



1859



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

**Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes tipos de usos,
mediante parámetros físicos y químicos en la parroquia 12 de
Diciembre, cantón Pindal, provincia de Loja.**

Trabajo de Titulación previa a la obtención
del título de Ingeniera en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

AUTORA:

Paola Gabriela Ramírez Vera

DIRECTORA:

Ing. Marjorie Cristina Díaz López Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 14 de febrero de 2023

Ing. Marjorie Cristina Díaz López, Mg.Sc.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes tipos de usos, mediante parámetros físicos y químicos en la parroquia 12 de Diciembre, cantón Pindal, provincia de Loja**, previa a la obtención del título de **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, de autoría de la estudiante **Paola Gabriela Ramírez Vera**, con **cédula de identidad Nro.1105473100**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Marjorie Cristina Díaz López, Mg.Sc.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Paola Gabriela Ramírez Vera**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1105473100

Fecha: 20 de junio de 2023

Correo electrónico: paola.g.ramirez@unl.edu.ec

Teléfono: 0985630927

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Paola Gabriela Ramírez Vera**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes tipos de usos, mediante parámetros físicos y químicos en la parroquia 12 de Diciembre, cantón Pindal, provincia de Loja**, como requisito para optar por el Título de **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintiún días del mes de junio del dos mil veintitrés.

Firma: 

Autora: Paola Gabriela Ramírez Vera

Cédula de identidad: 1105473100

Dirección: Loja, Calle Aristóteles y Confucio, Ciudadela Julio Ordóñez, Loja

Teléfono: 0985630927

Correo electrónico: paola.g.ramirez@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora del Trabajo de Titulación: Ing. Marjorie Cristina Díaz López. Mg.Sc.

Dedicatoria

A Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para cumplir mis metas propuestas, en especial la finalización de mis estudios universitarios.

A mis padres Washington y Enma, por su amor, cariño y apoyo incondicional en cada uno de mis propósitos, que gracias a su esfuerzo y sacrificio pude lograr uno de mis sueños más anhelados.

A mis hermanos Yandry, Patricia y Washington por su apoyo y palabras de aliento en los momentos más difíciles, motivándome a cumplir esta meta trazada con esfuerzo y dedicación, y a mi ángel mi hermana María de los Ángeles, quien, desde el cielo, me cuida, me protege y me guía.

A mis sobrinos Mathías y Said por ser mi inspiración y motivo para el cumplimiento de esta meta anhelada.

A mis tías Alba, María y Marieta, quienes siempre estuvieron apoyándome en toda mi etapa universitaria, gracias por su cariño.

A toda mi familia, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, y en especial en la realización de este sueño.

A mis amigos, por su lealtad y cariño, por los momentos de alegría y tristeza compartidos en el transcurso de nuestra etapa universitaria y en la vida, gracias por siempre estar.

Paola Gabriela Ramírez Vera

Agradecimiento

A toda la planta docente de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, por sus conocimientos, experiencias y consejos impartidos. Un agradecimiento especial a mi directora de mi Trabajo de Titulación, Ing. Marjorie Díaz López por su confianza, entrega, compromiso, conocimientos, y por su tiempo y sugerencias en el desarrollo del presente trabajo. También, quiero expresar mis sinceros agradecimientos a los docentes: Ing. Carlos Chunchu Morocho, por su contribución en directrices y consejos; Ing. Iván Burneo Saavedra, por sus importantes sugerencias e Ing. Christian Mendoza León, por su apoyo y guía en el desarrollo de esta tesis. A la Ecól. Katusca Valarezo Aguilar por todo el apoyo brindando en mi etapa universitaria.

A mis padres, hermanos, sobrinos y toda mi familia, por estar siempre conmigo, por su cariño, consejos y apoyo, han sido un pilar fundamental y me enseñaron a no rendirme y que con fe, esfuerzo y dedicación se pueden cumplir los sueños anhelados.

A quienes fueron un gran apoyo en la ejecución de esta investigación, en la fase de campo, gracias de todo corazón a David, Jhonny y Vicente; a la Ing. Diana Iñiguez por sus conocimientos y apoyo en la fase de laboratorio; al Sr. Jorge y Sra. Rosa, muchas gracias por su predisposición y buena voluntad, al permitirme el desarrollo del presente estudio en sus fincas.

A mis amigos y compañeros, por su amistad y gratos momentos compartidos, y especialmente gracias por su apoyo incondicional en los momentos difíciles.

Paola Gabriela Ramírez Vera

Índice de contenidos

Portada	i.
Certificación	ii.
Autoría	iii.
Carta de autorización	iv.
Dedicatoria	v.
Agradecimiento	vi.
Índice de contenidos	vii.
Índice de tablas.....	ix.
Índice de figuras	xi.
Índice de anexos	xii.
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Recurso suelo.....	6
4.1.1. Definición	6
4.1.2. Clasificación del suelo según su vocación de uso	7
4.1.3. Importancia.....	8
4.2. Calidad del suelo.....	8
4.3. Indicadores de calidad del suelo	9
4.3.1. Indicadores físicos	9
4.3.2. Indicadores químicos.....	10
4.4. Índice de calidad del suelo.....	11
4.5. Análisis de componentes principales	12
4.6. Estudios sobre el efecto del cambio de uso de suelo sobre su calidad	12
4.6.1. Definición de cambio de uso de suelo.....	12
4.6.2. Estudios del efecto del cambio de uso de suelo sobre su calidad.....	13
5. Metodología	14

5.1. Área de estudio	14
5.2. Diseño de investigación	15
5.3. Metodología para el primer objetivo: Determinar los parámetros físicos y químicos del suelo bajo tres tipos de usos en la parroquia 12 de Diciembre	16
5.3.1. Puntos de muestreo.....	16
5.3.2. Recolección de las muestras de suelo.....	17
5.3.3. Análisis de laboratorio.....	17
5.4. Metodología para el segundo objetivo: Obtener un índice de calidad del suelo (ICS) en la parroquia 12 de Diciembre.....	18
5.5. Metodología para el tercer objetivo: Proponer un plan de recuperación de suelos en la parroquia 12 de Diciembre	22
5.6. Análisis estadístico	22
6. Resultados	22
6.1. Resultados del objetivo 1: Determinar los parámetros físicos y químicos del suelo bajo tres tipos de usos: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz en la parroquia 12 de Diciembre	22
6.1.1. Propiedades físicas del suelo	22
6.1.2. Propiedades químicas del suelo.....	24
6.2. Resultados del objetivo 2: Obtener un índice de calidad del suelo (ICS) mediante parámetros físicos y químicos en los tres tipos de uso en la parroquia 12 de Diciembre.....	26
6.3. Plan de recuperación de suelos en la parroquia 12 de Diciembre	35
7. Discusión	46
8. Conclusiones	51
9. Recomendaciones	52
10. Bibliografía	53
11. Anexos	62

Índice de tablas

Tabla 1.	Puntos de muestreo y coordenadas UTM WGS 84.....	17
Tabla 2.	Métodos para la determinación de los indicadores físicos y químicos.....	17
Tabla 3.	Formas de la curva de los parámetros físicos y químicos evaluados.....	19
Tabla 4.	Clases de calidad del suelo.....	21
Tabla 5.	Clase textural en los tres usos del suelo en la parroquia 12 de Diciembre.....	23
Tabla 6.	Valores mínimos y máximos, media y desviación estándar de las propiedades físicas por uso del suelo, en la parroquia 12 de Diciembre.....	24
Tabla 7.	Valores mínimos y máximos, media y desviación estándar de las propiedades químicas por uso del suelo, en la parroquia 12 de Diciembre.....	25
Tabla 8.	Resultado del ACP del bosque intervenido, en la parroquia 12 de Diciembre.....	27
Tabla 9.	Coeficientes de correlación de las variables con altas cargas factoriales en los componentes principales del bosque intervenido, parroquia 12 de Diciembre.....	28
Tabla 10.	Resultado del ACP principales de la ganadería, en la parroquia 12 de Diciembre..	28
Tabla 11.	Coeficientes de correlación de las variables con altas cargas factoriales en los componentes principales de la ganadería, parroquia 12 de Diciembre.....	29
Tabla 12.	Resultado del ACP del cultivo de maíz, en la parroquia 12 de Diciembre.....	30
Tabla 13.	Coeficientes de correlación de las variables con altas cargas factoriales en los componentes principales del cultivo de maíz, parroquia 12 de Diciembre.....	31
Tabla 14.	Curvas de puntuación, valores mínimos y máximos, ecuación de normalización del uso del bosque intervenido, en la parroquia 12 de Diciembre.....	32
Tabla 15.	Curvas de puntuación, valores mínimos y máximos, ecuación de normalización del uso de la ganadería, en la parroquia 12 de Diciembre.....	33
Tabla 16.	Curvas de puntuación, valores mínimos y máximos, ecuación de normalización del uso del cultivo de maíz, en la parroquia 12 de Diciembre.....	33
Tabla 17.	Índices de calidad del suelo para los tres usos, en la parroquia 12 de Diciembre...	35
Tabla 18.	Programa de capacitación.....	38
Tabla 19.	Programa de agricultura sostenible.....	39
Tabla 20.	Programa de ganadería sostenible.....	40
Tabla 21.	Programa de restauración forestal.....	41

Tabla 22. Programa de monitoreo y seguimiento.....	43
Tabla 23. Presupuesto del Plan de Recuperación de Suelo propuesto.....	45

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	14
Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo del área de estudio.....	16

Índice de anexos

Anexo 1. Recolección de muestras de suelo disturbadas y no disturbadas en las fincas de la parroquia 12 de Diciembre.....	62
Anexo 2. Determinación de la textura en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.....	62
Anexo 3. Determinación de la densidad aparente en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.....	63
Anexo 4. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.....	63
Anexo 5. Determinación de la conductividad eléctrica en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.....	63
Anexo 6. Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo en los tres usos del suelo: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz de la parroquia 12 de Diciembre.....	65
Anexo 7. Presupuesto del Plan de Recuperación de Suelos de la parroquia 12 de Diciembre.	67
Anexo 8. Certificación de la traducción del Resumen (Abstract).....	70

1. Título

Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes tipos de usos, mediante parámetros físicos y químicos en la parroquia 12 de Diciembre, cantón Pindal, provincia de Loja.

2. Resumen

El presente estudio se realizó en la parroquia 12 de Diciembre del cantón Pindal con la finalidad de evaluar la calidad del suelo en 3 usos: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz. En cada uso de suelo, se tomó 3 muestras compuestas disturbadas y 1 no disturbada a una profundidad de 25 cm, en las muestras disturbadas se determinó la textura, porosidad, agua aprovechable, capacidad de intercambio catiónico, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo y potasio; y en la muestra no disturbada la densidad aparente. Para evaluar el Índice de la Calidad del Suelo (ICS) primeramente se definió el conjunto mínimo de datos (CMD) mediante un análisis de componentes principales (ACP), seguidamente se normalizó los indicadores por medio de puntuación lineal y posteriormente se integró los indicadores mediante el método aditivo. De acuerdo a los resultados, el uso de suelo de cultivo de maíz presentó los valores más bajos respecto a la porosidad (38,52%) y agua aprovechable (11,05 %), en cambio, el uso de suelo de ganadería alcanzó los valores más altos (43,91% y 12,97% respectivamente). Sin embargo, la densidad aparente obtuvo valores altos en los 3 usos de suelo: bosque intervenido (1,41 g/cm³), ganadería (1,35 g/cm³) y cultivo de maíz (1,47 g/cm³). Además, se registraron contenidos medios de materia orgánica y nitrógeno en el bosque intervenido, y bajos en la ganadería y cultivo de maíz. El fósforo presentó los valores más altos en el cultivo de maíz (8,63 mg/kg) y los más bajos en el bosque intervenido (4,60 mg/kg). Los porcentajes más altos de potasio se encontraron en la ganadería (0,28 cmol/kg), y los menores en el cultivo de maíz (0,11 cmol/kg) y bosque intervenido (0,16 cmol/kg). En cuanto, al ICS se evidenció que el bosque intervenido presentó una calidad baja (0,22), y los usos de ganadería y cultivo de maíz muy baja (0,18 y 0,15 respectivamente), debido al desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas intensivas que se desarrollan en las fincas. Finalmente, debido a que la calidad del suelo en la parroquia es mala, en los 3 usos evaluados, se propone un Plan de Recuperación de Suelos, que incluye los programas de: capacitación, agricultura, ganadería, restauración forestal y monitoreo y seguimiento, con el fin de contribuir en la recuperación y mejoramiento del suelo y por consiguiente las condiciones ambientales de la zona.

Palabras clave: usos del suelo, calidad, propiedades físicas y químicas, índice de calidad del suelo.

2.1. Abstract

This study took place in the parish of 12 de Diciembre in the canton of Pindal. There were three types of land uses evaluated: disturbed forest, livestock, and corn cultivation. Each soil use was sampled at a depth of 25 cm with three disturbed and one undisturbed composite samples. In the disturbed samples, texture, porosity, usable water, cation exchange capacity, pH, organic matter, electrical conductivity, nitrogen, phosphorus and potassium were determined; and in the undisturbed samples, bulk density was determined. To evaluate the Soil Quality Index (SQI), the minimum data set (MDS) was first defined by principal component analysis (PCA), then the indicators were normalized by linear scoring and integrated by the additive method. According to the results, the corn crop land use presented the lowest values for porosity (38.52%) and usable water (11.05%), while the livestock land use reached the highest values (43.91% and 12.97%, respectively). However, the bulk density obtained high values in the 3 land uses: intervened forest (1.41 g/cm³), livestock (1.35 g/cm³) and corn (1.47 g/cm³). In addition, average organic matter and nitrogen contents were recorded in the logged-over forest, and significantly lower in the cattle ranch and corn crop. Phosphorus presented the highest values in the corn crop (8.63 mg/kg) and the least in the logged forest (4.60 mg/kg). The highest potassium percentages were found in livestock (0.28 cmol/kg), and the least in maize (0.11 cmol/kg) and logged forest (0.16 cmol/kg). As for the SQI, the intervened forest had a low quality (0.22), and the livestock and corn crop uses had a very low quality (0.18 and 0.15, respectively), due to intensive agricultural and livestock activities carried out on the farms. Finally, because the soil quality in the parish is poor in the three uses evaluated, a Soil Recovery Plan is proposed, which includes training, agriculture, livestock, forest restoration, and monitoring and follow-up programs, in order to contribute to the recovery and improvement of the soil and consequently the environmental conditions of the area.

Keywords: soil uses, soil quality, physical and chemical properties, soil quality index.

3. Introducción

A nivel mundial el uso y gestión del suelo constituyen un punto clave para el suministro de alimentos, materiales y energía, esto debido a que el suelo es un recurso finito. El suelo es un componente esencial del ecosistema, ya que contribuye a las necesidades humanas básicas y además es una de las reservas más importantes de biodiversidad (Keesstra et al., 2016). No obstante, existen actividades de cambio de uso de suelo que generan graves problemas como la desertificación, erosión y la pérdida de la calidad del suelo (Olorunfemi et al., 2018), lo que altera la productividad del mismo afectando negativamente las condiciones socioeconómicas de la población (Borrelli et al., 2017). Por tanto, la calidad del suelo es fundamental no solo para la producción agrícola sino también para la sostenibilidad del ecosistema. En base a ello, evaluar la calidad del suelo permite determinar el impacto ambiental de las actividades humanas (Garrigues et al., 2012).

En América Latina, actualmente más de 306 millones de hectáreas se encuentran afectadas por la degradación del suelo, a causa del manejo inadecuado de la tierra a través del cambio de uso de suelo, la labranza inadecuada, y ganadería intensiva (Barrios et al., 2006; Benites, 2004; Noruega & Vélez, 2011). Esta Región ha contribuido con un tercio del incremento de superficie dedicada a cultivos y pasturas en el mundo desde 1960 (Escobar, 2016), y hoy en día son las actividades con mayor impacto ambiental sobre el suelo (Murgueitio, 2003). Las actividades agrícolas como la aplicación y uso de agroquímicos, monocultivos y cultivos mecánicos, alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, modificando su estructura, porosidad y contenido de materia orgánica (Báez & Aguirre, 2011; Cruz Ruiz et al., 2012; Cuadras et al., 2022; Doran & Zeiss, 2000). Por su parte, las actividades ganaderas insostenibles han contribuido a la erosión y compactación del suelo (Fernández et al., 2020; Mahecha, 2003; Murgueitio, 2003), generando la pérdida de la calidad de este recurso y por consiguiente alterando su productividad (Noruega & Vélez, 2011).

En el Ecuador, la degradación de los suelos entre el periodo 1982-2003 representó el 14,2% del total de la tierra arable del territorio (Rodríguez Delgado et al., 2020), además, en el 2011 aproximadamente el 15% de los suelos cultivados se encontraron en estado de erosión, representando un aumento de la alteración del suelo en un 0,8%, distribuido en la región Sierra

(25,9%), Costa (30%) y en la Amazonia (44%) (Conforme, 2014). Actualmente, la agricultura y ganadería son actividades fundamentales para el desarrollo del país, siendo así que, el sector agropecuario contribuye aproximadamente con el 9% del Producto Interno Bruto (PIB), además, es la principal fuente de empleo, lo que le convierte en un factor clave para la reducción de la pobreza, la soberanía alimentaria y la economía del país (FAO, 2017; Fiallo, 2017; MAG, 2019). Sin embargo, en el país el suelo se encuentran en un proceso de degradación a causa del cambio de uso de suelo asociado a las actividades agrícolas y ganaderas (Bravo et al., 2021), como consecuencia, dichas actividades modifican las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectando su fertilidad y calidad (Bravo et al., 2017).

La Región Sur del Ecuador no es la excepción, en la parroquia 12 de Diciembre del cantón Pindal, en las últimas décadas se ha registrado procesos de conversión del uso del suelo por el desarrollo de actividades humanas vinculadas a la agricultura y ganadería, que se han realizado de manera insostenible, actividades que ocupan extensas superficies de monocultivos de maíz (43,18%) y sobrepastoreo de ganado bovino (22,51%) en base al territorio parroquial, causando afectaciones como la erosión, desertificación y pérdida de la calidad del suelo (GAD Parroquial 12 de Diciembre, 2019).

En ese sentido, evaluar la calidad del suelo en relación a los diferentes usos de la tierra es importante para la gestión sostenible de este recurso (Selassie & Ayanna, 2013), porque permite identificar y determinar los efectos adversos sobre su calidad en una etapa temprana (Islam & Weil, 2000), de tal manera, que favorezca el planteamiento de estrategias de conservación y manejo (Selassie & Ayanna, 2013; Muche et al., 2015).

No obstante, la evaluación de la calidad del suelo es aún un campo en desarrollo para la ciencia y a pesar de que se han propuesto algunos modelos, no existe un método universal bajo ninguna condición ambiental (Pujia et al., 2018). Por lo tanto, una de las propuestas para evaluar el efecto de los cambios de usos de suelo sobre su calidad se basa en la medición de indicadores como las propiedades físicas y químicas del suelo (Olorunfemi et al., 2018), que conformarán un Conjunto Mínimo de Datos (CMD) que permiten la obtención de un Índice de Calidad del Suelo (ICS) (Zornoza et al., 2015).

Bajo este contexto, el presente estudio se orienta a determinar la calidad del suelo en tres usos: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz, para lo cual, se han planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la calidad del suelo bajo diferentes tipos de usos: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz, mediante parámetros físicos y químicos en la parroquia 12 de Diciembre, cantón Pindal, provincia de Loja.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros físicos y químicos del suelo bajo tres tipos de usos: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz en la parroquia 12 de Diciembre.
- Obtener un índice de calidad del suelo (ICS) mediante parámetros físicos y químicos en los tres tipos de uso en la parroquia 12 de Diciembre.
- Proponer un plan de recuperación de suelos en la parroquia 12 de Diciembre.

4. Marco teórico

4.1. Recurso suelo

4.1.1. Definición

El suelo se define como el producto natural de la meteorización de las rocas y la actuación de los seres vivos, con la capacidad de ofrecer soporte al crecimiento vegetal (Smith & Smith, 2001). Por otra parte, el suelo no se define únicamente como la fina capa exterior de la corteza terrestre, se constituye como un cuerpo natural complejo formado en la roca sólida por la influencia de plantas, microorganismos y animales del suelo, agua y aire (Navarro & Navarro, 2013).

De acuerdo a la FAO (2022), el suelo es un recurso natural definido por capas que están conformadas por materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua, que se formó por la intervención del tiempo, clima, topografía, organismos y materiales parentales.

Por otro lado, se define al suelo como un sistema dinámico multifuncional que se originó por la interacción de factores bióticos y abióticos sobre un material parental con la capacidad de ofrecer bienes y servicios (Bouma, 2012) como la regulación del agua, el secuestro de carbono y el ciclo de nutrientes (Muñoz, 2018).

4.1.2. Clasificación del suelo según su vocación de uso

El suelo se puede clasificar por su vocación de uso, refiriéndose al mayor uso que una unidad de suelo se encuentra en capacidad natural de soportar con características de sostenibilidad, evaluada sobre una base biofísica (FAO, 2018). En ese sentido, el suelo se clasifica en cinco clases (IGAC, 2012):

- **Agrícola:** se refiere a los suelos que, gracias a sus características, permiten la implementación de sistemas de producción agrícola, con plantas cultivadas de diferentes ciclos de vida y productos, además, estos suelos tienen la mayor capacidad de soportar actividades agrícolas intensivas y semi-intensivas o cualquier tipo de uso que se busque establecer en ellos; los usos principales son: cultivos transitorios y permanentes de tipo intensivo y semi-intensivo (IGAC, 2012).
- **Ganadera:** se define como la explotación económica que desarrolla el hombre sobre especies animales como: vacuno, lanar, caballar, entre otras, por su parte, estos suelos presentan limitaciones moderadas, y se incluyen principalmente los usos de pastoreo intensivo, semi-intensivo y extensivo (IGAC, 2012).
- **Agroforestal:** son los suelos cuyas características biofísicas no permiten la implementación de los usos agrícolas o ganaderos, es decir, se deben combinar sistemas en donde se incluyan actividades agrícolas, ganaderas y forestales; se dividen los siguientes usos: agrosilvícola, agrosilvopastoril y silvopastoril (IGAC, 2012).
- **Forestal:** se encuentran los suelos que, por sus condiciones de clima, pendiente y riesgos erosivos, se deben aprovechar con usos de protección o producción forestal, ya sea con especies nativas o exóticas; no admiten usos agrícolas o pecuarios (IGAC, 2012).
- **Conservación de suelos:** suelos que, a causa de sus características biofísicas e importancia ecológica, realizan la función principal de protección de los recursos

naturales, con el fin de garantizar los componentes: social, económico y cultural del hombre; se permite la intervención humana limitada, destinada a actividades de investigación, ecoturismo, protección de flora y fauna silvestre (IGAC, 2012).

4.1.3. Importancia

El suelo es un recurso único, irremplazable y esencial para todos los organismos terrestres, incluido el hombre (Navarro & Navarro, 2013), debido a la multitud de funciones que realiza, siendo las principales las siguientes: i) como fuente de alimento al proporcionar los nutrientes, el agua y el soporte físico necesarios para el crecimiento vegetal; ii) como componente primordial en el ciclo hidrológico, en la distribución de las aguas superficiales y contribución en la recarga de las aguas subterráneas, iii) por su capacidad de filtración, almacenamiento, degradación, neutralización e inmovilización de sustancias tóxicas, iv) como hábitat natural biológico, v) como fuente de materias primas; y vi) como soporte para el desarrollo de actividades humanas (Jiménez, 2017).

El suelo es un recurso primordial para mantener la vida en la Tierra, no obstante, los impactos negativos que ejerce la humanidad están deteriorando este recurso llegando a límites críticos (FAO & GTIS, 2015). Además, el suelo es un componente muy importante para todos los usos de la tierra, por ello, la evaluación de los indicadores de calidad del suelo en relación a los tipos de uso del suelo es un factor clave para la gestión sostenible del mismo, conocer los efectos adversos sobre las propiedades nos permite proponer estrategias para su manejo y conservación (Selassie et al., 2015).

4.2. Calidad del suelo

La calidad del suelo se define como la capacidad específica que tiene un suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, para sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y el agua, y para sostener la salud humana y el hábitat (Bautista et al., 2004). Por otra parte, para definir la calidad del suelo se agrupan tres principios importantes: 1) la productividad del suelo, habilidad del suelo para promover la productividad del ecosistema sin alterar sus propiedades físicas, químicas y biológicas; 2) la calidad del ambiente biofísico, capacidad del suelo para atenuar los

contaminantes ambientales; y 3) la salud del suelo, potencial del suelo para producir alimentos sanos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos (Navarrete et al., 2011).

La calidad del suelo de un uso determinado se define por su estado en relación a la función y a su vez se ve influenciado la funcionalidad del sistema de producción que se encuentra establecido en el mismo, no obstante, el aumento de la densidad aparente, la compactación y pérdida por erosión afectan negativamente a la calidad del suelo y por tanto a la productividad de cada sistema (Calderón et al., 2018), por lo cual, y con el transcurso del tiempo, cada vez más se destaca la importancia de utilizar indicadores físicos, químicos y biológicos para comprender claramente la calidad del suelo (Muñoz, 2018).

4.3. Indicadores de calidad del suelo

Los indicadores de la calidad del suelo se definen como una herramienta de medición que debe proporcionar información referente a sus propiedades, procesos y características, por tanto, un indicador se mide para evaluar los efectos del manejo sobre el suelo en un periodo definido, estos pueden ser variables cualitativas y cuantitativas o índices compuestos por diferentes variables (Valdivieso et al., 2012). Según Noriega et al., (2018) los indicadores de calidad del suelo a diferentes escalas son fundamentales en varios ámbitos de trabajo debido a que:

- Brindan información básica que permite conocer los cambios, intensidad y dirección, de las condiciones del agroecosistema y del ambiente.
- Permiten comprender los efectos de la aplicación de las distintas prácticas de manejo en relación a la producción y el ambiente.
- Aportan en la evaluación y seguimiento de las prácticas de manejo y políticas aplicadas.

Por otra parte, para medir la calidad del suelo se presenta a continuación la descripción de los indicadores físicos y químicos.

4.3.1. Indicadores físicos

Los indicadores físicos del suelo son un factor clave en la evaluación de la calidad del suelo ya que se relacionan con el uso eficiente del agua, nutrientes y pesticidas, esto aporta en la reducción del efecto invernadero y se da un incremento en la producción agrícola; para medir

la calidad física de un suelo se han propuesto indicadores (García et al., 2012), como: textura, densidad aparente, porosidad del suelo, humedad equivalente, capacidad de campo, punto de marchitez y agua aprovechable.

- **Textura:** Indica el contenido de arena, limo y arcilla en el suelo, siendo una propiedad importante al relacionarse con los procesos de degradación y potencial de producción, por tanto, es fundamental para el manejo adecuado del suelo y la planificación agrícola (Camacho et al., 2017).
- **Densidad aparente:** Representa la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, de tal forma pueda incluir tanto la fase sólida como gaseosa que consta en ella (Chavarría, 2011).
- **Porosidad:** Es el volumen que ocupan los poros en relación al volumen total ocupado por el suelo, que depende del tamaño de las partículas del suelo y del tamaño de los agregados de partículas (Chavarría, 2011).
- **Agua aprovechable:** es el máximo porcentaje de humedad del suelo que puede ser utilizado por las plantas (agua útil) e indica la cantidad de agua que un suelo puede almacenar entre los límites de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Prado, 2004).

4.3.2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos se definen como las condiciones que tienen una influencia sobre las relaciones suelo-planta, calidad del agua, capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para plantas y microorganismos; siendo los principales la disponibilidad de nutrientes, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (García et al., 2012).

- **Capacidad de intercambio catiónico:** es uno de los procesos más importantes del suelo, se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/100g de suelo (Ramírez D. et al., 2006). Por otra parte, el CIC puede definirse como la capacidad total de los coloides del suelo para intercambiar cationes con la solución del suelo (López, 2006).

- **pH:** Indica el grado de acidez de la solución del suelo; tiene una influencia directa con el desarrollo de las plantas y fauna del suelo, por tanto, también afecta a la velocidad y calidad de los procesos de humificación, mineralización y estado de algunos nutrientes (Chavarría, 2011).
- **Conductividad eléctrica:** Es la capacidad de la solución acuosa del suelo para transportar corriente eléctrica; se lo puede emplear para determinar la salinidad del suelo (López & Estrada, 2015).
- **Nitrógeno:** es el macronutriente más importante, ya que es un factor limitante para el crecimiento de las plantas; el exceso de este nutriente produce un retraso en la producción de los cultivos, mientras que la deficiencia del mismo puede producir hojas cloróticas y un rendimiento reducido (Benimeli et al., 2019).
- **Fósforo:** es el segundo macronutriente más importante para el crecimiento de las plantas, la producción de los cultivos y su calidad (Lozano et al., 2012).
- **Potasio:** es un macro elemento esencial, debido a que es requerido en grandes cantidades por las plantas y cumple un papel importante en las funciones primarias de las plantas (Larriva, 2003).

4.4. Índice de calidad del suelo

El índice de calidad del suelo (ICS) es una herramienta muy importante para evaluar la calidad del suelo, debido a que es cuantitativamente flexible, fácil de usar y está relacionado directamente con las prácticas de manejo de suelo (Pujia et al., 2018). El ICS son variables numéricas obtenidas a partir de una serie de indicadores como físicos, químicos y biológicos, que permiten evaluar la calidad del suelo de forma exacta y confiable empleando métodos estadísticos como el conjunto mínimo de datos (MDS) y el análisis de componentes principales (PCA) (Sarmiento et al., 2018).

Una evaluación completa de la calidad del suelo se la realiza midiendo sus indicadores físicos, químicos y biológicos, no obstante, la selección de indicadores del conjunto mínimo de datos que proporcionen información cualitativa y cuantitativa es aún un desafío para el desarrollo de ICS, en base a ello, el análisis de componentes principales con análisis de

correlación simple o múltiple es un buen método para la selección de indicadores que tiene influencia en el proceso del suelo (Pujia et al., 2018).

4.5. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) es un método que se origina del análisis exploratorio de datos con el objetivo de sintetizar la información o reducir el número de variables (Rodríguez Rojas, 2009). El ACP permite examinar todos los datos en un espacio de menor dimensión al espacio original de las variables, identificando las propiedades más sensibles en los tratamientos estudiados, con el ACP se construyen ejes artificiales llamados componentes principales (CP), que permiten obtener gráficos de dispersión de observaciones y/o variables no correlacionadas con propiedades óptimas para la interpretación de la variabilidad y covariabilidad subyacente (Campitelli et al., 2010).

4.6. Estudios sobre el efecto del cambio de uso de suelo sobre su calidad

4.6.1. Definición de cambio de uso de suelo

El cambio de uso/cobertura del suelo es la alteración de la superficie terrestre y su cobertura biótica, el cual aporta a la acumulación de gases traza, pérdida de biodiversidad, degradación del suelo y alteración de las funciones hidrológicas (Meyer & Turner, 1992). Los suelos forestales se transforman de forma rápida en suelos agrícolas o de pastoreo, este cambio de uso de suelo origina cambios fundamentales en las características físicas y químicas del suelo, además genera un incremento de la erosión y compactación del suelo, por tanto, el cambio de uso es el principal factor que afecta a la protección de los ecosistemas naturales (Kiakojsori & Gorgi, 2014).

Dicho cambio también afecta a las propiedades en relación con su funcionalidad y productividad, lo que genera la degradación del suelo y alteraciones en su calidad, por tanto, es necesario evaluar y realizar un seguimiento de los cambios en sus propiedades, a partir de la obtención de indicadores que permiten conocer las variaciones de calidad debido a los diferentes usos (Toledo et al., 2018).

4.6.2. Estudios del efecto del cambio de uso de suelo sobre su calidad

Se realizó un estudio en la cuenca del arroyo La Colacha de la provincia de Córdoba, Colombia, con el fin de desarrollar y aplicar un set mínimo de indicadores del estado del recurso suelo que permita evaluar su calidad en agroecosistemas; para ello se seleccionaron 12 sitios de muestreo representativos de los tres sistemas de manejo agrícola y dos sitios que representaron un escenario de suelo natural; los resultados indican que los valores del carbono orgánico y materia orgánica evidencian una disminución en la calidad, en cuanto al pH se mantiene en un valor cercano a la calidad, la saturación de bases se encuentra cercano al máximo de calidad y respecto a la densidad aparente indica que los suelos se ubican en un nivel medio de compactación; finalmente se obtuvo un índice de calidad del suelo con un valor de 0,47 que significa que dicha calidad es moderada (Cantu et al., 2007).

En un estudio realizado en el Distrito de Achefer, en el noroeste de Etiopía, se evaluó la calidad del suelo bajo cuatro usos; los resultados indican que las densidades aparente y de partículas más bajas, la porosidad total más alta y el mayor contenido de humedad se registraron en el sistema de bosque natural, en contra parte, las densidades más altas, la porosidad más baja y los contenidos de humedad menores se encontraron en el sistema de tierra cultivada, en cuanto al pH en todos los usos fue moderadamente ácido, respecto al carbono orgánico, N y la relación C:N se obtuvieron los valores más bajos y más altos en las tierras cultivadas y bosques naturales respectivamente, los valores más altos y más bajos de P se encontraron en el bosque natural y pastizales respectivamente (Selassie & Ayanna, 2013).

Otro estudio realizado en el distrito de Guto Gida de Región de Oromia, Etiopía Occidental, se evaluó el efecto del uso de la tierra en las propiedades físicas y químicas del suelo bajo tres usos: bosque natural, tierras de pastoreo y tierras cultivadas, para lo cual se tomaron muestras de suelo perturbadas y no perturbadas a una profundidad de 0-20 cm; los resultados indican que se encontró diferencias entre los usos en el contenido de agua del suelo, pH, capacidad de intercambio de catiónico, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo disponible y bases intercambiables (Achalu et al., 2012).

Por su parte en el estudio desarrollado en la cuenca de Shenkolla, centro sur de Etiopía, en donde se evaluó los efectos del uso del suelo y los cambios en la cobertura vegetal sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, para ello se recolectaron 40 muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm en cuatro tipos de uso: tierras forestales, tierras de pastoreo, campos cultivados y campos de huertos cultivados; los resultados indican que las propiedades más favorables del suelo se observaron bajo las tierras forestales, seguidas de los campos de jardín casero y las áreas de pastoreo, mientras que las propiedades del suelo menos favorables se observaron en los campos cultivados intensivamente (Belayneh & Eyasu, 2020).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el sur del Ecuador, en la parroquia 12 de Diciembre, del cantón Pindal, provincia de Loja (Figura 1), cubre una extensión de 4 350,90 ha., se encuentra a una altitud de 741 m.s.n.m., con una temperatura promedio anual de 21 °C y con precipitaciones que van entre 1000 - 1250 mm anuales (GAD Parroquial 12 de Diciembre, 2019).

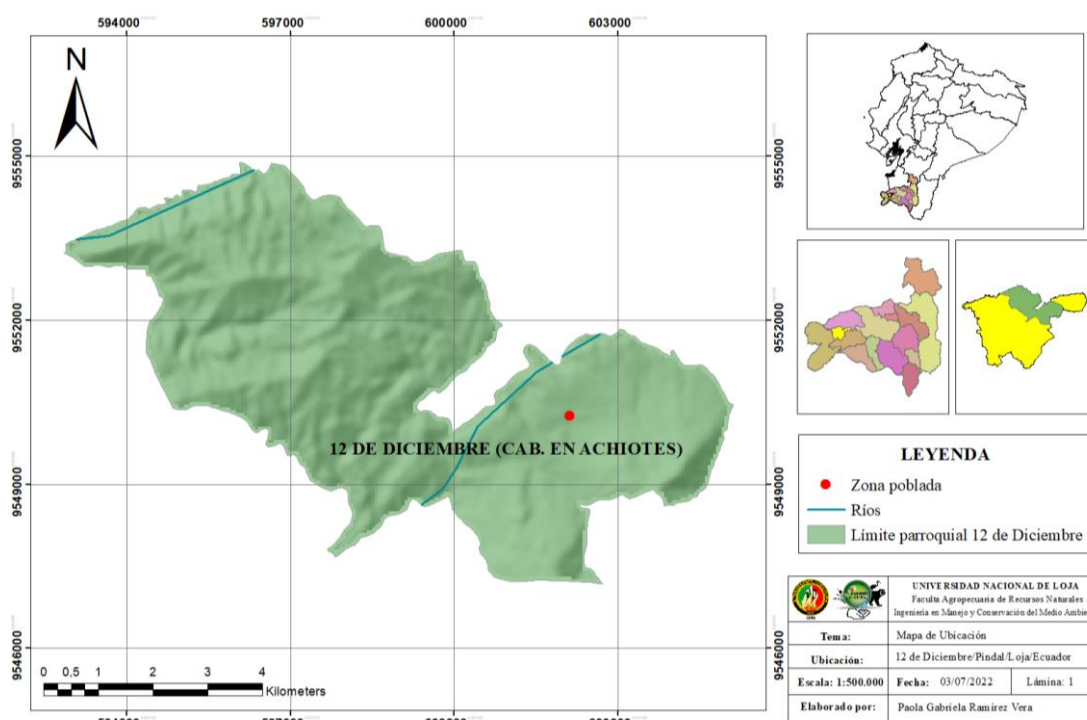


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

5.2. Diseño de investigación

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, basado en la medición de variables numéricas y análisis estadístico, y de tipo relacional, porque se analizó la calidad del suelo entre sus diferentes usos a partir de la medición de los indicadores propuestos (Hernández et al., 2014).

Para el análisis de la calidad del suelo en el área de estudio se establecieron tres usos (Figura 2) que se describen a continuación considerando la información disponible en el PDOT Parroquial 12 de Diciembre (2019):

- Cultivo de maíz, considerando que es la principal actividad económica de la Parroquia, porque ocupa la mayor parte del uso agropecuario mixto (87,04 %).
- Ganadería, siendo la segunda actividad de importancia ocupando el uso pecuario correspondiente al 2,66 %.
- Bosque secundario que forma parte del 10,30 % del uso de conservación y protección de la Parroquia, en donde se incluye al bosque natural primario y secundario (intervenido).

Se utilizó un diseño estratificado al azar, con 3 tratamientos (cultivo de maíz, ganadería y bosque intervenido) y 3 repeticiones (3 muestras), obteniendo un valor total de 9 puntos de muestreo. La población está conformada por los tres usos de suelo representativos para cultivo de maíz, ganadería y bosque intervenido de la parroquia 12 de Diciembre. Se trabajó con un total de 9 muestras de suelo.

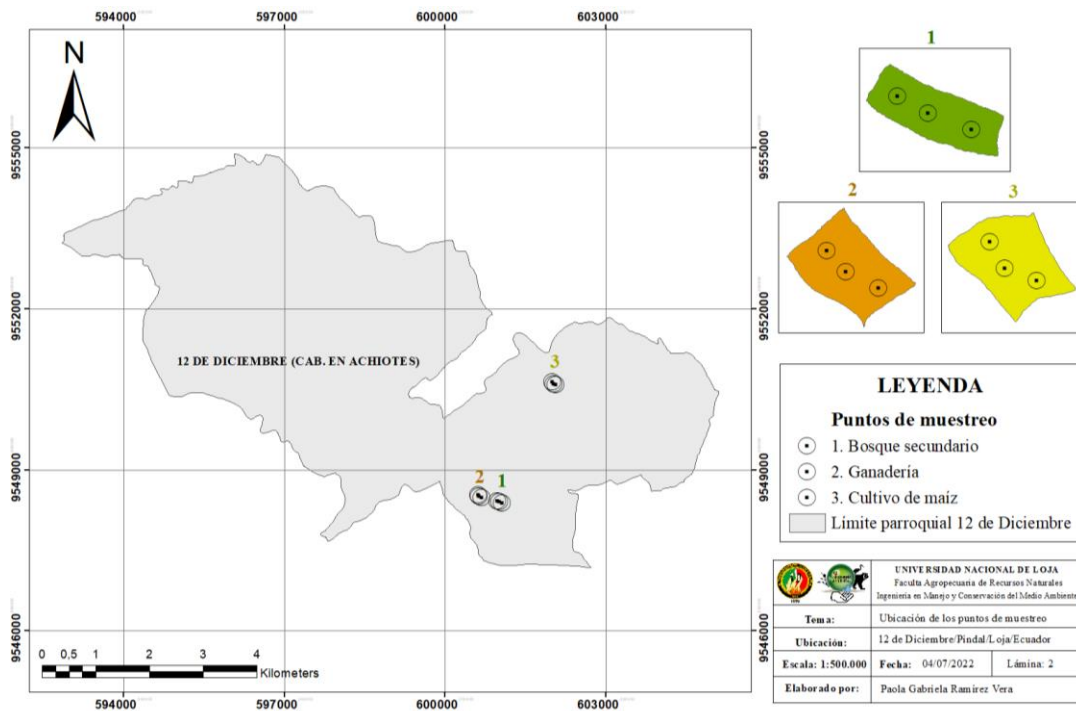


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo del área de estudio.

5.3. Metodología para el primer objetivo: Determinar los parámetros físicos y químicos del suelo bajo tres tipos de usos en la parroquia 12 de Diciembre

5.3.1. Puntos de muestreo

Las muestras de suelo se obtuvieron de 3 lotes (tratamientos) de la parroquia 12 de Diciembre: T1 (1 hectárea): bosque intervenido, T2 (1 hectárea): ganadería y T3 (1 hectárea): cultivo de maíz; para lo cual con la ayuda de un GPS se delimitó el área de cada lote. Debido a que los tratamientos no eran homogéneos, se realizó el muestreo en cada uso del suelo, dividiendo el área en tres franjas para la toma de una muestra, de esta manera se obtuvieron 3 repeticiones por cada tratamiento (usos del suelo) (Arteaga et al., 2016).

Los puntos de muestreo se determinaron de forma aleatoria en cada uso del suelo y se tomaron las coordenadas geográficas con el uso de un GPS. Se tomaron 9 muestras disturbadas para el análisis de los parámetros físicos y químicos y 9 muestras no disturbadas, para el análisis de la densidad aparente. Los puntos en donde se tomaron las muestras se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Puntos de muestreo y coordenadas UTM WGS 84.

Uso de suelo	Puntos	Coordenadas	
		Coordenadas X	Coordenadas Y
Bosque intervenido	M1.BS	601127.00 E	9548426.00 S
Bosque intervenido	M2.BS	601086.00 E	9548409.00 S
Bosque intervenido	M3.BS	601043.00 E	9548404.00 S
Ganadería	M1.G	600674.17 E	9548490.33 S
Ganadería	M2.G	600634.21 E	9548509.78 S
Ganadería	M3.G	600611.34 E	9548535.28 N
Cultivo de maíz	M1.CM	602000.68 E	9550640.08 S
Cultivo de maíz	M2.CM	602018.33 E	9550608.85 S
Cultivo de maíz	M3.CM	602056.77 E	9550594.14 S

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Recolección de las muestras de suelo

En cada punto de muestreo se tomaron 5 submuestras en forma de zigzag a una profundidad de 25 cm con el uso de un barreno, estas submuestras fueron depositadas en un balde plástico y se homogenizaron, luego se realizó el proceso de cuarteo hasta recolectar 2 kg de muestra representativa y se la colocaron en una funda ziploc y se etiquetó, para el posterior transporte al laboratorio, para el caso de las muestras no disturbadas se lo realizó con un cilindro con altura y diámetro uniforme (AGROCALIDAD, 2018) (Anexo 1).

5.3.3. Análisis de laboratorio

Los análisis de las muestras de suelo se los realizó en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad de Loja, y en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) siguiendo los respectivos métodos para cada indicador (Tabla 2).

Tabla 2. Métodos para la determinación de los indicadores físicos y químicos.

Indicadores	Parámetros	Método	Unidad
Físicos	Textura ^a	Bouyoucos o hidrómetro	---
	Densidad aparente ^a	Cilindro metálico	g/cm ³
	Porosidad ^b	Cálculo PEE/SFA/25	%
Químicos	Agua aprovechable ^b	Centrífuga PEE/SFA/21	%
	Capacidad de intercambio catiónico ^a	Formaldehido	meq/100g
	pH ^b	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---
	Materia orgánica ^b	Volumétrico PEE/SFA/09	%

Conductividad eléctrica ^a	Conductímetro	uS/cm
Nitrógeno ^b	Volumétrico PEE/SFA/09	%
Fósforo ^b	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg
Potasio ^b	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg

^a Parámetros físicos y químicos analizados en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad de Loja.

^b Parámetros físicos y químicos analizados en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Metodología para el segundo objetivo: Obtener un índice de calidad del suelo (ICS) en la parroquia 12 de Diciembre

Para la obtención del ICS (Andrews et al., 2002; Armenise et al., 2013; Chuncho & Arrellano, 2018; Henrique et al., 2017; Marzaioli et al., 2010), se realizó el siguiente procedimiento descrito a continuación:

a) Definición de un conjunto mínimo de datos (CMD) mediante un análisis de componentes principales (ACP)

Selección de variables representativas: se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) por cada uso del suelo evaluado, para ello se empleó un conjunto de variables que incluyen parámetros físicos y químicos del suelo (Molina & Feijoó, 2016) usando el paquete estadístico Infostat, esto con el fin de reducir el número de variables. En cuanto a la retención de los componentes principales se utilizó el criterio de Kaiser (Guttman) (Polanco, 2016), el cual considera retener los CPs con valores propios (autovalores) ≥ 1 , que contribuyen a explicar la variabilidad total (Ghaemi et al., 2014). Adicionalmente, para la selección de las variables analizadas a partir del ACP en cada componente principal se realizó bajo los siguientes criterios (Barrera León et al., 2020; Campitelli et al., 2010):

- Peso estadístico en la explicación de la variabilidad (valor de autovector).
- Correlaciones con otras variables (positivas o negativas).
- Facilidad y simpleza en la medición.

Reducción de la redundancia: para la eliminación de las variables redundantes del resultado del ACP se aplicó la Matriz de Correlación de Pearson. Luego, se analizó los

resultados obtenidos y se seleccionó las variables de cada Matriz con base a los siguientes criterios: 1) si las variables por cada componte no están correlacionadas entre sí, es decir, muestran un coeficiente de correlación menor a 0,70, se consideran importantes y por ende se conservan en el CMD, 2) en cambio, si las variables presentan una buena correlación se elige la variable o variables con la mayor carga factorial que mejor representen al grupo de variables (Andrews et al., 2002), 3) además, la elección entre grupos de variables bien correlacionadas se realizó basado en la practicidad¹ (Andrews & Carroll, 2001). Asimismo, se consideró mantener en el CMD a las variables correlacionales si son factores que afectan la calidad del suelo (Armenise et al. 2013).

b. Normalización de los indicadores del CMD por medio de puntuación lineal

En cuanto a la normalización de los indicadores del CDM, se transformó cada valor obtenido de las propiedades físicas y químicas en puntajes combinables sin unidad que van en una escala de 0 a1, en donde 1 representa el nivel óptimo para cada indicador (Armenise et al., 2013). La transformación de los indicadores se lo realizó mediante una técnica de puntuación lineal, aplicando las formas de la curva “más es mejor” o “menos es mejor” (Marzaioli et al., 2010). Las formas de la curva de cada indicador (Tabla 3) se determinaron por medio de la revisión de literatura (Andrews & Carroll, 2001; Azero Alcocer, 2018; Chuncho & Arrellano, 2018; Hernández et al., 2016; Masto et al., 2008; Samaei et al., 2022).

Tabla 3. *Formas de la curva de los parámetros físicos y químicos evaluados.*

Indicador	Función de la curva
Físicos	
Arcilla	Mas es mejor
Limo	Más es mejor
Arena	Más es mejor
Densidad aparente	Menos es mejor
Porosidad	Mas es mejor
Agua aprovechable	Más es mejor
Químicos	
Capacidad de intercambio catiónico	Mas es mejor

¹ Se da mayor importancia a aquellas variables que sean fáciles de medir e interpretar y que los costos de muestreo sean más bajos.

pH	Menos es mejor
Materia orgánica	Más es mejor
Conductividad eléctrica	Menos es mejor
Nitrógeno	Mas es mejor
Fósforo	Mas es mejor
Potasio	Mas es mejor

Fuente: Elaboración propia.

En ese sentido, para la normalización de los indicadores se tienen dos situaciones posibles (Cantu et al., 2007):

- Cuando el valor máximo del indicador (I_{max}) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo, $V_n = 1$, (ecuación 1):

$$V_n = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad \text{Ec 1.}$$

Donde:

V_n = valor normalizado del indicador

I_m = valor del indicador a estandarizar

I_{min} = valor mínimo del indicador

I_{max} = valor máximo del indicador

- Cuando el valor máximo del indicador (I_{max}) corresponde a la peor situación de calidad de suelo, $V_n = 0$, (ecuación 2):

$$V_n = 1 - \left(\frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right) \quad \text{Ec 2.}$$

Donde:

V_n = valor normalizado del indicador

I_m = valor del indicador a estandarizar

I_{min} = valor mínimo del indicador

I_{max} = valor máximo del indicador

Para la obtención de un valor único de cada indicador se realizó un promedio de los valores obtenidos de cada parámetro medido en cada uso del suelo (Cantu et al., 2007; Chuncho & Arrellano, 2018).

1. Integración de las puntuaciones de los indicadores en un ICS usando un método aditivo

Finalmente, se estableció un índice de calidad del suelo (ICS) para cada tipo de uso de suelo, integrando las puntuaciones en un índice aditivo ponderado general, utilizando la ecuación 3 (Armenise et al., 2013; Chuncho & Arrellano, 2018).

$$ICS = \sum_{i=1}^n W_i * S_i \quad \text{Ec 3.}$$

Donde:

W_i = ponderación final asignado a cada indicador

S_i = puntuación del indicador (lineal)

n = número de indicadores que conforman el CMD

Las ponderaciones finales se derivarán de los resultados del ACP

Por otra parte, para categorizar los ICS se usó una escala de transformación sugerida por Cantu et al. (2007), la cual consta de cinco clases para valorar la calidad del suelo que se mencionan en la Tabla 4.

Tabla 4. *Clases de calidad del suelo.*

Índice de calidad de suelos	Escala	Clases
Muy alta calidad	0,80 – 1,00	1
Alta calidad	0,60 – 0,79	2
Moderada calidad	0,40 – 0,59	3
Baja calidad	0,20 – 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 – 0,19	5

Fuente: (Cantu et al., 2007).

5.5. Metodología para el tercer objetivo: Proponer un plan de recuperación de suelos en la parroquia 12 de Diciembre

Con base a la información generada en el primer y segundo objetivo, se elaboró la propuesta del Plan de Recuperación de Suelos para los tres tipos de uso, que consiste en el planteamiento de medidas orientadas a ejecutar acciones de conservación y manejo sostenible del suelo. El Plan de Recuperación consta de introducción, objetivos, propuesta de programas, presupuesto y cronograma respectivamente.

5.6. Análisis estadístico

Respecto al análisis estadístico, se utilizó el programa Infostat para el procesamiento de la información obtenida. En cuanto al primer objetivo, se calculó los estadísticos descriptivos: media, máximo, mínimo y desviación estándar, para cada propiedad física y química evaluada en relación a los tres tipos de usos. Referente al segundo objetivo, se efectuó un Análisis de Componentes Principales y se aplicó la Matriz de Correlación de Pearson para la selección de las variables que conformaron el Conjunto Mínimo de Datos en cada uso del suelo, y posteriormente se obtuvo los índices de calidad del suelo.

6. Resultados

6.1. Resultados del objetivo 1: Determinar los parámetros físicos y químicos del suelo bajo tres tipos de usos: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz en la parroquia 12 de Diciembre

6.1.1. Propiedades físicas del suelo

6.1.1.1. Textura

Respecto a la determinación de las propiedades físicas, de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 5, se presenta el tipo de textura encontrado en cada uso de suelo (Anexo 2). Para los usos de bosque intervenido y ganadería se registró una clase textural arcilloso con el 100%, es decir, son suelos que retienen una mayor cantidad de agua y nutrientes, sin embargo, para los suelos de cultivo de maíz se muestran dos clases texturales: arcilla limosa con el 67%

y franco arcilloso limoso con el 33%, que se caracterizan por ser suelos sueltos con óptimas condiciones para el desarrollo de cultivos agrícolas como el maíz.

Tabla 5. Clase textural en los tres usos del suelo en la parroquia 12 de Diciembre.

Uso del suelo	Muestra	% Arcilla	% Limo	% Arena	Clase textural	%
Bosque intervenido	M1	52	37,28	10,72	Arcilloso	100 %
	M2	46	37,28	16,72		
	M3	54	35,28	10,72		
Ganadería	M1	50	31,28	18,72	Arcilloso	100 %
	M2	48	35,28	16,72		
	M3	43,28	35,64	21,08		
Cultivo de maíz	M1	41,28	45,28	13,44	Arcilla limosa	67 %
	M2	41,28	45,64	13,08	Franco arcilloso limoso	33 %
	M3	37,28	45,64	17,08		

Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.2. Densidad aparente, porosidad y agua aprovechable

De acuerdo, a los valores mínimos y máximos, media y desviación estándar de las propiedades físicas del suelo (Tabla 6) entre los tres tipos de uso, en la densidad aparente (Anexo 3), se encontraron los valores más altos en el cultivo de maíz, y los más bajos en la ganadería con una media de 1,47 g/cm³ y 1,35 g/cm³ respectivamente; para el caso del bosque intervenido se registró una media de 1,41 g/cm³. En este sentido, para los tres usos la densidad aparente restringe el crecimiento de las raíces, es decir, en suelos arcillosos y limosos la densidad debe ser menor (1,10 g/cm³; 1,40 g/cm³) a los valores encontrados.

En cuanto a la porosidad (Tabla 6), la media más alta se registra en la ganadería (43,91%), seguido por el bosque intervenido (41,07%) y la más baja en el cultivo de maíz (38,52%), estos valores indican que los suelos son ligeros en los tres usos, debido a que se encuentran dentro del rango del 30% y 45%, lo que significa que son suelos que tienden a la compactación e inhiben el crecimiento de las plantas; un valor óptimo de porosidad se encuentra entre el 45% y 55%.

Respecto al agua aprovechable (Tabla 6), los usos de suelo de bosque intervenido y ganadería presentan una clase media con valores de 12,75% y 12,97% respectivamente, lo cual

equivale a que estos suelos tienen mayor capacidad de retención de agua; no obstante, el cultivo de maíz se encuentra en una clase baja con una media de 11,05 %, es decir se produce un déficit hídrico en las plantas lo que afecta a su desarrollo y crecimiento.

Tabla 6. Valores mínimos y máximos, media y desviación estándar de las propiedades físicas por uso del suelo, en la parroquia 12 de Diciembre.

Uso del suelo	Indicador	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Bosque intervenido	Densidad aparente (g/cm ³)	1,33	1,46	1,41	0,07
	Porosidad (%)	40,44	42,17	41,07	0,96
	Agua aprovechable (%)	12,64	12,95	12,75	0,17
Ganadería	Densidad aparente (g/cm ³)	1,31	1,38	1,35	0,04
	Porosidad (%)	42,07	45,16	43,91	1,63
	Agua aprovechable (%)	12,87	13,13	12,97	0,14
Cultivo de maíz	Densidad aparente (g/cm ³)	1,37	1,65	1,47	0,16
	Porosidad (%)	28,94	43,35	38,52	8,30
	Agua aprovechable (%)	10,95	11,10	11,05	0,09

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Propiedades químicas del suelo

En relación, a los valores mínimos y máximos, media y desviación estándar de las propiedades químicas del suelo entre los tres usos (Tabla 7), respecto, a la capacidad de intercambio catiónico (Anexo 4), en el bosque intervenido (28,4 meq/100g), ganadería (27,37 meq/100g) y cultivo de maíz (21 meq/100g) se encuentran en un nivel medio, lo cual indica que los suelos tienen una buena capacidad para contener nutrientes, por otra parte, los valores registrados en cultivo de maíz indican que el suelo es apto para la agricultura. En relación al pH en los tres usos es ligeramente ácido, lo cual sugiere que son suelos óptimos para el crecimiento de la mayoría de las plantas, ya que se encuentran dentro del rango 6-7, en donde existe mayor grado de asimilación de nutrientes.

En cuanto a la materia orgánica (Tabla 7), los valores más altos se encuentran en el bosque intervenido con una media de 3,21 % (contenido medio), en cambio en la ganadería y cultivo de maíz el contenido de materia orgánica es bajo con medias de 2,45 y 2,56 % respectivamente. Asimismo, la conductividad eléctrica (Anexo 5), presenta valores menores a 2 en los tres tipos de usos (Tabla 7), lo cual, indica que los suelos son no salinos, es decir, no presentan efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas.

Por otro lado, en relación a los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) presentes en los tres usos del suelo, el nitrógeno registra un porcentaje medio (0.15 %) en el bosque intervenido, sin embargo, en la ganadería (12%) y cultivo de maíz (13%) es bajo (Tabla 7), estos niveles de nitrógeno insuficientes generan una disminución general y amarillamiento de las hojas jóvenes en la parte inferior de las plantas.

Respecto al fósforo presenta contenido medio (8,63 mg/kg) en el cultivo de maíz, a diferencia del bosque intervenido (4,60 mg/kg) y ganadería (4,10 mg/kg) que tienen contenido bajo (Tabla 7), siendo un factor limitante para el crecimiento y productividad de pastos y otras plantaciones. En cambio, el potasio se caracteriza por ser mayor (0,28 cmol/kg) en la ganadería, reduciendo sus cantidades en el bosque intervenido (0,16 cmol/kg) y cultivo de maíz (0,11 cmol/kg), a partir de estos valores se evidencia una disminución de la fertilidad del suelo en los tres usos.

Tabla 7. Valores mínimos y máximos, media y desviación estándar de las propiedades químicas por uso del suelo, en la parroquia 12 de Diciembre.

Uso del suelo	Indicador	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Bosque intervenido	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	26,00	31,6	28,4	2,88
	pH	6,34	6,56	6,44	0,11
	Materia orgánica (%)	3,02	3,52	3,21	0,27
	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0,20	0,25	0,22	0,02
	Nitrógeno (%)	0,15	0,18	0,16	0,02
	Fósforo (mg/kg)	4,20	5,00	4,60	0,40
	Potasio (cmol/kg)	0,13	0,18	0,16	0,03
Ganadería	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	26,50	27,90	27,37	0,76
	pH	6,04	6,26	6,16	0,11
	Materia orgánica (%)	2,30	2,59	2,45	0,15
	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0,14	0,22	0,17	0,04
	Nitrógeno (%)	0,11	0,13	0,12	0,01
	Fósforo (mg/kg)	3,50	4,40	4,10	0,52
	Potasio (cmol/kg)	0,20	0,32	0,28	0,07
Cultivo de maíz	Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	19,90	22,70	21,00	1,49
	pH	5,90	6,21	6,01	0,17

Materia orgánica (%)	2,36	2,75	2,56	0,20
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0,12	0,15	0,14	0,02
Nitrógeno (%)	0,12	0,14	0,13	0,01
Fósforo (mg/kg)	4,20	15,80	8,63	6,26
Potasio (cmol/kg)	0,08	0,14	0,11	0,03

Fuente: Elaboración propia.

6.2. Resultados del objetivo 2: Obtener un índice de calidad del suelo (ICS) mediante parámetros físicos y químicos en los tres tipos de uso en la parroquia 12 de Diciembre

En base a los resultados obtenidos de las propiedades físicas y químicas del suelo (Anexo 6), se calculó los índices de calidad del suelo para los tres usos del suelo: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz; los cuales se describe a continuación:

6.2.1. Conjunto Mínimo de Datos (CMD)

A partir del Análisis de Componentes Principales (ACP) y la Matriz de Correlación de Pearson, se determinó el CMD en cada uso del suelo. Con base a ello, en la Tabla 8 se presenta el uso del suelo del bosque intervenido que generó dos componentes principales CP1 y CP2 con autovalores superiores a uno 6,85 y 6,15 respectivamente, que representan el 100% de la varianza total, por lo tanto, se mantienen en el ACP.

Respecto al CP1 (Tabla 8) que obtuvo la mayor varianza (53%) del total, se escogió las propiedades que presentan valores más altos en los autovectores que fueron: limo, agua aprovechable, capacidad de intercambio catiónico y pH. Por su parte, en el CP2 (Tabla 8) que representa el 47% de la varianza total, se seleccionaron también las variables con valores altos de autovectores que corresponden a densidad aparente, porosidad, conductividad eléctrica y nitrógeno.

Por otro lado, a pesar de que el indicador materia orgánica no mostró una carga alta en ninguno de los componentes, se decidió incluirla en el CDM, debido a que es una propiedad que cumple un papel fundamental en la determinación de la calidad del suelo. Además, otra razón por mantener esta variable en el CDM es que en este uso del suelo se registraron los

contenidos más altos de materia orgánica, lo cual nos permite inferir que en el bosque intervenido presenta una mejor calidad del suelo respecto a los otros usos.

Tabla 8. Resultado del ACP del bosque intervenido, en la parroquia 12 de Diciembre.

Componentes	CP1	CP2	Comunalidad ponderada	Peso final
Indicadores	Autovectores			
Arcilla	0,29	0,27	0,04	0,08
Limo	-0,38	0,03	0,04	0,08
Arena	-0,22	-0,33	0,04	0,08
Densidad aparente	0,14	0,37	0,04	0,07
Porosidad	-0,19	-0,35	0,04	0,07
Agua aprovechable	0,38	0,0037	0,04	0,08
Capacidad de intercambio catiónico	0,37	0,08	0,04	0,08
pH	0,34	-0,19	0,04	0,08
Materia orgánica	-0,20	0,34	0,04	0,07
Conductividad eléctrica	-0,14	-0,37	0,04	0,07
Nitrógeno	-0,16	0,36	0,04	0,07
Fósforo	-0,31	0,23	0,04	0,08
Potasio	0,29	-0,26	0,04	0,08
Autovalores	6,85	6,15		
Proporción de la varianza	0,53	0,47		
Varianza acumulada	0,53	1,00		
Proporción ponderada	0,53	0,47		

Proporción ponderada: valor de la proporción explicada de cada factor dividido para la suma de las proporciones. Ejemplo, para el CP1: $0,53 / (0,53 + 0,47) = 0,53$

Comunalidad ponderada: suma del cuadrado del producto entre cada eigenvector y la proporción ponderada correspondiente. Ejemplo, para el indicador arcilla: $((0,29 * 0,53)^2) + ((0,27 * 0,47)^2) = 0,04$

Peso final: se obtiene de las comunalidades ponderadas dividiendo por su suma. Ejemplo, para el indicador arcilla: $((0,29*(0,53/1))^2+(0,27*(0,47/1))^2)/0,5 = 0,08$. Donde 1 es la suma de las proporciones y 0,5 la suma de las comunalidades.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en base a la Matriz de Correlación (Tabla 9) para el uso de suelo de bosque intervenido, en el CP1 se eliminó a la variable limo, a razón de que presentó las mejores correlaciones negativas en el conjunto de variables de este componente. En cambio, en el CP2, la variable que mejor se correlacionó con las demás variables fue la densidad aparente, lo cual permitió eliminarla del CMD (Tabla 9). En ese sentido, el CMD del bosque intervenido queda conformado por 7 indicadores que son: agua aprovechable, capacidad de intercambio catiónico, pH, porosidad, conductividad eléctrica, nitrógeno y materia orgánica.

Tabla 9. Coeficientes de correlación de las variables con altas cargas factoriales en los componentes principales del bosque intervenido, parroquia 12 de Diciembre.

Variab CP1	Limo	Agua aprovechable	Capacidad de intercambio catiónico	pH	
Limo	1,00				
Agua aprovechable	-1,00	1,00			
Capacidad de intercambio catiónico	-0,96	0,98	1,00		
pH	-0,91	0,87	0,76	1,00	
Variab CP2	Densidad aparente	Porosidad	Conductividad eléctrica	Nitrógeno	Materia orgánica
Densidad aparente	1,00				
Porosidad	-0,99	1,00			
Conductividad eléctrica	-1,00	0,99	1,00		
Nitrógeno	0,68	-0,57	-0,67	1,00	
Materia orgánica	0,59	-0,47	-0,59	0,99	1,00

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al uso del suelo de la ganadería, los resultados del ACP presentaron dos componentes CP1 y CP2 con varianza del 62% y 38% respectivamente, que representan el 100% de la varianza total (Tabla 10). Respecto al CP1, los indicadores seleccionados fueron: agua aprovechable, conductividad eléctrica, fósforo y potasio, los cuales muestran los valores más altos en los autovectores (Tabla 10). Mientras que, en el CP2 los indicadores que presentan las cargas más altas son: arena, densidad aparente, porosidad y capacidad de intercambio catiónico (Tabla 10), por tanto, se incluyeron en el CDM.

Tabla 10. Resultado del ACP principales de la ganadería, en la parroquia 12 de Diciembre.

Componentes	CP1	CP2	Comunalidad ponderada	Peso final
Indicadores	Autovectores			
Arcilla	-0,26	-0,30	0,04	0,07
Limo	0,35	0,02	0,05	0,09
Arena	0,03	0,45	0,03	0,06
Densidad aparente	-0,02	0,45	0,03	0,06
Porosidad	-0,12	-0,43	0,03	0,06
Agua aprovechable	-0,35	-0,05	0,05	0,09

Capacidad de intercambio catiónico	-0,12	0,42	0,03	0,06
pH	0,32	0,17	0,04	0,08
Materia orgánica	0,31	-0,21	0,04	0,08
Conductividad eléctrica	-0,35	0,08	0,05	0,09
Nitrógeno	0,30	-0,24	0,04	0,08
Fósforo	0,35	-0,01	0,05	0,09
Potasio	0,35	0,02	0,05	0,09
Autovalores	8,12	4,88		
Proporción de la varianza	0,62	0,38		
Varianza acumulada	0,62	1,00		
Proporción acumulada	0,62	0,38		

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, la Matriz de Correlación del uso de suelo de la ganadería se presenta en la Tabla 11. En el CP1 se encontró que las variables limo, fósforo y potasio muestran las correlaciones más altas entre el grupo de variables de este componente, por ello se eliminaron del CMD, sin embargo, se decidió conservar el indicador limo por su importancia que tiene como regulador de agua para las plantas. Por otra parte, en el CP2 (Tabla 11), la variable arena presentó la mejor correlación entre el grupo de variables de este componente, por lo tanto, también se eliminó del CMD. En base a ello, el CMD del uso de la ganadería queda conformado por 6 indicadores: limo, agua aprovechable, conductividad eléctrica, densidad aparente, porosidad y capacidad de intercambio catiónico.

Tabla 11. Coeficientes de correlación de las variables con altas cargas factoriales en los componentes principales de la ganadería, parroquia 12 de Diciembre.

Variables CP1	Limo	Agua aprovechable	Conductividad eléctrica	Fósforo	Potasio
Limo	1,00				
Agua aprovechable	-1,00	1,00			
Conductividad eléctrica	-0,98	0,96	1,00		
Fósforo	-1,00	-0,99	-0,99	1,00	
Potasio	1,00	-1,00	-0,98	1,00	1,00
Variables CP2	Arena	Densidad aparente	Porosidad	Capacidad de intercambio catiónico	
Arena	1,00				
Densidad aparente	0,99	1,00			

Porosidad	-0,96	-0,92	1,00	
Capacidad de intercambio catiónico	0,91	0,95	-0,76	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al uso del suelo del cultivo de maíz, el ACP se indica en la Tabla 12. De acuerdo al análisis efectuado, como resultado se mantuvieron en el ACP dos componentes principales que representan el 100% de la varianza total. En el CP1 se seleccionaron los indicadores: arcilla, densidad aparente, porosidad, agua aprovechable y conductividad eléctrica, que presentan los mayores autovectores. Asimismo, en el CP2 (Tabla 12) los indicadores seleccionados con los autovectores más altos fueron: limo, pH y fósforo.

Tabla 12. Resultado del ACP del cultivo de maíz, en la parroquia 12 de Diciembre.

Componentes	CP1	CP2	Comunalidad ponderada	Peso final
Indicadores	Autovectores			
Arcilla	0,32	0,01	0,06	0,09
Limo	-0,15	-0,51	0,03	0,04
Arena	-0,31	0,04	0,06	0,09
Densidad aparente	-0,32	-0,03	0,06	0,09
Porosidad	0,32	0,01	0,06	0,09
Agua aprovechable	0,32	0,01	0,06	0,09
CIC	-0,31	-0,11	0,06	0,09
pH	0,19	-0,47	0,03	0,05
Materia orgánica	-0,27	0,30	0,05	0,07
Conductividad eléctrica	0,32	0,02	0,06	0,09
Nitrógeno	-0,28	0,28	0,05	0,08
Fósforo	0,11	0,54	0,02	0,03
Potasio	0,30	0,20	0,06	0,08
Autovalores	10,04	2,96		
Proporción de la varianza	0,77	0,23		
Varianza acumulada	0,77	1,00		
Proporción ponderada	0,77	0,23		

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos de la Matriz de Correlación del uso de cultivo de maíz (Tabla 13), para el CP1 se encontró una correlación positiva de 1 entre todas las variables del componente, de manera que, se decidió conservar en el CMD una variable física que corresponde a la densidad aparente, debido a que es indicador importante para determinar el

grado de compactación del suelo; además se incluyó a la conductividad eléctrica como la única propiedad química, que indica el nivel de salinidad del suelo y por ende incide en su calidad y fertilidad.

Respecto al CP2 (Tabla 13), se obtuvo una correlación alta negativa (-0,99) entre el limo y el fósforo, por tanto, se debió eliminar del CMD, sin embargo, se decidió conservar en el CMD a los dos indicadores, en virtud de su importancia en la retención de agua y nutrientes, y el crecimiento de las plantas. En relación a ello, el CMD del cultivo de maíz se conforma por 5 indicadores: densidad aparente, conductividad eléctrica, limo, fósforo y pH.

Tabla 13. Coeficientes de correlación de las variables con altas cargas factoriales en los componentes principales del cultivo de maíz, parroquia 12 de Diciembre.

Variab CP1	Arcilla	Densidad aparente	Porosidad	Agua aprovechable	Conductividad eléctrica
Arcilla	1,00				
Densidad aparente	-1,00	1,00			
Porosidad	1,00	-1,00	1,00		
Agua aprovechable	1,00	-1,00	1,00	1,00	
Conductividad eléctrica	1,00	-1,00	1,00	1,00	1,00

Variab CP2	Limo	Fósforo	pH
Limo	1,00		
Fósforo	-0,99	1,00	
pH	-0,42	-0,54	1,00

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Normalización de los índices del CMD

Una vez conformados los CMDs en los tres usos del suelo, se procedió con la normalización de las variables seleccionadas con el método de puntuación lineal, empleando la ecuación correspondiente de acuerdo a la curva de puntuación “más es mejor” y “menos es mejor” de cada indicador.

En la Tabla 14, se presentan las curvas de puntuación, valores máximos y mínimos, y la ecuación de normalización correspondiente para cada indicador del CMD para el uso de suelo

de bosque intervenido, en donde, en cuanto a “más es mejor”, se encuentran las variables cuyos valores más altos representan una buena calidad del suelo, por ejemplo, al encontrarse altos contenidos de materia orgánica, agua aprovechable, capacidad de intercambio catiónico, porosidad y nitrógeno en el suelo se incrementan su productividad.

Por el contrario, referente a “menos es mejor” (Tabla 14), se muestran las variables que en sus valores máximos representan una mala calidad del suelo como la densidad aparente que al aumentar produce compactación del suelo, en este grupo, además se consideró a la conductividad eléctrica que al incrementarse produce salinidad en el suelo, y el pH (básico) que afecta al crecimiento óptimo de las plantas.

Tabla 14. *Curvas de puntuación, valores mínimos y máximos, ecuación de normalización del uso del bosque intervenido, en la parroquia 12 de Diciembre.*

Indicador	Curva de puntuación	Min	Max	Ecuación de normalización
Agua aprovechable	Más es mejor	12,64	12,95	$AA = \frac{(a - 12,64)}{(12,95 - 12,64)}$
Capacidad de intercambio catiónico	Más es mejor	26,00	31,60	$CIC = \frac{(b - 26,00)}{(31,60 - 26,00)}$
pH	Menos es mejor	1,33	1,46	$pH = 1 - \frac{(c - 6,34)}{(6,56 - 6,34)}$
Porosidad	Más es mejor	40,44	42,17	$PO = \frac{(d - 40,44)}{(42,17 - 40,44)}$
Conductividad eléctrica	Menos es mejor	0,20	0,25	$CE = 1 - \frac{(e - 0,20)}{(0,25 - 0,20)}$
Nitrógeno	Más es mejor	0,15	0,18	$N = \frac{(f - 0,15)}{(0,18 - 0,15)}$
Materia orgánica	Más es mejor	40,44	42,17	$MO = \frac{(g - 3,02)}{(3,52 - 3,02)}$

a = valor del agua aprovechable (%); **b** = valor de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g); **c** = valor del pH, **d** = valor de la porosidad (%); **e** = valor de la conductividad eléctrica (mmhos/cm); **f** = valor del nitrógeno (%); **g** = valor de la materia orgánica (%).

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al uso de suelo de la ganadería, en la Tabla 15, se presentan los datos de las curvas de puntuación, valores máximos y mínimos, y la ecuación de normalización correspondiente para cada indicador del CMD. En este uso, las variables que se incluyen en la

puntuación “más es mejor” son: limo, agua aprovechable, porosidad y capacidad de intercambio catiónico. En cambio, las variables conductividad eléctrica y densidad aparente, al presentar valores altos generan una disminución de la calidad del suelo, por lo cual, corresponden a la curva de puntuación “menos es mejor”.

Tabla 15. *Curvas de puntuación, valores mínimos y máximos, ecuación de normalización del uso de la ganadería, en la parroquia 12 de Diciembre.*

Indicador	Curva de puntuación	Min	Max	Ecuación de normalización
Limo	Más es mejor	31,28	35,64	$Li = \frac{(a - 31,28)}{(35,64 - 31,28)}$
Agua aprovechable	Más es mejor	12,87	13,13	$AA = \frac{(b - 12,87)}{(13,13 - 12,87)}$
Conductividad eléctrica	Menos es mejor	0,14	0,22	$CE = 1 - \frac{(c - 0,14)}{(0,22 - 0,14)}$
Densidad aparente	Menos es mejor	1,31	1,38	$DA = 1 - \frac{(d - 1,31)}{(1,38 - 1,31)}$
Porosidad	Más es mejor	42,07	45,16	$Po = \frac{(e - 42,07)}{(45,16 - 42,07)}$
Capacidad de intercambio catiónico	Más es mejor	28,19	28,75	$CIC = \frac{(f - 28,19)}{(28,75 - 28,19)}$

a = valor del limo (%); **b** = valor del agua aprovechable (%); **c** = valor de la conductividad eléctrica (mmhos/cm); **d** = valor de la densidad aparente (g/cm³); **e** = valor de la porosidad (%); **f** = valor de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g);

Fuente: Elaboración propia.

En relación al uso de suelo del cultivo de maíz, en la Tabla 16, se indican los datos de las curvas de puntuación, valores máximos y mínimos, y la ecuación de normalización correspondiente al CMD. En la curva de puntuación “más es mejor” se consideran a las fracciones granulométricas de limo (40%), arena (40%) y arcilla (20%) (Tabla 16), así como el fósforo. Por otra parte, los indicadores que representa la puntuación “menos es mejor” son densidad aparente, conductividad eléctrica y pH.

Tabla 16. *Curvas de puntuación, valores mínimos y máximos, ecuación de normalización del uso del cultivo de maíz, en la parroquia 12 de Diciembre.*

Indicador	Curva de puntuación	Min	Max	Ecuación de normalización
Densidad aparente	Menos es mejor	1,37	1,65	$DA = 1 - \frac{(a - 1,37)}{(1,65 - 1,37)}$

Conductividad eléctrica	Menos es mejor	0,12	0,15	$CE = 1 - \frac{(b - 0,12)}{(0,15 - 0,12)}$
Limo	Más es mejor	45,28	45,64	$Li = \frac{(c - 45,28)}{(45,64 - 45,28)}$
Fósforo	Más es mejor	4,20	15,80	$P = \frac{(d - 4,20)}{(15,80 - 4,20)}$
pH	Menos es mejor	6,04	6,26	$pH = \frac{(e - 6,04)}{(6,26 - 6,04)}$

a = valor de la densidad aparente (g/cm^3); **b** = valor de la conductividad eléctrica (mmhos/cm); **c** = valor del limo (%), **d** = valor del fósforo (mg/kg); **e** = valor del pH.

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3. Índices de la calidad del suelo

Para la obtención de los Índices de Calidad del Suelo (ICS) en los tres usos se aplicó la ecuación 3 con base a las ecuaciones 4, 5 y 6:

$$ICS = \sum_{i=1}^n W_i * S_i \quad \text{Ec 3.}$$

Bosque intervenido:

$$ICS_{BI} = (0,08 * AA) + (0,08 * CIC) + (0,08 * pH) + (0,07 * Po) + (0,07 * CE) + (0,07 * N) + (0,07 * MO) = \quad \text{Ec 4.}$$

Ganadería:

$$ICS_G = (0,09 * Li) + (0,09 * AA) + (0,09 * CE) + (0,06 * DA) + (0,09 * P) + (0,06 * CIC) + (0,06 * Po) = \quad \text{Ec 5.}$$

Cultivo de maíz:

$$ICS_{CM} = (0,09 * DA) + (0,09 * CE) + (0,04 * Li) + (0,03 * P) + (0,05 * pH) = \quad \text{Ec 6.}$$

Respecto a ello, en la Tabla 17 se presentan los ICS para los tres usos: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz. En cuanto al bosque intervenido, se encontró que su calidad es baja porque registra un ICS de 0,22, esto se debe porque gran parte del área boscosa es utilizada como zona de transición para el descanso y pastoreo del ganado, alterando la calidad del suelo.

Por otro lado, los ICS para los usos de suelo de ganadería y cultivo de maíz registraron valores de 0,18 y 0,15 respectivamente (Tabla 17), lo cual indica que la calidad del suelo es muy baja. En relación a la ganadería, el deterioro físico y químico del suelo se debe al sobrepastoreo y pisoteo del ganado, lo cual, aumentan la erosión y compactación del mismo, afectando su calidad. En cambio, en el cultivo de maíz, se evidencia una reducción de la calidad del suelo a causa de la producción bajo sistemas tradicionales de monocultivos, uso excesivo de agroquímicos, y el avance la frontera agrícola.

Tabla 17. *Índices de calidad del suelo para los tres usos, en la parroquia 12 de Diciembre.*

Uso del suelo	ICS	Clase	Interpretación
Bosque intervenido	0,22	4	Baja calidad
Ganadería	0,18	5	Muy baja calidad
Cultivo de maíz	0,15	5	Muy baja calidad

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Plan de recuperación de suelos en la parroquia 12 de Diciembre

En base a los resultados obtenidos de las propiedades físico químicas del suelo y los índices de calidad de los tres usos del suelo: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz, se elaboró un Plan de Recuperación de suelos en la parroquia 12 de Diciembre.

6.3.1. Introducción

El suelo es uno los recursos naturales más importantes, debido a que cumplen múltiples funciones en los ecosistemas agrícolas y ganaderos (Ghaemi et al., 2014). No obstante, la perturbación humana por el desarrollo de actividades productivas sin un manejo apropiado degradan la calidad del suelo (Vitonu et al., 2022). En base a ello, el manejo del suelo en sistemas agropecuarios es fundamental para garantizar su protección y conservación (Armenise et al., 2013) por tanto, es necesario realizar acciones y prácticas sostenibles de producción. En este sentido, se plantea el Plan de Recuperación de suelos con la finalidad de controlar, prevenir y mitigar los impactos ambientales del suelo provocados por las actividades agrícolas y ganaderas sin un uso y manejo apropiado, de tal forma que se contribuya al desarrollo productivo sostenible de la parroquia 12 de Diciembre.

En el presente Plan, se proponen las estrategias y acciones con base a los resultados obtenidos en los objetivos uno y dos, y de acuerdo a la Guía de Buenas Prácticas para la Gestión y Uso Sostenible de los Suelos en Áreas Rurales (FAO, 2018), para lo cual, se plantean los programas de: capacitación, agricultura sostenible, ganadería sostenible, restauración forestal y de monitoreo y seguimiento.

6.3.2. Objetivos

General:

- Elaborar un plan de recuperación de suelos para los usos de bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz en la parroquia 12 de Diciembre, cantón Pindal.

Específicos:

- Proponer programas de manejo sostenible del suelo que contribuyan a su conservación en los usos de bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz en la parroquia 12 de Diciembre.
- Contribuir a la sensibilización de los productores locales sobre la importancia de incorporar prácticas de manejo sostenible del suelo en los usos de bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz en la parroquia 12 de Diciembre.

6.3.3. Programas propuestos para el Plan de Recuperación de Suelos

A continuación, se presentan los programas propuestos en el Plan de Recuperación de Suelos, considerando las principales actividades que se llevarán a cabo con sus respectivos indicadores y medios de verificación, así como también, el presupuesto de los costos totales del Plan.

a) Programa de capacitación

Tabla 18. Programa de capacitación.

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN					
OBJETIVO ESPECÍFICO	Capacitar y concienciar a los agricultores y ganaderos de la parroquia 12 de Diciembre sobre la importancia de la conservación y manejo sostenible del suelo.				
ÁREA DE COBERTURA	Fincas de la Parroquia 12 de Diciembre.				
RESPONSABLE	Agricultores y ganaderos locales de la parroquia 12 de Diciembre.				
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	ACTIVIDADES	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA
Suelo	Pérdida de la calidad del suelo	Capacitar a los agricultores y ganaderos sobre los impactos negativos que provocan la agricultura y ganadería intensiva sobre el recurso suelo.	El 75% de agricultores y ganaderos son capacitados.	<ul style="list-style-type: none"> • Registro fotográfico. • Registro de asistencia. 	Permanente
		Capacitar a los agricultores y ganaderos sobre prácticas de manejo y conservación del suelo (cercas vivas, abonos orgánicos, cultivos asociados, pastoreo rotativo, estabulación de ganado, e importancia de los beneficios que brindan los árboles).	El 70% de los agricultores y ganaderos conocen sobre buenas prácticas agrícolas y ganaderas para la conservación del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> • Registro fotográfico. • Registro de asistencia. 	Permanente

b) Programa de agricultura sostenible

Tabla 19. Programa de agricultura sostenible.

PROGRAMA DE AGRICULTURA SOSTENIBLE					
OBJETIVO ESPECÍFICO	Contribuir a mejorar la calidad del suelo, a través de la implementación de buenas prácticas agrícolas en la parroquia 12 de Diciembre.				
ÁREA DE COBERTURA	Fincas de la parroquia 12 de Diciembre.				
RESPONSABLE	Agricultores locales de la parroquia 12 de Diciembre.				
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTOS IDENTIFICADOS	ACTIVIDADES	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA
Suelo	Pérdida de la calidad del suelo	Implementación de barreras y cercas vivas en las fincas, por medio de la siembra de árboles como cedro (<i>Cedrela odorata</i>) y laurel (<i>Cordia alliodora</i>) con una distancia entre 3 a 5 m.	El 75 % de fincas han implementado barreras y cercas vivas.	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas In Situ. • Elaboración de mapas. 	Anual
	Uso excesivo de agroquímicos	Elaboración y aplicación de abonos orgánicos derivados del compostaje.	El 50% de fincas han incorporado la implementación de abonos orgánicos derivados del compostaje.	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas In Situ. • Registro fotográfico. • Abonos elaborados. 	Semestral

	Monocultivos de maíz	Establecimiento de policultivo de maíz (<i>Zea mays</i>) y fréjol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) en las fincas.	El 50% de fincas cuentan con la implementación de cultivos asociados.	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas In Situ. • Registro fotográfico. • Cultivos establecidos. 	Anual
--	----------------------	--	---	---	-------

c) Programa de ganadería sostenible

Tabla 20. Programa de ganadería sostenible.

PROGRAMA DE GANADERÍA SOSTENIBLE					
OBJETIVO ESPECÍFICO	Contribuir a mejorar la calidad del suelo, mediante la incorporación de prácticas ganaderas sostenibles en las fincas de la parroquia 12 de Diciembre.				
ÁREA DE COBERTURA	Fincas de la parroquia 12 de Diciembre				
RESPONSABLE	Ganaderos locales de la parroquia 12 de Diciembre.				
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTOS IDENTIFICADOS	ACTIVIDADES	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA
Suelo	Compactación y erosión del suelo	Implementar prácticas de pastoreo rotativo del ganado en las fincas mediante la subdivisión de lotes considerando la densidad y tiempo de ocupación y descanso; así como la determinación de la intensidad de pastoreo.	En el 50% de fincas se ha implementado las prácticas de pastoreo rotativo.	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas In Situ • Registro fotográfico. • Pastoreo rotativo implementado. 	Anual

	Pérdida de la calidad del suelo	Elaboración y aplicación de abonos orgánicos derivados del ganado.	El 50% de fincas han incorporado la implementación de abonos orgánicos derivados de la ganadería.	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas In Situ. • Registro fotográfico. • Abonos elaborados. 	Permanente
	Pérdida de la productividad del suelo y productividad animal	Implementación de sistemas silvopastoriles, mediante la incorporación de árboles dispersos en los potreros y de bancos forrajeros proteicos (leguminosas).	El 50% de fincas han implementado sistemas silvopastoriles.	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas In Situ. • Registro fotográfico. • Sistemas silvopastoriles implementados. 	Anual

d) Programa de restauración forestal

Tabla 21. *Programa de restauración forestal*

PROGRAMA DE RESTAURACIÓN FORESTAL					
OBJETIVO ESPECÍFICO	Promover la restauración forestal activa y pasiva de bosques degradados por la intervención humana en la parroquia 12 de Diciembre.				
ÁREA DE COBERTURA	Áreas de bosque intervenido en las fincas de la Parroquia 12 de Diciembre.				
RESPONSABLE	Agricultores y ganaderos locales de la parroquia 12 de Diciembre.				
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	ACTIVIDADES	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA

Suelo	Cambio de uso de suelo	Gestionar ante los GADs parroquial 12 de Diciembre y cantonal de Pindal la adquisición de plántulas (nativas), herramientas, personal y logística necesaria para la implementación de los procesos de restauración forestal en las fincas	Se ha realizado el 100% de la gestión requerida para la implementación del proceso de restauración forestal.	<ul style="list-style-type: none"> • Covenios • Informe técnico. 	Permanente
		Llevar a cabo un proceso de regeneración natural asistida (pasiva) en el bosque por medio de la implementación de cercas en las áreas de regeneración para restringir el acceso de ganado; y eliminar especies invasores que inhiban el rebrote de árboles en las áreas regenerativas.	El 50% de fincas ha incorporado el proceso de regeneración natural.	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas In Situ. • Informe técnico. 	Anual
		Llevar a cabo un proceso de restauración activa a través de la reforestación con especies nativas: cedro (<i>Cedrela odorata</i>), laurel (<i>Cordia alliodora</i>) y amarillo (<i>Albus de handroanthus</i>) del sector.	El 50% de fincas ha incorporado el proceso de reforestación.	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas In Situ. • Informe técnico. 	Anual

e) Programa de monitoreo y seguimiento

Tabla 22. Programa de monitoreo y seguimiento.

PROGRAMA DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO					
OBJETIVO ESPECÍFICO	Monitorear el cumplimiento de las actividades propuestas en los programas del Plan de Recuperación de Suelos de la parroquia 12 de Diciembre				
ÁREA DE COBERTURA	Agricultores y ganaderos de la parroquia 12 de Diciembre.				
RESPONSABLE	Agricultores y ganaderos locales de la parroquia 12 de Diciembre.				
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	ACTIVIDADES	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA
Suelo	Uso excesivo de agroquímicos	Realizar visitas técnicas en las fincas, con la finalidad de evaluar la calidad de los abonos orgánicos (compostaje) elaborados.	En las fincas se cumplen con el 75% del monitoreo de la calidad de los abonos orgánicos (compostaje).	<ul style="list-style-type: none"> Informe técnico de las visitas realizadas. 	Semestral
	Monocultivos de maíz	Realizar visitas técnicas en las fincas, en las cuales se han implementado los policultivos de maíz (<i>Zea mays</i>) y fréjol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) para su evaluación.	En las fincas se cumplen con el 75% del monitoreo de los policultivos de maíz y fréjol.	<ul style="list-style-type: none"> Informe técnico de las visitas realizadas. 	Semestral
	Compactación y erosión del suelo	Realizar un monitoreo de la calidad del suelo	En las fincas se cumplen con el		Semestral

	Pérdida de la calidad del suelo	para evaluar sus características físico – químicas mediante el análisis de muestras en laboratorio.	75% de monitoreo de la calidad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> Informe de laboratorio. 	
	Cambio de uso de suelo	Realizar el monitoreo y mantenimiento de las áreas en procesos de restauración forestal activa y pasiva.	En los sitios de restauración forestal se cumple con el 75% del monitoreo y evaluación del crecimiento de las plántulas.	<ul style="list-style-type: none"> Informe técnico de las visitas realizadas. 	Semestral

6.3.4. Presupuesto del Plan de Recuperación de Suelos en la parroquia 12 de Diciembre

A continuación, en la Tabla 23 se presenta el resumen del presupuesto requerido para el Plan de Recuperación de Suelo; y en el Anexo 7 el presupuesto detallado.

Tabla 23. *Presupuesto del Plan de Recuperación de Suelo propuesto.*

Programa	Costo (USD)
Programa de capacitación	950,00
Programa de agricultura sostenible	3933,12
Programa de ganadería sostenible	3237,64
Programa de restauración forestal	750,00
Programa de monitoreo y seguimiento	3262,40
COSTO TOTAL	12133,16

7. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian una reducción de la calidad del suelo, encontrándose una calidad baja en el bosque intervenido (0,22) y muy baja en la ganadería (0,18) y el cultivo de maíz (0,15). Los cambios en el uso del suelo se consideran un factor importante y una causa principal en la degradación del mismo (Bore & Bedadi, 2015), por ejemplo, las actividades agrícolas y ganaderas intensivas que se realizan en las fincas de la Parroquia 12 de Diciembre provocan la alteración de la calidad del suelo. Además, el cambio de uso de bosque a tierras de cultivo y pastizales tiene un efecto negativo sobre las propiedades físico-químicas del suelo (Selassie & Ayanna, 2013).

En cuanto, a las propiedades físicas del suelo, a partir de los resultados encontrados se determinó que las variables mayormente afectadas son la porosidad, agua aprovechable y densidad aparente. Respecto a la porosidad, se evidenció una disminución en el cultivo de maíz (38,52%) en comparación con el bosque intervenido (41,07%) y la ganadería (43,91%), esto se debe a que las tierras de cultivo tienden a la compactación y, en consecuencia, a una menor porosidad. Asimismo, Belayneh & Eyasu (2020) en su investigación hecha en la cuenca de Sherkollam determinó que la menor porosidad se encontró en los campos cultivados (maíz, trigo, cebada, sorgo y teff), seguido por las tierras de pastoreo (44%) y bosque (53%) demostrando que la porosidad se ve afectada por el cambio de uso del suelo. De acuerdo con Achalu et al. (2012) la reducción de la porosidad en suelos de tierras cultivadas, en contraste a los bosques y tierras de pastoreo, se da por la intensidad de las prácticas de manejo del suelo.

En relación al agua aprovechable es mayor en el uso de suelo para ganadería (12,97%), seguido por el bosque intervenido (12,75%), encontrándose los valores más bajos en el cultivo de maíz (11,05%). Estos resultados concuerdan con el estudio realizado en el noroeste de Etiopía por Selassie & Ayanna (2013), quienes determinaron una mayor disponibilidad de agua en bosques y pastizales en comparación a las tierras cultivadas, debido a la presencia de mayor contenido de arcilla en estos usos, a diferencia de las tierras cultivadas que presentaron una textura franca. Asimismo, de acuerdo con Hernández et al. (2017) en una investigación llevada a cabo en Manabí, Ecuador, registraron que los suelos de bosques tienen una mayor retención de agua aprovechable, en contraste con los suelos cultivados (maíz y cacao) y pastizales,

evidenciando que el sobrepastoreo y el cultivo continuo reduce la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.

En cuanto, a la densidad aparente la ganadería presenta un valor más bajo ($1,35 \text{ g/cm}^3$) en comparación al cultivo de maíz ($1,47 \text{ g/cm}^3$), de acuerdo a Selassie & Ayanna (2013) esto se debe a que el pastoreo restringido produce una disminución en los niveles de densidad, mientras que, el arado continuo genera un incremento. Por otro lado, se registró valores altos en el bosque intervenido ($1,41 \text{ g/cm}^3$), por la presencia de ganado, según Pezo & Ibrahim (1998) el tránsito de animales ejerce una presión en el suelo que da como resultado la reducción de sus macroporos y un aumento de la compactación. Además, Cavazos & Rodríguez (1992) mencionan que el pisoteo de animales y maquinaria agrícola, producen un aumento de la densidad aparente a niveles mayores de $1,0 \text{ g/cm}^3$. Sin embargo, esto difiere con los resultados obtenidos en el estudio de Reátegui et al. (2019), realizado en San Martín, Perú, donde se reportaron valores más altos de densidad aparente en pastizales ($1,60 \text{ g/cm}^3$) y cultivos de yuca ($1,68 \text{ g/cm}^3$), y los más bajos en el bosque secundario ($1,57 \text{ g/cm}^3$) y cultivos de maíz ($1,55 \text{ g/cm}^3$).

Referente a las propiedades químicas del suelo, conforme a los resultados obtenidos, las variables mayormente afectadas son: capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. De acuerdo a la CIC, se encontraron los valores más altos en el bosque intervenido ($28,4 \text{ meq/100g}$) y los más bajos en el cultivo de maíz (21 meq/100g); en este sentido, tal como lo señala Rodríguez et al. (2020) en su estudio efectuado en El Oro, Ecuador, los valores más bajos de CIC se registraron en los cultivos de maíz ($0,15 \text{ meq/100g}$), en comparación con lo usos de bosque ($20,11 \text{ meq/100g}$) y pastizal ($26,59 \text{ meq/100g}$), evidenciando que las prácticas agrícolas intensivas y continuas generan una disminución de la CIC y por ende inciden en una baja fertilidad del suelo. Por su parte, Bore & Bedadi (2015) reportan que los suelos forestales acumulan un alto porcentaje de materia orgánica, lo cual incrementa la CIC, dando como resultado una mayor fertilidad del suelo. Sin embargo, el cambio de uso del suelo por la deforestación incrementan la reducción de la CIC en tierras de pastoreo y cultivos (Achalu et al., 2012).

En cuando al pH, se registró que en los tres usos de suelo es ligeramente ácido, encontrando los valores más altos en el bosque intervenido (6,44), seguido por la ganadería (6,16) y los más bajos en el cultivo de maíz (6,01), evidenciando una degradación ligeramente menor, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Acevedo et al. (2021), quienes indican que la reducción del pH en los cultivos se debe a la aplicación de ácido nítrico y al uso de fertilizantes. Asimismo, Galvis et al. (2007) en su estudio realizado en Colombia en usos de suelos de maíz, pastos, vegetación nativa y bosque, determinó una ligera disminución del pH en los cultivos de maíz, debido al incremento de la labranza. De forma similar Valdivieso et al. (2012) registraron que el pH en los usos de suelo de maíz, pastizales y bosque es modernamente ácido, siendo menor en los cultivos de maíz por el uso de agroquímicos y labranza. Por su parte, Islam & Weil (2000) y Vitonu et al. (2022), mencionan que los suelos de bosques tienden a ser más ácidos que los suelos agrícolas y ganaderos, lo cual no coincide con los resultados de este estudio.

Con relación a la conductividad eléctrica, se encontraron los valores más altos en el bosque intervenido (0,22 mmhos/cm), seguido por la ganadería (0,17 mmhos/cm) y cultivo de maíz (0,14 mmhos/cm). Estos resultados coinciden con los reportados por otros autores como Ayoubi et al. (2011), quienes en su estudio hecho en el distrito de Shastkola al norte de Irán determinaron que la conductividad eléctrica es mayor en el uso de suelo forestal. De igual manera, Vitonu et al. (2022) en su investigación desarrollada en Selaqui en el distrito de Dehradyn de Uttarkhand en la India, registró valores altos de conductividad eléctrica en el boque en relación a los usos de suelo agrícola y de ganadería.

En cuanto a la materia orgánica, los valores más altos se registraron en el bosque intervenido (3,21%), que se debe a la presencia de residuos de plantas en la superficie del suelo (Bore & Bedadi, 2015). En cambio, los valores más bajos se encontraron en el cultivo de maíz (2,56%) y ganadería (2,45%), esto se atribuye al retiro del material vegetal, la mineralización de la materia orgánica por el laboreo, y a un menor aporte de residuos orgánicos (Moreno et al., 2015). Además, estos resultados coinciden con otras investigaciones como la realizada por Valdivieso et al. (2012), quienes registraron el valor más alto de materia orgánica en el bosque (3,95%), seguido por el maizal (2,74%) y el más bajo en los potreros (1,99%). De forma similar, Rodríguez et al. (2020) en Manabí, Ecuador determinaron contenidos altos de materia orgánica

en el bosque (2,91%) en comparación a los pastizales (1,80%) y cultivos de maíz (0,64%). En este sentido, Kizilkaya & Dengiz (2010) mencionan que el contenido de materia orgánica en las tierras de cultivo y pastos disminuye principalmente a causa de la tala de bosques, alta descomposición y la eliminación de residuos en las cosechas.

Por otra parte, la intensidad del pastoreo y el cultivo continuo pueden afectar negativamente los niveles de nutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo (Achalal et al., 2012). Con respecto a ello en el presente estudio, se encontraron niveles bajos de nitrógeno en los usos de suelo de ganadería y cultivo de maíz, y valores más altos en el bosque intervenido. Estos resultados, son similares a otras investigaciones (Ayoubi et al., 2011; Selassie & Ayanna, 2013), en donde se determinó contenido bajo de nitrógeno en tierras cultivadas (principalmente maíz) y pastizales, y contenido medio en áreas forestales. En relación a ello, según Islam & Weil (2000) los niveles bajos de nitrógeno en suelos agrícolas y ganaderos se asocia a menores aportes de materia orgánica, mayor aireación por labranza, quema de residuos de cultivos, erosión hídrica acelerada y pastoreo de ganado; en comparación, con niveles altos en los bosques relacionados a una mayor producción de hojarasca y fijación de nitrógeno.

Respecto al contenido de fósforo se encontraron los valores más altos en el cultivo de maíz (8,63 mg/kg), y los más bajos en el bosque intervenido (4,60 mg/kg) y la ganadería (4,10 mg/kg), lo cual, está asociado a la influencia de la fertilización realizada en los cultivos (Leite et al., 2017 y Moreno et al., 2015). Esto concuerda con lo reportado por Ozturkmen & Kavdir (2012), quienes determinaron que las prácticas agrícolas aumentan el contenido de fósforo en las zonas cultivadas. Igualmente, Yáñez et al. (2018) en su estudio llevado a cabo al sur del municipio de Linares, en el estado de Nuevo León, México, reportan que los contenidos más altos de fósforo corresponden al área agrícola y los más bajos al pastizal y matorral, a razón del retorno de fósforo en los residuos de cultivos y a la aplicación de insumos agrícolas.

En cuanto, al contenido de potasio, los valores más altos se registraron en la ganadería (0,28 cmol/kg), seguido por el bosque intervenido (0,16 cmol/kg), y los valores más bajos en el cultivo de maíz (0,11 cmol/kg), resultados que difieren con el estudio realizado por Vitonu et al. (2022) en Selaqui en el distrito de Dehradyn de Uttarkhand en la India, en donde determinaron que el contenido más alto de potasio corresponde al uso de suelo forestal. Por su

parte, Oguike & Mbagwu (2009) indican que los bosques tienen más contenido de potasio que los suelos agrícolas.

En lo que tiene relación con, la selección del Conjunto Mínimo de Datos para el cálculo del Índice de Calidad del Suelo (ICS) se realizó mediante el método de análisis de componentes principales, lo cual, permitió evaluar el efecto que los diferentes tipos de usos de suelo ejercen sobre las propiedades físico - químicas del mismo (Campitelli et al., 2010). En ese sentido, algunos investigadores han demostrado la eficacia del empleo de esta técnica para la indexación de múltiples atributos (Andrews & Carroll, 2001; Armenise et al., 2013; Barrera León et al., 2020; Castillo et al., 2021; Masto et al., 2008 y Samaei et al., 2022). Sin embargo, en otros estudios se menciona que esta técnica es un método menos subjetivo y se pueden obtener resultados insatisfactorios (Ojo et al., 2022 y Swanepoel et al., 2014). Por su parte, Chunchu & Arrellano (2018) y Hernández et al. (2016) proponen un análisis factorial con el método de rotación oblicua varimax y con ejes rotados respectivamente.

Respecto a ello, de acuerdo al ICS obtenido, se determinó que la calidad del suelo del bosque intervenido es baja, y en los usos de ganadería y cultivo de maíz muy baja. En este contexto, Leite et al. (2017), mencionan que la calidad del suelo disminuye con la intensidad del uso de tierras cultivas y pastoreo de animales, a causa de prácticas intensivas. De igual manera, Hernández et al. (2014) en su estudio, determinó que la calidad del suelo se deteriora significativamente cuando los bosques son intervenidos para otros usos como cultivos y pastizales. En cambio, Islam & Weil (2000), de acuerdo al índice de deterioro del suelo elaborado, determinaron que los usos de pasto y reforestación presentan un deterioro no significativo en comparación con el bosque natural, no obstante, en el uso de cultivo se obtuvo un índice negativo, evidenciando que se produce una alteración de la calidad del suelo cuando los bosques naturales son convertidos en suelos agrícolas sin el uso de prácticas apropiadas.

Finalmente, con el objetivo de contribuir a revertir el proceso de degradación de la calidad del suelo por las actividades agrícolas y ganaderas en la parroquia 12 de Diciembre se ha propuesto un Plan de Recuperación de Suelos, como un instrumento técnico orientado a la incorporación de estrategias y acciones de manejo y conservación del suelo a través de la implementación de buenas prácticas agrícolas y ganaderas.

8. Conclusiones

- En este estudio se evaluó el efecto del cambio de uso del suelo sobre las propiedades físicas y químicas de este recurso en las áreas de bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz, siendo las actividades productivas las que generan mayor impacto negativo sobre su calidad.
- Respecto a las propiedades físicas del suelo, se determinó que mayormente la porosidad, agua aprovechable y densidad aparente, han sido alteradas en los tres usos del suelo, debido, a que las prácticas agrícolas y ganaderas se realizan bajo sistemas tradicionales de producción como: monocultivos, pastoreo intensivo y remoción de la cobertura vegetal.
- En cuanto a las propiedades químicas del suelo, se determinó que la capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y los contenidos de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) fueron las variables que presentaron mayor alteración en los tres usos de suelo, esto se debe, al incremento de monocultivos de maíz, uso intensivo de agroquímicos y sobrepastoreo de ganado.
- De acuerdo al Índice de Calidad del Suelo (ICS), se determinó que la calidad del suelo es baja en el uso de bosque intervenido y muy baja en los usos de cultivo de maíz y ganadería, lo cual, evidencia que el tránsito de ganado en áreas forestales y la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas sin un manejo adecuado ejercen una presión sobre la salud del suelo.
- Se propone un Plan de Recuperación de Suelos con el fin de contribuir al manejo y conservación de este recurso en los usos de bosque intervenido, cultivo de maíz y ganadería, con un enfoque principal en las actividades de capacitación sobre el manejo sostenible del suelo, aplicación de abonos orgánicos, pastoreo rotativo y la reforestación forestal.

9. Recomendaciones

- Realizar campañas de educación ambiental en la parroquia 12 de Diciembre, dirigidas a los productores locales, con la finalidad de sensibilizar sobre la incorporación de buenas prácticas agrícolas y ganaderas en sus fincas.
- Socializar el Plan de Recuperación de Suelos, a los productores locales de la Parroquia, con el fin de cumplir con las actividades propuestas en los programas y orientar las medidas para el manejo y conservación del suelo.
- Socializar el Plan de Recuperación de Suelos al GAD Parroquial 12 de Diciembre, con la finalidad de que las autoridades gestionen el financiamiento para la ejecución de dicho Plan mediante la firma de convenios con otras instituciones como el GAD Municipal Pindal.
- Realizar el monitoreo continuo de la calidad del suelo en los usos de bosque intervenido, cultivo de maíz y ganadería en las fincas de la Parroquia, para determinar su estado y orientar medidas de manejo y conservación.
- Continuar con la realización de investigaciones orientadas a determinar y evaluar la calidad del suelo, en donde se analicen otras propiedades físicas (humedad equivalente, estabilidad de los agregados, velocidad de infiltración), químicas (nitrógeno total, C/N, cobre, hierro, boro, azufre, calcio, magnesio, potasio, sodio) y biológicas (biomasa microbiana, número de lombrices), con la finalidad de generar información válida que permita el planteamiento de estrategias para el manejo y conservación de la salud del suelo en sistemas productivos agrícolas y ganaderos.

10. Bibliografía

- Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del suelo. *Bioagro*, 33(2), 127–134. <https://doi.org/http://www.doi.org/10.51372/bioagro332.6>
- Achalu, C., Heluf, G., Kibebew, K., & Abi, T. (2012). Status of selected physicochemical properties of soils under different land use systems of Western Oromia, Ethiopia. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 2(3), 57–71.
- AGROCALIDAD. (2018). *Instructivo INT/SFA/10: Muestreo para análisis de suelos*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua8.pdf>
- Andrews, S. S., & Carroll, C. R. (2001). Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11(6), 1573–1585.
- Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Mitchell, J. P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 90, 25–45.
- Armenise, E., Redmile-Gordon, M. A., Stellacci, A. M., Ciccacese, A., & Rubino, P. (2013). Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 130, 91–98. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.02.013>
- Arteaga J, J. C., Navia E, J. F., & Castillo, J. A. (2016). Comportamiento de variables químicas de un suelo sometido a distintos usos, departamento de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 62–75. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.53>
- Ayoubi, S., Khormali, F., Sahrawat, K. L., & Rodrigues de Lima, A. C. (2011). Assessing Impacts of Land Use Change on Soil Quality Indicators in a Loessial Soil in Golestan Province, Iran. *J. Agr. Sci. Tech.*, 13, 727–742.
- Azero Alcocer, M. (2018). Evaluación de sistemas agroforestales dinámicos en el semiárido de Cochabamba Diez estudios de caso de las comunidades de Rodeo (Sacaba), La Maica (Tarata), Aramasí (Tapacarí), y Combuyo y Pairumani (Vinto). *Universidad Católica Boliviana San Pablo*.
- Báez, M., & Aguirre, J. (2011). Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del

suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(2).

- Barrera León, J., Barrezuela Unda, S., & García Batista, R. M. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(1), 182–190.
- Barrios, E., Delve, R., Bekunda, M., Mowo, J., Agunda, J., Ramisch, J., Trejo, M., & Thomas, R. (2006). Indicators of soil quality: A South–South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma*, 135, 248–259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.12.007>
- Bautista, A., Etchevers, B., Del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 13(2), 90–97.
- Belayneh, B., & Eyasu, E. (2020). Effects of Land Use/Land Cover Changes on Selected Soil Physical and Chemical Properties in Shenkolla Watershed, South Central Ethiopia. *Advances in Agriculture*, 2020, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2020/5145483>
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Guevera, D., Sanzano, A., Sosa, F., & De Ullivari, J. (2019). El nitrógeno del suelo. *Cátedra de Edafología-Universidad Nacional de Tucumán*.
- Benites, J. (2004). Manejo integrado del suelo y agua para un desarrollo agrícola sostenible en América Latina. *Revista de Agroecología*, 19(4), 4–5.
- Bore, G., & Bedadi, B. (2015). Impacts of Land Use Types on Selected Soil Physico-Chemical Properties of Loma Woreda, Dawuro Zone, Southern Ethiopia. *Science, Technology and Arts Research Journal*, 4(4), 40–48. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4314/star.v4i4.6>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nat Commun*, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Bouma, J. (2012). Hydropedology as a powerful tool for environmental policy and regulations; towards sustainable land use, management and planning. In: Lin, H. (Ed.), *Hydropedology: Synergistic In_tegration of Soil Science and Hydrology*. *Academic Press, Elsevier B.V.*, 483–512. <https://doi.org/http://dx.doi.10.1016/B978-0-12-386941-8.00015-0>
- Bravo, C., Goyes, F., Arteaga, Y., García, Y., & Changoluisa, D. (2021). A soil quality index

- for seven productive landscapes in the Andean-Amazonian foothills of Ecuador. *Land Degradation & Development*, 32(6), 2226–2241. <https://doi.org/DOI: 10.1002/ldr.3897>
- Bravo, C., Marín, H., Marreno, P., Ruiz, M., Torres, B., Navarrete, H., Durazno, G., & Changoluisa, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1).
- Calderón, C. L., Bautista, G. P., & Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *ORINOQUIA*, 22(2), 141–157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Camacho, J. H., Forero, N. M., Ramírez, L., & Rubiano, Y. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1), 5–18.
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., & Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia Del Suelo*, 28(2).
- Cantu, M., Becker, A., Bedano, J., & Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia Del Suelo*, 25, 173, 178.
- Castillo, X., Etchevers, J. D., Hidalgo, C. M. I., & Aguirre, A. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Cavazos, T., & Rodríguez, O. (1992). *Manual de prácticas de física de suelos*.
- Chavarría, F. J. (2011). *Edafología 1. Primera Edición*. Comisión Europea.
- Chuncho, C. G., & Arrellano, E. (2018). Evaluación de la calidad de los suelos de sistemas frutícolas de la Zona Central de Chile. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 75–90.
- Conforme, G. (2014). Degradación de los suelos en el Ecuador. Estudio compilatorio de la degradación de suelos en Ecuador. *Universidad Agraria Del Ecuador*.
- Cruz Ruiz, E., Cruz Ruiz, A., Aguilera Gómez, L. I., Norman Mondragón, H. T., Velázquez, R. A., Nava Bernal, G., Dendooven, L., & Reyes Reyes, B. G. (2012). Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, Vol.30 no.(ISSN 2395-8030).
- Cuadras, A., Peinado, V., Peinado, H., López, J., & Herrera, J. (2022). Agricultura intensiva y calidad de suelos: retos para el desarrollo sustentable en Sinaloa. *Revista Mexicana de*

Ciencias Agrícolas, 12(8).

- Doran, J., & Zeiss, M.-. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)
- Escobar, G. (2016). *La relevancia dela agricultura en América Latina y el Caribe*.
- FAO. (2017). *Ecuador es pionero en la promoción de prácticas de Ganadería Climáticamente Inteligente*. FAO. <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/522514/>
- FAO. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*.
- FAO. (2022). *Definiciones clave*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- FAO, & GTIS. (2015). *Estado mundial del recurso suelo (EMRS) - Resumen Técnico*.
- Fernández, P., Kuemmerle, T., Baumann, M., Grau, H., Nasca, J., & Radrizzani, A. (2020). Understanding the distribution of cattle production systems in the South American Chaco. *Journal of Land Use Science*, 15(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1720843>
- Fiallo, J. (2017). *Importancia del sector agrícola en una economía dolarizada*. Universidad San Francisco de Quito USFQ.
- GAD Parroquial 12 de Diciembre. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia 12 de Diciembre 2019-2023*.
- Galvis, J., Amézquita, E., & Madero, E. (2007). Evaluación del efecto de la intensidad de labranza en la formación de costra superficial de un oxisol de sabana en los Llanos Orientales de Colombia: I. Caracterización química y textural en superficie. *Acta Agronómica*, 56(4).
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125–138.
- Garrigues, E., Corson, M. S., Angers, D. A., van der Werf, H. M. G., & Walter, C. (2012). Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. *Ecological Indicators*, 18, 434–442. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ecolind.2011.12.014>
- Ghaemi, M., Astaraei, A. R., Emami, H., Nassiri Mahalati, M., & Sanaeinejad, S. H. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component

- analysis of astan quds- east of mashhad- Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000077>
- Hernández, A., Arellano, E., Morales, D., & Miranda, M. (2016). Understanding the effect of three decades of land use change on soil quality and biomass productivity in a Mediterranean landscape in Chile. *Catena*, 140, 195–204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.029>
- Hernández, A., Vera, L., Naveda, C., Monserrate, A., Vivar, M., Zambrano, T., Gallo, F., Ormanza, K., León, R., & López, G. (2017). Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38(1).
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (S.A DE C.V (ed.)).
- IGAC. (2012). *Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano* (Escala 1:1).
- Islam, K. R., & Weil, R. R. (2000). Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 79, 9–16.
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Keesstra, S. D., Bouman, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., Van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., & Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2, 111–128. <https://doi.org/doi:10.5194/soil-2-111-2016>
- Kiakojori, A. R., & Gorgi, M. M. T. (2014). Effects of land use change on the soil physical and chemical properties and fertility of soil in Sajadrood catchment. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(3), 10–16.
- Kizilkaya, R., & Dengiz, O. (2010). Variation of land use and land cover effects on some soil physico-chemical characteristics and soil enzyme activity. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(2), 15–24.
- Larriva, N. (2003). *Síntesis de la importancia del potasio en el suelo y plantas*. 21.
- Leite, H. M., Concha, C. M., & Gaspar, R. O. (2017). Soil quality index of an Oxisol under different land uses in the Brazilian savannah. *Geoderma Regional*. <https://doi.org/doi:10.1016/j.geodrs.2017.07.007>

- López, A. (2006). *Manual de edafología*. Universidad de Sevilla.
- López, M., & Estrada, H. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Bioagrocencias*, 8(1), 3–11.
- Lozano, P., Hernández, R., Bravo, C., Rivero, C., & Delgado, M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia*, 37(11), 820–827.
- MAG. (2019). *Agricultura, la base de la economía y la alimentación*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec/>
- Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16(1). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295026121002>
- Marzaioli, R., D'Ascoli, R., De Pascale, R. A., & Rutiagliano, F. A. (2010). Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology*, 44, 205–212. <https://doi.org/doi:10.1016/j.apsoil.2009.12.007>
- Masto, R. E., Chhonkar, P. K., Singh, D., & Patra, A. K. (2008). Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environ Monit Assess*, 136, 419–435. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9697-z>
- Meyer, W., & Turner, B. . (1992). Human population growth and global land-use/cover change. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 23(1), 39–61.
- Molina, J., & Feijóo, A. (2016). Uso del suelo y efectos sobre propiedades químicas, macrofauna en cultivo de plátano andes centrales. *Suelos Ecuatoriales*, 47(1), 16–24.
- Moreno, C., González, M. I., & Egido, J. A. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Revista Científica Ecuatoriana*, 2(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.36331/revista.v2i1.8>
- Muñoz, M. (2018). Soil quality indicators: a critical tool in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. <https://doi.org/doi:10.1016/j.coesh.2018.04.007>
- Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*, 15(10).
- Navarrete, A., Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. de L. (2011). Naturaleza y utilidad de los

- indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 80, 29–37.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). *Química Agrícola. 3.ª edición*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Noriega, J. A., Hortal, J., Azcárate, F., Berg, M., Bonada, N., Briones, M., Del Toro, I., Goulson, D., Ibanez, S., Landis, D., Moretti, M., Potts, S., Slade, E., Stout, J., Ulyshen, M., Wackers, F., Woodcock, B., & Santos, A. (2018). Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic and Applied Ecology*, 26, 8–23. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.09.006>
- Noruega, M., & Vélez, J. (2011). Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 40–52.
- Oguike, P. C., & Mbagwu, J. S. C. (2009). Variations in Some Physical Properties and Organic Matter Content of Soils of Coastal Plain Sand under Different Land Use Types. *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(1), 63–69.
- Ojo, A. O., Aliku, O., Aladele, S. E., Oshunsanya, S. O., Olubiyi, M. R., Olosunde, A. A., Ayantayo, V. I., & Alowonle, A. A. (2022). Impacts of land-use types on soil physical quality: A case study of the National Centre for Genetic Resources and Biotechnology (NACGRAB), Nigeria. *Environmental Challenges*, 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100510>
- Olorunfemi, I. E., Fasinmirin, J. T., & Akinola, F. F. (2018). *Soil physico-chemical properties and fertility status of long-term land use and cover changes: A case study in Forest vegetative zone of Nigeria*. 7(2), 133–150. <https://doi.org/https://doi.org/10.18393/ejss.366168>
- Ozturkmen, A., & Kavdir, Y. (2012). Comparison of some quality properties of soils around land-mined areas and adjacent agricultural fields. *Environmental Monitoring*, 184, 1633–1643.
- Pezo, D., & Ibrahim, M. (1998). *Sistemas silvopastoriles. Proyecto agroforestal*. CATIE.
- Polanco, J. (2016). El papel del análisis por componentes principales en la evaluación de redes de control de la calidad del aire. *Comunicaciones En Estadística*, 9(2), 271–294.
- Prado, M. (2004). *Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo mediante aplicación de bocashi, para cultivar pimiento híbrido quetzal, Cantón Puyango*. Universidad Nacional de Loja.
- Pujia, Y., Dongliang, H., Shiwei, L., Xin, W., Yingxin, H., & Hongtao, J. (2018). Soil quality

- assessment under different land uses in an alpine grassland. *Catena*, 171, 280–287.
- Ramírez D., N., Serrano R., J. A., & Sandoval T., H. (2006). Microorganismos extremófilos. Actinomicetos halófilos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(3), 56–71.
- Reátegui, M., Rengifo, J., & Rengifo, A. (2019). Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso de la tierra, Distrito El Eslabón, Provincia de Huallaga-San Martín. *Investigación y Amazonía*, 9(7), 1–12.
- Rodríguez Delgado, I., Pérez Iglesias, H. I., García Batista, R. M., & Quezada Mosquera, A. J. (2020). Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 389–398.
- Rodríguez Rojas, O. (2009). *Análisis de Componentes Principales*.
- Samaei, F., Emami, H., & Lakzian, A. (2022). Assessing soil quality of pasture and agriculture land uses in Shandiz county, northwestern Iran. *Ecological Indicators*, 139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108974>
- Sarmiento, E., Fandiño, S., & Gómez, L. (2018). Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática. *Ecosistemas*, 27(3), 130–139. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>
- Selassie, Y. G., Anemut, F., & Addisu, S. (2015). The effects of land use types, management practices and slope classes on selected soil physico-chemical properties in Zikre watershed, North-Western Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 4(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40068-015-0027-0>
- Selassie, Y. G., & Ayanna, G. (2013). Effects of Different Land Use Systems on Selected Physico-Chemical Properties of Soils in Northwestern Ethiopia. *Journal of Agricultural Science*, 5(4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n4p112>
- Smith, R., & Smith, T. (2001). *Ecología. 4.ª edición*. Pearson Education, S. A.
- Swanepoel, P. A., Du Preez, C. C., Botha, P. R., Snyman, H. A., & Habig, J. (2014). Soil quality characteristics of kikuyu–ryegrass pastures in South Africa. *Geoderma*, 232–234, 589–599. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.018>
- Toledo, D. M., Arzuaga, S. A., Galantini, J. A., & Vazquez, S. (2018). Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas forestales. *Ciencia Del Suelo (Argentina)*, 36(2), 1–12.
- Valdivieso, I. A., García, L. E., Álvarez, D., & Nahed, J. (2012). De maizales a potreros: cambio

en la calidad del suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(4).

- Vitonu, Rather, M., Kukreja, K., Dar, M. A., Bhat, R. A., Rashid, M., & Pala, N. A. (2022). Effects of different land use systems on selected physico-chemical properties of soils in industrial area of Selaqui, Dehradun, India. *Plant Archives*, 22(1), 82–86. <https://doi.org/https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2022.v22.no1.012>
- Yáñez, M., Cantú, I., & González, H. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Terra Latinoamericana*, 36(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>
- Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., & Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, 1, 173–185. <https://doi.org/doi:10.5194/soil-1-173-2015>

11. Anexos

Anexo 1. *Recolección de muestras de suelo disturbadas y no disturbadas en las fincas de la parroquia 12 de Diciembre.*



Anexo 2. *Determinación de la textura en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.*



Anexo 3. *Determinación de la densidad aparente en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.*



Anexo 4. *Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.*



Anexo 5. *Determinación de la conductividad eléctrica en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Universidad Nacional de Loja.*



Anexo 6. Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo en los tres usos del suelo: bosque intervenido, ganadería y cultivo de maíz de la parroquia 12 de Diciembre.

Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo en la parroquia 12 de Diciembre														
			Uso del suelo											
			Bosque intervenido				Ganadería				Cultivo de maíz			
			M1	M2	M3	Promedio	M1	M2	M3	Promedio	M1	M2	M3	Promedio
Indicadores	Parámetros	Unidad												
Físicos	Textura	---												
	Arcilla	%	52	46	54	50,67	50	48	43,28	47,09	41,28	41,28	37,28	39,95
	Limo	%	37,28	37,28	35,28	36,61	31,28	35,28	35,64	34,07	45,28	45,64	45,64	45,52
	Arena	%	10,72	16,72	10,72	12,72	18,72	16,72	21,08	18,84	13,44	13,08	17,08	14,53
	Densidad aparente	g/cm ³	1,46	1,33	1,43	1,41	1,35	1,31	1,38	1,35	1,37	1,38	1,65	1,47
	Porosidad	%	40,44	42,17	40,59	41,07	44,5	45,16	42,07	43,91	43,35	43,27	28,94	38,52
	Agua aprovechable	%	12,67	12,64	12,95	12,75	13,13	12,91	12,87	12,97	11,1	11,1	10,95	11,05
Químicos	Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	27,6	26	31,6	28,40	27,7	26,5	27,9	27,37	19,9	20,4	22,7	21,00
	pH	---	6,34	6,43	6,56	6,44	6,04	6,17	6,26	6,16	5,93	6,21	5,9	6,01
	Materia orgánica	%	3,52	3,08	3,02	3,21	2,3	2,59	2,46	2,45	2,57	2,36	2,75	2,56
	Conductividad eléctrica	mmhos/cm	0,2008	0,2489	0,2216	0,22	0,2212	0,1375	0,1502	0,17	0,1537	0,1526	0,115	0,14
	Nitrógeno	%	0,18	0,15	0,15	0,16	0,11	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	0,14	0,13
	Fósforo	mg/kg	5	4,6	4,2	4,60	3,5	4,4	4,4	4,10	15,8	4,2	5,9	8,63
	Potasio	cmol/kg	0,13	0,16	0,18	0,16	0,2	0,31	0,32	0,28	0,14	0,12	0,08	0,11

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Presupuesto del Plan de Recuperación de Suelos de la parroquia 12 de Diciembre.

Presupuesto del Plan de Recuperación de Suelos				
Actividades	Recursos	Cantidad/ Tiempo	Valor Unitario	Valor Total
Programa de capacitación				
Capacitaciones a los agricultores y ganaderos en temas relacionados a la conservación y manejo sostenible del suelo.	Técnico	1 contrato	800,00	800,00
	Materiales de oficina	1	50,00	50,00
	Infocus alquiler	10 horas	10,00	100,00
			Total	950,00
Programa de agricultura sostenible				
Implementación de barreras y cercas vivas.	Herramientas e insumos	20 kits	50,00	1000,00
	Adquisición de plántulas	60	12,00	720,00
			Total	1720,00
Elaboración y aplicación de abonos orgánicos derivados del compostaje.	Herramientas	8 kits	11,15	89,20
	Membrana plástica	8	32,13	257,04
	Cascarilla de arroz	110 kg	1,00	110,00
	Residuos de cosechas	200 kg	0	0
			Total	456,24
Establecimiento de policultivo de maíz y fréjol	Herramientas e insumos agrícolas	25 kits	55,00	1375,00
	Semillas de maíz	4 lb	53,00	212,00
	Semillas de fréjol	4 lb	42,47	169,88
			Total	1756,88
Programa de ganadería sostenible				
Implementar prácticas de pastoreo rotativo del ganado.	Materiales para cercado de potreros	12 potreros	100,00	1200,00
	Mano de obra	3/15 días	300,00	900,00
			Total	2100,00

Elaboración y aplicación de abonos orgánicos derivados del ganado.	Membrana plástica	4	32,13	128,52
	Cascarilla de arroz	55 kg	1,00	55,00
	Estiércol animal	100 kg	0	0
			Total	183,52
Implementación de sistemas silvopastoriles	Herramientas e insumos	10 kits	50,00	500,00
	Adquisición de plántulas	35	12,00	420,00
	Semillas de leguminosas forrajera	2 kg	17,06	34,12
			Total	954,12
Programa de restauración forestal				
Gestionar ante los GADs parroquial 12 de Diciembre y cantonal de Pindal la adquisición de plántulas (nativas), herramientas, personal y logística necesaria.	Gastos de movilización y alimentación.	5	10,00	50,00
			Total	50,00
Llevar a cabo un proceso de regeneración natural asistida (pasiva) y activa.	Gastos administrativos	2	350,00	700,00
			Total	700,00
Programa de monitoreo y seguimiento				
Realizar visitas técnicas en las fincas para evaluar los abonos orgánicos elaborados y la implementación de policultivo.	Técnico	2 contratos	800,00	1600,00
			Total	1600,00
Realizar un monitoreo de calidad del suelo para evaluar sus características físico-químicas.	Recolección de muestras	10	15,00	150,00
	Análisis físico químico de laboratorio.	10	68,24	682,40
			Total	862,40
Realizar el monitoreo y mantenimiento de las áreas en procesos de restauración.	Técnico	1 contrato	800,00	800,00
			Total	800,00
	TOTAL, PRESUPUESTO			12133,16

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. Certificación de la traducción del Resumen (Abstract).



Mg. Yanina Quizhpe Espinoza
Licenciada en Ciencias de Educación mención Inglés
Magister en Traducción y mediación cultural

Celular: 0989805087
Email: yaniques@icloud.com
Loja, Ecuador 110104

Loja, 16 de junio de 2023

Yo, Lic. Yanina Quizhpe Espinoza, con cédula de identidad 1104337553, docente del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, y certificada como traductora e interprete en la Senescyt y en el Ministerio de trabajo del Ecuador con registro **MDT-3104-CCL-252640**, certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen del Trabajo de Titulación **Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes tipos de usos, mediante parámetros físicos y químicos en la parroquia 12 de Diciembre, cantón Pindal, provincia de Loja**, de autoría de la estudiante Paola Gabriela Ramírez Vera, con cédula 1105473100, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Atentamente

YANINA
QUIZHPE
ESPINOZA
A

Firmado digitalmente por YANINA QUIZHPE ESPINOZA
Fecha: 2023.06.16 18:12:56 -05'00'

Yanina Quizhpe Espinoza.
Traductora Freelance