

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Relación entre propiedades físico químicas del suelo y tipos de sistemas de producción en 3 escenarios de la provincia del Azuay


Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma

Autor:

Erika Paola Curillo Regalado

Director:

Pedro René Zea Dávila

ORCID: 0000-0002-2225-7881

Cuenca, Ecuador

2024-01-16

Resumen

La agricultura cumple un papel trascendental en el desarrollo de la vida, el manejo inadecuado de la misma altera las propiedades físico-químicas de los suelos, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue identificar relaciones entre propiedades físico-químicas del suelo y tipos de sistemas de producción en 3 escenarios de la provincia del Azuay. Se llevó a cabo en las parroquias de Bulán-Paute, Cutchil-Sigsig y Principal-Chordeleg, donde se aplicó un diseño completamente al azar, con 15 muestras de suelo y 3 tipos de sistemas productivos por escenario, en tres escenarios, con un total de 135 muestras. Se realizaron pruebas físico-químicas de suelo y se aplicó un análisis de normalidad con la prueba de Kolmogorov Smirnov, test de Kruskal Wallis y finalmente la correlación de Spearman. En la relación escenario y sistema productivo se obtuvo: pH con valores en un rango de 6,13 y 7,23; 68,4 a 107,7 de CE $\mu\text{S}/\text{cm}$, 11.6 :1 C/N, clases texturales: franco, franco limoso, franco arcillosa y arcilla, y estructura granular y migajosa. Se observaron resultados relevantes en el sistema productivo de tipo pasto (Principal) 0,72 % N, 14,35% MOS, 192,70 T/ha de COS, en pasto (Bulán) 1,87 g/cm³ Da, 2,40 g/cm³ Dr y pasto (Cutchil) 42,59% de porosidad. Además, se presentaron correlaciones (N con MOS 0.9998, PT con MOS -0.827, N con COS 0.768, COS con MOS 0.768, N con MOS -0.691 y Da con MOS -0.691), determinando interacciones entre variables ya que el espacio poroso afecta a la densidad aparente, que está directamente enlazado con la cantidad de materia orgánica, contenido de nitrógeno y estos a su vez con el contenido de carbono en el suelo.

Palabras clave: sistemas productivos, agroforestal, ciclo corto, pasto



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Agriculture plays a transcendental role in the development of life; inadequate management of agriculture alters the physical-chemical properties of soils, putting food security at risk. In this context, the objective of this study was to identify relationships between soil physical-chemical properties and types of production systems in three scenarios in the province of Azuay. It was carried out in the parishes of Bulán-Paute, Cutchil-Sigsig and Principal-Chordeleg, where a completely randomized design was applied, with 15 soil samples and 3 types of production systems per scenario, in three scenarios, with a total of 135 samples. Soil physicochemical tests were performed and a normality analysis was applied with the Kolmogorov Smirnov test, Kruskal Wallis test and finally Spearman's correlation. In the scenario and production system relationship, the following values were obtained: pH values in the range of 6.13 and 7.23; 68.4 to 107.7 EC $\mu\text{S}/\text{cm}$, 11.6:1 C/N, textural classes: loam, silt loam, clay loam and clay, and granular and crumbly structure. Relevant results were observed in the productive system of pasture type (Principal) 0.72 % N, 14.35% MOS, 192.70 T/ha of COS, in pasture (Bulán) 1.87 g/cm^3 Da, 2.40 g/cm^3 Dr and pasture (Cutchil) 42.59% porosity. In addition, correlations were presented (N with MOS 0.9998, PT with MOS -0.827, N with COS 0.768, COS with MOS 0.768, N with MOS -0.691 and Da with MOS -0.691), determining interactions between variables since the pore space affects the bulk density, which is directly linked to the amount of organic matter, nitrogen content and these in turn with the carbon content in the soil.

Keywords: production systems, agroforestry, short cycle, grassland



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Introducción	11
Objetivos.....	12
Objetivo general	12
Objetivo específico.....	12
Revisión bibliográfica	13
Metodología	19
Área de estudio	19
Selección del sitio de muestreo	20
Recolección de muestras	20
Metodología para el objetivo: Caracterizar las propiedades físico químicas de los suelos en 3 escenarios de la provincia del Azuay, en sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastizales.....	21
Fase1: Variables Químicas	22
Fase 2: Variables físicas	24
Análisis estadístico	26
Resultados.....	27
Discusión	47
Conclusiones	53
Recomendaciones	55
Referencias.....	56
Anexos.....	61

Índice de Imágenes

Imagen 1. Superficie con labor agropecuaria	13
Imagen 2. Triángulo textural	16
Imagen 3. Ubicación de las parroquias Bulán, Principal y Cutchil en la provincia del Azuay	20
Imagen 4. Distribución espacial de pH de la parroquia Bulán. Realizado por: La autora. ..	29
Imagen 5. Distribución espacial de pH de la parroquia Cutchil. Realizado por: La autora..	30
Imagen 6. Distribución espacial de pH de la parroquia Principal.....	30
Imagen 7. Distribución espacial de materia orgánica de la parroquia Bulán.	32
Imagen 8. Distribución espacial de materia orgánica de la parroquia Cutchil.....	33
Imagen 9. Distribución espacial de materia orgánica de la parroquia Principal.....	33
Imagen 10. Distribución espacial de salinidad de la parroquia Bulán.....	36
Imagen 11. Distribución espacial de salinidad de la parroquia Cutchil.....	37
Imagen 12. Distribución espacial de Salinidad de la parroquia Principal.....	37

Índice de figuras

Figura 1. Porcentaje de nitrógeno de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.	28
Figura 2. Nivel de pH de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.	29
Figura 3. Porcentaje de materia orgánica de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.	32
Figura 4. Cantidad de carbono de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.	35
Figura 5. Niveles de conductividad eléctrica de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.	36
Figura 6. Densidad aparente de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.	39
Figura 7. Clases texturales de las Parroquias Bulán, Cutchil y Principal.	39
Figura 8. Tipos de estructura en los sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.	40
Figura 9. Densidad real de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.	42
Figura 10. Porosidad de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.	43
Figura 11. Correlación entre nitrógeno (N%) y materia orgánica (MO).	44
Figura 12. Correlación entre porosidad (poro) y densidad aparente (DA).	44
Figura 13. Correlación entre nitrógeno(N%) y carbono (Ctha).	45
Figura 14. Correlación entre carbono (Ctha) y materia orgánica (MO).	46
Figura 15. Correlación entre nitrógeno (N%) y densidad aparente (DA).	46
Figura 16. Correlación entre densidad aparente (DA) y materia orgánica (MO).	47

Índice de tablas

Tabla 1. Escala de acidez.....	17
Tabla 2. Escala de salinidad.....	18
Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis aplicada en Nitrógeno para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.	27
Tabla 4. Prueba de Kruskal Wallis aplicada en pH para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.	28
Tabla 5. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a la Materia Orgánica para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.	31
Tabla 6. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a carbono para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.	34
Tabla 7. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a densidad aparente para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.	38
Tabla 8. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a densidad real para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.	41
Tabla 9. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a la porosidad para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.	42

Abreviaturas y simbología

N: Nitrógeno

CE: Conductividad eléctrica

MOS: Materia orgánica en el suelo

COS: Carbono orgánico en el suelo

Da: Densidad aparente

Dr: Densidad real

Pt: Porosidad total

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios, por ser la inspiración y la fuerza para continuar este proceso de obtener uno de las metas y anhelos más deseados.

A mis padres Fausto y Rosa que han sabido guiarme en este camino tan largo llamado vida, ya que, día a día con amor y sabiduría me han dado las herramientas para afrontar cualquier tipo de adversidad que se me ha presentado y me han apoyado de manera incondicional.

A mis abuelitos que están en el cielo, así como también a los que aún me acompañan, que han sido el pilar fundamental para la crianza y educación de la persona que soy el día de hoy.

A mis hermanos por acompañarme en el paso de la existencia ya sea larga o momentánea, porque ellos también son parte de lo que soy.

A mi querido Antoni, por estar presente con su apoyo incondicional, paciencia y cariño, durante el recorrido en la carrera, por aconsejarme y darme fuerzas para no rendirme.

A todos los amigos y personas que me ayudaron durante el proceso, y el paso por la carrera, por darme apoyo y ayudarme.

Agradeciendo

Le agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, a mis padres por darme todo lo que ha estado en sus manos para que pueda culminar mis estudios y, a mis hermanos por su apoyo incondicional.

A mi tutor de tesis Ing. Pedro Zea, por guiarme y brindarme de su apoyo durante la realización de este trabajo, por ser un excelente maestro, y también por sus consejos más allá de la índole académica.

A todos los profesores que durante los años de estudio han sabido dotarme de sabiduría y conocimientos, con su dedicación y paciencia han sabido enriquecer mi mente y moldear mi carácter.

A las Ingenieras Amanda Suqui y Johana Serrano por su paciencia, apoyo y ayuda durante la realización del presente trabajo.

A Don Tobías, por ayudarme durante las atareadas salidas de campo.

Al Ing. Mateo López, por su ayuda y aporte de conocimiento.

A mi querido Antoni por estar acompañándome, ayudándome y aconsejándome durante el tiempo que hemos compartido.

A mis amigos por haber aportado con compañía y apoyo durante la carrera.

Y por último y no menos importante, a Mí, ya que, a base de esfuerzo, dedicación y constancia, he podido llegar a culminar una etapa más de la vida, puesto que no sería posible haber estado aquí sin mi perseverancia y amor a lo que hago.

Introducción

La agricultura se ha desarrollado a través de los años y ha provocado modificaciones en los paisajes de una gran cantidad de ecosistemas que ha desencadenado una serie de impactos no solo en el ambiente, sino también en la economía y la sociedad (Gerald y otros, 2009). La crisis en la producción agrícola se da como resultado a un manejo intensivo de los suelos por parte de la actividad humana, lo que ha degradado la calidad de los mismos, afectando directamente a las propiedades tanto físicas, químicas y biológicas, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria (Saavedra y otros, 2019). Conocida como agricultura convencional, esta se fundamenta en una alta eficiencia productiva que depende de un alto uso de maquinarias, implementos y sobre todo combustibles fósiles y químicos sintéticos que causan serios problemas de contaminación y degradación de los recursos naturales y la diversidad biológica, que a corto plazo se evidencia también en el deterioro de la capacidad productiva de los ecosistemas agrícolas (Montesinos, 2009). El manejo inadecuado de las características físico - químicas de los suelos son unas de las principales limitantes en la producción agropecuaria, así como también en la sostenibilidad de los cultivos, que está relacionada directamente con los distintos sistemas de producción. Entre las principales propiedades del suelo tenemos: N, P, K, MO, pH, carbono, densidad aparente, CE, porosidad, textura y estructura (Orozco y otros, 2016).

Por otra parte, la implementación de cultivos de ciclo corto que propician la biodiversidad y un uso más eficiente del suelo a diferencia de los monocultivos (Osorio y otros, 2017), la implementación de pasturas y las condiciones medioambientales favorables que se dan en nuestro país y que generan rentabilidad principalmente en la actividad ganadera, la implementación de sistemas agroforestales que son actividades que producen madera, presentan alta rentabilidad y diversifican la producción en las fincas que prestan también servicios ambientales en la mitigación del cambio climático (Barrantes, 2013).

El presente estudio se realizó en las parroquias de Bulán perteneciente al cantón Paute, Cutchil al cantón Sigsig y Principal perteneciente al cantón Chordeleg, ya que en estos lugares existen reportes de producción y de tipos de sistemas de producción en el Azuay. Basado en los antecedentes la presente investigación planteó como objetivo, Identificar relaciones entre propiedades físico químicas del suelo y tipos de sistemas de producción en 3 escenarios de la provincia del Azuay.

Objetivos

Objetivo general

Identificar relaciones entre propiedades físico químicas del suelo y tipos de sistemas de producción en 3 escenarios de la provincia del Azuay.

Objetivo específico

Caracterizar las propiedades físico químicas de los suelos en 3 escenarios de la provincia del Azuay, en sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastizales.

Revisión bibliográfica

En el Ecuador, según la última Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), 5.2 millones de hectáreas se encuentran bajo uso agropecuario, mientras que 7 millones no presentan ningún tipo de labor. Lo que indica que dentro de la superficie enfocada a la labor agropecuaria que comprende el 44,9 % son pastos cultivados, el 26,4 % son cultivos permanentes, 15,4 % cultivos transitorios y de barbecho, y el 13,3 % por pastos naturales (INEC, 2023).

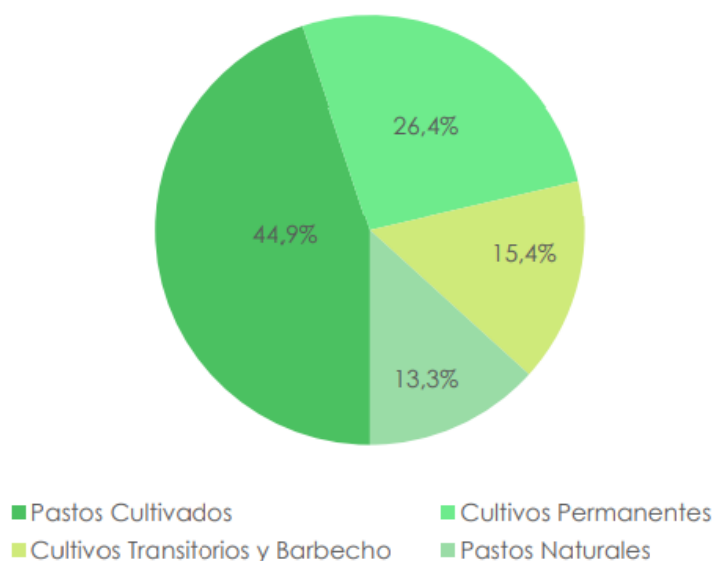


Imagen 1. Superficie con labor agropecuaria

Fuente: INEC 2023

Los sistemas productivos son considerados como un arreglo o colección de componentes que están asociados o relacionados, de tal manera que forman una entidad o un todo. Los componentes de este sistema incluyen poblaciones de plantas cultivadas y animales que tienen características estructurales y funcionales. Tomándolo como la disposición física de cultivos y animales en el espacio o el tiempo, por lo que en consecuencia es una unidad que procesa insumos como radiación solar, agua, nutrientes, etc., y genera productos como alimentos, leña, fibra (Mendieta & Rocha, 2007).

Los cultivos agroforestales abarcan una gama de prácticas agrícolas que se llevan a cabo en el mismo lugar y al mismo tiempo (prácticas concurrentes), o que se desarrollan en el mismo lugar, pero en diferentes momentos (prácticas secuenciales). Un "sitio" puede ser tan pequeño como un simple jardín o un campo cultivado, o tan grande como una pradera (Mendieta & Rocha, 2007). Según Somarriba (1990), para que un cultivo sea considerado

agroforestal debería estar conformado por múltiples aspectos fundamentales tales como: cultivo múltiple, al menos dos especies, una especie leñosa perenne, que las especies interactúan biológicamente, y tener al menos dos especies manejadas.

Los sistemas productivos de pasto son una importante fuente de alimento para el ganado, ya que proporcionan un hábitat para la vida silvestre, brindan protección ambiental, almacenan carbono y agua, siendo una conservación in situ de recursos fitogenéticos (León y otros, 2018). Los pastos son cultivos perennes, lo que significa menores costos de mantenimiento anual después del primer año de siembra. Por lo tanto, representan una opción económica para producir leche y carne con altos rendimientos y bajo costo, lo que puede aumentar las ganancias agrícolas en comparación con el uso de concentrados y otros recursos alimentarios obtenidos fuera de la granja (Mena, 2015).

Los cultivos transitorios o de ciclo corto se consideran alternativas importantes para el aprovechamiento del suelo. Presentan un ciclo vegetativo que suele durar menos de un año o incluso sólo unos meses, como los cereales, los tubérculos, algunas oleaginosas, la mayoría de hortalizas y determinadas variedades de flores al aire libre y en invernadero (FAO, 2014). La característica de los cultivos de transición o de ciclo corto, son los que se eliminan durante la cosecha y deben replantarse para obtener una nueva fase productiva, por lo que se establecen dentro de un sistema multicapa, utilizando diferentes tipos de combinaciones o rotaciones (Basantes , 2015).

La agricultura existente en la provincia del Azuay se dedica al autoconsumo, sobre todo, ya que los subsectores de agricultura y ganadería están conformados por unidades productivas familiares. La producción agrícola usualmente se desarrolla conjuntamente con otras actividades no agropecuarias, por lo que los mayores ingresos agropecuarios se encuentran en los cantones de Paute (22,8 %), Cuenca, (19,40 %), El Sígsig (7 %), y el resto de cantones tienen un aporte que oscila entre el 5% y 12% en general (Idrovo & Carchi, 2019).

La parroquia Bulán perteneciente al cantón Paute tiene un crecimiento “desmedido” de las actividades productivas ganaderas, como también agrícolas. La principal actividad productiva de Bulán es la agricultura, entre la cual se destaca el cultivo de frutas y verduras, ya que cuenta con una cobertura del suelo que representa el 8% de páramo, 15% bosque montano, 1,5% matorral abierto, 20% pastizal, 21% cultivos permanentes, 30% cultivos de ciclo corto y 2,4% de áreas urbanizadas (GAD Parroquial BULÁN, 2015).

La parroquia Principal, perteneciente al Cantón Chordeleg, tiene como principales ingresos económicos a la agricultura, la ganadería y la venta de artesanías. Donde se destaca la agricultura, ya que en esta zona se pueden encontrar árboles frutales de distintas variedades

como es el caso de la manzana y similares, por lo tanto, tiene un alto potencial productivo, con el 70,87% Bosque nativo, 23,18% uso pecuario, 4,23% cultivos, 0,6% pastoreo ocasional, 0,06% sin uso y 0,47% área poblada (GAD Parroquial PRINCIPAL, 2021).

La parroquia Cutchil pertenece al cantón Sigsig, en la cual la agricultura se destaca como una de las principales fuentes de ingreso económico de la parroquia, sobresaliendo entre otros el cultivo de frutales, cultivos transitorios y pastos por consecuencia actividades ganaderas a pequeña escala. Según el Plan de Desarrollo y ordenamiento territorial el 86.88% está como conservación y protección, el 6,55% uso pecuario, 4,39% agropecuario mixto, 0,16% antrópico, 0,10% agua y el 0,02% en uso agrícola (GAD Parroquial CUTCHIL, 2017).

Según la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984), define el suelo como la capa superficial de material mineral y orgánico no consolidado, que sirve como ambiente natural para el crecimiento vegetal y está sujeta y presenta los factores que lo produjeron (clima, topografía, biota, material parental y tiempo) y los que se deben a la interacción. De estos factores de acción, sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas difieren de la matriz rocosa de la que se origina.

El suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie terrestre y es aprovechado por las raíces de las plantas, de las cuales reciben soporte, nutrientes y agua, que está compuesto por minerales, materia orgánica, aire, agua y microflora y fauna (FAO, 1996).

El suelo tiene tres fases que componen un sistema: la fase sólida (partículas orgánicas e inorgánicas), la fase líquida (el agua y sólidos disueltos en la misma) y la fase gaseosa o atmósfera del suelo (compuestos abundantes de forma gaseosa); la interacción entre estas fases se define como las Propiedades física de suelos (Hillel, 1998), el suelo tienen una proporción idealizada, en las que deben estar las tres fases del mismo, en donde existe 45% minerales, 25% de agua, 25% de aire y 5% de materia orgánica, para poder dar un medio preciso para el crecimiento de las plantas; entre las propiedades físicas se encuentran:

La densidad aparente del suelo (DA), que se define como la masa de suelo seco en una determinada unidad de volumen de suelo (sólidos + poros), y su valor está relacionado con la proporción de poros presentes en dicho volumen de suelo (Blake & Hartge, 1986). Los cambios en la DA a lo largo del tiempo pueden deberse a la labranza, el transporte de implementos agrícolas, el pisoteo de animales, el crecimiento de raíces y/o el movimiento de fauna interna (Hamza & Anderson, 2005).

La textura representa las cantidades relativas de partículas de diferentes tamaños (como arena, limo y arcilla) en el suelo. La textura está relacionada con la facilidad con la que se trabaja el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene el suelo y la rapidez con la que el agua

penetra y se mueve a través del suelo, el material mineral se agrupa según su tamaño en donde el tamaño de la Arena va de 2 a 0,05 mm, el limo: de 0,05 a 0,002 mm la arcilla: menor a 0,002 mm (Jaramillo, 2002).

Existen varios tipos de textura de suelo, textura arenosa cuando abundan las partículas de arena, textura limosa cuando existe gran cantidad de partículas de limo y textura arcillosa cuando existen abundantes partículas de arena. También existen los suelos de textura franca, este posee fracciones finas y gruesas en proporciones idóneas es un suelo equilibrado, aireado, ligero con buena permeabilidad. Con la finalidad de obtener la clase textural o tipo de textura de suelo, la cual se obtiene mediante porcentajes de cada una de las partículas ya sea arena, limo o arcilla, se utiliza el diagrama triangular de la USDA (Dorronsoro, 2014).

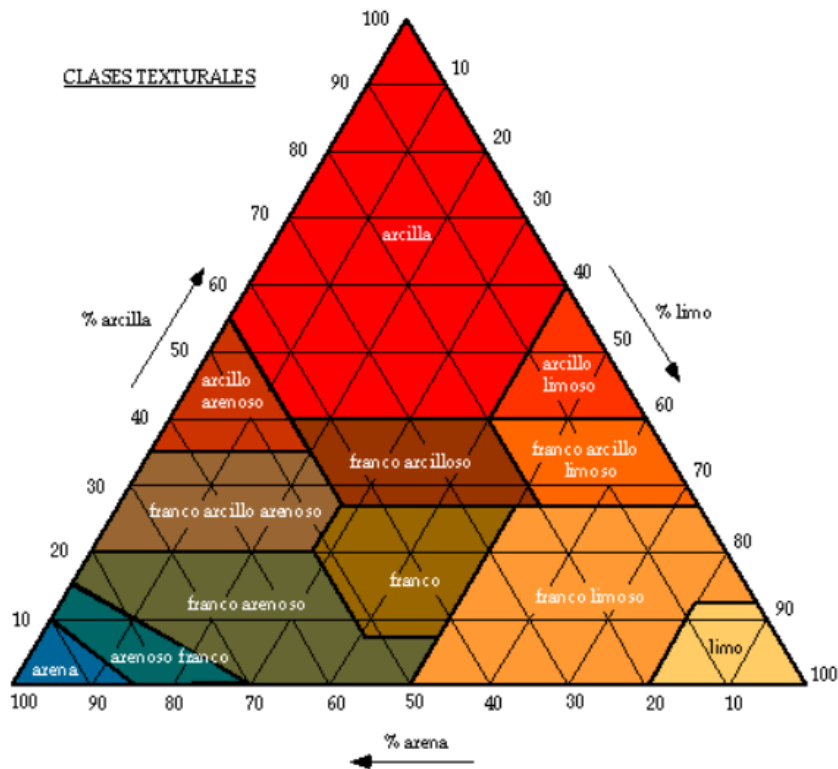


Imagen 2. Triángulo textural

Fuente: USDA.

La estructura se describe de tal manera que las superficies de las partículas de humus y arcilla están cargadas, por lo que presentan un comportamiento coloidal. La arcilla se combina con la materia orgánica para formar agregados, por lo que las partículas del suelo no están aisladas, sino que forman agregados estructurales llamados peds, y estos agregados (o terrones) forman el suelo por repetición. Es como una pequeña parte de la celda unitaria de un cristal y, mediante la repetición, se crean minerales. El agregado está formado por partículas individuales (minerales, materia orgánica y huecos), la estructura del suelo

depende del del grado, tamaño y forma en la que se presentan los agregados, llegando a tener varios tipos los cuales son Migajosa, Granular, Angular o bloques angulares, subangular, Prismática, Columnar laminar y Sin estructura (Dorronsoro, 2014).

La porosidad es un parámetro importante porque el comportamiento del suelo, en relación con las fases líquida y gaseosa depende de él y, por lo tanto, es crucial para las actividades biológicas que puede soportar (tanto desde la perspectiva del aire, el agua y los nutrientes, como desde la perspectiva del suelo, la facilidad con la que penetran los organismos), y también tiene un gran impacto en los procesos de formación del suelo (alteración, fluencia, erosión, etc.). El tamaño de las partículas determina la porosidad producida por su simple acumulación, entre las partículas se forman poros similares al tamaño de las partículas, en suelos arenosos se forman macroporos muy gruesos y en suelos arcillosos microporos muy finos y medianos. Se encuentra representada como el porcentaje total de huecos que hay entre el material sólido del suelo, tomando en cuenta la porosidad media es 50 % (Dorronsoro, 2014).

Las propiedades químicas están relacionadas con la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, de las cuales cabe destacar: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y P, N y K extraíbles (Bautista y otros, 2004).

El pH (potencial de hidrógeno) determina hasta qué punto las partículas del suelo absorben los iones (H+) e indica si el suelo es ácido o alcalino. Es un indicador primario de la disponibilidad de nutrientes de las plantas y afecta la solubilidad, movilidad, disponibilidad y otros componentes inorgánicos y contaminantes presentes en el suelo. En suelos fuertemente ácidos se inhibe la actividad de los organismos del suelo, para los cultivos el valor ideal del pH es 6,5 (FAO, 2020).

Tabla 1. Escala de acidez

PH	Categoría
<5,0	Extremadamente ácido
5 – 5,5	Fuertemente ácido
5,5 – 6	Moderadamente ácido
6,0 – 6,5	Ligeramente ácido
6,5 – 7,3	Neutro
7,4 – 8	Alcalino
> 8,0	Muy Alcalino

Fuente: (Osorio N. , 2012)

La conductividad eléctrica se define como la capacidad del suelo para conducir la corriente eléctrica aprovechando las sales existentes y sus propiedades, de manera concreta mide la cantidad de sales solubles del suelo, depende de la concentración de sales en la solución del suelo, la conductividad eléctrica se mide en dS/m (decisiemens por metro) (Intagri, 2013).

Tabla 2. Escala de salinidad

Salinidad (CE dS/m)	
Intensidad	
Ninguna	< 0,75
Ligera	0,75 - 2
Moderada	2 - 4
Fuerte	4 - 8
Muy fuerte	8 - 15
Extrema	15

Fuente: (FAO, 2021)

La materia orgánica comprende la parte o fracción orgánica del suelo, ya que es uno de los elementos importantes de los diferentes ecosistemas, a través de ella se sostiene la vida en el planeta. La materia orgánica puede presentar un nivel alto de variabilidad aun estando a cortas distancias, como resultado de la interacción de los materiales de formación de suelo, ya siendo el material parental, el clima, el relieve, organismos y tiempo, obteniendo un porcentaje de materia orgánica (Khalajabadi, 2010).

El carbono orgánico es fijado al suelo a través de la vegetación; los suelos contienen más carbono que la vegetación y la atmósfera. También se puede encontrar de diferentes formas, ya sea orgánica e inorgánica, donde se estima que existe 1500 Pg (picogramo) de carbono orgánico a 1 m de profundidad, mientras que el carbono inorgánico se estimó que tiene valores de 1700 Pg a la misma profundidad. El carbono en condiciones normales suele ser el resultado del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de carbono del suelo en forma de atmósfera, erosión y lixiviación (Martinez y otros, 2008).

El nitrógeno está presente en la naturaleza, existen dos principales fuentes de N para las plantas, la atmósfera en donde el 78 % del aire es nitrógeno, y la materia orgánica, ya que aproximadamente el 98% está formando compuestos orgánicos, en los primeros 20 centímetros del suelo se encuentran entre 1000 y 10000 kg de nitrógeno por hectárea (Stevenson, 1982).

La relación carbono - nitrógeno es un índice de calidad que presenta el sustrato orgánico del suelo, lo cual indica la tasa de nitrógeno disponible para las plantas en donde los valores altos (mayores de 24) exponen que la materia orgánica se descompone lentamente ya que los microorganismos pueden inhabilitar el movimiento del nitrógeno por ende no puede ser utilizado por los vegetales. Por otro lado, si tenemos valores entre 10 y 14 representa una mineralización y descomposición más rápida, ya que está siendo estimulada la microbiota. También estos niveles de la relación carbono nitrógeno favorecen a los hongos y bacterias benéficas, ya que a valores bajos serán más eficientes en la descomposición de materia orgánica (Gamarra y otros, 2007).

Metodología

Área de estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las parroquias: Bulán, perteneciente al cantón Paute; Cutchil (Cuchil) al cantón Sigsig y Principal perteneciente al cantón de Chordeleg de la provincia del Azuay.

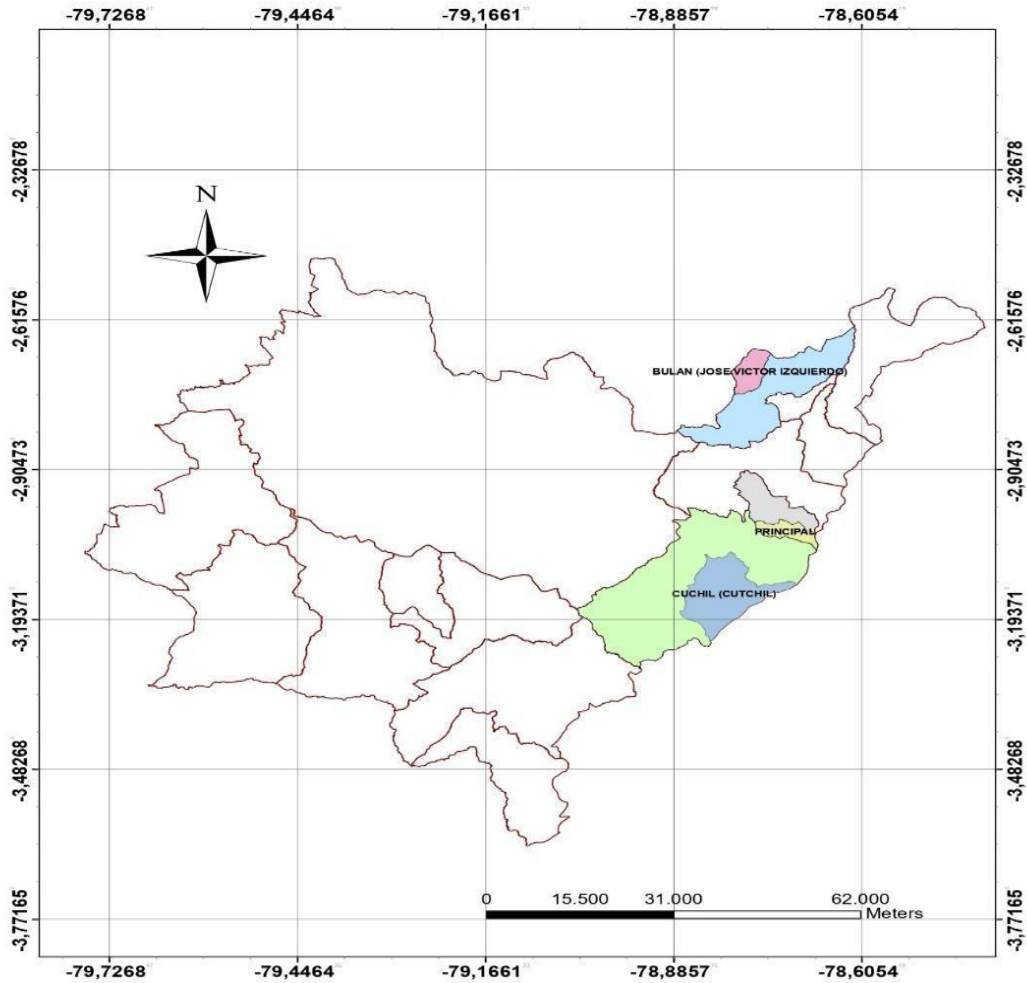


Imagen 3. Ubicación de las parroquias Bulán, Principal y Cutchil en la provincia del Azuay.

Realizado por: La autora.

Selección del sitio de muestreo

Se realizó un diseño completamente al azar, con 15 muestras y con 3 tipos de sistemas productivos por escenario, en tres escenarios de la provincia de Azuay, sumando un total de 135 muestras. La selección de los sitios de muestreo se realizó de acuerdo al criterio del investigador y a la disponibilidad de los productores. Según Salina (2004), el requisito de este tipo de muestreo es cumplir con un número de muestras requeridas (Anexos 1, 2 y 3).

Recolección de muestras

Al momento de realizar la recolección de muestras se procedió a hacer un rápido recorrido por el predio, para reconocer la zona de recolección que ayudó a que el muestreo sea homogéneo y representativo.

Una vez localizado el punto de muestreo se procedió a raspar el suelo aproximadamente 3 cm, para limpiar y eliminar residuos frescos de materia orgánica, polvo de carreteras u otros contaminantes artificiales.

Luego se procedió a cavar un hoyo en forma de "V" con una dimensión de 30x30 cm aproximadamente. Una vez realizado el hoyo se tomó una fracción de tierra de 2 a 3 cm de espesor de la pared del hoyo.

Con una navaja o un cuchillo, se cortó y retiró ambos lados de la fracción de tierra recolectada. Se colocó en un balde de plástico libre de fertilizante, cal, heces, cemento u otras impurezas. Se procedió a etiquetar la muestra y tomar coordenadas. Se repitió esto para cada punto seleccionado como punto de muestra.

Recolección de la muestra con el cilindro de volumen conocido

Se procedió a encontrar un punto de muestreo representativo, donde se eliminaron los residuos de la superficie (vegetación obstructiva, rocas superficiales o artefactos) al momento de la recolección, y se dieron pequeños golpes regularmente hasta que la tierra del interior estuvo a la altura del cilindro o ligeramente superior en el borde del mismo.

Se cavó con cuidado la tierra alrededor del cilindro y se retiró con una pala y/o cuchillo de campo asegurándose de que todavía quede tierra sobrante en el fondo.

Se alisó con cuidado ambos extremos y se cortó el exceso de raíces y tierra con tijeras y un cuchillo dentado. Primero inclinado y luego poco a poco con proyección plana cerca del borde del cilindro hasta que no existan gránulos que sobresalen por encima de dicho borde. También se eliminó la tierra adherida a la pared exterior del cilindro y luego se colocó una tapa en cada extremo, posteriormente se etiquetó y se transportó al laboratorio (Anexo 3).

Metodología para el objetivo: Caracterizar las propiedades físico químicas de los suelos en 3 escenarios de la provincia del Azuay, en sistemas agroforestales, cultivos de ciclo corto y pastizales.

Una vez recolectadas las muestras de campo se procedió según lo descrito por Sandoval et al. (2012).

Se homogeneizó la muestra manualmente disgregando los agregados de suelo aplicando presión con un martillo o mazo de madera, además se eliminó las raíces y rocas con tamaño considerable al igual que restos de visibles de insectos y luego se dejó secar durante una semana al ambiente en bandejas de aluminio.

Después de haber dejado secar la muestra se pasó a través de un tamiz de 2 mm y los agregados que no pasaron por el mismo se disgregaron con la mano, aplicando presión o en un mortero con movimientos circulares y se procedió a tamizar nuevamente.

Una vez se tamizó la muestra se separó una porción de por lo menos 500 g de suelo homogéneo, se almacenó en una bandeja de aluminio para que termine de secar al ambiente, y luego procedió a realizar los distintos análisis (Anexo 5).

En el presente objetivo se midieron variables físico-químicas las cuales se dividieron en dos fases:

Fase1: Variables Químicas

En esta fase se midieron niveles de Nitrógeno, pH, materia orgánica, Carbono, conductividad eléctrica y la relación Carbono/Nitrógeno.

Nitrógeno: Se calculó el nitrógeno total (%) tomando en cuenta la materia orgánica aplicando la siguiente fórmula:

$$N.T (\%) = M.O.*0,05$$

pH: La medición de pH se realizó mediante el método del Potenciómetro con relación 2:5: Se tomó 20 g de suelo y 50 ml de agua, se colocó en un vaso de precipitación y luego se procedió a mover con una varilla de vidrio durante 15 a 20 minutos. Una vez culminado el tiempo se procedió a medir con un medidor de pH, esto se realizó para cada una de las muestras recolectadas (Anexo 6).

Materia orgánica: Se utilizó el método por calcinación en donde se tomaron 20 g de suelo, luego se procedió a secar en una estufa durante 24 horas a 105°C. Después de esto se colocó 10 gramos de suelo en crisoles de porcelana de peso conocido para posteriormente ponerlos dentro de una mufla que quemó la materia orgánica durante 4 horas a 360 °C, se dejó enfriar los crisoles, se procedió a pesar y luego se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%MOS = \frac{\text{peso a } 105^{\circ}C - \text{Peso a } 360^{\circ}C}{\text{Peso a } 105^{\circ}C} * 100$$

Carbono: Para la determinación del contenido de carbono orgánico por unidad de volumen del suelo fue utilizado el método de calcinación. Para ello se determinó con anterioridad la densidad aparente a través del método de "cilindro de volumen conocido" (Anexo 9).

Utilizando un cilindro de volumen conocido se colocó la muestra a 105°C durante 24 horas, luego se obtuvo su peso seco y se calculó la densidad aparente. Posteriormente, se colocó 10 g de la muestra seca en un horno de mufla y se mantuvo a 400°C durante 3 horas. Finalmente se calculó la diferencia de peso medida antes y después de la calcinación. La

diferencia de peso se expresó entonces como porcentaje (%) con respecto al peso inicial de la muestra (secada a 105°C), correspondiente al % de la sustancia materia orgánica presente en muestras de suelo.

Luego se multiplicó el contenido de materia orgánica por el factor de Van Bemmelen de 1,724 para poder obtener el contenido total de carbono.

El contenido total de carbono en el suelo se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$COS = (COS) * pb * Prof * (1 - frag) * 10$$

Donde:

COS: Contenido de carbono orgánico del suelo, representativo del tipo de uso de este (Tm/ha).

(COS): Concentración de carbono orgánico del suelo para una determinada masa de suelo obtenida del análisis de suelo del laboratorio (g de suelo).

pb: Densidad aparente, masa de suelo por volumen de muestra (kg/m³)

Prof: Profundidad del horizonte o espesor de la capa del suelo en metros (m).

frag: Volumen porcentual de fragmentos gruesos/100, sin dimensiones.

A partir de muestras de suelo inalteradas se determinó el contenido de fragmentos de roca, el número de raíces y el peso seco.

Después de determinar la densidad aparente, se utilizó la muestra para obtener fragmentos de roca que indiquen la fracción >2 mm. Para ello las muestras fueron trituradas con la mano y lavadas sobre un tamiz No. 10 con malla de 2 mm. Su peso seco se obtuvo manteniéndolos a 105°C durante 24h, y el volumen de los fragmentos de roca se determinó en probetas llenas de agua, volumen que corresponde al volumen de agua desplazada (Puma, 2022).

Conductividad eléctrica: La medición de conductividad eléctrica se realizó a través del método de conductímetro en relación 1:5, donde se tomó 10 g de suelo y 50 ml de agua, se colocó en un recipiente de vidrio y luego se procedió a mover con una varilla de vidrio durante 15 a 20 minutos. Una vez culminado el tiempo se procedió a medir con un conductímetro y se obtuvo el resultado, esto se realizó para cada una de las muestras recolectadas.

Relación carbono/nitrógeno: Para la relación carbono nitrógeno se utilizó la fórmula (tomando en cuenta que se obtuvieron de la materia orgánica):

$$C/N = \frac{\text{Carbono orgánico}}{\text{Nitrógeno orgánico}}$$

Fase 2: Variables físicas

En esta fase se midió la densidad aparente, textura, estructura, densidad real y porosidad.

Densidad aparente: Para la densidad aparente se utilizó el método del volumen conocido, donde se recolectaron muestras (cilindros) en dos lugares del agujero que se realizó para tomar la muestra a 20 cm utilizando un cilindro. Para determinar los parámetros físicos del suelo las muestras se secaron a 105°C durante 24 h, posteriormente se pesaron las muestras (anillo + suelo) y los anillos, y se obtuvo el valor promedio entre las dos muestras (Villaseñor, 2016). Se utilizó la siguiente fórmula para obtener la densidad aparente:

$$D_a = \frac{(\text{peso seco de la muestra} + \text{anillo}) - (\text{peso anillo})}{\text{Volumen del anillo}}$$

Textura: La textura del suelo se determinó mediante el método de Bouyoucos, utilizando un hidrómetro, que evalúa el porcentaje de arena, limo y arcilla separando las partículas según diámetro. Se tamizaron muestras de suelo a través de un tamiz número 10 (2 nm), luego se secó a 105°C durante 24 horas, se pesó 20 g de tierra y se agregó 20 ml de hexametáfosfato de sodio disuelto en agua. Luego se revolvió en una mezcladora de suelo durante 20 minutos y se lavó la muestra a través de un tamiz de 63µm. Posteriormente la muestra se colocó en el juego de hidrómetro y se recogieron los datos en diferentes tiempos: 50 segundos, 5 minutos, 2 horas, 16 horas y 24 horas (Anexo 10), y una vez se obtuvieron los datos se calculó el porcentaje de limo + arcilla con la siguiente fórmula (Villaseñor, 2016):

$$(\text{limo} + \text{arcilla})\% = \frac{[La_{40s} - ((20 - t_{a40s}) \times 0,35)] - [Lb_{40s} - ((20 - t_{b40s}) \times 0,35)]}{m \times (1 - 0,01 \times M.O)} \times 100$$

Donde:

La40s= lectura en g L-1 de muestra a los 40 s.

Lb40s= lectura en g L-1 del blanco a los 40 s.

ta40s= temperatura en °C de la muestra a los 40 s.

tb40s= temperatura en °C del blanco a los 40s.

0,35 = factor de corrección por temperatura.

M= masa en g de muestra.

Calcular el contenido de arcilla, en %, según:

$$(\text{arcilla})\% = \frac{[La_{7h} - ((20 - t_{a7h}) \times 0,35)] - [Lb_{7h} - ((20 - t_{b7h}) \times 0,35)]}{m \times (1 - 0,01 \times M.O)} \times 100$$

Donde:

La7h= lectura en g L-1 de muestra a las 7h.

Lb7h= lectura en g L-1 del blanco a las 7h.

ta7h= temperatura en °C de la muestra a las 7 h.

tb7h= temperatura en °C del blanco a las 7h.

0,35 = factor de corrección por temperatura.

m= masa en g de muestra.

Cálculo del contenido de limo en % según:

$$(limo)\% = (limo + arcilla) - (arcilla)$$

Donde:

(Limo + Arcilla) = (limo + arcilla) % calculado.

(Arcilla) = arcilla % calculado.

Cálculo del contenido de arena, en %, según:

Donde:

$$(Limo + Arcilla) = (limo + arcilla) \% calculado$$

Resultados en las unidades:

Arcilla (<0,002 mm) = %

Limo (0,002 mm a 0,05 mm) = %

Arena (>0,05 mm) = %

Estructura: Para la estructura se procedió a tomar una porción de tierra de tamaño mediano, se presionó suavemente con los dedos y se minimizó el ped por sus articulaciones naturales.

Se agrupó por tipo según su forma.

Se registró el tipo correspondiente según su clasificación:

- Laminar
- Prismática

- Columnar
- Bloque angular
- Bloque subangular
- Granular

Densidad real: La densidad real se calculó mediante el método del picnómetro (uso de picnómetros de 25 ml), en donde se pesó el mismo con su respectivo tapón, tomando en cuenta que esté seco y con su respectiva etiqueta. Luego se agregó en el picnómetro 5 g de suelo tamizado a 2 mm, posteriormente se agregó agua hasta la mitad de la capacidad del picnómetro, se agitó y luego se eliminó el aire de la muestra. Se aforó con agua el picnómetro, y finalmente se pesó el balón con su contenido de agua y muestras de suelo (Villaseñor, 2016).

Porosidad: La porosidad total se determinó midiendo el volumen de líquido del suelo que alcanzó un estado de saturación. Se pesó la muestra de suelo saturado (generalmente extraído por el método del cilindro), se secó y se pesó nuevamente. La pérdida de peso representa el volumen total de poros, suponiendo que la densidad del agua en la muestra es igual a 1 gr/cm³.

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$PT(\%) = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100$$

Donde:

PT: Porosidad Total

Da: Densidad aparente

Dr: Densidad real

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los análisis de laboratorio de los tres escenarios (Bulán, Cutchil y Principal) y los tres sistemas de producción (agroforestal, ciclo corto y pasto), fueron digitalizados en una hoja de cálculo de Excel. Luego se procedió a realizar un análisis de normalidad de datos mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov, dando como resultado que los datos no son paramétricos ($p < 0,05$), por lo que se realizaron las pruebas de varianza no paramétrica, mediante el test de Kruskal Wallis a través del programa InfoStat, y finalmente se compararon mediante la correlación de Spearman tanto los resultados de cada uno de los sistemas de producción como las variables obtenidas.

Resultados

Nitrógeno

Luego de realizar una prueba de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov y obtener que los datos no fueron normales, se realizó el Test de comparación de Kruskal-Wallis para la variable Nitrógeno, y se pudo observar diferencias estadísticamente significativas entre tipos de sistemas de producción en diferentes escenarios, colocándolos en cinco grupos: A, AB, BC, CD y D. El sistema productivo de pasto presente en la parroquia Principal presentó mayor mediana en el porcentaje de nitrógeno con 0,72% (Tabla 3).

Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis aplicada en Nitrógeno para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.

SISTEMA PRODUCTIVO	ESCENARIO	MEDIANAS % N	RANGO	H	P
Ciclo corto	Bulán	0,25	A	44,58	<0,0001
Pasto	Bulán	0,36	AB		
Agroforestal	Bulán	0,40	AB		
Ciclo corto	Principal	0,35	AB		
Ciclo corto	Cutchil	0,36	AB		
Agroforestal	Principal	0,35	AB		
Agroforestal	Cutchil	0,54	BC		
Pasto	Cutchil	0,58	CD		
Pasto	Principal	0,72	D		

En la figura 1 se puede observar el porcentaje de nitrógeno con un $p < 0,0001$; donde se evidencia que el sistema productivo de tipo agroforestal con mayor porcentaje de nitrógeno se encontró en la parroquia Cutchil con 0,54%, el sistema productivo de ciclo corto con mayor porcentaje se encontró en la parroquia Bulán con 0,40% de nitrógeno, y el sistema productivo de tipo pasto con mayor porcentaje es de 0,72% que se encontró en la parroquia Principal. Por consiguiente uno de los sistemas de producción con mayor porcentaje de nitrógeno es el de tipo pasto o pastizal.

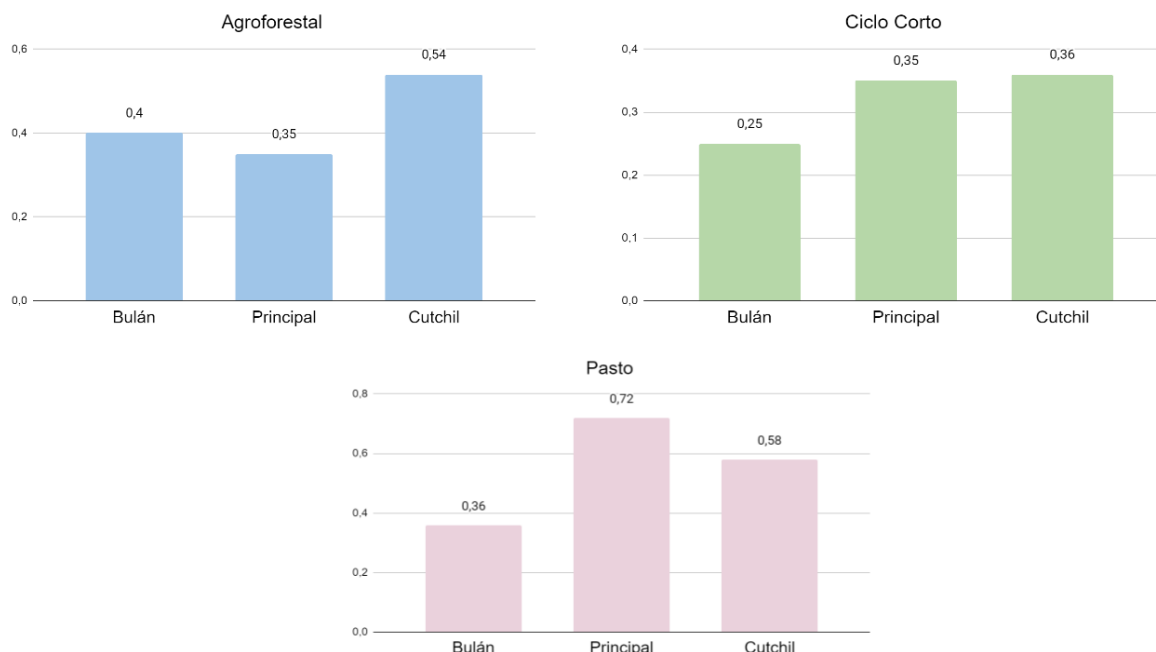


Figura 1. Porcentaje de nitrógeno de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.

pH

En la variable de pH se realizó el Test de comparación de Kruskal-Wallis y se pudo observar diferencias estadísticamente significativas entre tipos de sistemas de producción en diferentes escenarios, ubicándolos en cuatro grupos: A, B, BC y C (*Tabla 4*).

Tabla 4. Prueba de Kruskal Wallis aplicada en pH para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.

SISTEMA PRODUCTIVO	ESCENARIO	MEDIANAS pH	RANGO	H	P
AGROFORESTAL	Cutchil	6,19	A	34,39	<0,0001
CICLO CORTO	Principal	6,33	A		
PASTO	Cutchil	6,13	A		
PASTO	Principal	6,31	A		
AGROFORESTAL	Principal	6,46	A		
CICLO CORTO	Cutchil	6,54	B		
PASTO	Bulán	6,81	BC		
CICLO CORTO	Bulán	7,06	BC		
AGROFORESTAL	Bulán	7,16	C		

En la figura 2 se puede observar el pH con un $p < 0,0001$; en donde el sistema productivo de tipo agroforestal en la parroquia Bulán posee una mediana 7,16, el sistema productivo de ciclo corto presente en la parroquia Bulán tiene un pH de 7,06 y el sistema productivo de tipo pasto cuenta con un pH de 6,81 el cual se encuentra en la parroquia Bulán. En las Imágenes

4, 5 y 6 se puede observar la distribución espacial de valores de pH de las parroquias Bulán, Cutchil y Principal respectivamente.

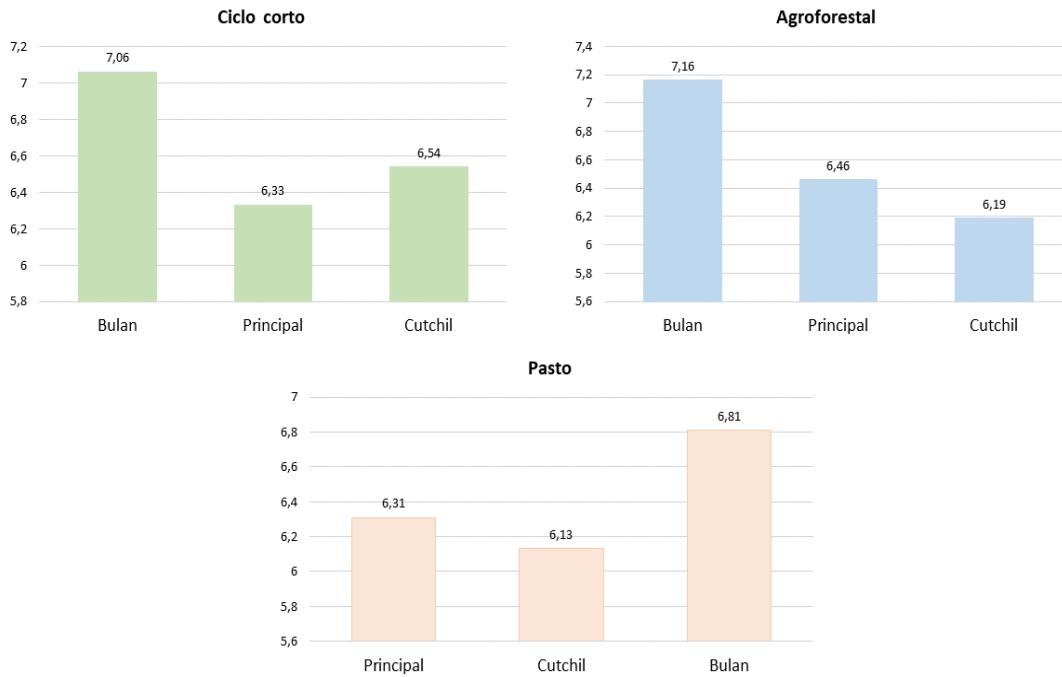


Figura 2. Nivel de pH de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.

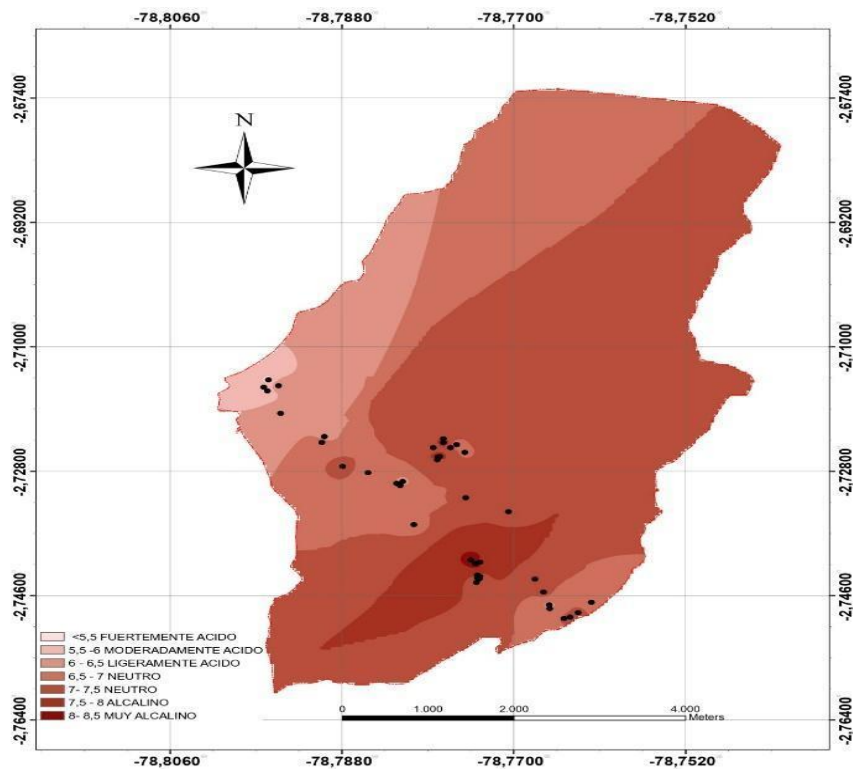
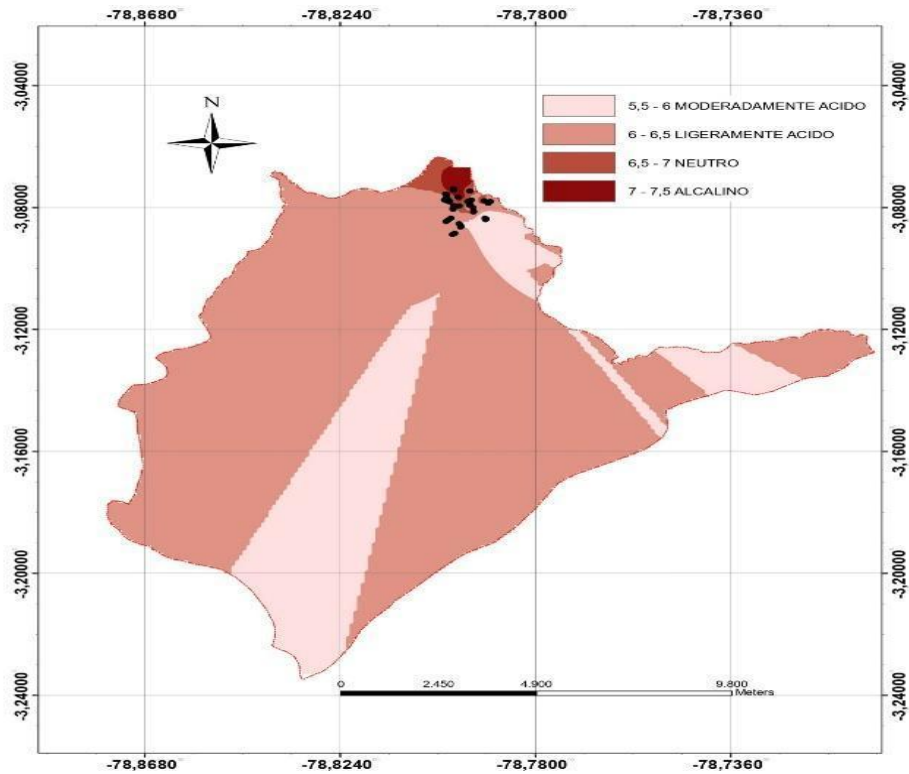
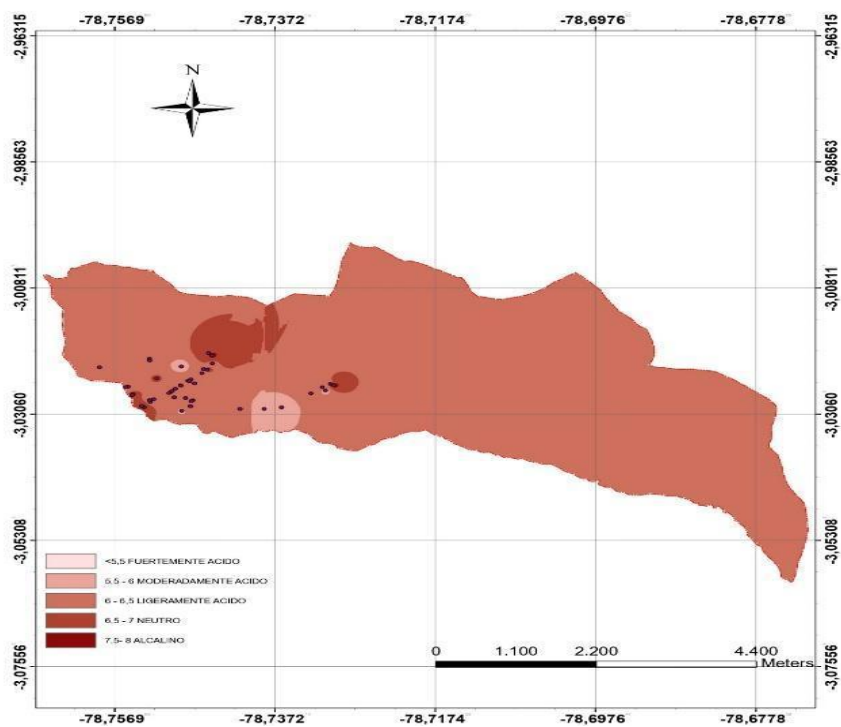


Imagen 4. Distribución espacial de pH de la parroquia Bulán. Realizado por: La autora.



**Imagen 5. Distribución espacial de pH de la parroquia Cutchil.
Realizado por: La autora.**



**Imagen 6. Distribución espacial de pH de la parroquia Principal
Realizado por: La autora.**

Materia orgánica

Se realizó el Test de comparación de Kruskal-Wallis y se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tipos de sistemas de producción en distintos escenarios, ubicándolos en cuatro grupos: A, AB, B y C. Los sistemas productivos con medianas significativas fueron los sistemas agroforestales de la parroquia Cutchil con 10,70% y pasto de la parroquia Principal con 14,35% (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a la Materia Orgánica para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.

SISTEMA PRODUCTIVO	ESCENARIO	MEDIANAS % MOS	RANGO	H	P
CICLO CORTO	Bulán	4,90	A	44,5	<0,0001
PASTO	Bulán	67,20	AB		
AGROFORESTAL	Bulán	7,95	AB		
CICLO CORTO	Principal	6,95	AB		
CICLO CORTO	Cutchil	6,54	AB		
AGROFORESTAL	Principal	6,46	AB		
AGROFORESTAL	Cutchil	10,70	B		
PASTO	Cutchil	6,13	C		
PASTO	Principal	14,35	C		

En la figura 3 se puede observar la materia orgánica con un $p < 0,0001$; en donde el sistema productivo de tipo agroforestal con porcentaje más alto se encontró en la parroquia Cutchil con una mediana de 10,70%, el sistema productivo de ciclo corto con valor más alto se encontró en la parroquia Principal con 6,95% y el sistema productivo de tipo pasto con mayor porcentaje es de 14,35% que se encuentra en la parroquia Principal. Como se puede evidenciar entre los valores más altos de los tres sistemas productivos en los diferentes escenarios, es el pasto de la parroquia Principal. Se observan en las imágenes 7, 8, 9 la distribución espacial del porcentaje de materia orgánica en las parroquias Bulán, Cutchil y Principal respectivamente.

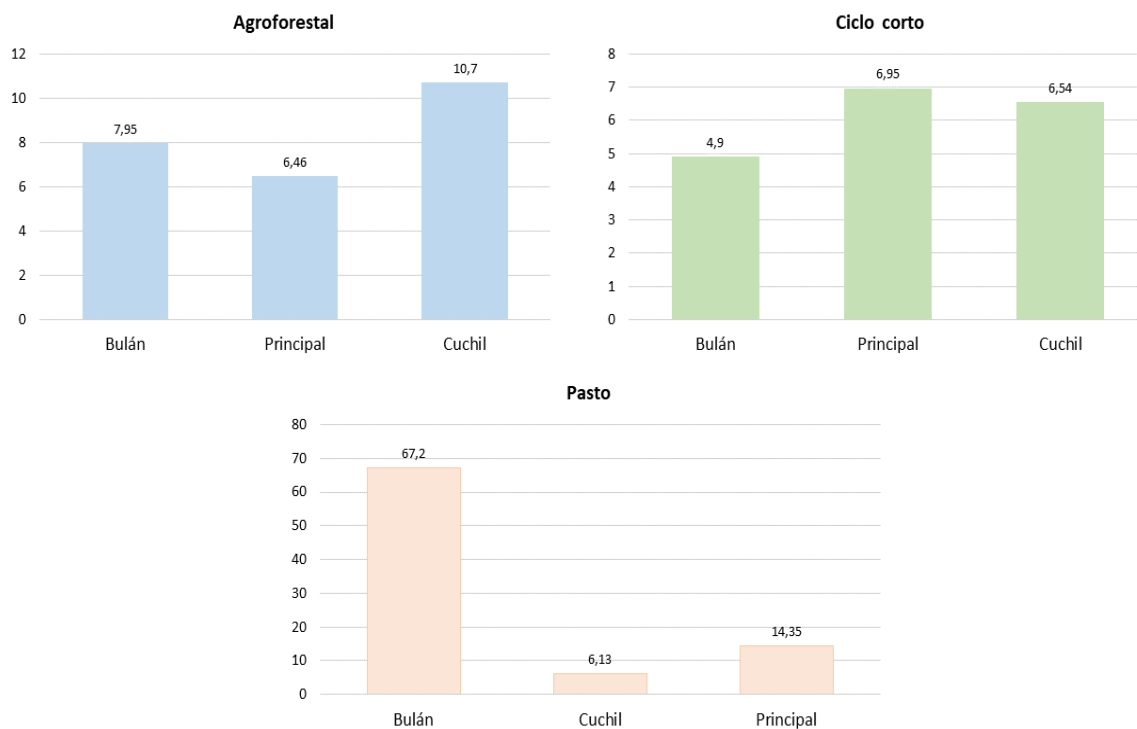


Figura 3. Porcentaje de materia orgánica de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.

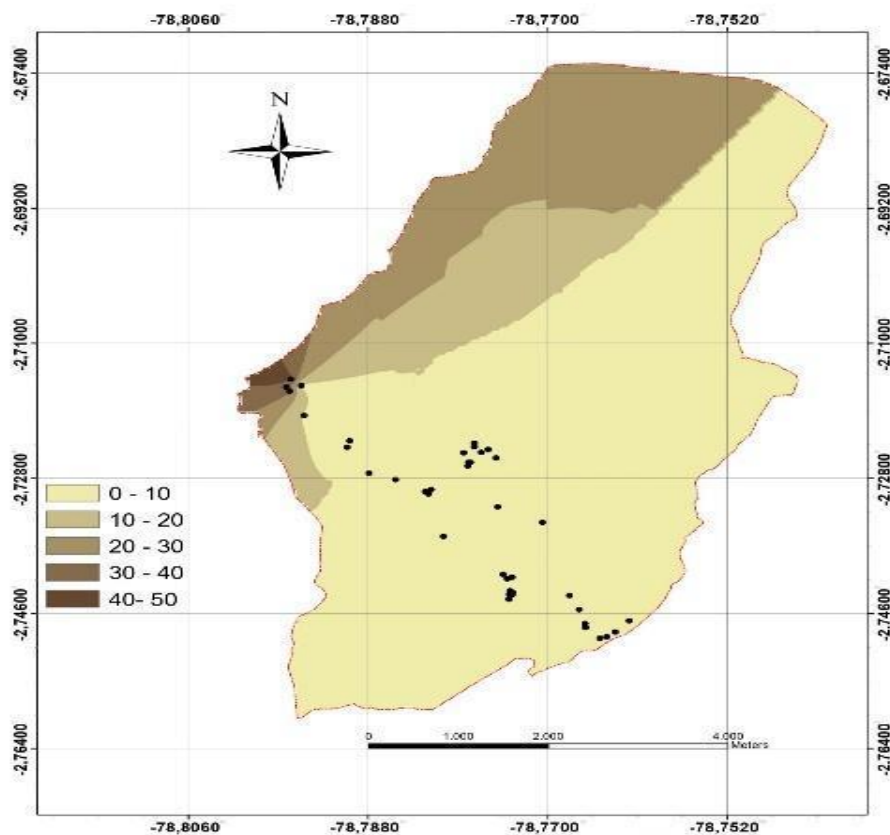


Imagen 7. Distribución espacial de materia orgánica de la parroquia Bulán.

Realizado por: La autora.

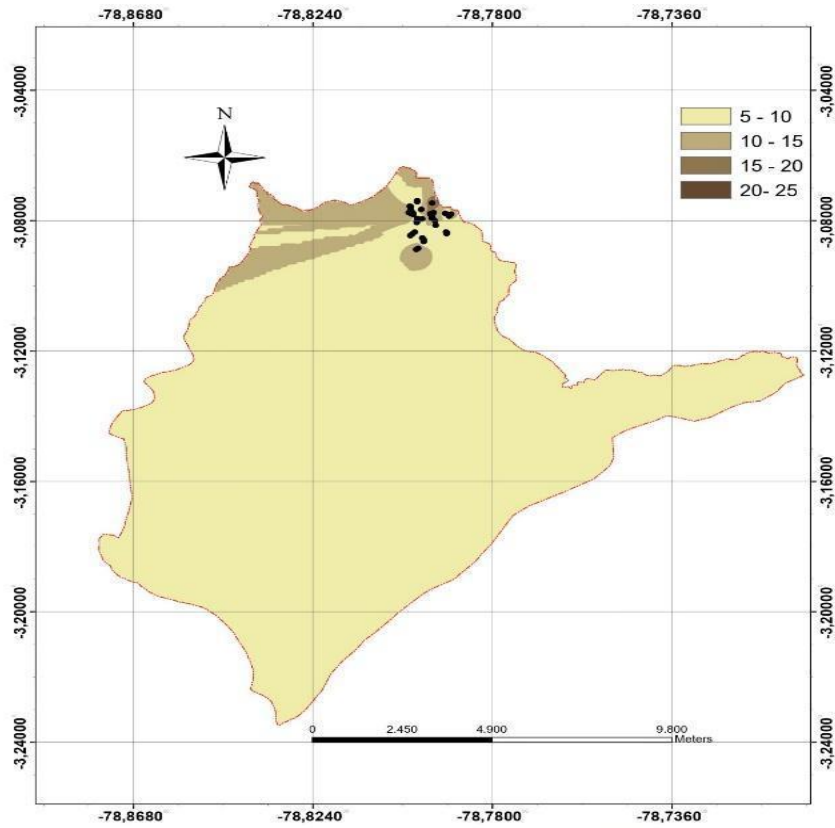


Imagen 8. Distribución espacial de materia orgánica de la parroquia Cutchil.

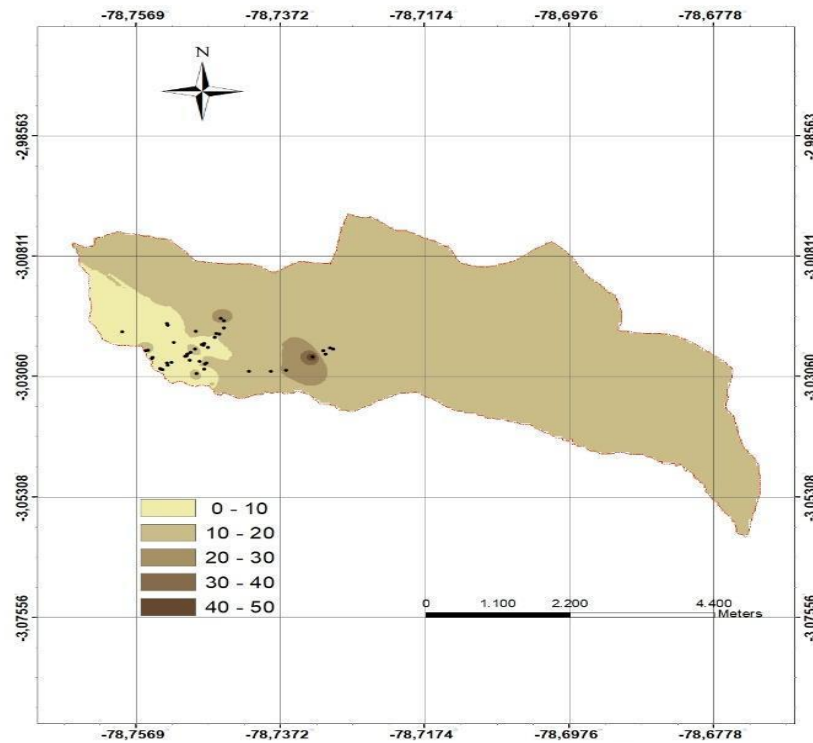


Imagen 9. Distribución espacial de materia orgánica de la parroquia Principal.

Realizado por: La autora.

Carbono

Se realizó el Test de comparación de Kruskal-Wallis y se observó diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de sistemas de producción en distintos escenarios, colocándolos en cuatro grupos: A, AB, BC y C. El sistema productivo con valor más alto de carbono es el pasto presente en la parroquia Principal con 192,70 T/ha (*Tabla 6*).

Tabla 6. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a carbono para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.

SISTEMA PRODUCTIVO	ESCENARIO	MEDIANAS T/ha COS	RANGO	H	P
CICLO CORTO	Bulán	81,08	A	32,42	<0,0001
CICLO CORTO	Principal	91,93	A		
PASTO	Bulán	94,88	A		
AGROFORESTAL	Bulán	100,13	A		
PASTO	Cutchil	102,74	AB		
CICLO CORTO	Cutchil	102,74	AB		
AGROFORESTAL	Principal	115,01	AB		
AGROFORESTAL	Cutchil	143,47	BC		
PASTO	Principal	192,70	C		

En la figura 4 se puede observar el carbono con un $p < 0,0001$; en el cual el sistema productivo de tipo agroforestal con mayor cantidad de carbono se encontró en la parroquia Cutchil con una mediana de 143,47 T/ha, el sistema productivo de ciclo corto con valor más alto se encontró en la parroquia Cutchil con 102,74 T/ha y el sistema productivo de tipo pasto con mayor porcentaje es de 192,7 T/ha que se encuentra en la parroquia Principal. En consecuencia, el sistema productivo con mayor cantidad de carbono es el pasto perteneciente a la parroquia Principal con 192,7 T/ha.



Figura 4. Cantidad de carbono de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.

Conductividad eléctrica

En la figura 5 se puede observar la conductividad eléctrica con un $p < 0,2520$; donde el sistema productivo de tipo agroforestal presente en la parroquia Bulán tuvo una mediana de 135,84 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el sistema productivo de ciclo corto presentó un valor de 165,89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el cual se encontró en la parroquia Principal y el sistema productivo de tipo pasto se encontró en la parroquia Cutchil con un valor de 107,02 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En las imágenes 10,11,12 se observa la distribución espacial de valores de conductividad eléctrica de las parroquias Bulán, Cutchil y Principal respectivamente. Cabe mencionar que los gráficos que se observan en los resultados son una interpolación en toda la extensión de dichos lugares, que fueron realizados en base a la toma de datos en campo, sin embargo, dicha interpolación que están en los lugares que no presenta datos no se podría otorgar fiabilidad, ya que se empleó para mejorar la calidad grafica de las imágenes.

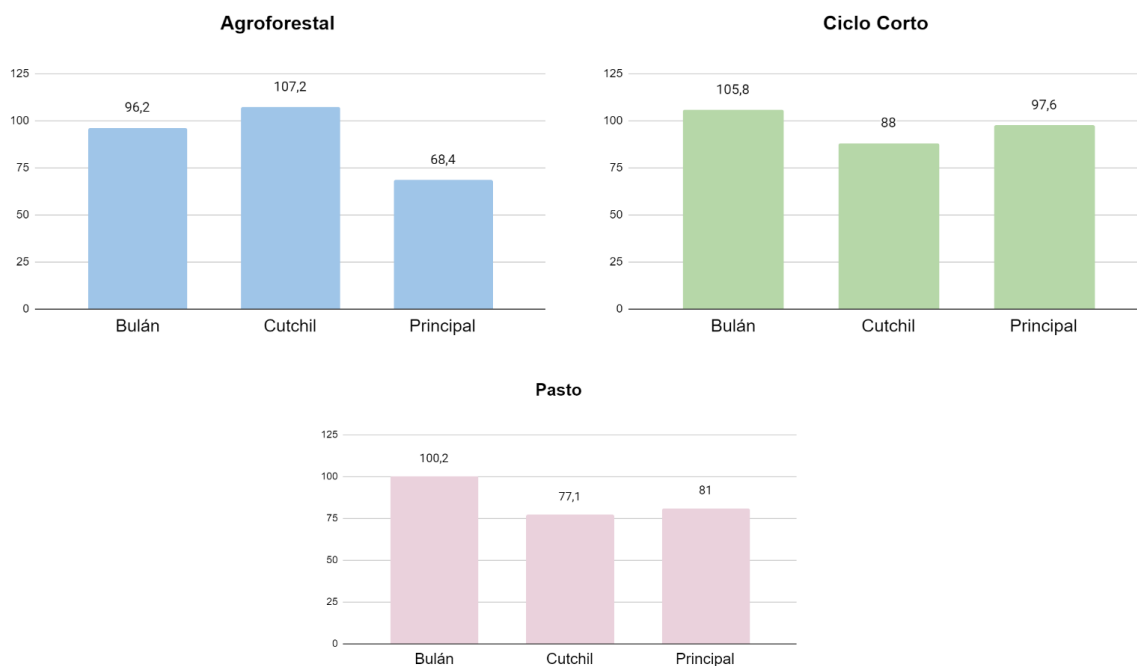
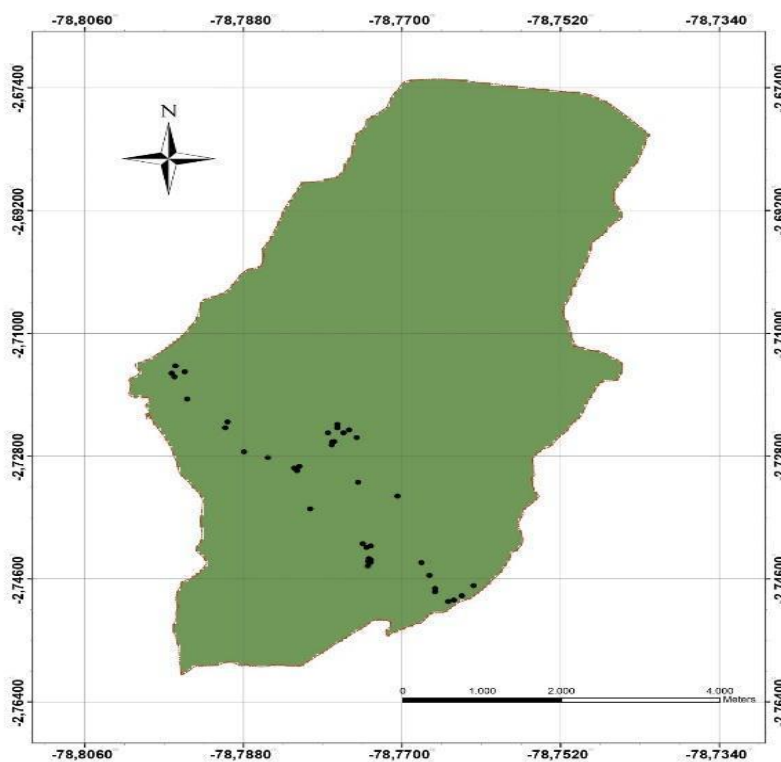


Figura 5. Niveles de conductividad eléctrica de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.



**Imagen 10. Distribución espacial de salinidad de la parroquia Bulán.
Realizado por: La autora.**

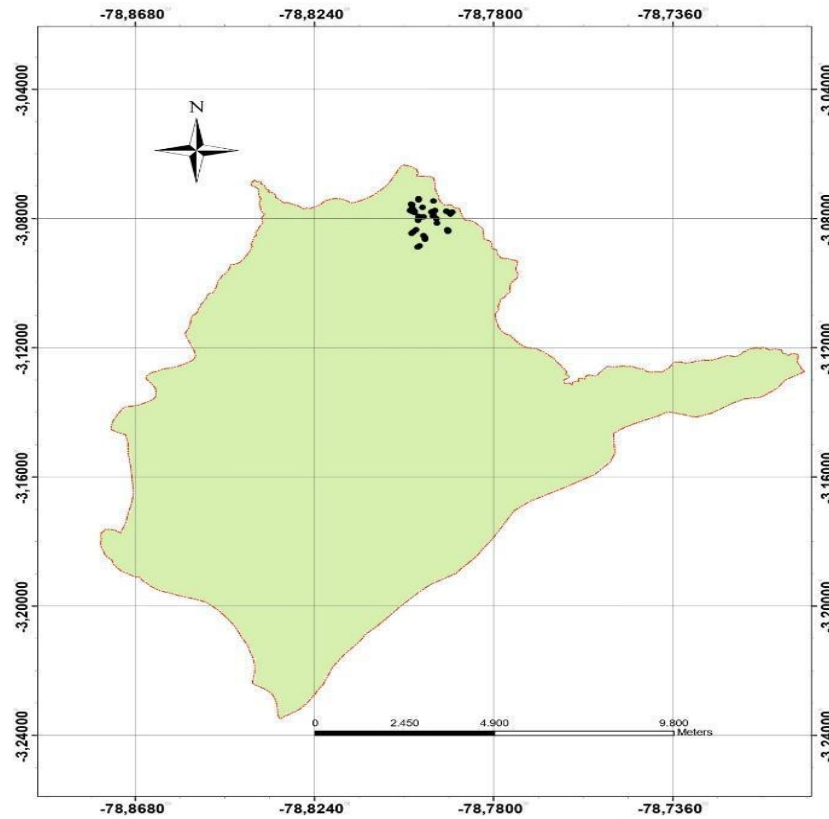


Imagen 11. Distribución espacial de salinidad de la parroquia Cutchil.

Realizado por: La autora

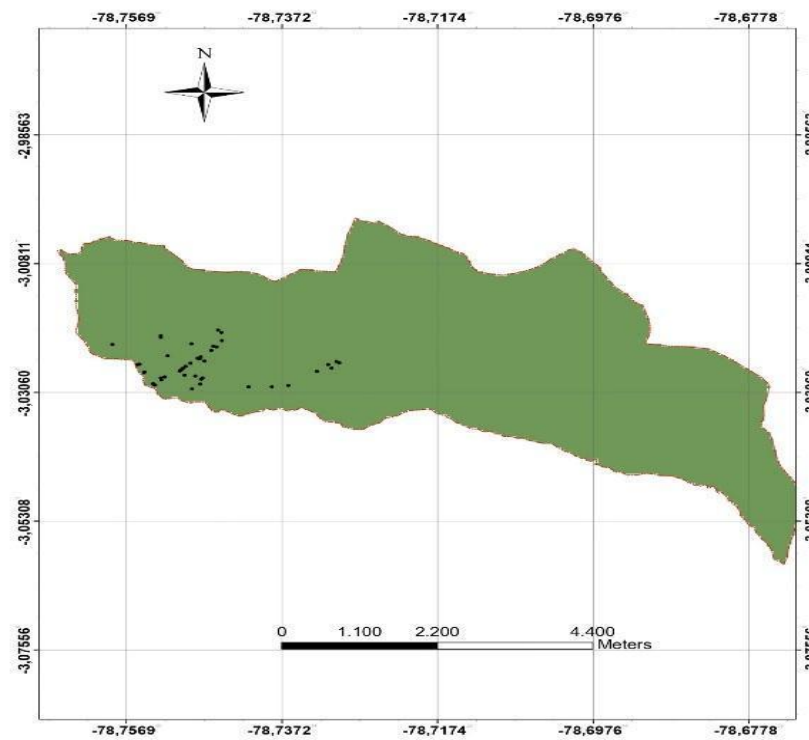


Imagen 12. Distribución espacial de Salinidad de la parroquia Principal.

Realizado por: La autora.

Relación Carbono/Nitrógeno

Después de haber obtenido la relación carbono/nitrógeno se pudo observar que en las parroquias Bulán, Cutchil y Principal se presentó una relación muy similar, ya que en todas ellas se encontró el valor de carbono de 11,6 en una molécula de nitrógeno, dando una relación 11,6:1.

Densidad aparente

Se realizó el Test de comparación de Kruskal-Wallis y se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de sistemas de producción en diversos escenarios, colocándolos en seis grupos: A, AB, BC, BCD, CD y D. El sistema productivo con valor más alto de densidad aparente es el pasto que está presente en la parroquia Bulán con $1,87 \text{ g/cm}^3$ (Tabla 7).

Tabla 7. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a densidad aparente para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.

SISTEMA PRODUCTIVO	ESCENARIO	MEDIANAS $\text{g/cm}^3 \text{ Da}$	RANGO	H	P
PASTO	Cutchil	1,16	A	49,24	<0,0001
PASTO	Principal	1,17	A		
AGROFORESTAL	Cutchil	1,31	AB		
CICLO CORTO	Cutchil	1,42	AB		
CICLO CORTO	Principal	1,44	BC		
AGROFORESTAL	Principal	1,53	BCD		
PASTO	Bulán	1,87	CD		
AGROFORESTAL	Bulán	1,69	D		
CICLO CORTO	Bulán	1,83	D		

En la figura 6 se puede observar la densidad aparente con un $p < 0,0001$. El sistema productivo de tipo agroforestal con valor más alto de densidad se encontró en la parroquia Bulán con una mediana de $1,69 \text{ g/cm}^3$, el sistema productivo de ciclo corto con valor más alto se encontró en la parroquia Bulán con $1,83 \text{ g/cm}^3$ y el sistema productivo de tipo pasto con mayor densidad aparente se encontró en la parroquia Cutchil con $1,87 \text{ g/cm}^3$. La parroquia Cutchil posee el sistema productivo de tipo pasto con el valor más alto de densidad aparente de $1,87 \text{ g/cm}^3$.

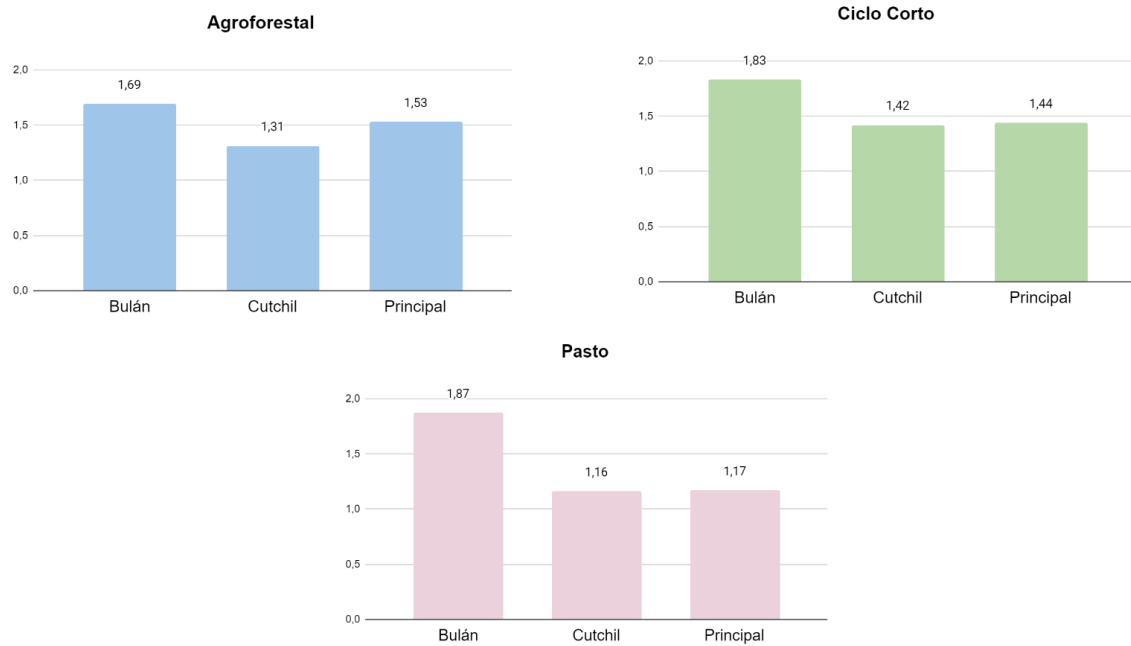


Figura 6. Densidad aparente de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.

Textura

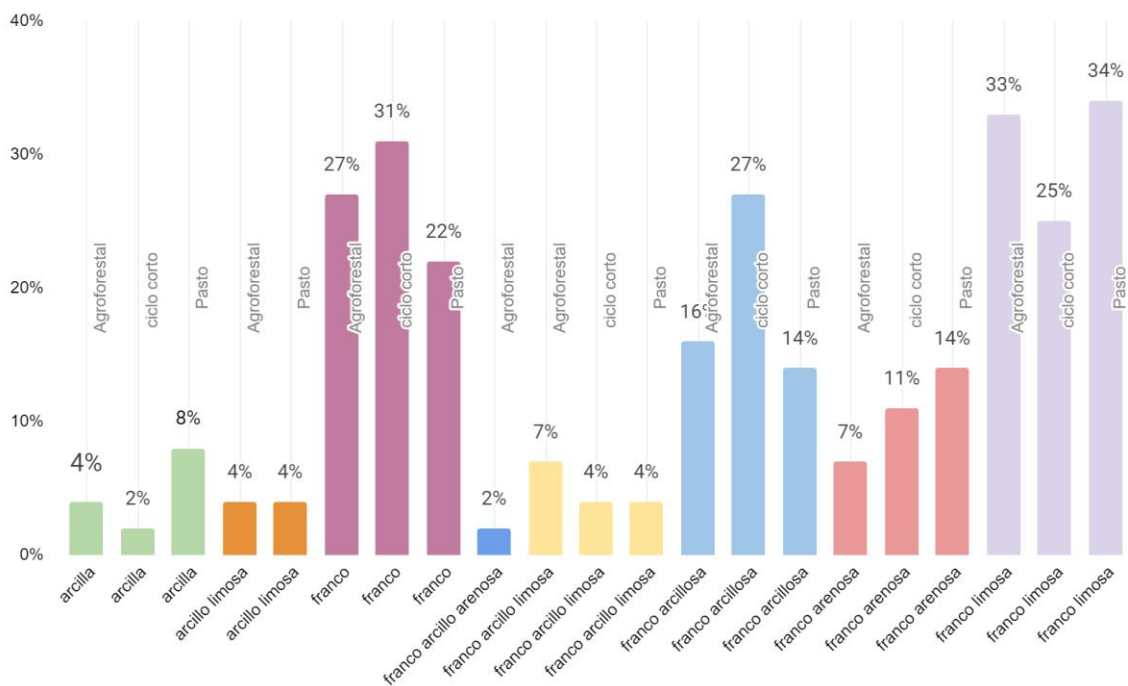


Figura 7. Clases texturales de las Parroquias Bulán, Cutchil y Principal.

En la figura 7 se pueden observar las clases texturales: franco arcillo arenosa, franco arcilloso, franco arenoso, franco limoso, franco, arcilla, franco arcillo limosa y arcillo limosa. Todas estas clases texturales se encontraron en los sistemas productivos agroforestales de las parroquias Bulán, Cutchil y Principal, de las cuales se pudo destacar las clases: franco y franco limoso, que se presentaron mayoritariamente en estas zonas. También las clases texturales: franco arcilloso, franco arenoso, franco limoso, franco, arcilla y franco arcillo limosa, que se encontraron en los sistemas productivos de ciclo corto de las parroquias estudiadas, entre las cuales se pudieron destacar las clases franco arcillosa y franco limoso, que se presentaron mayoritariamente en estas zonas. También se puede observar las clases texturales: franco arcilloso, franco arenoso, franco limoso, franco, arcilla, franco arcillo limosa y arcillo limosa, que se encontraron en los sistemas productivos de pasto de las parroquias Bulán, Cutchil y Principal. De estas se pudieron destacar las clases franco limoso y arcilla, ya que se presentaron mayoritariamente en estas zonas.

Estructura

En la figura 8 se pueden observar los tipos de estructura de tres escenarios (Bulán, Principal y Cutchil), donde se encontraron dos clases: granular y migajosa. En el sistema agroforestal se presentó 40% migajosa y 60% granular, en el sistema productivo de ciclo corto se presentó un 60% granular y 40% migajosa, y en el sistema de tipo pasto se presentó un 42% granular y 58% migajosa.

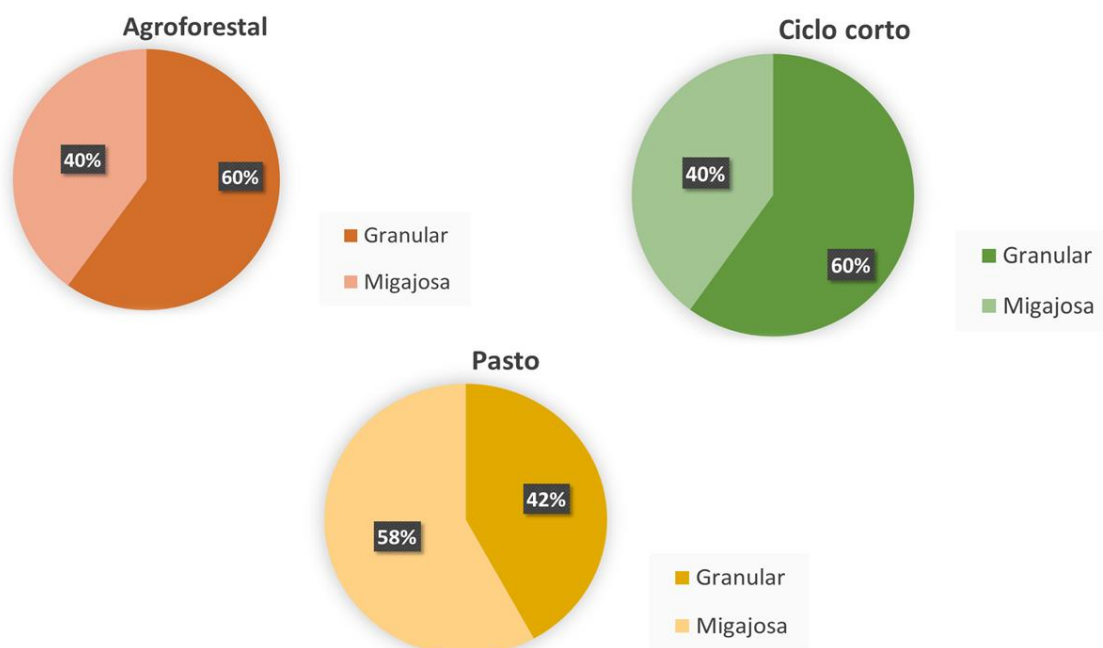


Figura 8. Tipos de estructura en los sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.

Densidad real

Se realizó el Test de comparación de Kruskal-Wallis y se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de sistemas de producción en distintos escenarios, colocándolos en seis grupos: A, AB, BC, BCD, CD y D. El sistema productivo con el valor más alto de densidad real fue el agroforestal, presente en la parroquia Bulán con 2,40 g/cm³ (Tabla 8).

Tabla 8. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a densidad real para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.

SISTEMA PRODUCTIVO	ESCENARIO	MEDIANAS g/cm ³	RANGO	H	P
PASTO	Principal	1,97	A	30,89	<0,0001
PASTO	Cutchil	2,10	AB		
AGROFORESTAL	Cutchil	2,23	BC		
CICLO CORTO	Principal	2,16	BCD		
PASTO	Bulán	2,24	BCD		
CICLO CORTO	Cutchil	2,32	CD		
CICLO CORTO	Bulán	2,38	CD		
AGROFORESTAL	Principal	2,38	CD		
AGROFORESTAL	Bulán	2,40	D		

En la figura 9 se puede observar la densidad real con un $p < 0,0001$; en el cual el sistema productivo de tipo agroforestal con valor más alto de densidad real se encontró en la parroquia Bulán con una mediana de 2,40 g/cm³, el sistema productivo de ciclo corto con valor más alto se encontró en la parroquia Bulán con 2,38 g/cm³, y el sistema productivo de tipo pasto con mayor densidad real se encontró en la parroquia Cutchil con 2,24 g/cm³. En la parroquia Bulán se observó el cultivo de pasto con mayor densidad real igual a 2,40 g/cm³.

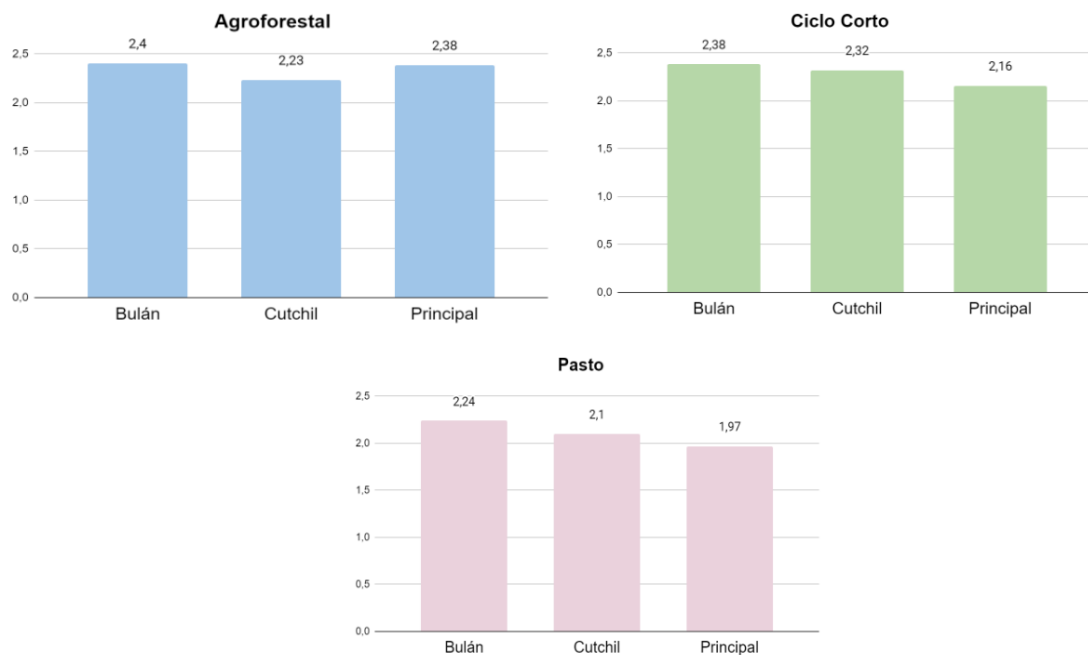


Figura 9. Densidad real de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.

Porosidad

Se realizó el Test de comparación de Kruskal-Wallis y se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de sistemas de producción en diferentes escenarios, ubicándolos en cuatro grupos: A, AB, BC y C. Por lo tanto, el sistema productivo con valor más alto de porosidad fue el pasto presente en la parroquia Cutchil con 42,59% (Tabla 9).

Tabla 9. Prueba de Kruskal Wallis aplicada a la porosidad para tres sistemas productivos en tres escenarios de la provincia del Azuay.

SISTEMA PRODUCTIVO	ESCENARIO	MEDIANAS %	RANGO	H	P
PASTO	Bulán	20,35	A	28,40	<0,0004
CICLO CORTO	Bulán	26,37	A		
AGROFORESTAL	Bulán	29,16	AB		
AGROFORESTAL	Principal	37,47	BC		
CICLO CORTO	Principal	39,20	BC		
PASTO	Principal	38,83	C		
AGROFORESTAL	Cutchil	38,89	C		
CICLO CORTO	Cutchil	39,90	C		
PASTO	Cutchil	42,59	C		

En la figura 10 se puede observar el porcentaje de porosidad con un $p < 0,0004$. El sistema productivo de tipo agroforestal con valor más alto de porosidad se encontró en la parroquia

Cutchil con una mediana de 38,89%, el sistema productivo de ciclo corto con valor más alto se encontró en la parroquia Cutchil con 39,9%, y el sistema productivo de tipo pasto con mayor porosidad se encontró en la parroquia Principal con 42,59%. La parroquia principal tuvo el sistema productivo de pasto con el valor más alto de porosidad con 42,59%.

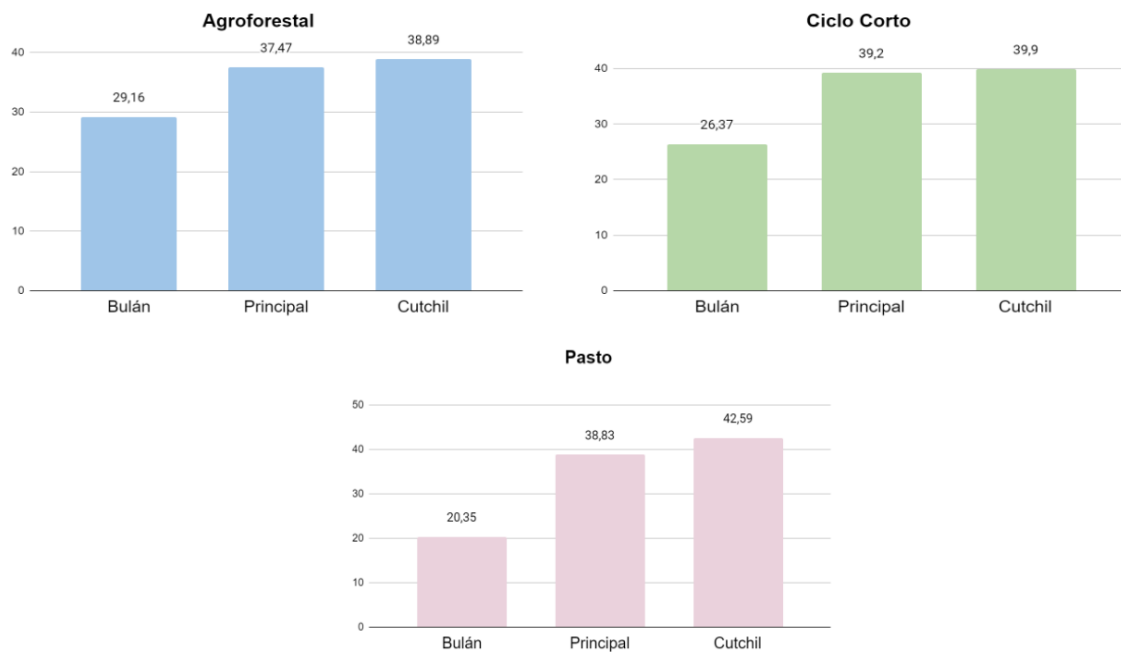


Figura 10. Porosidad de tres sistemas de producción en tres escenarios de la provincia del Azuay.

Correlaciones

Se realizó una prueba de Spearman con las variables nitrógeno (N%) y materia orgánica (MO), obteniendo valores de correlación significativos donde se presentó un valor alto de correlación con 0.9998 y un valor de $p=1.52e-30$. Por consiguiente, el valor de nitrógeno es 100% dependiente de la materia orgánica, además, es importante recalcar que el nitrógeno se encuentra dentro de la materia orgánica en un aproximado de 20 veces. Por lo tanto, mientras mayor sea la materia orgánica mayor la cantidad de nitrógeno (Figura 11).

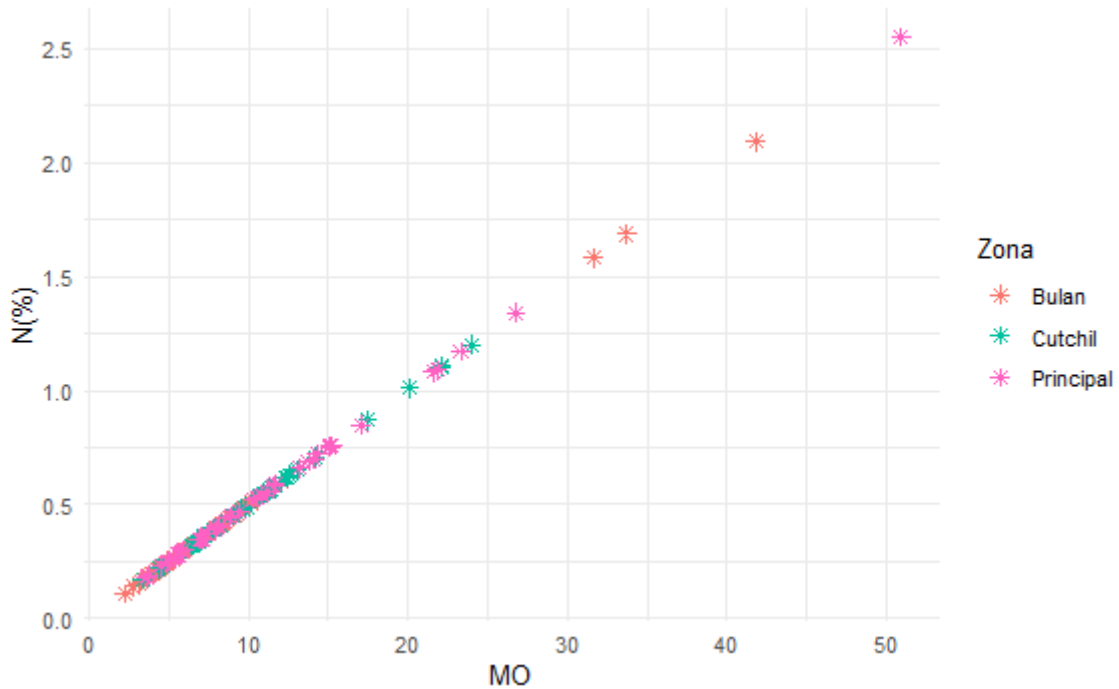


Figura 11. Correlación entre nitrógeno (N%) y materia orgánica (MO).

Se realizó la correlación con los valores de las medianas de porosidad (poro) y densidad aparente (DA), obteniendo valores de correlación donde se presentó un valor de correlación igual a -0.827 y un valor de $p=1.87e-21$. Por consiguiente, el valor de la porosidad no es dependiente de la densidad aparente. Así que, mientras menor sea la porosidad mayor la densidad aparente (Figura 12).

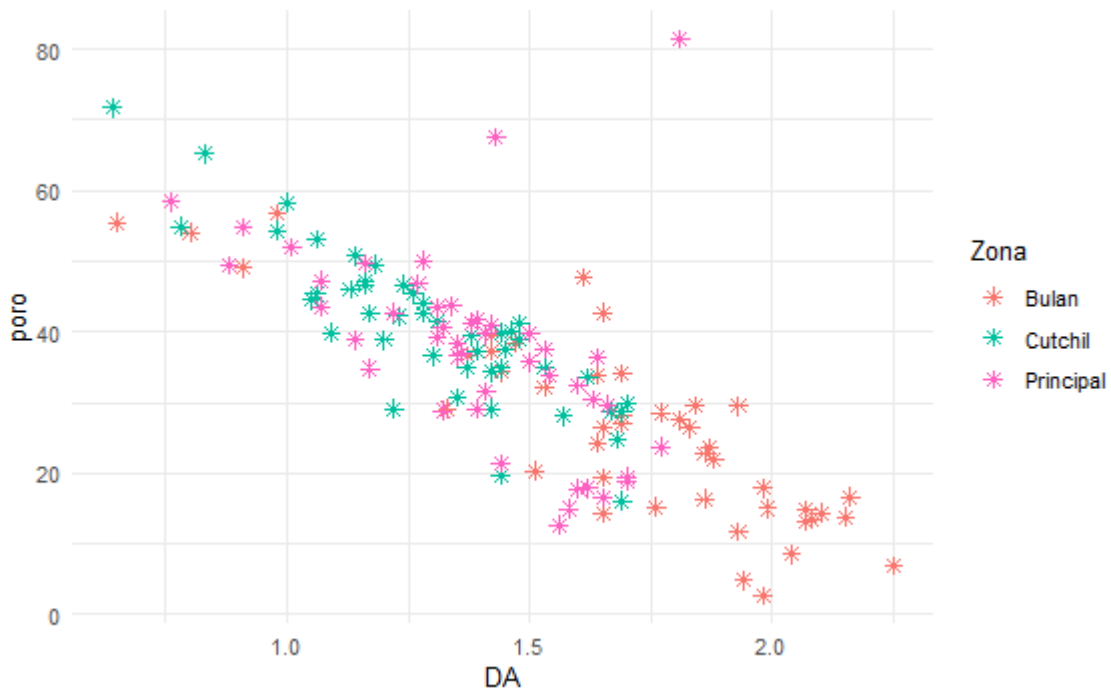


Figura 12. Correlación entre porosidad (poro) y densidad aparente (DA).

Se realizó la correlación con los valores de las medianas entre nitrógeno (N%) y carbono (Ctha), obteniendo valores de correlación significativos, donde se presentó un valor de correlación de 0.768 y un valor de $p=1.04e-18$. Por lo tanto, el valor de nitrógeno es dependiente del carbono, mientras mayor sea el nitrógeno mayor será el carbono (Figura 13).

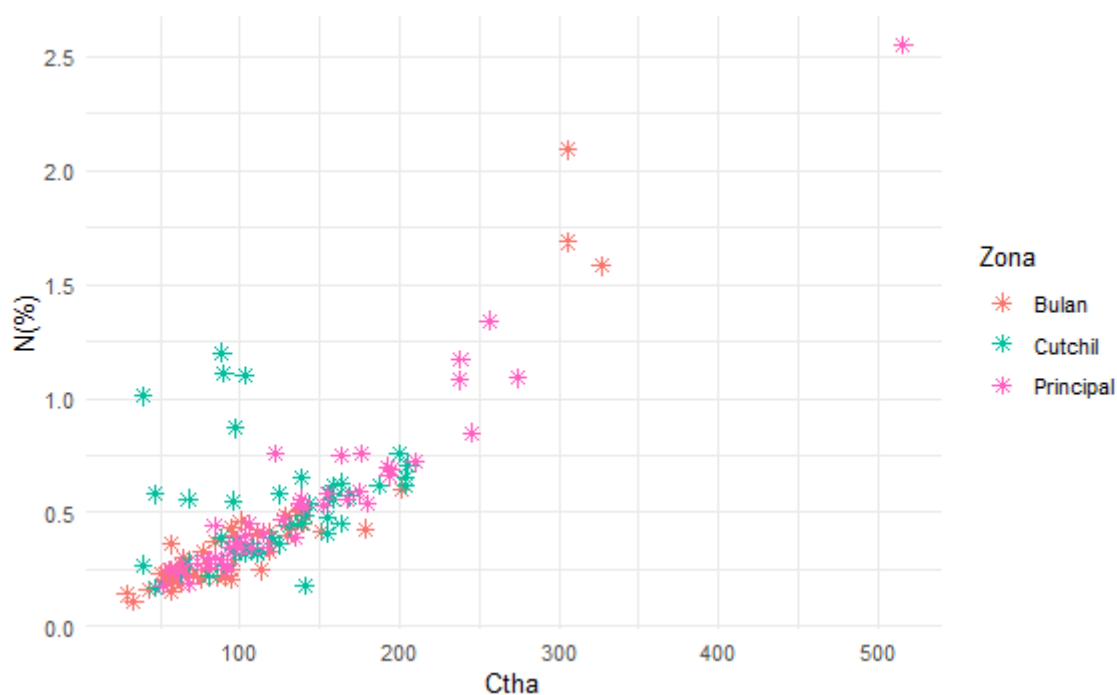


Figura 13. Correlación entre nitrógeno(N%) y carbono (Ctha).

Se realizó la correlación con los valores de las medianas de carbono (Ctha) y materia orgánica (MO), obteniendo valores de correlación significativos, donde se presentó un valor de correlación de 0.768 y un valor de $p=1.10e-18$. Por lo tanto, el valor de carbono es dependiente de la materia orgánica, así que, mientras mayor es el carbono mayor será el contenido de materia orgánica (Figura 14).

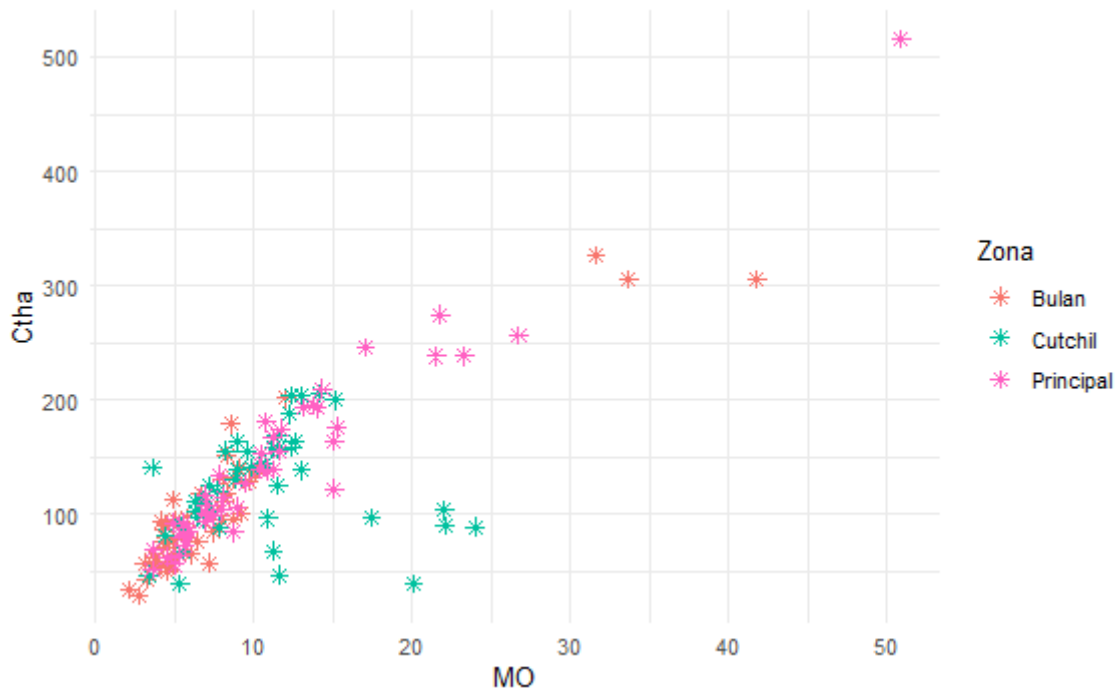


Figura 14. Correlación entre carbono (Ctha) y materia orgánica (MO).

Al analizar la correlación con los valores de las medianas de nitrógeno (N%) y densidad aparente (DA), se obtuvieron valores de correlación significativos, los cuales presentaron un valor de -0.691 y un valor de $p=1.94e-15$. El valor de nitrógeno se presentó independiente de la densidad aparente, por consiguiente mientras menor sea la el nitrógeno mayor será la densidad aparente (Figura 15).

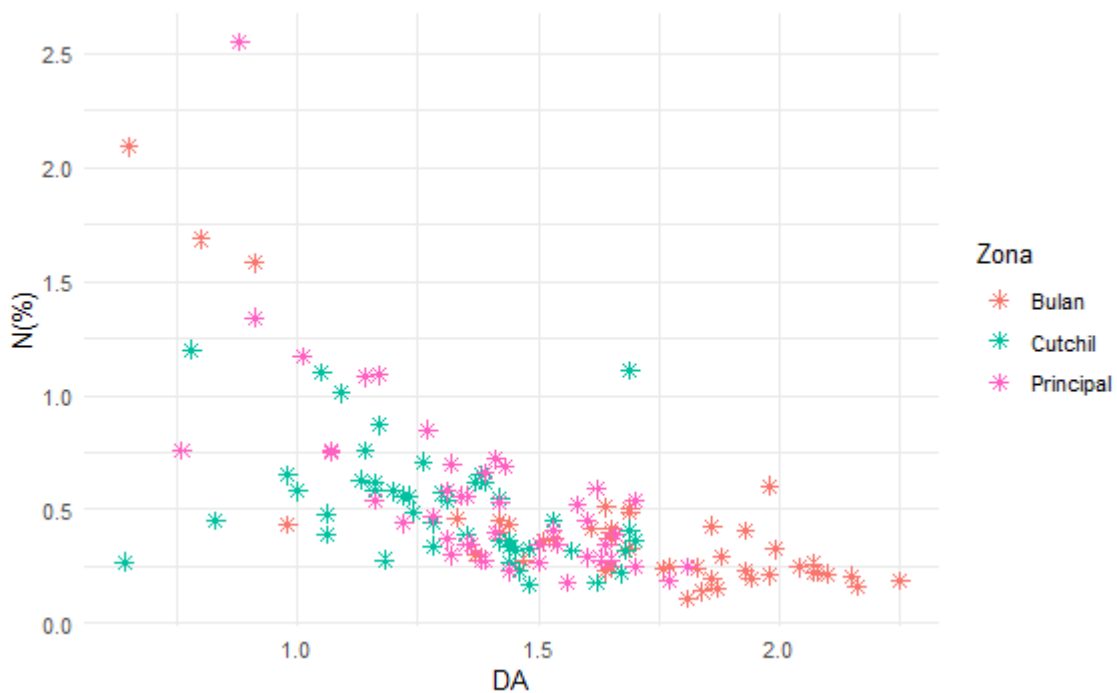


Figura 15. Correlación entre nitrógeno (N%) y densidad aparente (DA).

Se realizó la correlación con los valores de las medianas de densidad aparente (DA) y materia orgánica (MO), donde se obtuvieron valores de correlación significativos, los cuales presentaron un valor de -0.691 y un valor de $p=1.97e-15$. El valor de la densidad aparente se presentó independiente de la materia orgánica, por lo tanto, mientras menor sea la densidad aparente mayor será el contenido de materia orgánica (Figura 16).

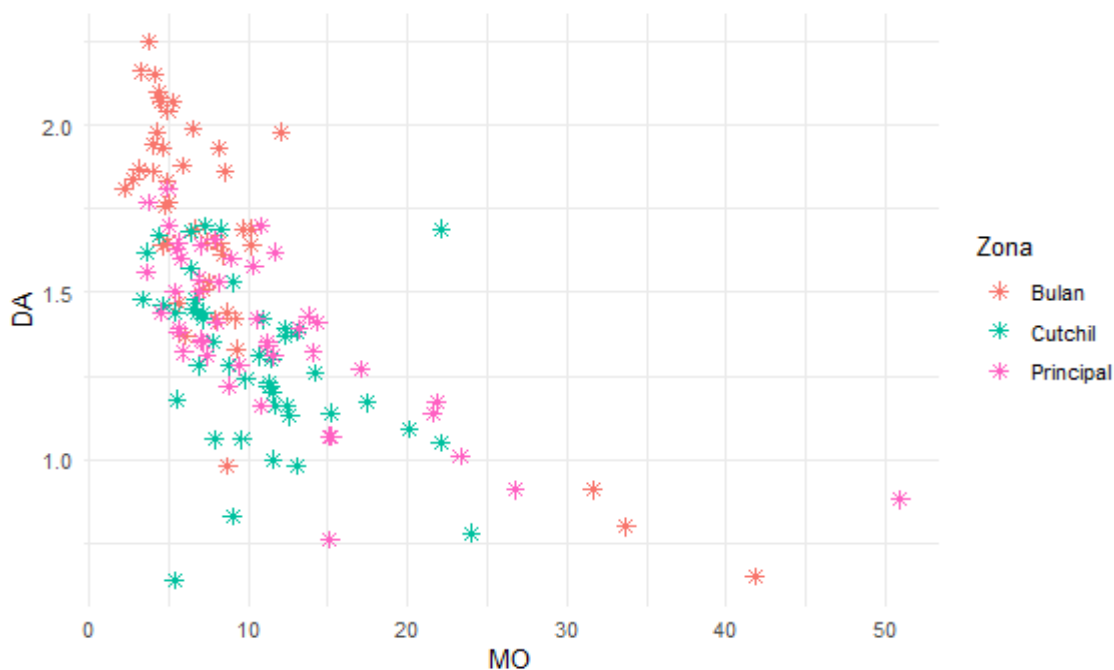


Figura 16. Correlación entre densidad aparente (DA) y materia orgánica (MO).

Discusión

El sistema productivo de tipo agroforestal con mayor porcentaje de nitrógeno se encontró en la parroquia Cutchil con 0,54% a una altura de 2541 m.s.n.m, sin embargo, se pudo evidenciar que el porcentaje es bajo ya que en un estudio realizado por Furcal et al. (2023), el porcentaje nitrógeno total mostró niveles óptimos los cuales oscilaban entre 2,52 y 3,07% en los cultivos agroforestales ubicados en parcelas a 17 m.s.n.m. Además, según Owen (1994) afirma que el nivel óptimo de nitrógeno es de 2,5%, lo que demuestra que para este estudio los niveles son muy bajos. El sistema productivo de ciclo corto con mayor porcentaje se encontró en la parroquia Bulán con 0,40% de nitrógeno a una altura de 2777 m.s.n.m. Delgado et al. (2022) reportó en su investigación un porcentaje muy bajo de nitrógeno de 0,033% a 5 m.s.n.m, esto debido a que la extracción de nutrientes sucede en este sistema por el exceso de labranza en los primeros 15 cm del suelo. El sistema productivo de tipo pasto con mayor porcentaje para este estudio es de 0,72% y se encuentra en la parroquia Principal a 2791 m.s.n.m; en un estudio realizado por Molina et al. (2017) presentó un porcentaje de 0,13% a una altura de

2.820 m.s.n.m, lo que implica que tiene una cantidad de nitrógeno muy bajo en comparación con los datos obtenidos.

El pH es un indicador de la disponibilidad de los nutrientes y la reacción que presenta el suelo. Para el sistema productivo de tipo agroforestal ubicado en la parroquia Bulán, el cual estuvo conformado en su mayoría por frutales caducifolios (durazno, manzana, reina, capulí), aguacate, pino, entre otros, se obtuvo un pH 7,16. Resultados similares se encontraron en un estudio realizado por Macz & Gálvez (2006), donde se observó un pH de 6,4 en un sistema agroforestal conformado por café y árboles frutales. Además, Gutiérrez & Restrepo (2019) obtuvieron un pH que oscila entre 5,5 y 6,5, en un sistema agroforestal constituido por aguacate. En el sistema productivo de ciclo corto presente en la parroquia Bulán que obtuvo un pH de 7,06, Osorio et al, (2017) afirma que los cultivos de ciclo corto (ajonjolí, maíz, frejol y calabaza) presentaron un pH de 6,0, lo que indica que estos cultivos están relacionados a este tipo de pH. Mientras que para el sistema productivo de tipo pasto se observó un pH de 6,81 el cual se encuentra en la parroquia Bulán; en un estudio realizado por Mendoza (2007) sostiene que las pasturas de leguminosas están ligadas a pH que oscilan entre 5,5 y 6 para una buena producción, también se observó en un estudio realizado en pasturas que existe un pH que va desde 5,7 a 6,4, muy similares a los obtenidos en este estudio (Eraso Cabrera, 2014). Por lo tanto, en base a lo mencionado y los resultados obtenidos en este estudio, se puede exponer que existe una relación entre el cultivo y el pH de los suelos.

El sistema productivo de tipo agroforestal con porcentaje de materia orgánica más alto se encontró en la parroquia Cutchil con valor de 10,70 % a 2541 m.s.n.m. En un estudio realizado por Saavedra et al. (2019) la unidad agroforestal con los porcentajes más altos de materia orgánica fueron 5,5 % a una altura de 612 msnm, lo que implica que mientras haya presencia de materia orgánica habrá interacciones biológicas en el suelo. Para el sistema productivo de ciclo corto se encontró un valor de 6,95 % ubicado en la parroquia Principal con una altura de 2791 m.s.n.m, cuyos resultados son comparables con un estudio realizado por Delli (2022), que mostró un porcentaje de 7,98 % y 8,27 % a una altura de 2754 m.s.n.m, dando como resultado que los sistemas productivos tienen valores óptimos de materia orgánica con alturas similares. Finalmente, para el sistema productivo de tipo pasto ubicado en la parroquia Principal se encontró un valor de 14,35 % con altura de 2791 m.s.n.m, y en un estudio similar se presentó un porcentaje de materia orgánica de 3,47 %, siendo un valor muy bajo en comparación del resultado obtenido en este estudio. Céspedes (2007) menciona que, en las praderas ubicadas a 500 m.s.n.m, la mayoría de residuos orgánicos son administrados por las raíces y por lo tanto son incorporados directamente en el interior del perfil del suelo, lo cual presenta una diferencia evidente de los sistemas agroforestales. En adición a esto, la FAO (2013) menciona que el valor máximo de materia orgánica es del 10 %, ya que el exceso

de este porcentaje puede provocar problemas físicos y por ende cambios en las propiedades químicas del suelo, llegando a provocar el estrés de la planta.

El sistema productivo de tipo agroforestal con mayor cantidad de carbono se encontró en la parroquia Cutchil con un valor de 143,47 T/ha, en un estudio realizado por Alvarado et al. (2013) se reportó valores inferiores con un promedio de 52,0 T/ha, esto podría indicar que los suelos de este estudio son manejados de manera adecuada ya que el aumento del carbono orgánico del suelos en la superficie se debe a la distribución y desarrollo de las raíces finas, más la caída de las hojas en el sistema productivo. Además, en otro estudio realizado por Ruiz & Somarriba (2002) que investigaron el carbono en SAF (sistemas agroforestales) en Nicaragua, donde pudieron observar que los suelos almacenaban entre 42,3 y 120,9 T/ha lo que representa un rango más extenso, los autores postulan que la variación se debe a las variables tales como el uso del suelo, el clima y la topografía. El sistema productivo de ciclo corto con valor más alto se encontró en la parroquia Cutchil con 102,74 T/ha, en un estudio similar, se encontró a los 20 cm de profundidad del suelo una cantidad de carbono que está entre 26,56 y 36,96 T/ha, siendo mucho menor al valor obtenido en este estudio, esto se debe a la cantidad de materia orgánica que existe en el suelo, ya que a mayor materia orgánica mayor fijación de carbono (Quito, 2018). Para el sistema productivo de tipo pasto con mayor porcentaje es de 192,7 T/ha ubicado en la parroquia Principal; en un estudio relacionado se pudo observar en 20 cm de profundidad entre 26,05 a 43,50 T/ha de carbono. Según la FAO (2018) menciona que el ingreso de COS (Carbono orgánico en el suelo) es debido a la perturbación biológica que tiene el suelo, en su mayoría lo cumple la parte radicular de las plantas, estos valores bajos podrían estar ligados a la presencia de distintas composiciones del material vegetativo y por lo tanto afecta a los patrones y tasa de descomposición (Fisher y otros, 2007).

El sistema productivo de tipo agroforestal con valor de 135,84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.13584 dS/m) de conductividad eléctrica se encontró en la parroquia Bulán, estos resultados concuerdan con un estudio realizado por Piña & Marquez (2019), en donde se observó una conductividad eléctrica que oscila entre 0,14 a 0,17 dS/m a los 20 cm de profundidad del suelo. Además, en otro estudio se observó valores en los sistemas productivos con 0,3 dS/m (Saavedra y otros, 2019), en todos estos se observó una conductividad eléctrica baja. Para el sistema productivo de ciclo corto con un valor de 165,89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.1658 dS/m) se encontró en la parroquia Principal; en un estudio similar se encontró 0,3 dS/m en los primero 15 cm del suelo (Delgado y otros, 2022). Y Para el sistema productivo de tipo pasto con conductividad eléctrica de con 107,02 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.1070 dS/m) se encontró en la parroquia Cutchil, en un estudio similar, se presentó un valor de conductividad eléctrica de 1,96 dS/m, lo que presentó un valor alto que ocasiona problemas de flujo de nutrientes a la planta (Jaurixje y otros, 2013). Según

Barrezueta-Unda (2019) menciona un nivel óptimo de conductividad eléctrica es de 1.00 dS/m y este valor concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación.

Se pudo observar que en las parroquias Bulán, Cutchil y Principal que presentaron una relación carbono nitrógeno 11,6:1. En un estudio realizado por Acevedo et al. (2020) se observó un promedio de C/N a 20 cm de profundidad de 10,06:1, esto demuestra que la relación C/N presenta un valor bastante similar a los datos obtenidos en esta investigación, ya que, la relación C/N es un indicador del potencial del suelo para transformar la materia orgánica en nitrógeno mineral. Si la relación C/N es muy baja, existe una cantidad de nitrógeno que es liberada (García y otros, 2009). Según Novelli et al. (2009) La fertilización nitrogenada en los sistemas productivos podría ser un potencial reductor de la relación C/N, ya que al momento de aumentar el N y no afectar de manera significativa el C, se puede producir una mayor biomasa y de cierta manera potenciar mayor fijación del carbono orgánico en los suelos.

El sistema productivo de tipo agroforestal con valor más alto de densidad aparente se encontró en la parroquia Bulán con un valor de 1,69 g/cm³. El cual concuerda con un estudio realizado por Saavedra et al. (2019), donde el sistema productivo agroforestal presentó valores de Da con 1,64 g/cm³, así pues, indica un nivel alto de compactación que podría estar asociado al sistema radical del cultivo; en otro estudio realizado por Serrano et al. (2016) se obtuvo una densidad aparente de 1,41 g/cm³ y para el cultivo de ciclo corto con un valor de 1,40 g/cm³ a los 20 cm de profundidad, presentó un valor más bajo, en comparación del sistema productivo de ciclo corto con valor más alto que se encontró en la parroquia Bulán con 1,83 g/cm³. El sistema productivo de tipo pasto con mayor densidad aparente se encontró en la parroquia Cutchil con 1,87 g/cm³, en estudios similares se observó a los 20 cm de profundidad de suelo una densidad aparente de 1,33 g/cm³, lo que supone que la presencia de raíces está implicada directamente en la compactación del suelo (Jaurixje y otros, 2013). Las densidades aparentes que son menores a 1 g/cm³ se pueden considerar óptimas, puesto que, el suelo contará con un espacio poroso de alrededor del 60%, lo que permite mantener una cantidad alta de micro y mesoporos que ayuda al suelo a retener agua (Delli, 2022).

Cabe mencionar que se encontró en los sistemas productivos agroforestales de las parroquias Bulán, Cutchil y Principal las siguientes clases texturales: franco y franco limoso. Estos resultados no concuerdan con los suelos encontrados en un estudio realizado por Murray et al. (2014), en donde se encontró a 20 cm de profundidad una textura arcillosa. Para los sistemas productivos de ciclo corto de las parroquias Bulán, Cutchil y Principal, se obtuvo las clases: franco arcilloso y franco limoso, que presentan mayor presencia en estas zonas.

Macz & Gálvez (2006) realizaron una investigación donde se observó la presencia de la textura franco arcillosa, lo que concuerda con el resultado obtenido en los primeros 20 cm del suelo. El sistema productivo de tipo pasto de las parroquias Bulán, Cutchil y Principal, se encontraron las clases: franco limoso y arcilla. En un estudio relacionado se observaron grupos texturales de tipo franco y arcilla en sistemas de tipo pasto, lo que concuerda con la presente investigación (Jaurixje y otros, 2013). Los tipos de estructura de tres escenarios (Bulán, Principal y Cutchil), se encontró dos clases que son granular y migajosa, coincidiendo con un estudio realizado por Macz & Gálvez (2006) que presentó estructura granular en los primeros centímetros del suelo, por lo tanto, muestra características adecuadas para la producción agrícola.

El sistema productivo agroforestal con valor más alto de densidad real se encontró en la parroquia Bulán con un valor de $2,40 \text{ g/cm}^3$, en un estudio similar se encontró una densidad real de $2,6 \text{ g/cm}^3$ a los 20 cm de profundidad, la cual cumple con ser mayor a la densidad real. También se obtuvo la densidad real para un sistema de ciclo corto, donde se obtuvo $2,63 \text{ g/cm}^3$ (Serrano y otros, 2016), el cual concuerda con el sistema productivo de ciclo corto que se encontró en la parroquia Bulán con $2,38 \text{ g/cm}^3$. En tanto que para el sistema productivo de tipo pasto con mayor densidad real que se encontró en la parroquia Cutchil con un valor de $2,24 \text{ g/cm}^3$, tomando en comparación a un estudio realizado por Molina et al. (2017), donde se obtuvo un valor de densidad real de $2,6 \text{ g/cm}^3$ en un sistema de tipo pasto, siendo similar al de la presente investigación, nos dice que hay un nivel alto de compactación, ya que en esta solo se toma el extracto fino del suelo.

El sistema productivo agroforestal con valor más alto de porosidad se encontró en la parroquia Cutchil con un valor de 38,89%, así mismo, los suelos agroforestales con porosidad total mostraron valores que oscilaron entre 40,4 y 28,6 %, lo que nos indica una baja porosidad, que puede limitar el crecimiento del sistema radical y la capacidad de retención de agua (Saavedra y otros, 2019). Para el sistema productivo de ciclo corto con valor más alto se encontró en la parroquia Cutchil con un valor de 39,9 %. En un estudio realizado por Molina et al. (2017) se encontró valores de 59,54 % de porosidad. Además, se observó un sistema productivo de tipo pasto con un porcentaje de 66,54%, en a comparación del sistema que se obtuvo en la parroquia Principal con 42,59 %; los datos obtenidos en este estudio demostraron un valor más alto de porosidad y por lo tanto, mayor contenido de materia orgánica presente en el suelo, esto permite un mejor desarrollo de la planta y su sistema radicular (Stine & Weil, 2002).

La relación entre nitrógeno y materia orgánica presentaron valores de correlación significativos donde presentó un valor alto de correlación con 0.9998. En un estudio realizado

por Ottos (2015) se observó resultados similares, en donde la materia orgánica y el nitrógeno tienen una correlación de 0,7591, lo que indica que tienen una relación directa y por consecuente el valor de nitrógeno es dependiente de la materia orgánica, por lo tanto, mientras mayor sea la materia orgánica, mayor la cantidad de nitrógeno. La materia orgánica es un buen indicador de la calidad del suelo, las funciones ambientales y por ende la fijación de nitrógeno atmosférico (Suarez, 2002).

Nitrógeno y carbono obtuvieron una correlación de 0.768; en un estudio realizado por Sanz et al. (1975) se obtuvo una correlación entre carbono y nitrógeno en el suelo de 0,875, lo que indica una correlación alta. Además, en un estudio más reciente se observó un valor de 0,50 en cuanto a la relación que existe entre el Nitrógeno y el carbono (Reussi y otros, 2014), por lo tanto, el valor de nitrógeno es dependiente del carbono, mientras mayor sea el nitrógeno mayor será el carbono.

Carbono y materia orgánica obtuvieron una correlación de 0.768, en un estudio realizado por Villarroel et al. (2017) se encontró una correlación alta positiva de 0,8464, que es muy similar a la encontrada en este estudio, indica que, el valor de carbono es dependiente de la materia orgánica, por consecuente mientras mayor sea la el carbono mayor será el contenido de materia orgánica. El carbono en el suelo interacciona con las propiedades biológicas, actúa como fuente de energía para los organismos heterótrofos (Martinez y otros, 2008).

La relación entre nitrógeno y la densidad aparente dio una correlación de -0.691; en un estudio realizado por Leirana & Zuñiga (2014), se muestran valores de correlación similares en la relación de nitrógeno y densidad aparente con -0,44, por lo tanto, nos muestra que el valor de nitrógeno es inversamente dependiente de la densidad aparente, por consecuente mientras menor sea la el nitrógeno mayor será la densidad aparente.

La relación entre la densidad aparente y materia orgánica presentó una correlación de -0,69. El valor de densidad aparente es inversamente proporcional al de la materia orgánica. En un estudio realizado por Molina et al. (2017) se encontró que existe una relación inversamente proporcional entre MOS (materia orgánica) y Da (densidad aparente), por lo que, mientras menor sea la densidad aparente mayor será el contenido de materia orgánica. El espacio poroso que afecta a la densidad aparente está directamente enlazado con la cantidad de materia orgánica del suelo, por lo tanto, mientras mayor sea la materia orgánica aumenta el espacio poroso y disminuye la densidad aparente (Stine & Weil, 2002).

Conclusiones

El sistema productivo de ciclo corto presente en la parroquia Bulán presentó mayor porcentaje de nitrógeno con 0,72% a una altura de 2541 m.s.n.m, aunque sigue siendo muy bajo, esto debido a que la extracción de nutrientes que sucede en este sistema se da por el exceso de labranza, también se debe al nivel altitudinal que presentan las diferentes zonas de estudio; el sistema productivo con valor más alto de pH fue el sistema agroforestal de la parroquia Bulán con 7,16, el cual presentó rangos óptimos con el pH neutro. El sistema productivo de tipo pasto con mayor porcentaje de materia orgánica se encontró en la parroquia Principal con 14,35% ubicada a una altura de 2791 m.s.n.m, ya que en la pradera la mayoría de residuos orgánicos son administrados por las raíces y por lo tanto son incorporados directamente en el interior del perfil del suelo, lo cual va ligado al nivel altitudinal que se presenta, por lo cual según el nivel altitudinal mientras más alto sea menor temperatura habrá y por lo tanto menor descomposición de materia orgánica que la misma va ligada al nitrógeno presente en el suelo. El sistema productivo con valor más alto de carbono es el pasto presente en la parroquia Principal con 192,70 T/ha, se cree que estos valores podrían estar ligados a la presencia de distintas composiciones del material vegetativo y por lo tanto afecta a los patrones y tasa de descomposición. La parroquia principal tiene el sistema productivo de ciclo corto con el valor más alto de Conductividad eléctrica con 165,89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ presentando valores óptimos. También se pudo observar que en las parroquias Bulán, Cutchil y Principal se presenta una relación carbono - nitrógeno muy similar, dando una relación 11,6:1. El sistema productivo con valor más alto de densidad aparente es el pasto presente en la parroquia Bulán con 1,87 g/cm^3 , y también con densidad real con un valor de 2,40 g/cm^3 . Se pudo observar la presencia de las clases texturales franco y franco limoso, franco arcillosa y arcilla; también se encontró dos clases de estructura que son granular y migajosa para los tres sistemas productivos y escenarios, los cuales se observaron en los primeros 20 centímetros del suelo, por lo tanto, muestra características adecuadas para la producción agrícola.

Se encontró también que existe una relación directamente proporcional de las variables de nitrógeno con la materia orgánica y carbono orgánico, ya que la materia orgánica es un buen indicador de la calidad del suelo, las funciones ambientales y por ende interviene en la fijación de nitrógeno atmosférico, que condiciona la cantidad de carbono presente en el suelo. También una relación inversamente proporcional entre las variables de Densidad aparente con la porosidad, nitrógeno y materia orgánica, ya que el espacio poroso que afecta a la densidad aparente está directamente enlazado con la cantidad de materia orgánica del suelo,

por lo tanto, mientras mayor se la materia orgánica aumenta el espacio poroso y disminuye la densidad aparente.

Recomendaciones

Establecer un sistema de monitoreo o parcelas experimentales en las zonas de muestreo, para tener un registro de los cambios que podrían presentar el suelo y los cultivos a través del tiempo.

Realizar un estudio similar tomando en cuenta el nivel altitudinal conjuntamente con las diferentes variables fisico-químicas y sistemas productivos de las zonas de estudio.

Realizar un análisis de suelo de macro y micronutrientes, para conjuntamente con los datos obtenidos en este estudio, poder llevar un correcto manejo de los diferentes sistemas productivos.

Estos problemas deberían ser tomados en cuenta para futuras investigaciones, y poder ampliar los conocimientos en cuanto a los escenarios de muestreo conjuntamente con los distintos sistemas productivos que estos presentan.

Referencias

- Acevedo, C., Azucena, V., & Madrigal, A. (2020). Capítulo 3 Carbono y nitrógeno en el suelo de sistemas agroforestales y sistemas naturales. En C. Acevedo, V. Azucena, & A. Madrigal, *Capítulo 3 Carbono y nitrógeno en el suelo de sistemas agroforestales y sistemas naturales* (págs. 43-59). Universidad Autónoma Chapingo.
- Alava, G., Peralta, X., & Pino, M. (2019). Análisis de la aplicación de principios agroecológicos en la provincia de Azuay, Ecuador. *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 55-56.
<https://revistas.flacsoandes.edu.ec/letrasverdes/article/view/3972>
- Alvarado, J., Andrade, H., & Segura, M. (2013). ALMACENAMIENTO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN EL MUNICIPIO DEL LÍBANO, TOLIMA, COLOMBIA. *Redalyc*, 23-27.
- Barrantes, A. (2013). *Guía Técnica para la implementación de Sistemas Agroforestales con árboles forestales maderables*. Costa Rica: EuroDigital Comunicación.
https://www.biopasos.com/biblioteca/guia_sistemas_agroforestales.pdf
- Barrezueta-Unda, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *Ciencia UAT*, 14(1), 155-166.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>.
- Basantes , E. (2015). *Manejo de cultivos andinos del Ecuador*.
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, R., & Gutierrez, C. (2004). La Calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* .
- Blake, G., & Hartge, K. (1986). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America.
- Céspedes , C. (2007). *Dinámica de la materia orgánica del suelo y de algunos parámetros fisicoquímicos en Molisoles, en la conversión de una pradera a cultivo forestal en la región de Piedras Coloradas-Algorta (Uruguay)*. Institut National Polytechnique (INPT), (INPT), Ecole Supérieure d'Agronomie de Toulouse (ENSAT. Toulouse, Francia.
- Delgado, I., Pérez, H., & García, R. (2022). Comportamiento de algunas propiedades químicas de un suelo inceptisol en los cultivos de maíz y cacao. *Revista Científica Agroecosistemas*, 44-50.
- Delli, B. (2022). Caracterización físico-química de suelos en cultivos de ciclo corto comunidad. Corazón de Jesús. . Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Dorronsoro, C. (2014). *INTRODUCCIÓN A LA EDAFOLOGÍA*. Granada: Departamento de Edafología y Química Agrícola - Universidad de Granada.
<http://www.edafologia.net/introeda/tema00/progr.htm>
- Eraso Cabrera, Y. (2014). *Influencia de la fertilidad del suelo sobre la calidad composicional de la leche y perfiles metabólico en anila es de lechería especializada en el trópico alto de Nariño*. Universidad de Nariño.

- FAO. (1996). *ECOLOGÍA Y ENSEÑANZA RURAL - Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.
- FAO. (2013). *Portal de Suelos de la FAO*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2014). *Producción de Cultivos. BIOENERGIA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA ÉVALUACIÓN RÁPIDA (BEFS RA)*: <https://www.fao.org/3/bp851s/bp851s.pdf>
- FAO. (2018). *Measuring and Modelling Soil Carbon Stocks and Stock Changes in Livestock Production Systems*. FAO. <http://www.fao.org/3/I9693EN/i9693en.pdf>.
- FAO. (2020). *Propiedades del suelo* . Portal de suelos de la Fao. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/es/>
- FAO. (2021). *Modelado espacial de suelos afectados por salinidad* . Roma: Fao.
- Fisher, J., Santos, R., Alves, B., Boddey, M., Braz, P., Urquiaga, S., & Boddey, R. (2007). Another Dimension to Grazing Systems: Soil Carbon. *Tropical Grasslands*, 41, 65-83. <https://doi.org/ISSN:2346-3775>
- Furcal, P., Robles, Z., & Salazar, R. (2023). Condición nutricional de cultivos en sistemas de producción agroforestal con Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Tecnología en Marcha* , 36(2), 75-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.5902>
- GAD Parroquial PRINCIPAL. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial* . Principal-Chordeleg.
- GAD Parroquial BULÁN. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial* . Paute-Azuay.
- GAD Parroquial CATCHIL. (2017). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Cuchil-Sigsig.
- Gamarra, C., Díaz, M., Vera, M., Galeano, M., & Cabrera, A. (2007). Relación carbono-nitrogeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo . *Revista mexicana de ciencias forestales* , 9(46). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- García, J., Lucena, J., Ruano, M., & Nogales, M. (2009). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España.
- Gerald, N., Mark, R., & Sulser, T. (2009). *El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington, D.C.: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. <https://doi.org/10.2499/0896295370>
- Gutiérrez, N., & Restrepo, F. (2019). Evaluación de acidez en un andisol cultivado con aguacate. *Suelos Ecuatoriales*, 49(1 y 2), 38-44.
- Hamza, M., & Anderson, W. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics*. Academic Press: San Diego.
- Idrovo, E., & Carchi, C. (2019). *AgroAzuay 2014-2019*. AgroAzuay.

- INEC. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf
- Intagri. (2013). *La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos*. Intagri.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quibor, estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47-56.
- Khalajabadi, S. (2010). *La Materia Orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros*. CENICAFÉ.
- Leirana, J., & Zuñiga, F. (2014). Patrones de asociación entre la cobertura vegetal y la calidad del suelo en el matorral costero de la reserva Ría Lagartos, Yucatán. *Ciencia UAT*, 8(2), 44-53. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582014000200044&lng=es&tlng=es.
- León, R., Bonifaz, N., & Gutierréz, F. (2018). *Pasto y forrajes del Ecuador - Siembra y producción de pasturas* (Vol. 1ra). Quito, Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana.
- Macz, A., & Gálvez, J. (2006). Evaluación de un sistemas agroforestal en un ecosistema muy húmedo de tierras bajas, en el Lago de Yojoa, Honduras.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/0273a22c-9b69-4fd6-8983-0de326a44d34/content>
- Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *La ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1).
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas.
- Mena, M. (2015). *Pastos y Forrajes*. Nicaragua: Pascal Chaput.
- Mendieta, M., & Rocha, L. (2007). *Sistemas agroforestales*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria .
- Mendoza, L. (2007). *Pasturas: Los múltiples propósitos de fertilización*. Biblioteca de fertilidad y fertilizantes en español.
- Molina, A., Moreno, A., & Navia, J. (2017). Evaluación de propiedades físico-químicas en diferentes usos y manejos de suelo, región altoandina de pasto. En A. Molina, A. Moreno, & J. Navia, *Evaluación de propiedades físico-químicas en diferentes usos y manejos de suelo, región altoandina de pasto* (págs. 8-20). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Montesinos, D. (2009). *Definición de indicadores en la Finca Asunción para el mejoramiento de la productividad agroecológica*. Cuenca: Universidad del Azuay.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/577/1/07256.pdf>

- Murray, R., Orozco, M., Hernandez, A., Lemus, C., & Najera, C. (2014). El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(1), 23-31.
- Novelli, L., Mlechiori, R., & Cavigli, O. (2009). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de c y n en diferentes tamaños de agregados. *Revista científica Agropecuaria*, 13-32.
- Orozco, A., Valverde, M., Martínez, R., Chávez, C., & Benavides, R. (2016). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano*. Chapingo: Terra Latinoamericana.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441
- Osorio, H., Leyva, Á., & Toledo, E. (2017). Evaluación de cultivos de ciclo corto en rambután (*Nephelium lappaceum* L.) en México utilizando IET. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 7-8.
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193253129001.pdf>
- Osorio, N. (2012). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES. *Manejo integral del suelo y nutrición vegetal*, 4.
- Ottos, E. (2015). *Relación entre el contenido de materia orgánica y Nitrógeno total de los suelos de la provincia del Leoncio Prado*. Tingo María- Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Owen, E. (1994). Fertilización de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) con elementos secundarios en varios suelos de Colombia. *Palmas*, 15(3), 25-39.
- Piña, M., & Marquez, E. (2019). Evaluación integral de sistemas agroforestales con cacao en dos municipios del departamento de Sucre. Universidad de Sucre.
- Puma, K. (2022). Contenido de carbono almacenado en biomasa de árboles y en el suelo en un parche del bosque del género *Polylepis* en Zhurucay, provincia del Azuay. En K. Puma, *obtenido de carbono almacenado en biomasa de árboles y en el suelo en un parche del bosque del género Polylepis en Zhurucay, provincia del Azuay* (págs. 22-23). Cuenca-Azuay: Universidad de Cuenca.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/39527/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>
- Quito, K. (2018). *Evaluación del volumen de captura de carbono en la chakra andina en tres pisos altitudinales en la parroquia San Miguel de Porotos, provincia de Cañar y su aporte al efecto invernadero*. Universidad Politécnica Salesiana .
- Reussi, N., Studdert, G., Calandroni, M., Diovisalvi, N., Cabria, F., & Berardo, A. (2014). Nitrógeno incubado en anaerobiosis y carbono orgánico en suelos agrícolas de Buenos Aires . *Ciencia del Suelo*, 32(2), 189-196.
- Ruiz, F., & Somarriba, A. (2002). Evaluación del efecto de la práctica de no quema en el almacenamiento de carbono y la fertilidad de suelos en las comunidades de las cámaras y sabana larga, Estelí, Nicaragua. *Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua*, 56.
- Saavedra, D., Murcia, V., Machado, L., Sanchez, L., & Estrada, L. (2019). *Propiedades físicas y químicas de suelos y su relación con sistemas de producción en el*

- municipio Campoalegre, departamento del Huila, Colombia*. Huila: SENA.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7146306>
- Salina , A. (2004). Métodos de muestreo. En A. Salinas , *Ciencia UANL* (págs. 121-123).
Nuevo León, México: Universidad autónoma de Nuevo León.
- Sandoval, M., Dorner, J., Seguel, Ó., Cuevas, J., & Rivera, D. (2012). *Métodos de análisis físicos del suelo*. Chillán, Chile: Métodos de análisis físicos del suelo.
- Sanz, M., Heras, L., Montañes, L. (1975). *Índice de correlación entre el carbono orgánico y nitrógeno en suelos de la cuenca del Ebro*. Estación experimental de aula Dei.
Zaragoza.
- Serrano, A., Acevedo, C., Alvarez, E., & Uribe, M. (2016). Indicadores de calidad de un suelo para la producción de maíz bajo sistemas agroforestales y monocultivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(16), 3263-3275.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (SSSA). (1984). *Glossary of Soil Science terms*.
SSSA: www.soils.org
- Somarriba, E. (1990). *¿Qué es agroforestería?* . El Chasqui .
- Stevenson, F. (1982). Organic forms of soil nitrogen. En F. Stevenson, *Nitrogen in agricultural soils* (pág. 67). American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
- Stine, M., & Weil, R. (2002). The relationship between soil quality and crop productivity across three tillage systems in South Central Honduras. *American Journal of Alternative Agriculture*, 17, 2-8.
- Suarez, A. (2002). Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua. En A. Suarez, *Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la comarca Yassica Sur, Matagalpa, Nicaragua* (pág. 107). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) .
- Villarroel, M., Chamorro, S., Gonzalez, M., & Palacios, T. (2017). Almacén de agua y fijación de carbono en reserva ecológica El ángel y su impacto en el uso del suelo. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 3(1), 24-48.
<https://doi.org/https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.54>
- Villaseñor, D. (2016). *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelos* . Machala: Universidad Técnica de Machala .

Anexos

Anexo 1. Reconocimiento de sistema productivo de Ciclo corto.



Anexo 2. Reconocimiento del sistema productivo Agroforestal.





Anexo 3. Reconocimiento de sistema productivo de tipo pasto o pastizal



Anexo 4. Recoleccion de muestras



Anexo 5. Secado de muestras

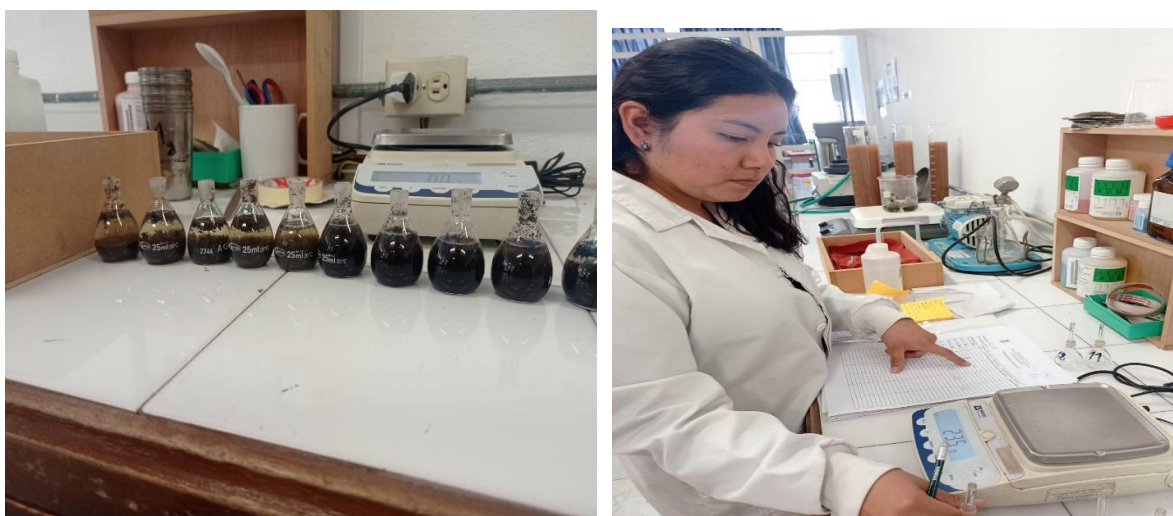




Anexo 6. Realización de pH y conductividad eléctrica.



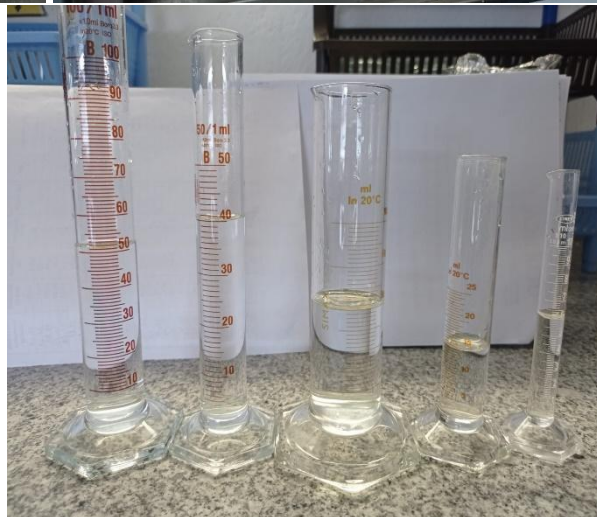
Anexo 7. Elaboración de Densidad Real

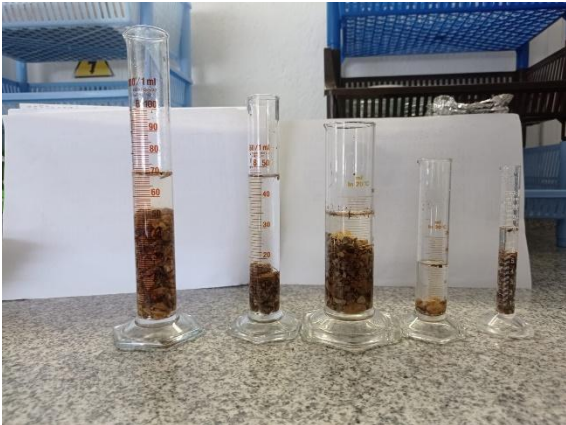


Anexo 8. Elaboración de densidad aparente



Anexo 9. Elaboración de carbono





Anexo 10. Elaboración de textura

