análisis de componentes principales (PCA) en los sistemas.....	38

Lista de tablas

Tabla 1. Estudios realizados en los últimos diez años en páramos de Colombia.....	17
Tabla 2. Densidad de siembra para cada tratamiento.	24
Tabla 3. Interpretación de densidad aparente.	29
Tabla 4. Comparación de los tratamientos respecto a las propiedades químicas del suelo en el PR y PA.	31
Tabla 5. Comparación de los tratamientos respecto a las propiedades biológicas en el PR y PA.	35

Lista de anexos

Anexo 1. Toma de muestras para densidad aparente.....	51
Anexo 2. Preparación del sistema con pradera.....	52
Anexo 3. Brotes de las coberturas en el sistema post-cultivo de papa.	53
Anexo 4. Coberturas vegetales bien diferenciadas en el sistema post-cultivo de papa.....	54
Anexo 5. Coberturas vegetales bien diferenciadas en el sistema con pradera.	55
Anexo 6. Corte e incorporación de las coberturas en el sistema con pradera.	56
Anexo 7. Corte e incorporación de las coberturas en el sistema post-cultivo de papa.....	57
Anexo 8. Recolección de muestras para análisis de suelo.....	58
Anexo 9. Empacado de las muestras para pruebas biológicas.	59
Anexo 10. Observación de esporas en los dos sistemas productivos.	60
Anexo 11. Titulación para prueba de CIC.....	61
Anexo 12. Prueba de Bray II para P.	62
Anexo 13. Prueba de normalidad para micorrizas.....	63
Anexo 14. Prueba de normalidad para pH.....	64
Anexo 15. Prueba de normalidad de MO.	65
Anexo 16. Prueba de normalidad de P.	66
Anexo 17. Prueba de normalidad de CIC.....	67
Anexo 18. Prueba de normalidad de ureasa.	68
Anexo 19. Prueba de normalidad de deshidrogenasa.	69
Anexo 20. Análisis de varianza de micorriza y pH en el sistema PR.....	70
Anexo 21. Análisis de varianza de MO y P en el sistema PR.	71
Anexo 22. Análisis de varianza de CIC y ureasa en el sistema PR.....	72
Anexo 23. Análisis de varianza de deshidrogenasa en el sistema PR.	73
Anexo 24. Análisis de varianza de micorriza y pH en el sistema PA.	74
Anexo 25. Análisis de varianza de MO y P en el sistema PA.....	75
Anexo 26. Análisis de varianza de CIC y ureasa en el sistema PA.....	76
Anexo 27. Análisis de varianza de deshidrogenasa en el sistema PA.....	77

Resumen

Los páramos son ecosistemas de alta montaña. En Colombia cubren el 50% de su territorio y brindan servicios ecosistémicos vitales, sin embargo, al ser un ecosistema de pocos años de formación es considerado frágil, ya que está expuesto a sufrir degradación por actividades antropogénicas. Se evaluaron diferentes coberturas vegetales para la recuperación de suelos de uso agropecuario en el Páramo del Almorzadero, Cerrito, Santander, (Colombia) en un periodo de 6 meses en dos tipos de suelo (post-cultivo de papa (PA) y sistema de pradera (PR)), ubicadas en la vereda Platera del municipio de Cerrito, Santander. El diseño experimental desarrollado fue de bloques completos al azar, conformado por cuatro bloques y cinco tratamientos. Los tratamientos evaluados fueron: *Vicia sativa*, *Avena sativa*, *Medicago sativa* y *Holcus lanatus* sembrados al voleo y un tratamiento testigo, cada unidad experimental con un área de 25 m². Las variables biológicas evaluadas fueron la actividad enzimática de la ureasa y deshidrogenasa y conteo de esporas de micorrizas, las variables físicas y químicas analizadas fueron textura, densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno total, pH, fósforo y capacidad de intercambio catiónico. Se determinó que la densidad aparente en el sistema post-cultivo de papa (PA) fue mayor que en el sistema de pradera (PR) confirmando que el uso de maquinaria agrícola genera cambios en las propiedades físicas del suelo. Al desarrollar el análisis univariado se observaron diferencias significativas en algunos de los tratamientos, sin embargo, existe una estrecha relación entre los tratamientos que no permite clasificar y comparar las coberturas de acuerdo con su funcionamiento y aporte a la recuperación de suelos de páramo, se asumió que el factor que influyó en los resultados fue el tiempo de establecimiento de las coberturas vegetales. Las coberturas que presentaron de mayor a menor desarrollo en campo fueron: *Avena sativa*, *Vicia sativa*, *Holcus lanatus* y *Medicago sativa*. La evaluación de las coberturas establecidas ayuda en la recuperación de suelos de páramo, sin embargo, hacer una asociación de estas plantas y extender la evaluación de sus ciclos vegetativos podría brindar resultados más notables en cuanto a la recuperación de suelos de páramo.

Palabras clave

Enzimas del suelo, densidad aparente, praderas, compactación del suelo, cultivo de papa.

Abstract

Páramo are high-mountain ecosystems. In Colombia, they cover 50% of the territory and provide vital ecosystem services. However, as an ecosystem that has only been formed for a few years, it is considered fragile, as it is exposed to degradation due to anthropogenic activities. Different vegetation covers were evaluated for the restoration of agricultural soils in the Páramo del Almorzadero, Cerrito, Santander, Colombia, over a period of 6 months in two soil types (post-potato crop (PA) and grassland system (PR)), located in the Platera district of the municipality of Cerrito, Santander. The experimental design was a randomized complete block, consisting of four blocks and five treatments. The treatments evaluated were: *Vicia sativa*, *Avena sativa*, *Medicago sativa*, and *Holcus lanatus* sown broadcast, and a control treatment, each experimental unit with an area of 25 m². The biological variables evaluated were the enzymatic activity of urease and dehydrogenase and mycorrhizal spore count, the physical and chemical variables analyzed were texture, apparent density, organic matter, total nitrogen, pH, phosphorus and cation exchange capacity. It was determined that the apparent density in the post-crop potato system (PA) was higher than in the pasture system (PR), confirming that the use of agricultural machinery generates changes in the physical properties of the soil. When developing the univariate analysis, significant differences were observed in some of the treatments; however, there is a close relationship between the treatments that does not allow classifying and comparing the covers according to their functioning and contribution to the recovery of páramo soils. It was assumed that the factor that influenced the results was the establishment time of the vegetation covers. The covers that presented greater to lesser development in the field were: *Avena sativa*, *Vicia sativa*, *Holcus lanatus* and *Medicago sativa*. Evaluating established cover crops helps in the recovery of páramo soils; however, associating these plants and extending the evaluation of their vegetative cycles could provide more significant results in terms of páramo soil recovery.

Keywords

Soil enzymes, bulk density, grassland, soil compaction, potato crop.

Introducción

El suelo es un recurso natural indispensable para la vida, que permite el desarrollo de las plantas, animales y el hombre. Es el producto final de la influencia del tiempo combinado con el clima, topografía, organismos y materiales parentales, estos son conocidos como factores de formación del suelo, y es gracias a ellos que, este difiere en sus propiedades físicas, químicas y biológicas en cada lugar (FAO, s. f.; Figueroa et al., 2018). A lo largo de los años, se ha conocido que para la formación de 1cm de suelo, se requiere más 1000 años, sin embargo, se pierden toneladas en pocos minutos, a causa de la degradación y erosión (Aguirre et al., 2022). Es por esto por lo que se hace necesario implementar técnicas u obras de conservación que permitan mantener la calidad y salud del suelo, contribuyendo a su sostenibilidad.

Los suelos de páramo generalmente son de origen volcánico, se caracterizan por ser negros, húmedos, presentan pH entre 3,9 y 5,4, alto porcentaje de MO, actividad microbiana, buena retención de agua, alta friabilidad y densidad aparente baja. Son suelos ricos en humus totalmente descompuesto, su espesor varía entre unos centímetros y un metro, se caracteriza por tener una tasa de descomposición baja, a causa de las bajas temperaturas y humedades altas (Llambí et al., 2012; Ortiz et al., 2005).

Los páramos son ecosistemas estratégicos en la regulación hídrica, estos proveen agua al 70 % de la población colombiana. En Colombia los páramos se localizan sobre las tres cordilleras y en la Sierra Nevada de Santa Marta, abarcando un área total de 14.434 km², equivalente al 49 % de los páramos del mundo y al 1,3 % de la extensión continental del país (Rincón, 2015). El 50 % de los páramos de la tierra se encuentran en Colombia, y es este ecosistema el que alberga cerca del 10 % de la biodiversidad colombiana (Vergara, 2020). Igualmente, Vergara (2020) menciona que:

“Los ecosistemas de páramos son importantes en la mitigación del cambio climático, por su singularidad biológica y los servicios que prestan a la población, entre los que se destaca el almacenamiento de carbono atmosférico”.

El deterioro más grave de la zona de páramo; se presenta en la cordillera Oriental, siendo de las cinco zonas con cobertura paramuna del país, la de mayor transformación, con un total

del 18 % de su cobertura modificada. Le sigue la cordillera Central, con un 9 %; la región Nariño-Putumayo, con un 8 %, y la cordillera Occidental, con un 5 % (Bermúdez, 2023).

En un área de 1.469.980 ha aproximadamente un 13% del área nacional de los páramos de Colombia se evaluó la captura de carbono y se determinó que en los primeros 30 cm de profundidad del suelo, contenían de 22 a 338 t ha⁻¹ y los mejores predictores del modelo fueron las coberturas, los usos del suelo y las condiciones climáticas (Díaz et al., 2020).

Sin embargo, las prácticas agropecuarias en los páramos y la expansión de la frontera agrícola como refiere Bermúdez (2023) son las dos más grandes amenazas que tienen el páramo actualmente, porque de las 2'906.000 ha de páramos que tiene Colombia, un total de 435.900 ha han sido transformadas por actividades antrópicas como la siembra de cultivos (papa y cebolla) y la cría de ganado. Por otra parte, Ungar (2021) destaca que, casi el 15% de la cobertura terrestre de los páramos en Colombia ha sido transformada, principalmente en cultivos y pastizales, aunque en algunos páramos este porcentaje se eleva al 50%. Trujillo et al. (2018) indica que a nivel global se evidencia la disminución de las funciones de los suelos, a causa de usos insostenibles ocasionados por prácticas agrícolas, ganaderas, forestales y urbanizaciones, lo cual lleva a pérdida de materia orgánica, salinización, compactación y pérdida de la estructura del suelo, afectando directamente la función de este y a su vez la seguridad alimentaria.

La relación entre las amenazas ambientales en los páramos y la producción agrícola resalta un dilema clave: mientras los cultivos en las zonas de páramo, especialmente de papa, constituyen una actividad económica fundamental para estas áreas, las malas prácticas con las que se cultiva, generan impactos significativos sobre el suelo y los ecosistemas. Reflejando que, aunque vitales para la seguridad alimentaria y el sustento de las comunidades locales, contribuyen a la degradación de los páramos y a la pérdida de sus funciones esenciales, como la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad (Vega, 2019). Es por esto por lo que es indispensable abordar este conflicto con estrategias que promuevan la sostenibilidad sin comprometer la producción agrícola, más aún cuando la región de los Santanderes posee la mayor participación en la producción de papa, dentro del grupo de otros departamentos productores. Los municipios Cerrito (Santander) y Chitagá (Norte de Santander), son los de

mayor aporte a la producción de papa en estas regiones. Santander registró un total de 59.359 t abastecidas, mientras que, Norte de Santander registró 39.866 t (FEDEPAPA, 2022).

Debido a la importancia de los ecosistemas de páramo, se pueden desencadenar problemas legales hacia las personas que amplían la frontera ya establecida, más aún cuando desde el año 2018 se tiene presente de la ley 1930, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADR), más conocida como la ley de páramos. El MADR define como Frontera Agrícola Nacional “límite del suelo rural, que separa las áreas en donde se desarrollan las actividades agropecuarias, las áreas condicionadas y las áreas de especial importancia ecológica de las demás zonas en donde las actividades agropecuarias están excluidas por mandato de Ley” (Resolución 000261, 2018).

La solución es aplicar técnicas conservacionistas que permitan corregir algunos de estos problemas, mediante la protección del suelo contra los efectos de la erosión y adicionando materia orgánica para recuperar y mantener las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan su capacidad productiva, Gómez (citado en Viteri et al., 2008). Desde el punto de vista agronómico y práctico, el uso de abonos verdes en los sistemas de producción se perfila como la más viable (Viteri et al., 2008). La implementación de técnicas de mejoramiento de suelos, como las coberturas vegetales, permite una recuperación de las características físicas, químicas y biológicas que se han disminuido o perdido a través del tiempo (FAO, s. f.). Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario evaluar estrategias, tales como técnicas de recuperación de suelos, dentro de las cuales se encuentran las coberturas vegetales siendo estas el principal propósito de la investigación, para eso, se seleccionaron las que mejor se adaptaban a las condiciones climáticas del territorio, y que además permitan recuperar los suelos que se han degradado con el constante laboreo, aplicación de agroquímico e implementación de monocultivos sin rotación.

El uso de coberturas genera un beneficio al agricultor, ya que este puede contar con suelos que sean nuevamente productivos sin la necesidad de depender de abonos de síntesis química, además las coberturas vegetales se pueden usar en muchos casos como alimento para las producciones pecuarias. Indirectamente al establecer coberturas vegetales, se está

disminuyendo la ampliación de la frontera agrícola y se está conservando la zona de páramo que ofrece importantes servicios ecosistémicos.

El objetivo de estudio fue evaluar diferentes coberturas vegetales para la recuperación de suelos de uso agropecuario en el Páramo del Almorzadero, Cerrito, Santander.

Problema

Planteamiento del problema

¿Cuál es la cobertura vegetal más adecuada de acuerdo con la calidad biológica, física y química del suelo para recuperar suelos de páramo de uso agropecuario?

La preparación mecanizada de los suelos, el laboreo intensivo y la explotación pecuaria en los suelos de páramo, genera cambio de las propiedades de estos, como la reducción del espacio poroso y el cambio de los horizontes diagnósticos. Por otra parte, Lal (2015) hace referencia que, la reducción de la calidad del suelo se da por las interacciones complejas entre procesos, factores y causas que se producen en una variedad de escalas espaciales y temporales. Esto genera un bajo desarrollo de los cultivos, porque disminuye la porosidad del suelo y su vez aumenta la densidad aparente, lo cual produce una mayor resistencia mecánica a la penetración de las raíces de las plantas en el suelo. La disminución de la productividad sostenible del suelo a causa de las malas prácticas agropecuarias, genera problemáticas mayores, como lo son la ampliación de la frontera agrícola y el uso constante de productos de síntesis química que conllevan a la degradación del páramo, Tripathi et al. (2020) señala que el uso constante de fertilizantes y pesticidas de síntesis química con el tiempo generan emisión de gases efecto invernadero, pérdida de la biodiversidad del suelo, disminución y pérdida de la calidad del agua.

En la actualidad, la ley de páramos, limita las producciones que generen alto impacto en los páramos de Colombia. Sin embargo, en estas zonas habitan muchas familias campesinas, que necesitan labrar el suelo para poder vivir. Sin embargo, la falta de conocimiento sobre desarrollo sostenible como una alternativa al progreso económico y social contemporáneo, evita que se aseguren las oportunidades a las futuras generaciones de vivir en una relación diferente con la naturaleza (Morales et al., 2019).

El artículo 10 de esta ley, plantea “la sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias de alto impacto, que se encuentren al interior del área de páramo delimitada, con el fin de garantizar la conservación de los páramos y el suministro de servicios ecosistémicos”. Las comunidades campesinas al no tener el conocimiento real de lo que la ley manifestaba,

vieron en esto un riesgo hacia su estabilidad económica y a su forma de habitar el páramo. Sin embargo, la ley indica que se debería brindar a las comunidades el tiempo y los medios para que estas pudiesen adaptarse a la nueva situación, por lo cual se deberían tener en cuenta los resultados de la caracterización de los habitantes del páramo para lograr una transición gradual y diferenciada. También se menciona que se podrá permitir la continuación de las actividades agropecuarias de bajo impacto que se vienen desarrollando en las zonas, haciendo uso de las buenas prácticas agrícolas y pecuarias que cumplan con los estándares ambientales y en defensa de los páramos.

En el momento de que el suelo pierde su calidad física, química y biológica es más económico para el habitante de páramo trabajar una nueva tierra que establecer una técnica de recuperación de suelos, teniendo en cuenta que el acompañamiento con respecto a estos temas es mínimo; ya que desde la parte gubernamental, se cataloga los suelos de páramo como un tierra no apta para uso agropecuario, como lo indica el IGAC (2021) estos suelos: se clasifican como clase 8, por su importancia como ecosistemas estratégicos para la regulación del recurso hídrico y por su interés científico, y deben destinarse a la conservación de la naturaleza o a su recuperación en el caso de que se hayan deteriorado.

El deterioro de los suelos de páramo es un grave problema, si se reafirma el hecho de la ampliación de las fronteras agrícolas. Cadena y Sarmiento (2015) afirman que, el páramo del Almorzadero tiene un 23% de transformación relacionado con actividades antrópicas. La expansión de estas actividades antrópicas disminuye el tamaño y altera la estructura de los ecosistemas paramunos, al tiempo que afecta su fauna, su flora característica y los servicios ecosistémicos que ofrecen, principalmente aquellos relacionados con la provisión y regulación del agua.

Justificación

La implementación de técnicas que mejoren la calidad y salud de los suelos de páramo, no solo favorece a los agricultores que habitan estas zonas al generar un aumento en la productividad de los cultivos teniendo en cuenta que se mejorarían significativamente las condiciones físicas, químicas y biológicas que con el uso incorrecto han perdido al pasar el tiempo; también evita la contaminación de estos ecosistemas estratégicos que brindan servicios ecosistémicos, siendo algunos de estos el agua dulce, conservación de biodiversidad, protección del suelo y como lo describen Pinos et al. (2021), actúan como sumideros, al regular el nivel de dióxido de carbono emitido a la atmósfera.

Con la recuperación de los suelos se puede reducir los gastos en producción que normalmente superan las ganancias, cuando el precio de los productos baja considerablemente, porque un suelo sano ofrece a la planta los elementos necesarios para su correcto desarrollo, como lo son nutrientes y microorganismos que permiten la interacción entre la planta y el suelo para un mutuo beneficio, ya que, con la constante forma de aplicación y de dosificación incorrecta de fertilizantes, se generan problemas de salinidad en los suelos y de contaminación tanto en suelos como en cuerpos de agua con los lixiviados procedentes de los fertilizantes, como amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) o urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) que afectan propiedades generales de los ecosistemas causando un desbalance en los mismos (Galindo et al., 2020).

El municipio del Cerrito es uno de los mayores productores de papa en Santander y la producción ganadera se ubica en el segundo lugar, según el Plan de Ordenamiento Departamental (POD) realizado en la vigencia 2020-2023 con una participación del 13,32%, estos sistemas agropecuarios son principalmente desarrollados en regiones aledañas al páramo del Almorzadero, siendo estas, algunas de las razones que hacen necesario la implementación de técnicas de conservación, que permitan el mejoramiento de suelos ya intervenidos, para su posterior recuperación de propiedades físicas y químicas del suelo aptas para los cultivos, además de la restauración de la macro, meso y microfauna, que con el constante uso de cultivos de papa se ha deteriorado. Por otra parte, al mejorar la calidad de los suelos que ya se han trabajado al pasar de los años y que legalmente se pueden seguir cultivando, se puede detener

en gran medida la problemática que más aqueja el ecosistema de páramo, siendo esta la ampliación de la frontera agrícola.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se hace necesario implementar estrategias que logren reducir el impacto que generan las malas prácticas agropecuarias en las zonas de páramo, por ende, una alternativa para la recuperación de suelos, es el establecimiento de cultivos de cobertura que mejoran la estabilidad de los sistemas agrícolas, no solo por el mejoramiento de las propiedades del suelo, sino también por su capacidad para favorecer una mayor biodiversidad. Las coberturas vegetales son importantes porque protegen el suelo cuando no está cultivado, suministran una fuente adicional de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo, reciclan los nutrientes y favorecen su movilización en los perfiles del suelo con el fin de facilitar su disponibilidad para los cultivos. Las raíces de algunos cultivos, especialmente las que son pivotantes, son capaces de penetrar capas compactadas o muy densas, incrementan la capacidad de percolación de agua del suelo (FAO, s. f.). La cobertura vegetal puede reducir hasta 97% el desarrollo de arvenses, incrementa la fertilidad de los suelos permitiendo sustituir la aplicación de fertilizantes químicos e incrementar la productividad de los cultivos (Nithinkumar et al., 2023; Pérez et al., 2017).

Objetivos

Objetivo general

Evaluar diferentes coberturas vegetales para la recuperación de suelos de uso agropecuario en el Páramo del Almorzadero, Cerrito, Santander.

Objetivos específicos

Caracterizar parámetros físicos de suelo de uso agropecuario en el Páramo del Almorzadero.

Clasificar las coberturas vegetales, de acuerdo con la calidad biológica y química de suelos en el Páramo del Almorzadero.

Marco teórico

Antecedentes

Antecedentes internacionales

Cada año se incrementa el área de Páramo intervenida por la actividad agropecuaria, ocasionando afectación de los servicios ecosistémicos que brinda estas zonas específicas y también la disminución de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. En este sentido Thompson et al.(2021) mencionan que, los suelos de los páramos andinos se destacan por tener un alto almacenamiento de carbono, pero que la capacidad de almacenarlo se ve amenazada por el cambio de uso que se le da al suelo. Los autores utilizaron una clasificación de uso y cobertura de los suelos por medio de imágenes Landsat con el fin de medir el cambio en las áreas agrícolas entre 1991 y 2017, encontrando una relación negativa significativa entre el tiempo transcurrido desde el cultivo inicial y el carbono del suelo, donde los suelos dedicados a la agricultura contenían menos carbono en comparación con los ecosistemas naturales, observando una pérdida promedio de 0,045 % de C del suelo por año.

La intervención de los páramos ha generado conflictos entre los beneficios ambientales y los usos productivos, pues esto con lleva a la pérdida en la salud del suelo. Esta es una de las razones por las que, Avellaneda et al. (2020) observaron cambios significativos entre los suelos usados para cultivar papa y los de área conservada en un páramo altoandino neotropical, mientras que, las diferencias entre un suelo cultivado con papa y otro con ganadería fueron menores. Igualmente, estas diferencias se ven afectadas por factores como altitud, clima y el uso del suelo.

En otro estudio, Cárdenas (2015) evaluó el estado actual de los suelos de páramo, en relación con su uso, dividiendo el área en dos zonas, una con algún tipo de intervención antrópica y otra libre de intervención; observando una disminución en el contenido de materia

orgánica en el suelo intervenido en comparación del no intervenido. Al analizar los demás resultados, se concluyó que, las dos zonas mostraban un comportamiento similar en la mayoría de los valores evaluados, pero se diferenció en el parámetro de densidad aparente.

Antecedentes nacionales

Con el fin de conocer en cual asociación de abonos verde se obtiene una mayor fuente de materia orgánica en suelos de Turmequé, Boyacá, Viteri et al. (2008) realizaron experimentos en tres fincas ubicadas a diferentes altitudes (2.300, 2.650 y 2.860 m), en cada finca tomaron muestras de suelo para analizar la fertilidad antes de la implementación de los abonos verdes. Posteriormente, incluyeron 10 asociaciones triples y 3 cuádruples, las asociaciones estaban conformadas por Vicia en combinación con avena caldas, girasol, higuierilla, nabo forrajero y quinua. Como resultado, se evidenció una mayor fuente de materia orgánica en la asociación de nabo forrajero, avena y vicia.

Marco contextual

Ubicación geográfica

El Cerrito forma parte de los 87 municipios del Departamento de Santander y pertenece a la Provincia de García Rovira. El plan de desarrollo municipal del año 2020-2023, indica que:

El municipio tiene una extensión total de 416 km², de los cuales 0,55 km² son del área Urbana y 415,55 km² son de extensión rural, limita por el norte con el departamento de Norte de Santander, por el oriente con el departamento de Arauca; por el sur oriente con el Municipio de Concepción y por el occidente con los municipios de San Andrés y Guaca (Plan de desarrollo municipal 2020-2023, s. f.).

En cuanto a la distancia con las principales ciudades del país “se encuentra a 22 km de Málaga la capital de la provincia, 188 km de Bucaramanga, la capital del departamento. Así mismo, por la troncal del norte, el recorrido a Cúcuta es de 168 km y de 395 km a Bogotá” (Tarazona, 2016).

La vereda Platera, según el plan de desarrollo municipal del año 2020-2023, es la de mayor extensión con un área 160.61 km² del total del municipio, representando el 38.52% del territorio. Gran parte de la vereda hace parte del complejo de páramo denominado Almorzadero, Cadena y Sarmiento (2015) señalan que este complejo de páramo cuenta con una extensión de 156.335,74 ha.

Economía

El municipio del Cerrito basa su economía principalmente en la actividad agrícola, esto teniendo en cuenta que la mayor parte del municipio es zona rural. Como expone Tarazona

(2016), la actividad económica está basada principalmente en la agricultura y la ganadería, con una participación aproximada del 70%, caracterizándose así por una economía netamente campesina, teniendo en cuenta que, de allí es de donde se obtienen la mayoría de los empleos, bienes, servicios y alimentos para el desarrollo de la población.

Predominan los cultivos de papa y ajo en las zonas de alta montaña y páramo, según FEDEPAPA (2022), Cerrito es uno de los municipios con mayor producción de papa en los Santanderes. El ajo en el Cerrito, de acuerdo con Rodríguez (2021) obtuvo en el mes de marzo de 2021 un precio muy insignificante con relación a los costos de producción, llegando a valer un kilo de ajo criollo en las Centrales de Abastos de Bucaramanga o Cúcuta, 500 pesos colombianos. Esta baja en los precios del ajo colombiano se debe al contrabando del ajo chino (Rodríguez, 2021).

Teniendo en cuenta la inestabilidad de los precios en la venta de estos productos a los abastos más cercanos, los habitantes de Cerrito han buscado estrategias que solucionen estos problemas, siendo así la creación de empresas que transforman la materia prima en productos con un valor agregado, como pasta de ajo, ajo pelado, entre otras.

En las zonas más templadas del municipio se cultiva tomate de árbol, uchuva, frijol, maíz, arveja, granadilla y actualmente en mayor extensión, durazno y tomate en invernadero.

En relación a la parte pecuaria en el municipio, la producción de ganado bovino, doble propósito, es una de las principales actividades que se realizan, según Cámara de comercio de Bucaramanga (2018) en el censo nacional agropecuario realizado en 2014, la provincia de García Rovira produjo 52.343 L de leche, de los cuales Cerrito aportó 6.886 L siendo el segundo municipio con mayor producción, después de San Andrés.

La producción de ganado ovino es otra de las principales actividades que se realizan en el municipio, observándose en mayor cantidad en la zona de páramo. En los últimos años ha tomado un gran reconocimiento gracias al precio de la lana que estos animales producen, esta materia prima se transforma en hilo, el cual compran los habitantes de la zona urbana y transforman en prendas de lana, como la ruana tradicional que se observa comúnmente en las personas que habitan las zonas frías del país.

Bases conceptuales

Páramo

Los páramos son ecosistemas únicos en el mundo, se encuentran ubicados en la parte norte de cordillera de los Andes. Colombia reporta una extensión aproximada de 1'925.410 ha distribuidas en 36 páramos. Este ecosistema brinda servicios ecosistémicos de vital importancia para las comunidades, pues ofrece estabilidad de los ciclos hidrológicos y climático, también ayuda en el almacenamiento de carbono (Ariza, 2018). Se caracterizan por ser un ecosistema húmedo tropical, presentan vegetación herbácea y arbustiva y paisajes bioclimáticos fríos (Pinos et al., 2021). Actualmente se habla de la delimitación de páramo, que es un proceso legal por medio del cual se precisa un espacio geográfico con el fin de protegerlo y conservarlo. Este proceso se realizó por las afectaciones ambientales que se presentaban debido a la fuerza de intervención del sector minero-energético en Colombia, haciendo que se zonificaran los ecosistemas de una forma estratégica y lograr proteger su biodiversidad y asegurar las conservaciones de los recursos naturales (Zapata, 2020).

Prácticas de conservación del suelo

Los cultivos de cobertura pueden aumentar el carbono y el nitrógeno del suelo gracias a la simbiosis con bacterias del suelo que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico (N_2), elemento vital, para la nutrición de las plantas. Las bacterias del género *Rhizobium* tienen la capacidad de fijar N_2 a una forma que es asimilable por las plantas (Guzmán & Montero, 2021). Las bacterias integrantes del microbiota del suelo provocan la formación de abultamiento en las raíces de algunas plantas, especialmente de las leguminosas. Las bacterias fijan el N_2 y lo incorporan a la base proteica del vegetal (López y Boronat, 2016).

Las coberturas vegetales, ayudan a reducir la compactación, al tiempo que aumenta la agregación del suelo y la infiltración de agua, contribuyen al aumento de la fertilidad de este, generando una menor dependencia a los fertilizantes sintéticos. Las coberturas vegetales aportan además a la creación de microclimas que mejoran la nutrición de los suelos, ofrecen la capacidad de absorción del recurso hídrico y proporcionan un hábitat y recursos para la fauna silvestre, ayudando a reducir la erosión del suelo y evitar su degradación (Guamán et al., 2023; Koudahe et al., 2022).

Por otra parte, los cultivos de cobertura, ayudan a mantener los niveles de materia orgánica del suelo (MOS), esta mantiene múltiples funciones del ecosistema suelo, como el secuestro de Carbono (C), la mineralización de Nitrógeno (N), la agregación, la promoción de la salud de las plantas y la retención de compuestos (Hoffland et al., 2020).

Coberturas vegetales de plantas que pertenecen a las familias Poáceas y Fabáceas ayudan a mejorar los indicadores del suelo, debido a su hábito de crecimiento, rendimiento y buena adaptación a los diferentes pisos climáticos que presenta el país. Leveron (2020) afirma que los cultivos de cobertura de leguminosas pueden suministrar N a cultivos posteriores, pero los cultivos de gramíneas son más adecuados para prevenir erosión y evitar la pérdida de nutrientes por lixiviación. De acuerdo con la altitud, estas plantas pueden adaptarse a zonas de páramo, clima frío, medio y cálido. Las siguientes plantas, se pueden implementar a altitudes sobre los 3.000 m:

Vicia atropurpurea es una especie que pertenece a la familia de las Fabáceas, cuenta con un alto potencial de fijación biológica de N₂. Se puede establecer en campo con labranza convencional o labranza cero, la vicia produce raíces profundas, por lo tanto, una vez establecida no se afecta tanto por la sequía (Demanet, 2022; Viteri et al., 2008).

El uso de plantas con raíces pivotantes, como la vicia, genera efectos positivos en la recuperación de suelos. Según Ríos y Estigarribia (2018) el usar especialmente leguminosas como abono verde en rotación o sucesión y alternancia de cultivos; incrementan el contenido de materia orgánica del suelo y ayudan a mejorar los problemas de compactación.

La cantidad de N que se puede obtener con la implementación de la cobertura vicia, puede variar dependiendo del lugar en el que se establezca el cultivo, sin embargo, los valores pueden llegar a ser de hasta 356,33 kg N ha⁻¹ (Sinaluisa, 2021).

Zeballos et al. (2023) afirma que, entre las poáceas, la avena es de los más importantes forrajes para la siembra, ya que se adapta fácilmente a adversas condiciones ambientales, altitudes, tipo de terreno y manejo diverso. La avena puede cultivarse en terrenos de barbecho o en terrenos de “rompe” de pastos naturales como cultivo explorador. Además, Koudahe et al. (2022) demostraron, la capacidad que tiene la implementación de la cobertura de avena en un área anteriormente sembrada con papa, para reducir la abundancia de nematodos del suelo, así como las bacterias responsables de las sarnas comunes de la papa.

La alfalfa es una planta que pertenece a la familia de Fabáceas, esta como las otras leguminosas tienen la capacidad de fijar el N₂, Calvo (2021) relata que, al ser el N un elemento deficitario en la mayor parte de los suelos del planeta, las leguminosas contribuyen a la nutrición de los cultivos que se establezcan posteriormente en la zona. De esta forma, el aumento de producción que se observa en un cultivo que sigue a una leguminosa se debe a su contribución en N. Por otra parte, este cultivo favorece la acumulación de MO y mejora la estructura del suelo, por las raíces pivotantes características de la planta. Su alta capacidad de fijación de N₂, puede llegar a ser de hasta un 92%, esto equivale a una participación de N de 200 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Issah et al., 2020).

La falsa poa, es una poácea, muy aceptada en zonas de clima frío, por su resistencia y buena producción de biomasa. Portillo et al. (2019) indican que, es una de las mejores especies naturalizadas, que presenta buen potencial de producción de forraje y un valor nutricional aceptables para los animales.

Su aporte, más que a la recuperación de suelos, es en la parte social, ya que es una de las poáceas más usadas por los agricultores de la zona, por su fácil propagación y capacidad de adaptabilidad a entornos de páramo. Por lo general, es considerada como hierba mala, a pesar de ser muy útil en la conservación del suelo, evitando su erosión (Martínez, 2020).

Calidad física, química y biológica del suelo.

Las propiedades físicas de los suelos determinan la capacidad de muchos de los usos que el ser humano le otorga. La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje, la retención de nutrientes y el almacenamiento de agua. Por otra parte, las propiedades químicas se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas, entre ellas, pH, materia orgánica (MO), y Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) (Calderón et al., 2018; Urriola, 2020). Durante los últimos años algunas propiedades se han visto afectadas por la actividad antrópica que se desarrolla en los páramos (**Tabla 1**).

Tabla 1. Estudios realizados en los últimos diez años en páramos de Colombia.

Autor y año	Propiedades que se han visto afectadas
Daza et al. (2014)	- La capacidad de almacenamiento de humedad del suelo disminuyó hasta un 60%. - La densidad aparente aumentó hasta un 16%. - Porosidad total disminuyó hasta en un 23%. - El cultivo de papa y los lotes en descanso presentaron los menores valores de porcentaje de carbono orgánico.
Africano et al. (2016)	- El contenido de carbono orgánico y el potencial de captura de CO₂ atmosférico. - Densidad aparente, en suelo intervenido 0,85.
Castañeda y Montes (2017)	- El cambio en el uso de la tierra es responsable de 12-20% de las emisiones de gases efecto invernadero. - La conversión de coberturas naturales a sistemas agrícolas alcanza tasas de deforestación de 13 millones de ha por año. - La eliminación de la vegetación nativa reduce el ingreso de materia orgánica al suelo.

	- La labranza propicia desintegración y emisión de carbono almacenado en el suelo.
Parra y Ordoñez (2020)	-Para el año 2014 se reportan 3.000 ton/ha de CO ₂ fijado para la profundidad de 15 a 30 cm y en 2019 no superan los 2.000 ton/ha de CO ₂ .
Rey et al. (2022)	-Se evidencia la magnitud de la contaminación difusa del agua superficial por nitrógeno en una unidad hidrográfica del Páramo de Berlín: las concentraciones de nitrógeno total (0.15 a 5.50 mg N/L) y nitrógeno en nitratos (0.00 a 3.40 mg N-NO ₃ -/L).

Los suelos de páramo son de origen volcánico, están clasificados como andisoles y su material de formación es amorfo (alófana e imogolita), se caracterizan por presentar coloración negra y se encuentran generalmente en zonas montañosas, lo que le da propiedades particulares para el establecimiento de sistemas agrícolas, adaptándose a estos una gran variedad de cultivos (Herrera, 2018; Ramírez et al., 2021). Otras propiedades que caracterizan estos suelos es la baja densidad aparente $\leq 0.9 \text{ g cm}^{-3}$ y presentar texturas francas (Manna et al., 2018).

La biología del suelo juega un papel fundamental en la composición del suelo y sus características. Los indicadores biológicos de un suelo pueden verse afectados por una gran cantidad de factores que hacen que su calidad disminuya. La presencia de macro y microorganismos en el suelo como bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos es indispensable, ya que son ellos lo que realizan funciones como la tasa de respiración y descomposición de los residuos vegetales (Morel y Acosta, 2022).

La calidad del suelo es la capacidad que este tiene, para funcionar dentro de los límites del ecosistema y sustentar los servicios ecosistémicos. Cualquier enfoque dado para la calidad del suelo dependerá de cada ecosistema en particular. El uso del suelo puede tener un gran impacto en su calidad, generando mejoras o limitaciones para la productividad y sostenibilidad de las tierras agrícolas a largo plazo (Delgado y Gómez, 2024).

Marco legal

Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 18 de diciembre de 1974. D. O. No. 34243.

Artículo 178. Los suelos del territorio Nacional deberán usarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos. Se determinará el uso potencial de los suelos según los factores físicos, ecológicos, y socioeconómicos de la región. Según dichos factores también se clasificarán los suelos.

Artículo 179. El aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora. En la utilización de los suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación.

Artículo 180. Es deber de todos los habitantes de la República colaborar con las autoridades en la conservación y en el manejo adecuado de los suelos. Las personas que realicen actividades agrícolas, pecuarias, forestales o de infraestructura, que afecten o puedan afectar los suelos, están obligados a llevar a cabo las prácticas de conservación y recuperación que se determinen de acuerdo con las características regionales.

Ley 1930 de 2018. Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia. 27 de julio de 2018. D.O. No. 50.667

Artículo 2. Principios. Para el desarrollo del objeto y de las disposiciones que se establecen en la presente ley, se consagran los siguientes principios:

3. El ordenamiento del uso del suelo deberá estar enmarcado en la sostenibilidad e integralidad de los páramos.

Artículo 5. Prohibiciones. El desarrollo de proyectos, obras o actividades en páramos estará sujeto a los Planes de Manejo Ambiental correspondientes. En todo caso, se deberán tener en cuenta las siguientes prohibiciones:

5. Se prohíbe el uso de maquinaria pesada en el desarrollo de actividades agropecuarias. El uso de otro tipo de maquinaria estará sujeto al desarrollo de actividades orientadas a garantizar un mínimo vital, de conformidad con el plan de manejo del páramo.

11. Se prohíbe la fumigación y aspersión de químicos deberá eliminarse paulatinamente en el marco de la reconversión de actividades agropecuarias.

12. Se prohíbe la degradación de cobertura vegetal nativa.

PARÁGRAFO 4. Las prácticas económicas llevadas a cabo en estas áreas deberán realizarse de tal forma que eviten el deterioro de la biodiversidad, promoviéndose actividades de producción alternativas y ambientalmente sostenibles que estén en armonía con los objetivos y principios de la presente ley.

PARÁGRAFO 5. Para los efectos previstos en este artículo, las autoridades ambientales y territoriales actuarán mediante acciones progresivas a fin de controlar la expansión de la frontera agrícola.

Artículo 10. De las actividades agropecuarias y mineras. Los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural, Minas y Energía y sus entidades adscritas o vinculadas y las entidades territoriales, en coordinación con las Corporaciones Autónomas Regionales, y bajo las directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, concurrirán para diseñar, capacitar y poner en marcha programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias de alto impacto y pequeños mineros tradicionales que se venían desarrollando con anterioridad al 16 de junio de 2011 previa definición y que se encuentren al interior del área de páramo delimitada, con el fin de garantizar la conservación de los páramos y el suministro de servicios ecosistémicos.

En el marco de estas acciones se deberá brindar a las comunidades el tiempo y los medios para que estas puedan adaptarse a la nueva situación, para lo cual se deberán tener en cuenta los

resultados de la caracterización de los habitantes del páramo para lograr una transición gradual y diferenciada por tipo de actor.

Podrá permitirse la continuación de las actividades agropecuarias de bajo impacto que se vienen desarrollando en las zonas de páramo delimitados, haciendo uso de las buenas prácticas que cumplen con los estándares ambientales y en defensa de los páramos.

Las actividades agrícolas de bajo impacto y ambientalmente sostenibles se deberán ceñir a los lineamientos que para el efecto establezca el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Acuerdo No.186. Por el cual compila y actualiza el reglamento académico estudiantil de pregrado.02 de diciembre de 2005

Artículo 36. Modalidades de Trabajo de Grado: El Trabajo de Grado, puede desarrollarse en las siguientes modalidades:

a. Investigación: comprende diseños y ejecución de proyectos que busquen aportar soluciones nuevas a problemas teóricos o prácticos, adecuar y apropiar tecnologías y validar conocimientos producidos en otros contextos. Para los estudiantes que se acojan a esta modalidad, deberá presentar al director de Departamento el anteproyecto que debe contener: propuesta para la participación en una línea de investigación reconocida por la Universidad, tutor responsable del Trabajo de Grado y cronograma, previo estudio y aprobación de la misma, del respectivo Grupo de Investigación.

Metodología

Zona de estudio

El estudio se desarrolló en dos sistemas productivos, ubicadas en la vereda Platera del municipio de Cerrito Santander, el cual presenta una temperatura que oscila entre -4.0° y 19.5° C, presenta una precipitación anual de manera bimodal que oscila entre 1150 a 1250 mm, teniendo un primer periodo de alta pluviosidad en el primer semestre del año en los meses de abril y mayo y un segundo periodo entre los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre (Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial., s. f.).

El primer sistema se ubicó a una altitud de 3.397 m en el predio Villa Cinchitos, suelo con pradera (PR), y el segundo a 3.339 m en el predio Casa Blanca, suelo post-cultivo de papa (PA) (Figura 1).

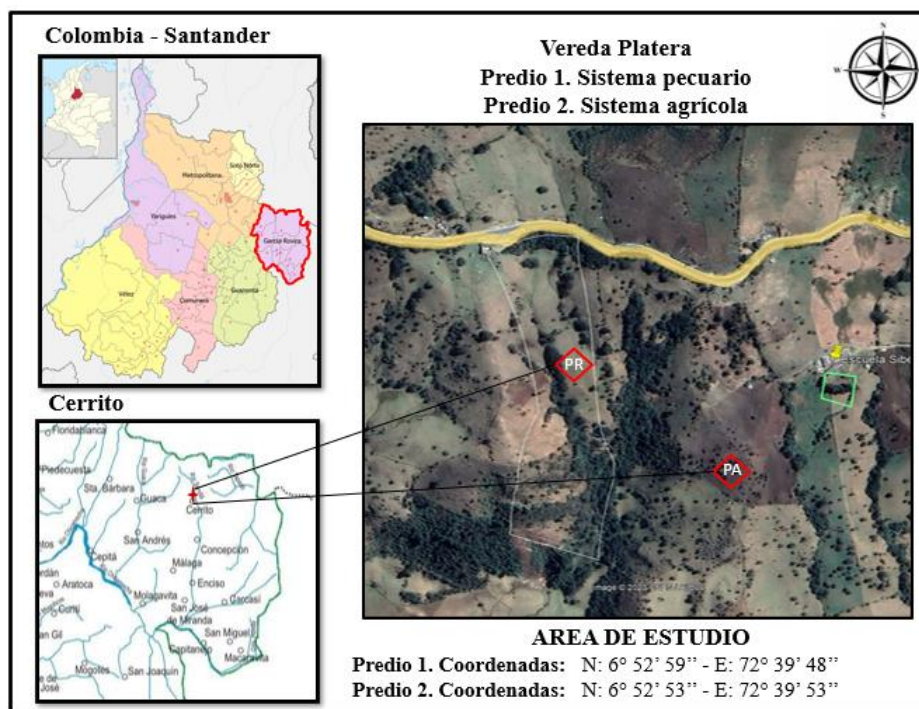


Figura 1. Ubicación geográfica de los sistemas productivos.

Diseño metodológico y experimental

El diseño experimental implementado fue bloques completos al azar (DBCA), con cinco tratamientos y cuatro bloques. Para cada una de los sistemas, los tratamientos evaluados fueron: Avena forrajera (*Avena sativa*) (T1), Alfalfa (*Medicago sativa*) (T2), Vicia (*Vicia sativa*) (T3) y Falsa poa (*Holcus lanatus*) (T4) y un tratamiento testigo sin implementación de cobertura (T5).

El área total de cada sistema productivo destinado para el estudio fue de 500 m². Para un total 20 unidades experimentales por sistema. Cada unidad experimental de un tamaño de 25 m², (**Figura 2**).

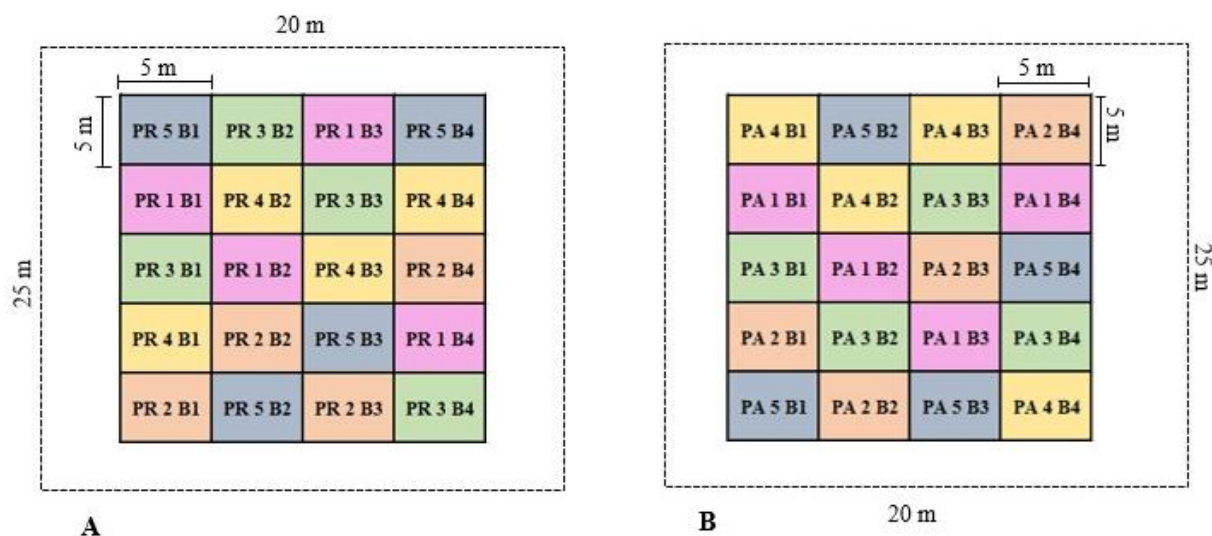


Figura 2. Croquis de los dos sistemas productivos establecidos. (A) PR y (B) PA.

Para el establecimiento de las coberturas de vicia, avena forrajera, y alfalfa se utilizaron semillas comerciales. Para la cobertura de falsa poa, se recolectaron semillas en áreas adyacentes a la zona de estudio, debido a su complejidad de adquisición en tiendas comerciales. La densidad de siembra para cada una de las coberturas se observa en la **tabla 2**.

Tabla 2. Densidad de siembra para cada tratamiento.

Tratamientos	Kg ha ⁻¹	Kg 25m ⁻²
Avena	60 - 75	0,1725
Alfalfa	25	0,0625
Vicia	25	0,0655
Falsa poa	20 - 25	0,03

La siembra de las semillas se realizó al voleo en las cantidades de 65,5 g vicia, 172,5 g avena forrajera, 62,5 g alfalfa y 30 g falsa poa, para cada unidad experimental teniendo en cuenta las fichas técnicas de las empresas comerciales (**Figura 3**).

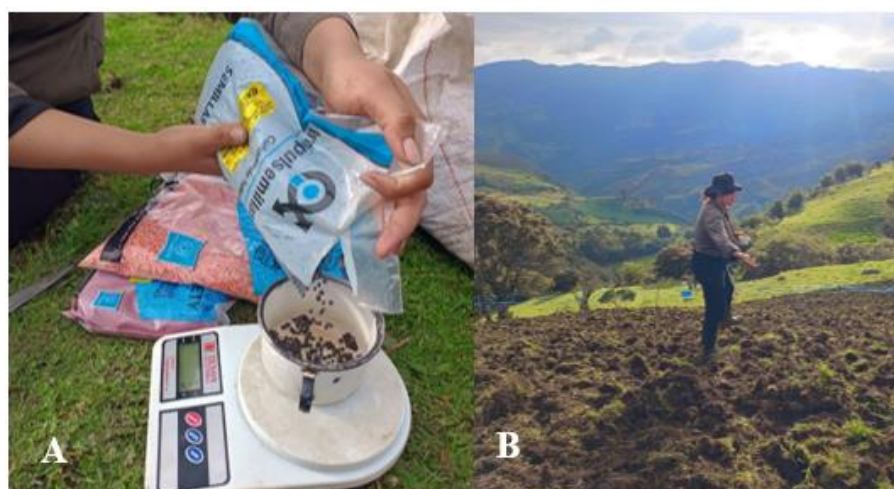


Figura 3. Establecimiento de las coberturas en cada unidad experimental. (A) Pesaje de semilla y (B) Siembra al voleo.

El ciclo de las coberturas en campo se realizó únicamente con el ciclaje de las coberturas. No se realizó manejo de arvenses ni se aplicó productos químicos o biológicos que pudieran alterar los resultados de la investigación. El corte de las coberturas se realizó a los 6 meses, tiempo en el cual los agricultores generalmente dejan crecer cualquier tipo de material vegetal u otro tipo de pasturas, con el fin de aprovecharlo con ganadería (**Figura 4**). La toma de las muestras para análisis de suelo fue colectada un mes después del corte de las coberturas.

El muestreo de suelos se realizó tomando una muestra compuesta a una profundidad de 0-20 cm en cada unidad experimental, las muestras para los análisis físicos, químicos, se guardaron en bolsa ziploc con capacidad de 1kg y previamente identificadas; las muestras biológicas se colocaron en bolsas ziploc con orificios de ventilación, protegiéndose de la luz y almacenadas en cajas térmicas con hielo mientras se recolecto la totalidad de las muestras (**Figura 4**). Las muestras se conservaron en heladera a 4 °C hasta las determinaciones biológicas (Rosatto et al., 2014). Las muestras para análisis físicos y químicos fueron secas al aire, tamizadas a 2 mm y conservadas para posterior determinación. Las muestras para análisis biológico fueron tamizadas a 2 mm conservando la humedad. Para la densidad aparente se tomaron muestras no disturbadas.



Figura 4. Procedimiento para la recolección de muestras de suelo: (A) Corte de coberturas vegetales, (B) Incorporación del material vegetal al suelo, (C) Empacado de muestras de suelo para análisis fisicoquímico y (D) Empacado de muestras de suelo para análisis biológico.

Variables evaluadas

Las variables determinadas fueron analizadas en el laboratorio de control de calidad de la Universidad de Pamplona:

Densidad Aparente (Da), se determinó usando la técnica del cilindro biselado muestra no disturbada, siguiendo la metodología de Jaramillo (2002).

La textura se determinó por método de Bouyoucos, para este procedimiento la muestra se encontraba disturbada, siguiendo la metodología:

Se pesaron 50 g de suelo, cernido por tamiz de 2 mm y seco al aire, siempre que no se note arenoso, caso en el cual se pesan 100 g de suelo. Seguido, se colocó el suelo en el vaso de una batidora (especialmente diseñada para no moler el suelo), se le agregaron 10 a 20 ml de dispersante y se batió durante 10 minutos. Se transfirió la suspensión anterior a un cilindro graduado de 1000 ml, se lavó el vaso con agua destilada y se completó el volumen del cilindro. Se agito la suspensión unas 10 veces, vigorosamente, con un émbolo de caucho y se dejó reposar, tomando registro del tiempo a partir del momento en que se retiró el émbolo. A los 40 s de reposo se hizo la primera lectura con el hidrómetro apuntando, además, la temperatura de la suspensión; con esta lectura se calculó el contenido de arena (A%) con la Fórmula:

$$A(\%) = \frac{100 - \text{Lectura corregida 40s}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Al terminar la lectura de los 40 s, se retiró el hidrómetro y se dejó en reposo la suspensión hasta completar 2 horas. Al cabo de éstas, se introdujo nuevamente el hidrómetro y se hizo otra lectura; se tomó también la temperatura; con esta lectura se calculó el contenido de arcilla (Ar%), utilizando la Fórmula:

$$Ar(\%) = \frac{100 - \text{Lectura corregida 2h}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Finalmente, se calculó el contenido de limo (L%) con la Fórmula:

$$L(\%) = 100 - (A(\%) - Ar(\%))$$

Los porcentajes obtenidos se compararon con el triángulo textural en el cual se define la clase textural correspondiente a la muestra tratada.

En la determinación del pH se siguió la metodología de Osorio (2012), se tomó suelo previamente tamizado a 2mm, se colocó en un vaso precipitado 250 ml y se le adiciono agua destilada en una proporción 1:1. Se agito durante un minuto con una varilla de vidrio y se dejó reposar por 30 minutos, posteriormente se colocó el potenciómetro dentro de la mezcla y se tomó la lectura del pH.

Para determinar el P disponible en el suelo se usó el método de Bray II, siguiendo la metodología propuesta por García y Ballesteros (2006).

Se realizó extracción, determinación y estandarización del número de esporas de micorrizas presentes en el suelo, utilizando la técnica que incluye el tamizado húmedo, decantación y flotación en azúcar en gradiente de sacarosa., para posteriormente observar las esporas en un estereoscópico siguiendo la metodología propuesta por Reyes et al. (2016); Rosatto et al. (2014).

Como otra propiedad biológica de la calidad del suelo, se determinó la actividad enzimática de la ureasa y deshidrogenasa siguiendo la metodología de Henríquez et al. (2014).

La CIC real se determinó mediante extracción con acetato de amonio (Preciado et al., 2024) y se evaluó teniendo en cuenta su importancia en la salud y fertilidad de los suelos, ya que por medio de esta se puede conocer la capacidad que tiene el suelo para retener y liberar nutrientes esenciales para las plantas (Cruz et al., 2020).

La cantidad de MO se determinó por el método de calcinación que consiste en la medición de la pérdida de peso por ignición de la muestra de suelo. Se pesaron 10 gr de suelo, que llevaron a una temperatura de 105° por 2 horas para tener las muestras completamente secas, posteriormente se llevaron por 1 hora a la mufla a 360°. El objetivo del método es destruir la MO por calor, ocasionado la oxidación de las formas condensadas de humus y residuos orgánicos apenas alterados (Barrezueta et al., 2020). Para determinar el porcentaje de MO de cada unidad experimenta, se aplicó la formula:

$$\% \text{ MO} = [(P1-P2)/(P2-C)] * 100$$

Donde:

P1= Peso del suelo antes de la calcinación

P2= Peso después de la calcinación

C= Peso del crisol

Una vez determinado el porcentaje de MO, se procedió a realizar el cálculo para hallar el nitrógeno total del suelo, dividiendo el resultado de MO en 20 como indica Villaneda y Cuesta (2005).

Métodos de análisis

Los datos obtenidos de las variables físicas, químicas y biológicas, se analizaron mediante el paquete estadístico InfoStat, utilizando un análisis de experimento en serie, con evaluación de normalidad.

Se realizó la prueba de TUKEY $< 0,05$., teniendo en cuenta que el propósito central de la investigación es comparar todas las alternativas incluyendo el testigo y no comparar las alternativas en relación al testigo.

Para evaluar la calidad biológica y química del suelo, se realizó un análisis multivariado de componentes principales mediante el programa estadístico PAST.

Resultados y discusión

Diferencias físicas entre los sistemas PR y PA

Se caracterizó la textura del suelo por el método de Bouyoucos en los dos sistemas productivos. En el análisis realizado se observaron altas cantidades de arena; en el PR se presentó 66,22% y en el suelo post-cultivo de papa un 51,22%. En cuanto a la arcilla 18,5 % y 21,59% respectivamente, los porcentajes de limo fueron de 15,28% y 27,9% lo que da como resultado para el PR con una textura franco-arenosa y para el sistema post-cultivo de papa una textura franca. Si bien el método utilizado no es el ideal para análisis de suelos del origen volcánico, los resultados son acertados con estudios realizados, como el de Manna et al. (2018), donde exponen que los suelos andisoles se caracterizan por presentar texturas francas.

Los resultados de la densidad aparente (**Figura 5**), son bajos (**Tabla 3**) en los dos sistemas productivos teniendo en cuenta que los suelos de páramo se caracterizan por tener baja densidad aparente debido a su alto contenido de MO y su mineralogía como señala Llambí et al. (2012); sin embargo, lo ideal sería que presentaran una densidad aparente menor, teniendo en cuenta que los suelos andisoles se caracterizan por tener densidad aparente < 9 tal como expone Fernández et al. (2019). Se logra evidenciar que en el PR los niveles de densidad aparente son más bajos en comparación con el PA, en el cual se hace uso de maquinaria agrícola constantemente y no se implementan técnicas de conservación de suelo. Asimismo, Daza et al. (2014) evidenciaron que la densidad aparente es mayor en las parcelas con cultivo de papa en comparación a las de ganadería, descanso y nativo.

Tabla 3. Interpretación de densidad aparente.

Densidad aparente (g cm ⁻³)	Interpretación
<1,	Muy baja
1,0 – 1.2	Baja

1,2 – 1,5	Media
1,5 – 1,7	Alta
>1,7	Muy alta

*Fuente: IGAC (2016).

Continuar con el uso constante de maquinaria en los suelos de páramo, generaría un aumento progresivo de la densidad aparente. Li et al. (2020) afirma que, estas prácticas también afectan la resistencia a la penetración del suelo, Daza et al.(2014) determinaron en zona de páramo, la resistencia a la penetración en un sistema de descanso antes intervenido, donde observaron valores de 15 kg m² en los primeros 10 cm, y 42 kg m² a los 30 cm lo que limitaba el desarrollo de las plantas y a su vez genera la reducción de los rendimientos de los cultivos. Adicionalmente Hernández et al. (2017) mencionan que, la densidad aparente es una de las propiedades físicas que pueden cambiar en un tiempo relativamente corto, confirmando los resultados obtenidos en PA (**Figura 5**). Daza et al. (2014) hace referencia que la recuperación de esta propiedad es de lenta debido a factores edáficos y las bajas temperaturas que se presentan en zonas de páramo.

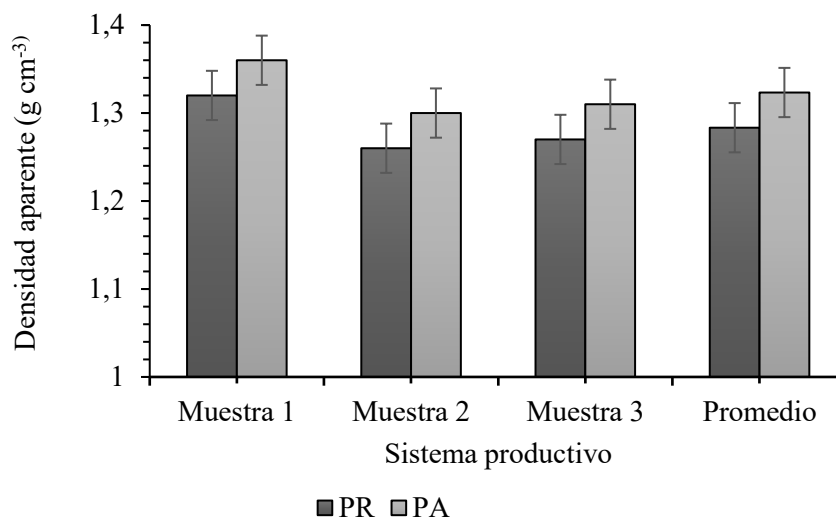


Figura 5. Densidad aparente $\pm$ error estándar (g cm⁻³) para los dos sistemas productivos.

Efecto de las coberturas en las propiedades químicas del suelo

El uso de coberturas de forma general en el sistema de praderas no influyó en las propiedades químicas evaluadas. En cuanto a pH, MO y P del suelo, las diferentes coberturas evidenciaron un desempeño semejante con valores próximos entre los tratamientos. (**Tabla 4**).

Tabla 4. Comparación de los tratamientos respecto a las propiedades químicas del suelo en el PR y PA.

Sistemas productivos	Variables	Tratamientos						
		Sin cobertura	Avena	Alfalfa	Vicia	Falsa Poa	CV	DMS
PR	pH	5,54 a	5,63 a	5,59 a	5,62 a	5,82 a	7,45	1
	MO %	25,55 a	24,43 a	27,03 a	23,35 a	24,35 a	18,86	10,6
	N Total %	1,3 a	1,2 a	1,4 a	1,2 a	1,2 a	-	-
	P mg kg ⁻¹	7,49 a	3,71 a	3,43 a	3,14 a	3,43 a	87,63	8,4
	CIC cmol kg ⁻¹	24,98 a	18,45 ab	20,55 ab	19,75 ab	16,83 b	17,54	8,0
PA	pH	4,52 a	4,71 a	4,77 a	4,71 a	5,04 a	5,89	0,63
	MO %	26,20 a	24,15 a	23,13 a	21,35 a	27,20 a	22,01	12,1
	N Total %	1,31 a	1,2 a	1,2 a	1,1 a	1,4 a	-	-
	P mg kg ⁻¹	5,43 b	11,14 a	8,00 ab	7,43 ab	3,14 b	31,66	5,0
	CIC cmol kg ⁻¹	17,55 a	20,05 a	20,80 a	20,13 a	21,63 a	20,29	9,2

* Medias en la columna seguidas por letra diferente difieren ($p < 0,05$)

Para la CIC, el tratamiento sin cobertura presentó los mayores valores y fue superior a la cobertura con falsa poa. Al respecto, se estima que, el tiempo del establecimiento de las coberturas fue poco para que tuviera una influencia más significativa en los parámetros químicos evaluados.

Las coberturas vegetales en el PA solamente presentaron una diferencia en cuanto a la variable P. El pH, MO y CIC estadísticamente no presentaron significancia al tener valores semejantes entre ellos (**Tabla 4**).

Los resultados de pH del suelo, no se alejan del rango que menciona Díaz et al. (2005), quien indica que los suelos de paramo se caracterizan por ser ácidos, con pH entre 3,9 y 5,4.

Los valores de pH en el PA son notablemente más ácidos que los del PR, debido a las quemadas que se realizan por parte de los agricultores previo a la siembra de los cultivos como un método de control de malezas, los resultados son acordes a los obtenidos por Carrión et al. (2023) quien en su investigación menciona que los valores de pH del suelo después de un incendio de baja severidad oscilan entre 4,1 y 4,5 en zonas de páramo. Adicionalmente la aplicación constante de fertilizantes nitrogenados genera con el tiempo una disminución de los niveles de pH, esta afirmación se puede comparar con la investigación realizada por Zhang et al. (2022), donde encontraron que en los sistemas modernos de cultivos intensivos basados en la aplicación de altos insumos provocan una disminución del pH del suelo.

Por otra parte, se conoce que el suelo cuenta con un poder amortiguador por el cual, la aplicación de ácidos o bases no varía en gran medida su pH. Ginés y Mariscal (2002) explican que, el poder amortiguador está relacionado, por un lado, con la existencia de coloides en su composición. Y por otro, está relacionado con su capacidad de intercambio iónico; cuanto mayor sean estos dos factores, mayor poder amortiguador tendrá el suelo.

Dependiendo del tipo de suelo, la capacidad de amortiguación será distinta, Llambí et al. (2012) refuerza la premisa de la gran capacidad de amortiguación que tienen los suelos de páramo y menciona, además, que, si se desea subir el pH, mediante la adición de cal, los cambios no son notables, aunque se aumente la aplicación, a menos que se llegue a rebasar cierto valor de cantidad aplicada.

Los porcentajes de MO no presentaron diferencia significativa a nivel estadístico en ninguno de los tratamientos, si se observan los valores de los dos sistemas se puede evidenciar que los datos no varían mucho entre sí y se puede confirmar con los valores del CV que indica la dispersión relativa de los datos respecto a su media.

De los resultados obtenidos respecto a la variable MO, cabe resaltar el alto porcentaje que esta presenta en los dos sistemas, esto se debe a los bajos niveles de temperatura y presión atmosférica que reducen las tasas de descomposición de la MO que se almacena (Ingaramo

et al., 2007; Pinos et al., 2021). Adicionalmente Patiño et al. (2021) señala que, presentar un alto contenido de MO, es una de las características más predominantes en los suelos de páramo.

Por otra parte, la determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable es indispensable, ya que es la fracción de nitrógeno asimilable para las plantas, su determinación es clave para realiza planes de fertilización de acuerdo con las necesidades del cultivo, sin llegar ocasionar impactos ambientales negativos y garantizando la sostenibilidad ambiental.

En la comparación de los PR y PA no se obtuvieron valores significativamente diferentes de fósforo, sin embargo, las cantidades de P en el PA son relativamente más altas que en PR, la diferencia puede estar relacionada a la fertilización que se realiza en el cultivo de papa cada año con la siembra de esta. Sin embargo, los niveles de P en los dos sistemas son bajos, como menciona Lizcano et al. (2017) los valores $<15 \text{ mg kg}^{-1}$ son deficientes.

Los tratamientos de avena, alfalfa, vicia y falsa poa presentaron valores similares en comparación con el tratamiento sin cobertura, el cual presento el valor más alto de P en el sistema productivo PR. La diferencia del resultado puede estar estrechamente relacionada con la cantidad de micorrizas que se obtuvieron en dicho tratamiento, teniendo en cuenta que fue el que presento mayor número de esporas por gramo de suelo, Daza (2010) explica que en algunos casos los hongos micorrízicos pueden incrementar la disponibilidad de fósforo para las plantas y Molina et al. (2005) destacan que, el papel de las micorrizas es ayudar a las plantas a incrementar la eficiencia de la utilización del fósforo.

En el PA se observa valores muy distintos en cada uno de los tratamientos, siendo el más alto el correspondiente al tratamiento con avena. En campo, el desarrollo de la avena fue superior a cualquier otra cobertura, por lo que el resultado puede deberse al comportamiento de esta gramínea en el sistema. Hallama et al. (2019), menciona que, uno de los beneficios de los cultivos de cobertura, es que estos tienen el potencial de ajustar el ciclo de nutrientes en los diferentes sistemas agrícolas aumentando la nutrición y el rendimiento del P de los cultivos.

La CIC presentó diferencia significativa entre los tratamientos de sin cobertura y falsa poa en el sistema PR. Los niveles de CIC en la mayoría de los tratamientos de los dos sistemas se ubican entre 20 y 35 meq 100g^{-1} (Moro, 2015). Los niveles bajos de CIC en el PR en el

tratamiento de Falsa poa puede ser causado por la baja germinación de la semilla y poco crecimiento y desarrollo en comparación de los otros tratamientos.

Cruz et al. (2020) demostraron que, la CIC de suelo con menos del 25% de arcillas y mayor contenido de MO, es influenciada por el pH. Los resultados obtenidos en esta investigación son acordes con lo planteado por Cruz et al. (2020) quienes enfatizan que los niveles bajos de pH pueden influenciar la CIC, ya que los contenidos de arcillas en cada una de las muestras están por debajo de 24% y se tiene altos contenidos de MO por lo que se esperaba que la CIC fuera directamente proporcional a esta.

Efecto de las coberturas vegetales sobre las propiedades biológicas del suelo

En el PR, las coberturas de avena y vicia influyeron significativamente en la variable ureasa y en el PA Sin cobertura y avena fueron las que presentaron significancia para la misma variable (**Tabla 5**). Sin embargo, en la variable micorriza a pesar de que los resultados no fueron significativamente diferentes, se pudo observar que, el tratamiento sin cobertura presentó los valores más altos de esporas en gramo de suelo, evidenciando que, las plantas que se desarrollaron en las unidades experimentales sin cobertura generaron una buena simbiosis con los hongos micorrízicos. El raigrás (*Lolium perenne*) fue la planta que se desarrolló principalmente en el tratamiento sin cobertura, esta gramínea es resultado del banco de semillas presente en el PR. Yang et al. (2019) menciona que, el raigrás desarrolla raíces y numerosos macollos que forman fácilmente micorrizas en condiciones naturales, por otra parte, (García et al. (2016) indica que, numerosos antecedentes han demostrado una importante presencia de micorrizas en especies de gramíneas.

Tabla 5. Comparación de los tratamientos respecto a las propiedades biológicas en el PR y PA.

Sistemas productivos	Variables	Tratamientos						
		Sin cobertura	Avena	Alfalfa	Vicia	Falsa Poa	CV	DMS
PR	Micorrizas Esporas g ⁻¹	677 a	308 a	594 a	597 a	311 a	58	652
	Ureasa mmol L ⁻¹	8,35 ab	9,61 a	8,45 ab	6,65 b	7,32 ab	15,3	2,784
	Deshidrogenasa μg TTF g ⁻¹ 24 h ⁻¹	69,42 a	71,68 a	68,26 a	66,95 a	66,04 a	10,79	2,005
PA	Micorrizas Esporas g ⁻¹	155 a	85 a	270 a	308 a	219 a	81	381
	Ureasa mmol L ⁻¹	9,05 b	14,57 a	14,23 ab	12,36 ab	9,05 b	19,54	5,217
	Deshidrogenasa μg TTF g ⁻¹ 24 h ⁻¹	45,24 a	45,65 a	49,66 a	44,39 a	46,93 a	14,77	15,438

* Medias en la columna seguidas por letra diferente difieren (p < 0,05)

En el PA, así como en el PR, la aplicación de coberturas vegetales no influyó significativamente en ninguna de las variables biológicas evaluadas, sin embargo, cabe resaltar que, en las micorrizas las plantas leguminosas alcanzaron valores más altos de número de esporas por gramo de suelo, que los tratamientos con gramíneas y sin cobertura Valdiviezo et al. (2024) describe que, los hongos micorrízicos se asocian a las leguminosas ayudando a la fijación de nitrógeno, la absorción de nutrientes y promoviendo el crecimiento vegetal.

Se evidencio una baja colonización de esporas de micorriza en PA comparado con el sistema PR, probablemente por la constante aplicación de altas dosis de fertilizantes nitrogenados y herbicidas, la ausencia de descanso del suelo y el uso de maquinaria agrícola. Estas prácticas no solo alteran el equilibrio natural microbiológico, sino que influye además en procesos erosivos y de pérdida de la MO (Ojeda et al., 2014).

Por otra parte, Noda (2009) plantea que, a bajos niveles de P, las especies de pastos dependen mucho de las micorrizas. Hayman (1986) afirma que algunas leguminosas crecen tan mal sin micorriza que son ecológicamente obligadas a micorrizar. Por lo que se puede confirmar que el alto contenido de esporas en el suelo del PR está estrechamente relacionado con los bajos niveles de P presentes en este (**Tabla 5**). Adicionalmente, por la ausencia de fertilización en el sistema, el tiempo de descanso del suelo y la poca aplicación de productos de síntesis química que limiten el crecimiento y desarrollo de los hongos micorrízicos.

En la comparación de la actividad de la ureasa en los dos sistemas se logró evidenciar una diferencia significativa en PR en los tratamientos de avena y vicia y en PA en el tratamiento sin cobertura, falsa poa y avena. En el PA existe mayor actividad enzimática posiblemente relacionada con el tipo de MO que se usa en el ciclo vegetativo del cultivo, en este caso principalmente gallinaza. Según Reyes (2019) la actividad de la ureasa es dependiente al tipo de MO más que al contenido de MO.

La actividad enzimática en el PA en comparación con el PR es mayor en todos los tratamientos a pesar de no tener significancia estadística, los resultados coinciden con Avellaneda et al. (2012), quienes describen que, la actividad de la ureasa es mayor en los suelos con manejo convencional de cultivo de papa con respecto a los suelos bajo pastizal sin aplicación de agroinsumos, lo cual estar relacionado con el efecto de la fertilización química y la presencia de plaguicidas que posiblemente han promovido la actividad de la ureasa en los consorcios bacterianos evaluados, como respuesta a fenómenos de adaptación microbiana a xenobióticos presentes en el suelo, dada la frecuente aplicación de agroinsumos en el cultivo de papa.

La deshidrogenasa es un indicador para determinar la calidad y manejo agronómico de un suelo, esta enzima junto con la ureasa, son las responsables de la liberación de C, N, y P Henríquez et al. (2014).

La actividad enzimática de la deshidrogenasa es considerada un indicador de la actividad oxidativa de los microorganismos del suelo Jat et al. (2021). Al realizar la comparación de los dos sistemas, se puede evidenciar que no se encontró diferencia significativa entre ningún tratamiento.

Sin embargo, en el PR se logró evidenciar valores mayores de la actividad enzimática, esto debido a la alta presencia de microorganismos en el suelo, comparado con el PA. Acosta y Paolini (2005) indican que, la actividad de la deshidrogenasa es un reflejo de las actividades oxidativas de la microflora del suelo. Esta enzima está asociada a los microorganismos y no es estabilizada por los coloides inorgánicos y orgánicos del suelo.

En general, en los dos sistemas comparados, los tratamientos demostraron que tanto gramíneas como leguminosas generan resultados aceptables, a pesar el poco tiempo de establecimiento de ellas en campo. Es recomendable que el tiempo de establecimiento de las coberturas sea mayor para lograr diferencias significativas entre los tratamientos. Por otra parte, la avena fue la cobertura que mejor se desarrolló en los dos sistemas, seguida de la vicia, falsa poa y alfalfa, a pesar de que Jaramillo (2022) postula que, leguminosas son más tolerantes que las gramíneas a la acidez y al bajo suministro de fósforo.

En términos generales cualquiera de las coberturas establecidas, ayudan favorablemente a la recuperación de suelos de páramo, sin embargo, la avena y la vicia son las que mejor se desarrollan en campo, por lo que hacer una asociación de estas plantas podría generar mejores resultados en cuanto a la recuperación de suelos de páramo, ya que se conoce que la siembra conjunta de estas dos plantas aporta grandes beneficios al suelo y a la producción del forraje, Espinoza et al. (2018) explica como el cultivo asociado de avena con vicia favorece el rendimiento de forraje verde comparado con el rendimiento de forraje verde del monocultivo de avena a una altura de 4035 m sobre el nivel del mar.

Calidad biológica y química del suelo

Al realizar el análisis PCA (**Figura 6**) se visualiza la relación entre las coberturas usadas y las variables del suelo evaluadas. Los puntos indican el tipo de cobertura y la distribución de estas en torno a las variables. Las flechas muestran la magnitud de la contribución de las variables a los componentes principales.

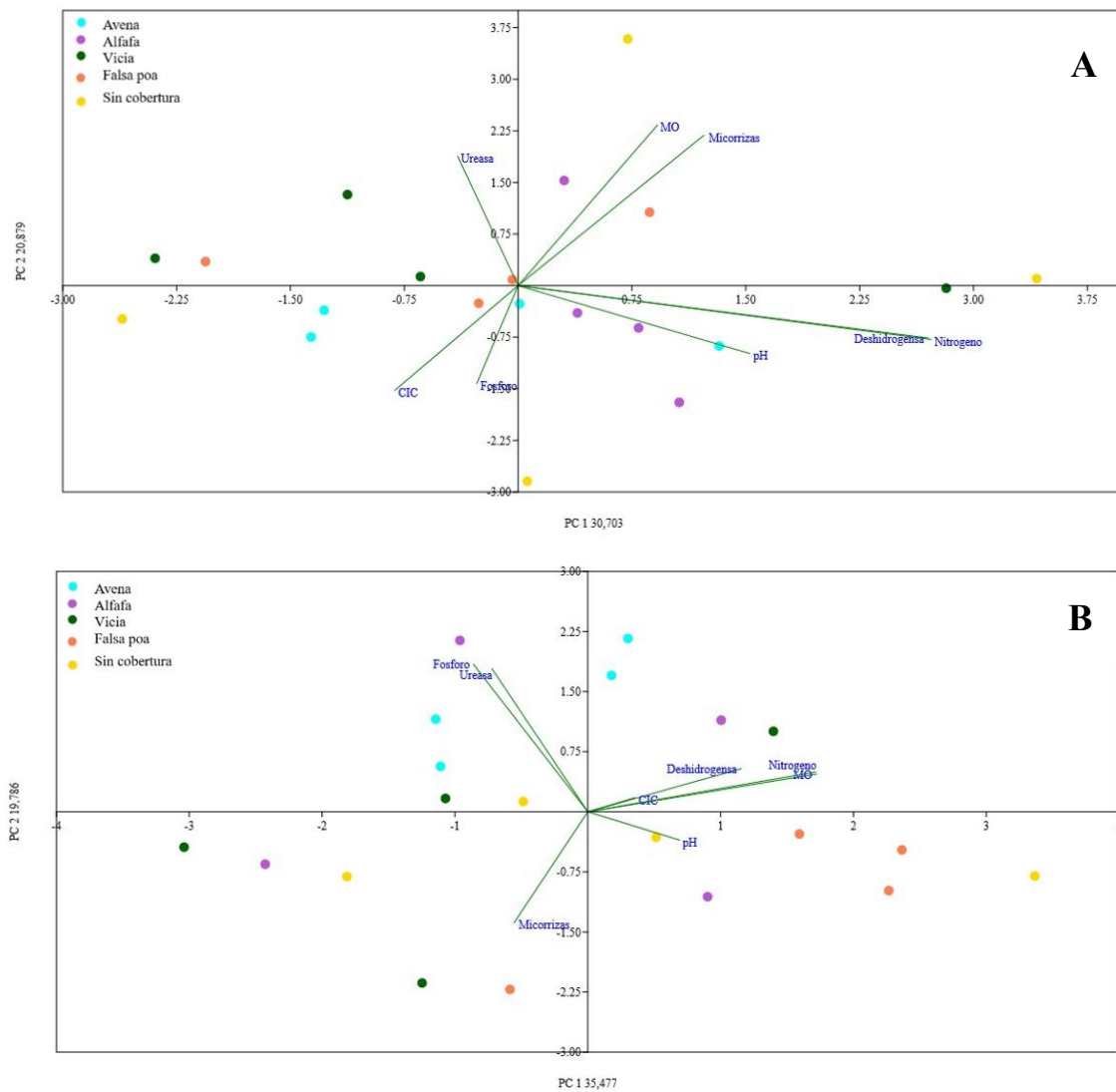


Figura 6. Análisis de componentes principales (PCA) en los sistemas. **(A)** PR y **(B)** PA.

Para el sistema PR, el componente principal PC1 presentó una explicación de 30,703% de los datos, mientras que, el componente principal PC2 presentó una explicación de 20,879 % de los datos. Para este sistema se observó una asociación positiva entre las coberturas, con fuertes correlaciones positivas de MO y Micorrizas con los tratamientos alfalfa, falsa poa y sin cobertura, sin embargo, no fue tan clara, por la dispersión de datos al igual que con las variables P y CIC. También se presentó fuerte correlación negativa con pH para los tratamientos alfalfa y avena. Por otro lado, asociaciones positivas con vicia, fueron observadas para la variable ureasa.

Correlaciones positivas con deshidrogenasa y nitrógeno fueron observadas para la cobertura vicia.

Para el sistema PA, el PC1 mostró una explicación de 35,477 % y PC2 19,786%. Se observó una correlación positiva en el tratamiento con avena para las variables P y ureasa, y una fuerte correlación negativa con micorrizas fueron observadas para los tratamientos vicia y falsa poa. Por otro lado, asociaciones positivas con falsa poa fueron observadas para la variable pH.

Se observa que el CIC no presenta correlación con ninguno de los tratamientos, mientras que, el NT y la MO presentan alta correlación entre ellas. Por otra parte, en la variable micorriza no se presenta correlación con los tratamientos ya que se observa una alta dispersión de los tratamientos.

Conclusiones

La caracterización de los parámetros físicos, textura y densidad aparente en los suelos del páramo del Almorzadero, permitió evidenciar diferencias entre los usos del suelo, reflejando la importancia de la implementación de técnicas de conservación con el fin de evitar desequilibrios en el funcionamiento normal del suelo.

Las coberturas vegetales establecidas en los sistemas agropecuarios en el páramo del Almorzadero, presentaron diferencias significativas en algunas de las variables evaluadas, sin embargo, existe una estrecha relación entre los tratamientos que no permite clasificarlas y compararlas de acuerdo con su funcionamiento y aporte a la recuperación de suelos de páramo.

Recomendaciones

Con base a los resultados obtenidos en la investigación, se recomienda extender la evaluación a más de un ciclo vegetativo de las coberturas vegetales, con el propósito de capturar de manera más precisa su dinámica de crecimiento, persistencia y efectos acumulativos sobre las propiedades del suelo. La evaluación en ciclos múltiples permita identificar comportamientos diferenciados entre especies.

Por adaptación a las condiciones climatizadas de zona de páramo sugerimos realizar una asociación de vicia y avena forrajera, teniendo en cuenta que fueron las plantas que presentaron un mejor crecimiento en campo.

Referencias

- Acosta, Y., & Paolini, J. (2005). ACTIVIDAD DE LA ENZIMA DESHIDROGENASA EN UN SUELO CALCÍFICO ENMENDADO CON RESIDUOS ORGÁNICOS. *Agronomía Tropical*, 55(2), 217-232.
- Africano, K. L., Cely, G., & Serrano, P. (2016). Potencial de captura de CO₂ asociado al componente edáfico en páramos Guantiva-La Rusia, departamento de Boyacá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 21(1), 91-110.
- Aguirre, S., Piraneque, N., & Fernández, T. (2022). *Suelo y cambio climático*. Editorial Unimagdalena. <https://editorial.unimagdalena.edu.co/>
- Ariza, C. (2018). *LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA COMO ESTRATEGIA PARA LA SUSTITUCIÓN Y RECONVERSIÓN PRODUCTIVA EN LA DELIMITACIÓN DEL PÁRAMO CRUZ VERDE – SUMAPAZ*. [Tesis de postgrado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/d03360c1-9bde-4607-b07a-399ae2a0917a/content>
- Avellaneda, L. M., Melgarejo, L. M., Narváez, C. E., & Sánchez, J. (2012). Actividades Enzimáticas en Consorcios Bacterianos de Suelos Bajo Cultivo de Papa con Manejo Convencional y Bajo Pastizal. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(1), 6349-6360.
- Avellaneda, L., Sicard, T., Castro, E., & Rojas, E. (2020). Potato cultivation and livestock effects on microorganism functional groups in soils from the neotropical high Andean *Páramo*. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 44, e0190122. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190122>
- Barrezueta, S., Cervantes, A., Ullauri, M., Barrera, J., & Condoy, A. (2020). EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE IGNICIÓN PARA DETERMINAR MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA PROVINCIA EL ORO-ECUADOR. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 19(2), 25-36. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.9747>
- Bermúdez, D. (2023). *Páramo de Tota: Donde había frailejones, hoy hay cebolla, papa y vacas*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/paramos-asi-es-como-agricultura-y-ganaderia-han-transformado-los-ecosistemas-792130>
- Cadena, C., & Sarmiento, C. (2015). *Cambios en las coberturas paramunas | Biodiversidad 2015* (No. Ficha 204). <https://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2015/cap2/204/>
- Calderón, C., Bautista, G., & Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141-157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>

- Calvo, L. (2021). *Implementación de la alfalfa en la rotación de cultivos* [Tesis de pregrado, Universidad Siglo XXI]. <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/21656>
- Camara de comercio de Bucaramanga. (2018). *Sectores lácteos en provincias de Santander. (Nº9). - Buscar con Google*.
<https://www.camaradirecta.com/temas/documentos%20pdf/informes%20actualidad%20provincias/informe%20lacteos%20provincias.pdf>
- Cárdenas, M. (2015). *Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna Monjas Bajo, parroquia Juan Montalvo, cantón Cayambe* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9368>
- Carrión, V., Fries, A., Hinojosa, M. B., Oña, A., Álvarez, L. J., Benítez, Á., Rodríguez, F. L., & García, R. (2023). Effects of Low-Severity Fire on Soil Physico-Chemical Properties in an Andean Páramo in Southern Ecuador. *Fire*, 6(12), Article 12.
<https://doi.org/10.3390/fire6120447>
- Castañeda, A., & Montes, C. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210-221. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>
- Cruz, W., Rodríguez, L., Salas, M., Hernández, V., Campos, R., Chávez, M., & Gordillo, A. (2020a). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Cruz, W., Rodríguez, L., Salas, M., Hernández, V., Campos, R., Chávez, M., & Gordillo, A. (2020b). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 475-480. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Daza, M., Hernández, F., & Triana, F. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 67(1), 7189-7200. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42642>
- Daza, P. (2010). *La micorrizas extreen fosforo de capas profundas del suelo—Buscar con Google* [Tesis de postgrado, Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69974/79948097.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Delgado, A., & Gómez, J. (2024). The Soil: Physical, Chemical, and Biological Properties. En F. Villalobos & E. Fereres (Eds.), *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* (pp. 15-30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69150-8_2
- Demagnet, R. (2022). *Vicia forrajera (Vicia benghalensis L. syn. Vicia atropurpurea Desf.): Manual de cultivos suplementarios Cap.14*. Engormix.
https://www.engormix.com/ganaderia/verdeos/vicia-forrajera-vicia-benghalensis_a48909/

- Díaz, J. S. G., Delgado, N. O., Gamboa, A. B., Bunning, S., Guevara, M., Medina, E., Olivera, C., Olmedo, G., Rodríguez, L. M., Sevilla, V., & Vargas, R. (2020). Estimación del carbono orgánico en los suelos de ecosistema de páramo en Colombia: *Ecosistemas*, 29(1), Article 1. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1855>
- Díaz, M., Navarrete, J., & Suárez, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 22, 64-75.
- Espinoza, F., Nuñez, W., Ortiz, I., & Choque, D. (2018). Producción de forraje y competencia interespecífica del cultivo asociado de avena (*Avena sativa*) con vicia (*Vicia sativa*) en condiciones de secano y gran altitud. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(4), 1237-1248. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i4.15202>
- FAO. (s. f.-a). *Cobertura vegetal del suelo, Agricultura de conservación*. Agricultura de conservación. Recuperado 4 de junio de 2025, de https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/?utm_source=chatgpt.com
- FAO. (s. f.-b). *Definiciones | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Portal de Suelos de la FAO. Recuperado 23 de abril de 2025, de <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- FEDEPAPA. (2022). *Boletín regional departamentos de Santander y Norte de Santander. Volumen 6. - Buscar con Google* (No. 6). [https://www.google.com/search?q=FEDEPAPA.+\(2022\).+Boletín+regional+departamentos+de+Santander+y+Norte+de+Santander.+vol%C3%BAmen+6.&oq=FEDEPAPA.+\(2022\).+Boletín+regional+departamentos+de+Santander+y+Norte+de+Santander.+vol%C3%BAmen+6.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzM1NGowajeoAgiwAgHxBWslk4BFXJiE8QVrJZOARVyYhA&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=FEDEPAPA.+(2022).+Boletín+regional+departamentos+de+Santander+y+Norte+de+Santander.+vol%C3%BAmen+6.&oq=FEDEPAPA.+(2022).+Boletín+regional+departamentos+de+Santander+y+Norte+de+Santander.+vol%C3%BAmen+6.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzM1NGowajeoAgiwAgHxBWslk4BFXJiE8QVrJZOARVyYhA&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Fernández, C. J., Cely, G. E., & Serrano, P. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 121-133. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.66152>
- Figueroa, M. D. L., Martínez, M. R., Ortiz, C. A., & Fernández, D. S. (2018). Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 36(3), 287-299. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.259>
- Galindo, L. A. G., Rivas, A. C., López, J. P. M., & Moreno, N. M. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et Technica*, 25(1), Article 1. <https://doi.org/10.22517/23447214.22461>
- García, J., & Ballesteros, M. (2006). EVALUACIÓN DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE FOSFORO DISPONIBLE EN SUELOS. *Revista Colombiana de Química*, 35(1), 81-89.

- García, S., Pezzani, F., Rodríguez, A., & del Pino, A. (2016). Micorrizas en gramíneas nativas: Efecto de la fertilización fosfatada a largo plazo. *Agrociencia (Uruguay)*, 20(1), 7-16.
- Ginés, I., & Mariscal, I. de L. (2002). *Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo* [Info:eu-repo/semantics/other, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/3176/>
- Guamán, P., Basante, C., & Mármol, J. (2023). Ventajas de la aplicación de cobertura vegetal en los cultivos agroecológicos: Advantages of the application of vegetation cover in agroecological crops. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.1032>
- Hallama, M., Pekrun, C., Lambers, H., & Kandeler, E. (2019). Hidden miners – the roles of cover crops and soil microorganisms in phosphorus cycling through agroecosystems. *Plant and Soil*, 434(1), 7-45. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3810-7>
- Hayman, D. S. (1986). Mycorrhizae of nitrogen-fixing legumes. *MIRCEN Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, 2(1), 121-145. <https://doi.org/10.1007/BF00937189>
- Henríquez, C., Uribe, L., Valenciano, A., & Nogales, R. (2014). *Actividad enzimática del suelo - Deshidrogenasa, -glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa- bajo diferentes cultivos*. 38(1), 43-54.
- Hernández, A., Vera, L., Naveda, C. A., Guzmán, Á. M., Vivar, M., Zambrano, T., Mesías, F., Ormanza, K., León, R. V., & López, G. A. (2017). Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 50-56.
- Herrera, H. (2018). Suelos andisoles: Importancia y amenazas | Interamerican Association for Environmental Defense [Blog]. *AIDA*. <https://aida-americas.org/es/blog/suelos-andisoles-importancia-y-amenazas>
- Hoffland, E., Kuyper, T., Comans, R., & Creamer, R. (2020). Eco-functionality of organic matter in soils. *Plant and Soil*, 455(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04651-9>
- IGAC. (2021). *CLASIFICACIÓN DE LAS TIERRAS POR SU CAPACIDAD DE USO. (IN-GAG-PC05-02)*. -. https://www.igac.gov.co/sites/default/files/listadomaestro/in-gag-pc05-02_clasificacion_de_las_tierras_por_su_capacidad_de_uso.pdf
- Ingaramo, O., Paz, J., Mirás, J., & Vidal, E. (2007). *Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo*. 32(127-137). <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/6334>
- Issah, G., Schoenau, J., Lardner, H., & Knight, D. (2020). Nitrogen Fixation and Resource Partitioning in Alfalfa (*Medicago sativa* L.), Cicer Milkvetch (*Astragalus cicer* L.) and Sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) Using ¹⁵N Enrichment under Controlled Environment Conditions. *Agronomy*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091438>
- Jaramillo, D. (2022). *INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO, Medellín, Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf>

- Jat, H. S., Datta, A., Choudhary, M., Sharma, P. C., Dixit, B., & Jat, M. L. (2021). Soil enzymes activity: Effect of climate smart agriculture on rhizosphere and bulk soil under cereal based systems of north-west India. *European Journal of Soil Biology*, 103, 103292. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103292>
- Koudahe, K., Allen, S., & Djaman, K. (2022). Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(3), 343-354. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003>
- Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *ResearchGate*, 10(9), 1438. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Leveron, R. (2020). *Análisis de los beneficios de la utilización de cultivos de cobertura*. [Tesis de pregrado]. Escuela Agrícola Panoamericana.
- Li, Y., Li, Z., Cui, S., & Zhang, Q. (2020). Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture. *Geoderma*, 361, 114099. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114099>
- Lizcano, R., Olivera, D., Saavedra, D., Machado, L., Valencia, E., Moreno, M., & Flórez, M. (2017). *Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos*. <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/7793>
- Llambí, L. D., Soto-W., A., Célleri, R., & Bièvre, B. de (Eds.). (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos: Proyecto Páramo Andino*. Proyecto Páramo Andino.
- López, J., & Boronat, R. B. (2016). Aspectos básicos de la fijación de nitrógeno atmosférico por parte de bacterias. Estudio en el laboratorio de educación secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 203-209.
- Manna, L., Tarabini, M., Gómez, F., Nou, P., Yogel, B., & Buduba, C. (2018). *Walter holding capacity of volcanic soils estimated by easily measured variables*. 36(1), 23-29.
- Martínez, F. (2020). Ficha Técnica de La Falsa Poa (*Holcus lanatus*) – Pastos y Forrajes. *Info Pastos y forrajes*. <https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo-de-clima-frio/ficha-tecnica-de-la-falsa-poa-holcus-lanatus/>
- Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. (s. f.). *EXPEDIENTE MUNICIPAL (E.M) Municipio de Cerrito Santander*. (p. 108) [Expediente municipal].
- Molina, M., Mahecha, L., & Medina, M. (2005). Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(2), 162-175.
- Morales, L., Morale, M., Estévez, A., & Ramos, A. R. (2019). Ética ambiental en la educación política e ideológica para el desarrollo sostenible en Salud. *Humanidades Médicas*, 19(3), 486-503.

- Morel, A., & Acosta, O. (2022). Calidad del suelo en diferentes usos y manejo por medio de la macrofauna como indicador biológico / Quality of the soil in the different uses and managements through macrofauna as a biological indicator. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 996-1006. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-074>
- Moro, A. (2015). *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. AQM Laboratorios. <https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- Nithinkumar, K., Nymisha, A., Gairola, A., Saikia, N., & Bagrecha, S. (2023). *Current Researcrh in soil fertility* (Ram Lakhan Ram, Vol. 10). AkiNik Publications. https://www.researchgate.net/publication/377953187_Soil_Fertility_Problems_and_their_Management_in_India
- Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1-10.
- Ojeda, L., Furrázola, E., & Hernández, C. (2014). Micorrizas arbusculares en leguminosas de la empresa pecuaria El Tablón, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 37(4), 392-398.
- Ortiz, M. A. D.-G., González, J. D. N., & López, T. S. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, 22, Article 22. <https://doi.org/10.16924/revinge.22.8>
- Osorio, N. (2012). *pH del suelo y disponibilidad de nutrientes*. 1(4). [https://www.google.com/search?q=Osorio%2C+N.+\(2012\).+pH+del+suelo+y+disponibilidad+de+nutrientes.+Manejo+Integral+del+Suelo+y+Nutrici%C3%B3n+Vegetal%2C+1\(4\)&rlz=1C1GCEA_enCO995CO995&oq=Osorio%2C+N.+\(2012\).+pH+del+suelo+y+disponibilidad+de+nutrientes.+Manejo+Integral+del+Suelo+y+Nutrici%C3%B3n+Vegetal%2C+1\(4\)&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzMxNmowajeoAgiwAgHxBUOyPHsiPU08QVDsjx7Ij1KdA&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Osorio%2C+N.+(2012).+pH+del+suelo+y+disponibilidad+de+nutrientes.+Manejo+Integral+del+Suelo+y+Nutrici%C3%B3n+Vegetal%2C+1(4)&rlz=1C1GCEA_enCO995CO995&oq=Osorio%2C+N.+(2012).+pH+del+suelo+y+disponibilidad+de+nutrientes.+Manejo+Integral+del+Suelo+y+Nutrici%C3%B3n+Vegetal%2C+1(4)&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzMxNmowajeoAgiwAgHxBUOyPHsiPU08QVDsjx7Ij1KdA&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Parra, J., & Ordoñez, R. (2020). Estimación de la captura de CO₂ en los suelos del páramo la Cortadera, Boyacá Colombia. *Universidad de la salle*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1887
- Patiño, S., Hernández, Y., Plata, C., Domínguez, I., Daza, M., Oviedo-Ocaña, R., Buytaert, W., & Ochoa-Tocachi, B. F. (2021). Influence of land use on hydro-physical soil properties of Andean páramos and its effect on streamflow buffering. *CATENA*, 202, 105227. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105227>
- Pérez, A., Galvis, A., Bugarín, R., Hernández, T., Vásquez, A., & Rodríguez, A. (2017). *Capacidad de intercambio catiónico: Descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+n)* Cation exchange capacity: Description of the silver thiourea method (AgTU+n)*. 8(1), 171-177.
- Pinos, D., Morales, O., & Durán, M. E. (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), Article 2. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.8>

Plan de desarrollo municipal 2020-2023. (s. f.).

Portillo, P., Meneses, D., Morales, S., Cadena, M., & Castro, E. (2019). Evaluación y selección de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño, Colombia. *Pastos y Forrajes*, 42(2), 93-103.

Preciado, J. F., Robledo, E., Pineda, J., Corlay, L., & Vázquez, A. (2024). Comparación de Métodos para Obtener la Capacidad de Intercambio Catiónico y Cationes Intercambiables de los Suelos. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-18. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1843>

Ramírez, R., Leiva, E. I., & Restrepo, R. F. (2021). Materia orgánica particulada y mineralogía de un Andisol bajo labranza y barbecho. *Acta Agronómica*, 70(4), 329-337. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.80861>

Resolucion 000261, Pub. L. No. 000261, 70 (2018). <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/Resoluci%C3%B3n%20No%20000261%20de%202018.pdf>

Rey, D., Bautista, E., Barrera, M., Domínguez, I., & Oviedo, É. (2022). *Vista de Estudio de línea base sobre la variabilidad espacial de la concentración de nitrógeno en el agua superficial de un agroecosistema de páramo en Colombia*. ACOFI. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/2256/1808>

Reyes, A. L. (2019). Características de la actividad enzimática y el humus en suelos de chinampa. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 339-349. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.487>

Reyes, A., Quiñones, E., Rincón, G., & López, L. (2016). Micorrización en *Capsicum annum* L. para promoción de crecimiento y bioprotección contra *Phytophthora capsici* L. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(4), 857-870.

Rincón, L. N. G. (2015). Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. *Ingeniare*, 19, Article 19. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.19.530>

Ríos, D., & Estigarribia, A. (2018). Descompactación biológica, una alternativa de solución a la compactación del suelo. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 2(2), Article 2. [https://doi.org/10.36003/Rev.investig.cient.tecnol.V2N2\(2018\)8](https://doi.org/10.36003/Rev.investig.cient.tecnol.V2N2(2018)8)

Rodríguez, H. (2021). *Se está perdiendo el ajo en las fincas de Santander Se está perdiendo el ajo en las fincas de Santander: Se está perdiendo el ajo en las fincas de Santander* [Caracol Radio]. https://caracol.com.co/emisora/2021/09/10/bucaramanga/1631292997_811247.html

Rosatto, L., Mello, R., Castellanos, L., Reyes, A., Caione, G., & Silva, N. (2014). Solubilización de fuentes de fósforo asociadas a un compuesto orgánico enriquecido con biofertilizantes. *Agrociencia*, 48(5), 489-500.

Sinaluisa, F. (2021). *Valoración de la relación c/n de dos cultivos de cobertera vicia (Vicia stenophylla) y centeno (Secale cereale) en tres localidades del cantón Riobamba provincia de*

Chimborazo. [Tesis de pregrado, Universidad Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16397>

Tarazona, D. (2016). *ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE GOBIERNO MUNICIPIO DE CERRITO SANTANDER PERIODO 2012- 2015*. [Tesis de postgrado]. Universidad Militar Nueva Granada.

Thompson, J. B., Zurita, L., Müller, F., Chimbolema, S., & Suárez, E. (2021). Land use change in the Ecuadorian páramo: The impact of expanding agriculture on soil carbon storage. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 53(1), 48-59. <https://doi.org/10.1080/15230430.2021.1873055>

Tripathi, S., Srivastava, P., Devi, R. S., & Bhadouria, R. (2020). Influence of synthetic fertilizers and pesticides on soil health and soil microbiology. En M. N. V. Prasad (Ed.), *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation* (pp. 25-54). Butterworth-Heinemann.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00002-7>

Trujillo, J. M., Mahecha, J. D., & Torres-Mora, M. (2018). El recurso suelo; un análisis de las funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.22490/21456453.2095>

Ungar, P. (2021). (PDF) Assembling an Ecosystem: The Making of State Páramos in Colombia. *ResearchGate*, 19(2), 119-129. https://doi.org/10.4103/cs.cs_19_103

Urriola, L. (2020). Why study the physical properties of the soil? *Revista Científica Semilla del Este*, 1(1).
[https://www.google.com/search?q=Urriola%2C+L+\(2020\).+Why+study+the+physical+properties+of+the+soil%3F+Revista+Cient%3%ADfica+Semilla+del+Este%2C+1\(1\).&rlz=1C1GCEA_enCO995CO995&oq=Urriola%2C+L+\(2020\).++Why+study+the+physical+properties+of+the+soil%3F+Revista+Cient%3%ADfica+Semilla+del+Este%2C+1\(1\).&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBggAEEUYOzIGCAAQRrg7MgYIARBFGEEDSAQgxMDc5ajBqN6gCCLACaFEFfoLsoEB7BXzxBX6C7KBAewV8&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Urriola%2C+L+(2020).+Why+study+the+physical+properties+of+the+soil%3F+Revista+Cient%3%ADfica+Semilla+del+Este%2C+1(1).&rlz=1C1GCEA_enCO995CO995&oq=Urriola%2C+L+(2020).++Why+study+the+physical+properties+of+the+soil%3F+Revista+Cient%3%ADfica+Semilla+del+Este%2C+1(1).&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBggAEEUYOzIGCAAQRrg7MgYIARBFGEEDSAQgxMDc5ajBqN6gCCLACaFEFfoLsoEB7BXzxBX6C7KBAewV8&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

Valdiviezo, L. E., Ríos, W. F., Rojas, J. C., & Sandoval, D. T. (2024). El desarrollo de leguminosas de cobertura por hongos micorrízicos arbusculares depende del grado de especificidad de los simbiontes. *Manglar*, 21(2), 279-286. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.030>

Vega, C. (2019). Zonas de páramo se ven afectadas por la actividad agrícola. *Radio nacional de Colombia*. <https://www.radionacional.co/cultura/como-afecta-la-actividad-agricola-las-zonas-de-paramo>

Vergara, P. A. (2020). Strategies Implemented by the National System of Protected Areas of Colombia to Conserve its Paramos. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 167-176.
<https://doi.org/10.15359/rca.54-1.9>

Villaneda, E., & Cuesta, P. A. (2005). *El análisis de suelos :toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera*. [Capítulo]. Corporación colombiana de

investigación agropecuaria - AGROSAVIA.

<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17334>

- Viteri, S., Martínez, J., & Bermúdez, Ángela. (2008). Selección de abonos verdes para los suelos de Turmequé (Boyacá). *Agronomía Colombiana*, 26(2), 332-339.
- Yang, Q., Zhao, Z., Bai, Z., Hou, H., Yuan, Y., Guo, A., & Li, Y. (2019). Effects of mycorrhizae and water conditions on perennial ryegrass growth in rare earth tailings. *RSC Advances*, 9(19), 10881-10888. <https://doi.org/10.1039/c8ra10442e>
- Zapata, P. (2020). *Estado actual de la delimitación de los páramos en Colombia, como mandato constitucional y su relación con la protección y conservación de estos ecosistemas estratégicos* [Tesis de pregrado, Universidad de ciencias aplicadas y ambientales.]. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/3614>
- Zeballos, J., Carrasco, W., & Vásquez, H. (2023). *Efecto de zonas agroecológicas y condición de siembra sobre altura de planta y rendimiento en avena forrajera en la región Puno, Perú*. 36(1), 89-96.
- Zhang, Y., Ye, C., Su, Y., Peng, W., Lu, R., Liu, Y., Huang, H., He, X., Yang, M., & Zhu, S. (2022). Soil Acidification caused by excessive application of nitrogen fertilizer aggravates soil-borne diseases: Evidence from literature review and field trials. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 340, 108176. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108176>

Anexos



Anexo 1. Toma de muestras para densidad aparente.



Anexo 2. Preparación del sistema con pradera.



Anexo 3. Brotes de las coberturas en el sistema post-cultivo de papa.



Anexo 4. Coberturas vegetales bien diferenciadas en el sistema post-cultivo de papa.



Anexo 5. Coberturas vegetales bien diferenciadas en el sistema con pradera.



Anexo 6. Corte e incorporación de las coberturas en el sistema con pradera.



Anexo 7. Corte e incorporación de las coberturas en el sistema post-cultivo de papa.



Anexo 8. Recolección de muestras para análisis de suelo.



Anexo 9. Empacado de las muestras para pruebas biológicas.



Anexo 10. Observación de esporas en los dos sistemas productivos.



Anexo 11. Titulación para prueba de CIC.



Anexo 12. Prueba de Bray II para P.

Micorriza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Micorriza	40	0,43	0,26	71,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	9002,50	9	1000,28	2,56	0,0258	
Sistema	5198,40	1	5198,40	17,09	0,0144	(Sistema*Cober)
Cober	2587,25	4	646,81	2,13	0,2415	(Sistema*Cober)
Sistema*Cober	1216,85	4	304,21	0,78	0,5484	
Error	11733,00	30	391,10			
Total	20735,50	39				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=15,31368

Error: 304,2125 gl: 4

Sistema Medias n E.E.

Pradera 39,15 20 3,90 A

Papa 16,35 20 3,90 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=38,76938

Error: 304,2125 gl: 4

Cober Medias n E.E.

Vicia 35,63 8 6,17 A

Alfalfa 34,00 8 6,17 A

SinCober 32,75 8 6,17 A

FalsaPoa 20,88 8 6,17 A

Avena 15,50 8 6,17 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=47,70171

Error: 391,1000 gl: 30

Sistema Cober Medias n E.E.

Pradera SinCober 53,25 4 9,89 A

Pradera Vicia 47,00 4 9,89 A

Pradera Alfalfa 46,75 4 9,89 A

Pradera FalsaPoa 24,50 4 9,89 A

Pradera Avena 24,25 4 9,89 A

Papa Vicia 24,25 4 9,89 A

Papa Alfalfa 21,25 4 9,89 A

Papa FalsaPoa 17,25 4 9,89 A

Papa SinCober 12,25 4 9,89 A

Papa Avena 6,75 4 9,89 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 13. Prueba de normalidad para micorrizas.

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	40	0,73	0,65	6,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	8,65	9	0,96	8,93	<0,0001	
Sistema	7,89	1	7,89	422,07	<0,0001	(Sistema*Cober)
Cober	0,68	4	0,17	9,10	0,0274	(Sistema*Cober)
Sistema*Cober	0,07	4	0,02	0,17	0,9502	
Error	3,23	30	0,11			
Total	11,88	39				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12008

Error: 0,0187 gl: 4

Sistema Medias n E.E.

Pradera 5,64 20 0,03 A

Papa 4,75 20 0,03 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,30399

Error: 0,0187 gl: 4

Cober Medias n E.E.

FalsaPoa 5,43 8 0,05 A

Alfalfa 5,18 8 0,05 A B

Avena 5,17 8 0,05 A B

Vicia 5,17 8 0,05 A B

SinCober 5,03 8 0,05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,79149

Error: 0,1077 gl: 30

Sistema Cober Medias n E.E.

Pradera FalsaPoa 5,82 4 0,16 A

Pradera Avena 5,63 4 0,16 A

Pradera Vicia 5,62 4 0,16 A

Pradera Alfalfa 5,59 4 0,16 A

Pradera SinCober 5,54 4 0,16 A B

Papa FalsaPoa 5,05 4 0,16 A B C

Papa Alfalfa 4,77 4 0,16 B C

Papa Avena 4,72 4 0,16 C

Papa Vicia 4,71 4 0,16 C

Papa SinCober 4,52 4 0,16 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 14. Prueba de normalidad para pH.

MO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MO	40	0,15	0,00	19,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	122,59	9	13,62	0,60	0,7903	
Sistema	2,86	1	2,86	0,22	0,6657	(Sistema*Cober)
Cober	66,93	4	16,73	1,27	0,4119	(Sistema*Cober)
Sistema*Cober	52,80	4	13,20	0,58	0,6814	
Error	686,09	30	22,87			
Total	808,68	39				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,18988

Error: 13,1997 gl: 4

Sistema Medias n E.E.

Pradera 24,94 20 0,81 A

Papa 24,41 20 0,81 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=8,07576

Error: 13,1997 gl: 4

Cober Medias n E.E.

SinCober 25,88 8 1,28 A

FalsaPoa 25,78 8 1,28 A

Alfalfa 25,08 8 1,28 A

Avena 24,29 8 1,28 A

Vicia 22,35 8 1,28 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=11,53508

Error: 22,8697 gl: 30

Sistema Cober Medias n E.E.

Papa FalsaPoa 27,20 4 2,39 A

Pradera Alfalfa 27,03 4 2,39 A

Papa SinCober 26,20 4 2,39 A

Pradera SinCober 25,55 4 2,39 A

Pradera Avena 24,43 4 2,39 A

Pradera FalsaPoa 24,35 4 2,39 A

Papa Avena 24,15 4 2,39 A

Pradera Vicia 23,35 4 2,39 A

Papa Alfalfa 23,13 4 2,39 A

Papa Vicia 21,35 4 2,39 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 15. Prueba de normalidad de MO.

Fosforo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fosforo	40	0,38	0,20	68,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	273,62	9	30,40	2,07	0,0658	
Sistema	77,67	1	77,67	2,60	0,1825	(Sistema*Cober)
Cober	76,22	4	19,05	0,64	0,6638	(Sistema*Cober)
Sistema*Cober	119,73	4	29,93	2,04	0,1146	
Error	441,20	30	14,71			
Total	714,82	39				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,80348

Error: 29,9317 gl: 4

Sistema Medias n E.E.

Papa 7,03 20 1,22 A

Pradera 4,24 20 1,22 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=12,16090

Error: 29,9317 gl: 4

Cober Medias n E.E.

Avena 7,42 8 1,93 A

SinCober 6,46 8 1,93 A

Alfalfa 5,71 8 1,93 A

Vicia 5,28 8 1,93 A

FalsaPoa 3,29 8 1,93 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=9,25015

Error: 14,7068 gl: 30

Sistema Cober Medias n E.E.

Papa Avena 11,14 4 1,92 A

Papa Alfalfa 8,00 4 1,92 A

Pradera SinCober 7,49 4 1,92 A

Papa Vicia 7,43 4 1,92 A

Papa SinCober 5,43 4 1,92 A

Pradera Avena 3,71 4 1,92 A

Pradera FalsaPoa 3,43 4 1,92 A

Pradera Alfalfa 3,43 4 1,92 A

Papa FalsaPoa 3,14 4 1,92 A

Pradera Vicia 3,14 4 1,92 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 16. Prueba de normalidad de P.

CIC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CIC	40	0,31	0,10	18,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	187,40	9	20,82	1,48	0,1998	
Sistema	0,06	1	0,06	1,6E-03	0,9702	(Sistema*Cober)
Cober	25,54	4	6,38	0,16	0,9493	(Sistema*Cober)
Sistema*Cober	161,80	4	40,45	2,88	0,0395	
Error	421,62	30	14,05			
Total	609,02	39				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5,58412

Error: 40,4509 gl: 4

Sistema Medias n E.E.

Pradera 20,11 20 1,42 A

Papa 20,03 20 1,42 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=14,13723

Error: 40,4509 gl: 4

Cober Medias n E.E.

SinCober 21,26 8 2,25 A

Alfalfa 20,68 8 2,25 A

Vicia 19,94 8 2,25 A

Avena 19,25 8 2,25 A

FalsaPoa 19,23 8 2,25 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=9,04253

Error: 14,0540 gl: 30

Sistema Cober Medias n E.E.

Pradera SinCober 24,98 4 1,87 A

Papa FalsaPoa 21,63 4 1,87 A

Papa Alfalfa 20,80 4 1,87 A

Pradera Alfalfa 20,55 4 1,87 A

Papa Vicia 20,13 4 1,87 A

Papa Avena 20,05 4 1,87 A

Pradera Vicia 19,75 4 1,87 A

Pradera Avena 18,45 4 1,87 A

Papa SinCober 17,55 4 1,87 A

Pradera FalsaPoa 16,83 4 1,87 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 17. Prueba de normalidad de CIC.

Ureasa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ureasa	40	0,66	0,56	21,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	278,97	9	31,00	6,57	<0,0001	
Sistema	142,32	1	142,32	12,48	0,0242	(Sistema*Cober)
Cober	91,04	4	22,76	2,00	0,2599	(Sistema*Cober)
Sistema*Cober	45,61	4	11,40	2,42	0,0707	
Error	141,65	30	4,72			
Total	420,62	39				

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,96493

Error: 11,4037 gl: 4

Sistema	Medias	n	E.E.
Papa	11,85	20	0,76 A
Pradera	8,08	20	0,76 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,50626

Error: 11,4037 gl: 4

Cober	Medias	n	E.E.
Avena	12,09	8	1,19 A
Alfalfa	11,34	8	1,19 A
Vicia	9,50	8	1,19 A
SinCober	8,70	8	1,19 A
FalsaPoa	8,18	8	1,19 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,24122

Error: 4,7216 gl: 30

Sistema	Cober	Medias	n	E.E.
Papa	Avena	14,57	4	1,09 A
Papa	Alfalfa	14,23	4	1,09 A B
Papa	Vicia	12,36	4	1,09 A B C
Pradera	Avena	9,61	4	1,09 A B C D
Papa	SinCober	9,05	4	1,09 B C D
Papa	FalsaPoa	9,05	4	1,09 B C D
Pradera	Alfalfa	8,45	4	1,09 C D
Pradera	SinCober	8,35	4	1,09 C D
Pradera	FalsaPoa	7,32	4	1,09 C D
Pradera	Vicia	6,65	4	1,09 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 18. Prueba de normalidad de ureasa.

DeshidroTrans

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DeshidroTrans	40	0,62	0,50	8,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	21,76	9	2,42	5,38	0,0002	
Sistema	20,99	1	20,99	204,83	0,0001	(Sistema*Cober)
Cober	0,36	4	0,09	0,87	0,5512	(Sistema*Cober)
Sistema*Cober	0,41	4	0,10	0,23	0,9205	
Error	13,48	30	0,45			
Total	35,24	39				

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,28106

Error: 0,1025 gl: 4

Sistema	Medias	n	E.E.
Pradera	8,24	20	0,07 A
Papa	6,80	20	0,07 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,71157

Error: 0,1025 gl: 4

Cober	Medias	n	E.E.
Alfalfa	7,64	8	0,11 A
Avena	7,61	8	0,11 A
SinCober	7,52	8	0,11 A
FalsaPoa	7,45	8	0,11 A
Vicia	7,38	8	0,11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,61700

Error: 0,4494 gl: 30

Sistema	Cober	Medias	n	E.E.
Pradera	Avena	8,47	4	0,34 A
Pradera	SinCober	8,33	4	0,34 A B
Pradera	Alfalfa	8,24	4	0,34 A B C
Pradera	Vicia	8,12	4	0,34 A B C
Pradera	FalsaPoa	8,06	4	0,34 A B C
Papa	Alfalfa	7,03	4	0,34 A B C
Papa	FalsaPoa	6,84	4	0,34 B C
Papa	Avena	6,75	4	0,34 B C
Papa	SinCober	6,71	4	0,34 B C
Papa	Vicia	6,64	4	0,34 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 19. Prueba de normalidad de deshidrogenasa.

Micorriza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Micorriza	20	0,49	0,20	58,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6070,65	7	867,24	1,68	0,2061
Trat	3019,30	4	754,83	1,46	0,2749
Bloque	3051,35	3	1017,12	1,97	0,1731
Error	6209,90	12	517,49		
Total	12280,55	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=51,27169

Error: 517,4917 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PraSin	53,25	4	11,37 A
PraVicia	47,00	4	11,37 A
PraAlfafa	46,75	4	11,37 A
PraPoa	24,50	4	11,37 A
PraAvena	24,25	4	11,37 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	20	0,14	0,00	7,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,34	7	0,05	0,28	0,9504
Trat	0,18	4	0,04	0,25	0,9029
Bloque	0,17	3	0,06	0,31	0,8145
Error	2,12	12	0,18		
Total	2,46	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,94702

Error: 0,1765 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PraPoa	5,82	4	0,21 A
PraAvena	5,63	4	0,21 A
PraVicia	5,62	4	0,21 A
PraAlfafa	5,59	4	0,21 A
PraSin	5,54	4	0,21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 20. Análisis de varianza de micorriza y pH en el sistema PR.

MO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MO	20	0,15	0,00	18,86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45,91	7	6,56	0,30	0,9424
Trat	31,44	4	7,86	0,36	0,8356
Bloque	14,47	3	4,82	0,22	0,8821
Error	265,62	12	22,13		
Total	311,53	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=10,60384

Error: 22,1347 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PraAlfafa	27,03	4	2,35 A
PraSin	25,55	4	2,35 A
PraAvena	24,43	4	2,35 A
PraPoa	24,35	4	2,35 A
PraVicia	23,35	4	2,35 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fosforo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fosforo	20	0,50	0,20	87,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	162,93	7	23,28	1,69	0,2034
Trat	53,49	4	13,37	0,97	0,4596
Bloque	109,44	3	36,48	2,64	0,0969
Error	165,60	12	13,80		
Total	328,53	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,37262

Error: 13,7997 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PraSin	7,49	4	1,86 A
PraAvena	3,71	4	1,86 A
PraPoa	3,43	4	1,86 A
PraAlfafa	3,43	4	1,86 A
PraVicia	3,14	4	1,86 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 21. Análisis de varianza de MO y P en el sistema PR.

CIC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CIC	20	0,57	0,31	17,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	195,50	7	27,93	2,24	0,1045
Trat	150,15	4	37,54	3,02	0,0616
Bloque	45,35	3	15,12	1,21	0,3466
Error	149,34	12	12,44		
Total	344,84	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=7,95100

Error: 12,4449 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PraSin	24,98	4	1,76 A
PraAlfafa	20,55	4	1,76 A B
PraVicia	19,75	4	1,76 A B
PraAvena	18,45	4	1,76 A B
PraPoa	16,83	4	1,76 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Ureasa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ureasa	20	0,69	0,51	15,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	41,20	7	5,89	3,85	0,0198
Trat	20,70	4	5,18	3,39	0,0448
Bloque	20,49	3	6,83	4,47	0,0250
Error	18,32	12	1,53		
Total	59,52	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,78479

Error: 1,5266 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PraAvena	9,61	4	0,62 A
PraAlfafa	8,45	4	0,62 A B
PraSin	8,35	4	0,62 A B
PraPoa	7,32	4	0,62 A B
PraVicia	6,65	4	0,62 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 22. Análisis de varianza de CIC y ureasa en el sistema PR.

DeshidroTrans

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DeshidroTrans	20	0,08	0,00	10,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,78	7	0,11	0,14	0,9924
Trat	0,42	4	0,10	0,13	0,9679
Bloque	0,36	3	0,12	0,15	0,9254
Error	9,50	12	0,79		
Total	10,29	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,00579

Error: 0,7920 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PraAvena	8,47	4	0,44 A
PraSin	8,33	4	0,44 A
PraAlfafa	8,24	4	0,44 A
PraVicia	8,12	4	0,44 A
PraPoa	8,06	4	0,44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 23. Análisis de varianza de deshidrogenasa en el sistema PR.

Micorriza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Micorriza	20	0,35	0,00	81,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1137,35	7	162,48	0,92	0,5241
Trat	784,80	4	196,20	1,11	0,3959
Bloque	352,55	3	117,52	0,67	0,5892
Error	2119,20	12	176,60		
Total	3256,55	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=29,95169

Error: 176,6000 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PapaVicia	24,25	4	6,64 A
PapaAlfafa	21,25	4	6,64 A
PapaPoa	17,25	4	6,64 A
PapaSin	12,25	4	6,64 A
PapaAvena	6,75	4	6,64 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	20	0,38	0,02	5,89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,58	7	0,08	1,06	0,4410
Trat	0,58	4	0,14	1,84	0,1852
Bloque	4,9E-03	3	1,6E-03	0,02	0,9956
Error	0,94	12	0,08		
Total	1,52	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,63081

Error: 0,0783 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PapaPoa	5,05	4	0,14 A
PapaAlfafa	4,77	4	0,14 A
PapaAvena	4,72	4	0,14 A
PapaVicia	4,71	4	0,14 A
PapaSin	4,52	4	0,14 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 24. Análisis de varianza de micorriza y pH en el sistema PA.

MO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MO	20	0,30	0,00	22,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	147,95	7	21,14	0,73	0,6496
Trat	88,28	4	22,07	0,76	0,5681
Bloque	59,67	3	19,89	0,69	0,5759
Error	346,34	12	28,86		
Total	494,29	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=12,10843

Error: 28,8618 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PapaPoa	27,20	4	2,69 A
PapaSin	26,20	4	2,69 A
PapaAvena	24,15	4	2,69 A
PapaAlfafa	23,13	4	2,69 A
PapaVicia	21,35	4	2,69 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fosforo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fosforo	20	0,81	0,70	31,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	249,25	7	35,61	7,20	0,0016
Trat	142,45	4	35,61	7,20	0,0034
Bloque	106,80	3	35,60	7,20	0,0051
Error	59,37	12	4,95		
Total	308,62	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,01329

Error: 4,9476 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PapaAvena	11,14	4	1,11 A
PapaAlfafa	8,00	4	1,11 A B
PapaVicia	7,43	4	1,11 A B
PapaSin	5,43	4	1,11 B
PapaPoa	3,14	4	1,11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 25. Análisis de varianza de MO y P en el sistema PA.

CIC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CIC	20	0,25	0,00	20,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	65,92	7	9,42	0,57	0,7672
Trat	37,19	4	9,30	0,56	0,6942
Bloque	28,73	3	9,58	0,58	0,6394
Error	198,21	12	16,52		
Total	264,12	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9,15994

Error: 16,5171 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PapaPoa	21,63	4	2,03 A
PapaAlfafa	20,80	4	2,03 A
PapaVicia	20,13	4	2,03 A
PapaAvena	20,05	4	2,03 A
PapaSin	17,55	4	2,03 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Ureasa

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ureasa	20	0,71	0,53	19,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	154,47	7	22,07	4,12	0,0156
Trat	115,95	4	28,99	5,41	0,0100
Bloque	38,52	3	12,84	2,40	0,1192
Error	64,32	12	5,36		
Total	218,79	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,21797

Error: 5,3598 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PapaAvena	14,57	4	1,16 A
PapaAlfafa	14,23	4	1,16 A B
PapaVicia	12,36	4	1,16 A B
PapaSin	9,05	4	1,16 B
PapaPoa	9,05	4	1,16 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 26. Análisis de varianza de CIC y ureasa en el sistema PA.

Deshidro

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Deshidro	20	0,25	0,00	14,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	187,77	7	26,82	0,57	0,7660
Trat	67,77	4	16,94	0,36	0,8316
Bloque	120,00	3	40,00	0,85	0,4917
Error	563,01	12	46,92		
Total	750,78	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=15,43810

Error: 46,9176 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PapaAlfafa	49,68	4	3,42 A
PapaPoa	46,93	4	3,42 A
PapaAvena	45,65	4	3,42 A
PapaSin	45,23	4	3,42 A
PapaVicia	44,40	4	3,42 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

pHtrans

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pHtrans	20	0,38	0,01	3,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	7	3,8E-03	1,03	0,4575
Trat	0,03	4	0,01	1,79	0,1954
Bloque	2,4E-04	3	8,0E-05	0,02	0,9954
Error	0,04	12	3,7E-03		
Total	0,07	19			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13711

Error: 0,0037 gl: 12

Trat	Medias	n	E.E.
PapaPoa	1,62	4	0,03 A
PapaAlfafa	1,56	4	0,03 A
PapaVicia	1,55	4	0,03 A
PapaAvena	1,55	4	0,03 A
PapaSin	1,51	4	0,03 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 27. Análisis de varianza de deshidrogenasa en el sistema PA.