

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE AGROPECUARIA



TEMA:

**INFLUENCIA DEL MANEJO AGRÍCOLA EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL
SUELO DE DIFERENTES AGROECOSISTEMAS EN LA PROVINCIA DE IMBABURA**

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

Esteban Alejandro Castañeda Iza

DIRECTOR:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc

Ibarra, 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA AGROPECUARIA

INFLUENCIA DEL MANEJO AGRÍCOLA EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO DE DIFERENTES AGROECOSISTEMAS EN LA PROVINCIA DE IMBABURA

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc

DIRECTOR



FIRMA

Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc

ASESOR



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100493427-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Castañeda Iza Esteban Alejandro		
DIRECCIÓN:	Otavalo		
EMAIL:	eacastanedai@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELÉFONO MÓVIL:	0939461998

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Influencia del manejo agrícola en las propiedades químicas del suelo de diferentes agroecosistemas en la provincia de Imbabura
AUTOR (ES):	Castañeda Iza Esteban Alejandro
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	19/02/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc .

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 04 días del mes de agosto de 2025

LA AUTOR:

Castañeda Iza Esteban Alejandro

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Castañeda Iza Esteban Alejandro, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 01 días del mes de agosto de 2025



Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc
DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 01 días del mes de agosto de 2025

Esteban Alejandro Castañeda: Influencia del manejo agrícola en propiedades químicas del suelo de diferentes agroecosistemas en la provincia de Imbabura
Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 01 días del mes de agosto de 2025. 76 páginas.

DIRECTOR: Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar la influencia del manejo agrícola en propiedades químicas del suelo de diferentes agroecosistemas en la provincia de Imbabura

Entre los objetivos específicos se encuentran: Comparar la validez del empleo de azul de metileno en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico, con respecto al método Acetato de Amonio y describir el manejo agrícola que realizan los agricultores en los diferentes agroecosistemas



MIGUEL ALEJANDRO
GÓMEZ CABEZAS

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc

Director de Trabajo de Grado

Esteban Alejandro Castañeda Iza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por guiarme en todo momento y permitirme alcanzar mi objetivo. Agradezco a mi familia por el apoyo brindado en todo momento, en especial a mis padres, Pedro Castañeda y Gladys Iza, así como a mis ocho hermanos, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias por impulsarme a ser mejor cada día, por su esfuerzo y dedicación, y por haberme inculcado valores fundamentales como la honestidad, la perseverancia y la humildad.

Un profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, Carrera de Ingeniería Agropecuaria y a los docentes por impartir sus conocimientos dentro del aula y formarme como profesional. De igual manera, a la Fundación EkoRural por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi investigación en colaboración con su equipo técnico. Asimismo, agradezco a la Fundación Tandana por el apoyo constante ofrecido a lo largo de esta etapa. A mi director MSc. Miguel Gómez y docente MSc. Julia Prado infinitas gracias por guiarme en todo momento y transmitir su conocimiento, siempre estuvieron prestos para solventar cualquier duda y culminar con éxito mi trabajo investigativo. Gracias a mis amigos y futuros ingenieros de la Granja Experimental “La Pradera”, compartimos buenos y malos momentos, gracias por su apoyo y sincera amistad, fue un gusto compartir esta etapa universitaria, este logro también es de ustedes. Finalmente agradezco a todas las personas que siempre me apoyaron y creyeron en mí.

¡Muchas Gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2. Problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5. Preguntas directrices	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Manejo agrícola	5
2.2. Los agroecosistemas	5
2.2.1 Agroecosistema agroecológico	5
2.2.2 Agroecosistema tradicional.....	6
2.2.3 Agroecosistema barbecho	6
2.2.4 Ecosistema natural	7
2.2.5 Agroecosistema degradado	7
2.3 Propiedades químicas del suelo	7
2.3.1 Macronutrientes	8
2.3.2 Micronutrientes	8
2.3.3 Materia orgánica del suelo	8
2.3.4 Conductividad eléctrica	9
2.3.5 pH.....	9
2.3.6 Capacidad de intercambio catiónico	9

2.4. Azul de metileno	9
2.4.3 Metodología para la tinción con azul de metileno	10
2.2. Marco Legal	11
CAPÍTULO III.....	13
MARCO METODOLÓGICO.....	13
3.1. Descripción del área de estudio	13
3.2. Materiales, equipos, insumos y herramientas	14
3.3. Métodos.....	15
3.3.1 Población y muestra.....	15
3.3.2 Unidad muestral	16
3.3.3 Análisis estadístico.....	16
3.4. Variables evaluadas	16
3.5. Manejo específico del estudio.....	19
3.5.1 Selección de ecosistemas y agroecosistemas en las comunidades.....	20
3.5.2. Análisis de suelo	20
3.5.3 Empleo del método azul de metileno para determinación de la CIC.....	21
CAPÍTULO IV.....	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Características del manejo agrícola	24
4.1.1 Características del manejo agrícola en la comunidad de Punku Wayku.....	24
4.1.2 Características del manejo agrícola en la comunidad de San Francisco de Cajas	29
4.1.3 Características del manejo agrícola en la comunidad de San Miguel de Moraspungo.....	33
4.2 Influencia de manejo agrícola en propiedades químicas del suelo	37
4.3 Determinación de la capacidad de intercambio catiónica con el método azul de metileno....	44
CAPÍTULO V.....	46
CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	46
5.1. Conclusiones.....	46
5.2. Recomendaciones	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Representación de las manchas con y sin halo de AM en papel de filtro	10
Figura 2	Ubicación de la investigación en la provincia de Imbabura.....	13
Figura 3	Selección de sistemas agrícolas.....	20
Figura 4	Muestreo de suelo en la comunidad Punku Wayku, en el ecosistema Natural	20
Figura 5	Preparación de la solución de azul de metileno	21
Figura 6	Colocación de muestras en el horno.....	22
Figura 7	Homogenización de las muestras de suelo	22
Figura 8	Preparación de la solución del suelo	23
Figura 9	Titulación AM en el papel filtro.....	23
Figura 10	Ecosistema natural de la comunidad Punku Wayku	24
Figura 11	Ecosistema agroecológico de la comunidad Punku Wayku.....	25
Figura 12	Ecosistema barbecho de la comunidad Punku Wayku.....	26
Figura 13	Ecosistema tradicional de la comunidad Punku Wayku.....	27
Figura 14	Ecosistema degradado de la comunidad Punku Wayku.....	27
Figura 15	Ecosistema natural de la comunidad San Francisco de Cajas	29
Figura 16	Ecosistema agroecológico de la comunidad San Francisco de Cajas	30
Figura 17	Ecosistema barbecho de la comunidad San Francisco de Cajas	30
Figura 18	Ecosistema tradicional de la comunidad San Francisco de Cajas	31
Figura 19	Ecosistema degradado de la comunidad San Francisco de Cajas	31
Figura 20	Ecosistema natural de la comunidad San Miguel de Moraspungo.....	33
Figura 21	Ecosistema agroecológico de la comunidad San Miguel de Moraspungo	34
Figura 22	Ecosistema barbecho de la comunidad San Miguel de Moraspungo.	34
Figura 23	Ecosistema tradicional de la comunidad San Miguel de Moraspungo.....	35
Figura 24	Ecosistema degradado de la comunidad San Miguel de Moraspungo	35
Figura 25	Análisis del pH de las comunidades.....	43
Figura 26	Relación entre CIC - Laboratorio y Azul de Metileno	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de áreas de estudio	14
Tabla 2 Lista de materiales utilizados en el trabajo	14
Tabla 3 Descripción de los agroecosistemas evaluados en el estudio	15
Tabla 4 Niveles de interpretación para los resultados del análisis de pH de suelo	18
Tabla 5 Niveles de interpretación para los resultados del análisis de macro- y micro-nutrientes y materia orgánica en suelos del callejón interandino utilizados por el DMSA de la EESC	18
Tabla 6 Niveles de interpretación para las relaciones catiónicas en suelos de callejón interandino utilizados por el DMSA de la EESC	19
Tabla 7 Niveles de valoración de la CIC	19
Tabla 8 Descripción de las prácticas de manejo aplicadas en cinco tipos de agroecosistemas en la comunidad de Punku Wayku	28
Tabla 9 Descripción de las prácticas de manejo aplicadas en cinco tipos de agroecosistemas en la comunidad de San Francisco de Cajas	32
Tabla 10 Descripción de las prácticas de manejo aplicadas en cinco tipos de agroecosistemas en la comunidad de San Miguel de Moraspungo	36
Tabla 11 Propiedades químicas de los agroecosistemas de la comunidad Punku Wayku	37
Tabla 12 Propiedades químicas de los agroecosistemas de la comunidad San Francisco de Cajas	39
Tabla 13 Propiedades químicas de los agroecosistemas de la comunidad San Miguel de Moraspungo	41
Tabla 14 Comparación de los valores de CIC obtenidos por los métodos de laboratorio y azul de metileno	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta realizada a los propietarios de los diferentes agroecosistemas ... 56

INFLUENCIA DEL MANEJO AGRÍCOLA EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO DE DIFERENTES AGROECOSISTEMAS EN LA PROVINCIA DE IMBABURA

Esteban Alejandro Castañeda Iza

Universidad Técnica del Norte

eacastanedai@utn.edu.ec

RESUMEN

El manejo agrícola impacta significativamente las propiedades químicas del suelo, esenciales para la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia del manejo agrícola en las propiedades químicas del suelo en diferentes agroecosistemas y se comparó la validez del método del azul de metileno (AM) frente al método de acetato de amonio 1M a pH 7 (AAM) para determinar la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La investigación se desarrolló en tres comunidades: Punkuwayku, San Francisco de Cajas y San Miguel de Moraspungo. En cada una se analizaron cinco manejos: agroecológico, tradicional, barbecho, degradado y natural, tomando cinco submuestras de suelo por manejo. Los análisis de laboratorio revelaron que los suelos naturales presentaron mayor materia orgánica (MO) y pH cercano a la neutralidad, mientras que los suelos degradados mostraron baja MO y pH ácido. Los manejos agroecológicos y en barbecho registraron valores intermedios, mientras que los tradicionales evidenciaron una disminución de MO e incremento de la compactación debido a la explotación intensiva. En cuanto a la CIC, los resultados obtenidos con el AM mostraron alta correlación ($R = 0.85$) con los del AAM, validándolo como un método simple, confiable y económico para suelos andinos. Se concluye que el manejo agrícola influye notablemente en las propiedades químicas del suelo, determinando su capacidad para sostener cultivos de manera sostenible. El método del azul de metileno destaca por su simplicidad y bajo costo, siendo una alternativa viable para incluir en kits de análisis rápido de fertilidad de suelos.

Palabras claves: manejo agrícola, salud del suelo, azul de metileno y materia orgánica

**INFLUENCE OF AGRICULTURAL MANAGEMENT ON SOIL CHEMICAL
PROPERTIES IN DIFFERENT AGROECOSYSTEMS IN THE PROVINCE OF
IMBABURA**

Esteban Alejandro Castañeda Iza

*Universidad Técnica del Norte

eacastanedai@utn.edu.ec.

ABSTRACT

Agricultural management significantly impacts the chemical properties of the soil, which are essential for the productivity and sustainability of agroecosystems. This research aimed to evaluate the influence of agricultural management on soil chemical properties across different agroecosystems and to compare the validity of the methylene blue (MB) method with the 1M ammonium acetate method at pH 7 (AAM) for determining the cation exchange capacity (CEC). The study was conducted in three communities: Punkuwayku, San Francisco de Cajas, and San Miguel de Moraspungo. Five management types were analyzed in each: agroecological, conventional, fallow, degraded, and natural, taking five soil subsamples per management. Laboratory analyses revealed that natural soils had higher organic matter (OM) content and a near-neutral pH, while degraded soils showed low OM and acidic pH. Agroecological and fallow management presented intermediate values, while conventional management demonstrated a reduction in OM and increased compaction due to intensive exploitation. Regarding CEC, the results obtained with the MB method showed a high correlation ($R = 0.85$) with those of the AAM, validating it as a simple, reliable, and cost-effective method for Andean soils. The study concluded that agricultural management notably influences soil chemical properties, determining its capacity to sustainably support crops. The methylene blue method stands out for its simplicity and low cost, making it a viable alternative for inclusion in rapid soil fertility analysis kits.

Keywords: agricultural management, Soil health, methylene blue, organic matter

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El suelo es un componente fundamental para el desarrollo de una gran variedad de cultivos (Caviedes et al., 2023). Al considerarlo dentro de la producción agrícola, es importante mencionar sobre su fertilidad, la cual depende de sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Delgado et al., 2021). Estas propiedades determinan la disponibilidad de nutrientes y pueden variar según el tipo de suelo, el manejo agrícola, clima y la vegetación (Sanford et al., 2012).

Delgado et al., (2021) mencionan que las propiedades químicas del suelo como el pH, contenido de materia orgánica (MO), la conductividad eléctrica (CE) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se ven afectadas por el manejo agrícola. Otiniano et al., (2006) en su estudio señala que la cantidad de materia orgánica en el suelo es esencial para su salud, y está directamente influenciado con su manejo agrícola, lo cual afecta la capacidad del suelo para mantener los cultivos de manera eficiente.

En la investigación realizada por Reardon et al. (2019), se evaluaron las propiedades químicas y microbianas del suelo bajo dos sistemas de labranza (mínima y convencional) en una rotación de trigo y barbecho. Los resultados demostraron que labranza mínima favorece significativamente la acumulación de carbono orgánico, nitrógeno y la actividad biológica del suelo. Además, se observó una mayor abundancia de genes microbianos asociados tanto a bacterias como a hongos, así como una intensificación de la actividad enzimática vinculada a los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y fósforo. En contraste, a la labranza convencional que presentó bajas concentraciones de estos indicadores, lo que reflejó un deterioro progresivo de la calidad del suelo. Estos hallazgos confirman que las prácticas de conservación del suelo promueven condiciones más favorables para el desarrollo de comunidades microbianas activas y resilientes, que son esenciales para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

La CIC es una propiedad clave para la nutrición de las plantas, por lo que se han desarrollado varios métodos para su determinación. Entre ellos, los métodos de formaldehído (Guerrero, 2019) y por colorimetría (Jaramillo, 2002). Kumar et al. (2021) utilizaron la prueba del azul de metileno (MBST) para estimar la CIC en suelos ácidos de la India. Sus resultados mostraron que los valores

de CIC obtenidos por MBST se correlacionaron fuertemente ($R=0.89$) con los obtenidos por el método de acetato de amonio neutro (NAAM), lo que sugiere que MBST es un método eficaz para medir la CIC en suelos ácidos. Este método ha sido utilizado también por otros autores como Del Sordo Filho et al. (2021) y Dominijanni et al. (2019) , debido a su rapidez, simplicidad y reproducibilidad.

1.2. Problema

El avance del desarrollo humano ha llevado a la transformación de ecosistemas naturales en agroecosistemas, lo que ha provocado serios desequilibrios ecológicos debido a la adopción de prácticas agrícolas no sostenibles (Quijano et al., 2021). Entre las principales amenazas se encuentran el uso intensivo de maquinaria agrícola, la expansión de monocultivos y la quema de residuos agrícolas, lo que amenaza la capacidad productiva del suelo (García y Álvarez, 2021; Rodríguez et al., 2021).

El rápido crecimiento de la agricultura ha permitido su consolidación como un pilar fundamental de la economía y la sociedad, lo que ha acelerado la expansión agrícola (Palacios y Escobar, 2016). Sin embargo, en muchas comunidades, los pequeños y medianos productores implementan prácticas agrícolas convencionales sin considerar el impacto que estas tienen sobre el suelo. La falta de conocimientos adecuados en cuanto a la gestión sostenible del suelo ha generado problemas de erosión y degradación, lo que compromete la salud del recurso más importante para la agricultura (Eugenio et al., 2019).

No existe una forma estándar para determinar la CIC, pero debido a la importancia en la salud del suelo, la nutrición de las plantas y el equilibrio de las funciones de los ecosistemas, se han desarrollado varios métodos para su determinación desde los diferentes puntos de vista fisicoquímicos. El método más extendido es el método del acetato de amonio, pero este presenta varias limitaciones, debido a que es una metodología larga, requiere de materiales y equipos específicos y su análisis implica un alto costo (Yukselen y Kaya, 2008). Lastimosamente, estos métodos requieren mucho tiempo y equipos elaborados para su desarrollo, además de ser delicados y costosos. Al no ser de fácil acceso para los agricultores, es como surge la necesidad de buscar métodos prácticos sencillos y funcionales para los agricultores.

1.3. Justificación

Esta es una iniciativa de investigación-acción liderada por la fundación EkoRural en colaboración con el colectivo agroecológico del Ecuador, UTC, UTN, FLACSO y la Universidad de Montreal, la cual contribuirá al proyecto Agricultura Para La Vida para elaborar una guía general de procedimientos para la determinación de salud del suelo.

Los agroecosistemas pueden producir cambios significativos sobre sus propiedades físicas y químicas, debido a las prácticas de manejo agrícola realizadas (Rodríguez et al., 2021). A diferencia de un ecosistema natural, que tiende a mantener un equilibrio productivo tras cientos de años de estabilidad. Para comprender estos cambios, es necesario realizar un muestreo de suelos que permita medir parámetros físicos y químicos representativos de los agroecosistemas y poder aclarar el efecto de un manejo agrícola más eficiente. Estos resultados servirán como una herramienta de decisión en el manejo de suelos por parte de los agricultores.

La producción agrícola debe ser sostenible, y no se puede seguir aumentando la superficie agrícola a expensas de los ecosistemas, por lo que es necesario aumentar la producción agrícola mejorando los métodos de producción (Afzal & Asad, 2019). Esto requiere un conocimiento detallado de las interacciones entre las prácticas de manejo agrícola y las propiedades químicas del suelo, que juegan un rol crucial en la fertilidad y la sostenibilidad a largo plazo de los agroecosistemas (Arteaga et al., 2016).

La evaluación de la calidad del suelo mediante indicadores físicos y químicos constituye una herramienta clave para mejorar las decisiones en el manejo agrícola (Olivares et al., 2021). En este sentido, es fundamental que los agricultores cuenten con metodologías accesibles y de bajo costo para analizar sus suelos. La medición de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) utilizando azul de metileno ha demostrado ser una técnica eficaz y económica en diversos estudios (Cokca y Birand, 1993; Kahr y Madsen, 1995; Yukselen y Kaya, 2008; Kumar et al., 2021;), aunque su precisión varía según el tipo de suelo (Kumar et al., 2021). Por ello, es necesario validar este método en suelos andinos del Ecuador, donde la complejidad del suelo podría afectar su desempeño. Si se comprueba su efectividad, este método ofrecería una herramienta sencilla para medir un parámetro fundamental de la calidad del suelo, con implicaciones directas en la productividad agrícola.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la influencia del manejo agrícola en propiedades químicas del suelo de diferentes agroecosistemas en la provincia de Imbabura

1.4.2 Objetivos específicos

- Describir el manejo agrícola que realizan los agricultores en los diferentes agroecosistemas
- Contrastar las propiedades químicas de diferentes agroecosistemas, de tres localidades, con respecto a ecosistemas naturales, mediante análisis de laboratorio
- Comparar la validez del empleo de azul de metileno en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico, con respecto al método Acetato de Amonio

1.5. Preguntas directrices

- ¿Cuáles son las prácticas agrícolas llevadas a cabo por los agricultores en los distintos agroecosistemas?
- ¿Cuáles son las diferencias y similitudes entre las propiedades químicas de los diferentes agroecosistemas?
- ¿Existen diferencias en los valores obtenidos con el método azul de metileno y el método acetato de amonio para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Manejo agrícola

Navarro et al. (2008), señalan que el manejo agrícola son sistemas de producción, donde el componente principal es el suelo como la base para la producción de alimentos. También puede ser la práctica de modificar la naturaleza para ponerla a su disposición (Sarandón, 2020), esto con el fin de crear las condiciones óptimas para que el cultivo pueda desarrollarse de mejor manera.

La creciente necesidad de alimentos ha provocado un aumento significativo la producción de alimentos para satisfacer las demandas de la población, lo que ha llevado a notables transformaciones en los sistemas agrícolas (Garduño et al., 2021). La introducción de la tecnología mecánica presenta una solución para aumentar la producción y garantizar la seguridad alimentaria (Cortés et al., 2009). Pero prácticas como el monocultivo y el empleo de agroquímicos afectan las características del suelo, cuyas propiedades están directamente relacionadas con el tipo de manejo que se les aplique (Navarro et al., 2008).

2.2. Los agroecosistemas

De acuerdo con Gliessman et al. (2007), el agroecosistema se lo puede definir como un sistema, con capacidad de resistencia ante los cambios biofísicos y socioeconómicos. En este entorno coexisten relaciones entre los procesos ecológicos, económicos y sociales que inciden en los subsistemas agrícola, pecuario, forestal e hídrico que lo componen.

Los agroecosistemas, según la perspectiva de la ciencia agroecológica, constituyen un empeño planificado, constante y sistemático para que los sistemas agrícolas reproduzcan las características de los ecosistemas naturales que influyen, determinan y fomentan la generación de alimentos, haciendo uso de las funciones reconocidas como servicios ecosistémicos (Melgarejo y Bautista, 2019).

2.2.1 Agroecosistema agroecológico

Gliessman et al. (2007) definen el término "agroecología" a la aplicación de ideas y principios ecológicos para crear y administrar sistemas alimentarios sostenibles. Esto implica considerar los

componentes culturales, que influyen en los campos de cultivo con mayor fuerza que las variables solamente ecológicas (León et al., 2014).

Es una agricultura donde se lleva a cabo una producción de alimentos sanos, sostenibles, mediante prácticas que favorecen la fertilidad natural de la tierra. Algunas de estas prácticas son la rotación de cultivos, las labores culturales, la aplicación de materia orgánica proveniente de las compostas y el uso consciente del agua, lo cual permite favorecer la fertilidad de la tierra de manera natural (Garduño et al., 2021). De acuerdo con Gortaire (2017) este enfoque favorece la conservación de la biodiversidad, el aprovechamiento responsable de los recursos naturales y la autosuficiencia de los productores, promoviendo al mismo tiempo la salud del ecosistema y la capacidad de adaptación ante condiciones externas adversas.

2.2.2 Agroecosistema tradicional

El agroecosistema tradicional se caracteriza por la protección y recuperación de los agroecosistemas mediante la diversificación de cultivos, lo que ha permitido satisfacer las necesidades de los pequeños agricultores sin depender de los insumos ni las prácticas propias de la agricultura moderna. (Sáenz et al., 2023). De acuerdo con Martínez (2008) son prácticas tradicionales campesinas que aportan grandes conocimientos al beneficio de una economía rural, a sectores sociales marginados, a sectores agroexportadores para que sus actividades agrícolas, sean más acordes con el respeto a la naturaleza. Además, esta agricultura evita en gran medida el uso de insumos externos, privilegiando herramientas manuales y semillas criollas (Aguilar et al., 2019).

2.2.3 Agroecosistema barbecho

El término "barbecho" se refiere al periodo de descanso entre cosechas con el objetivo de recuperar el suelo para futuras siembras. Estas prácticas culturales favorecen efectivamente las condiciones ambientales (Licona y Estupiñán, 2019), ya que están destinadas a revitalizar y fortalecer el suelo para contribuir a su fertilidad (Godenzzi y Vengoa, 1998).

El manejo en barbecho se caracteriza por el descanso temporal del suelo, lo cual favorece los procesos de regeneración como el aumento de la MO y la mejora en la estructura del suelo. De acuerdo con (Ramírez et al., 2022), este manejo durante más de 5 años, mejora la porosidad,

acidificación natural del pH, y una recuperación parcial de la CIC del suelo debido a la acumulación de residuos orgánicos.

2.2.4 Ecosistema natural

El ecosistema natural es un sistema ecológico en la que los organismos vivos interactúan con su entorno físico, de manera equilibrada y sin intervención humana directa. Estos ecosistemas se caracterizan por tener una alta biodiversidad que garantiza su estabilidad y resiliencia frente a cambios ambientales. Además, presentan complejas interacciones ecológicas y simbiosis, que regulan la dinámica poblacional y el flujo de energía (Segui, 2018).

La mayoría de los ecosistemas naturales tienen mucha diversidad, debido al desarrollo de estructuras biológicas complejas que se adaptan eficazmente a las condiciones ambientales establecidas. Esto facilita tanto el establecimiento como el mantenimiento dinámico de las poblaciones en equilibrio con su entorno (Gliessman et al., 2002).

2.2.5 Agroecosistema degradado

De acuerdo con Dubey et al. (2021), son superficies gravemente degradados por consecuencia de la contaminación del suelo, principalmente por el uso de productos químicos y prácticas no sostenibles como los monocultivos. Este manejo se caracteriza por la salinización, la extracción excesiva de agua, la compactación, la contaminación por plaguicidas, la degradación de la estructura del suelo, la pérdida de fertilidad y la erosión. Además, esta práctica combinada con el cultivo repetitivo de una sola especie y la alternancia frecuente de cultivos, somete al suelo a los efectos erosivos provocados por el viento y la lluvia, lo que produce la pérdida de la materia orgánica del suelo (Gliessman et al., 2002).

2.3 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo son aquellas características que establecen la composición y disponibilidad de los nutrientes para el crecimiento de las plantas. Estas incluyen los macro y micronutrientes, pH, conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico. En conjunto, estas propiedades definen la calidad del suelo y su capacidad para mantener la producción agrícola (Batis et al., 2020).

2.3.1 Macronutrientes

Los macronutrientes del suelo son aquellos elementos que las plantas necesitan en grandes cantidades para su crecimiento y desarrollo, como el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) (Zambrano et al., 2020). De acuerdo con Mengel y Kirkby (2000), estos nutrientes se combinan con otros elementos para formar compuestos orgánicos e inorgánicos que intervienen en procesos vitales como la fotosíntesis, la respiración, la síntesis de proteínas, la transferencia de energía y la regulación de la turgencia celular.

2.3.2 Micronutrientes

A pesar de que estos elementos son necesarios en cantidades pequeñas, su relevancia para los organismos es significativa. Los nutrimentos hierro (Fe), manganeso (Mn), cobalto (Co), boro (B), zinc (Zn) y molibdeno (Mo) son de vital importancia y su falta en el sistema, podría convertirse en un factor restrictivo para el adecuado desarrollo de un organismo (Gliessman et al., 2002). Cada uno tiene un papel vital en las plantas, pero en cantidades extremadamente pequeñas. De hecho, la mayoría de estos elementos son tóxicos para las plantas cuando las concentraciones en el suelo son elevadas (Mengel y Kirkby, 2000).

2.3.3 Materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo, se trata de la combinación de compuestos orgánicos que suelen tener en su composición elementos como el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, que se forman a partir de la desintegración de materia orgánica en la tierra (Julca et al., 2006). Según Barrezueta et al. (2020), esta propiedad desempeña un papel crucial al liberar nutrientes, eliminar sustancias tóxicas y proporcionar energía a los microorganismos del suelo. Por lo tanto, el ecosistema del suelo depende en gran medida de esta propiedad, ya que influye directamente en la mayoría de sus procesos físicos, químicos y biológicos (Villagra, 2023).

La materia orgánica contribuye a mejorar la calidad del suelo y el desarrollo de las plantas, no solo por aportar nutrientes, sino también por mejorar la formación de agregados, incrementando la retención de humedad, la capacidad de intercambio de catiónica y regulando el pH del suelo (Ramírez et al., 2022).

2.3.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del suelo (CE) es una propiedad que indica la capacidad del suelo para conducir la corriente eléctrica, la cual depende de la cantidad y el tipo de sales disueltas, la humedad, la temperatura y la textura del suelo. Este, es un indicador de la calidad y la fertilidad del suelo, ya que afecta a la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, así como a la actividad microbiana del suelo (Cremona y Enríquez, 2020).

2.3.5 pH

El pH (potencial de hidrógeno), es un indicador que muestra su grado de acidez o alcalinidad, determinado por la concentración de iones hidrógeno (H^+) presentes en la solución del suelo (FAO, 2024). Este valor afecta directamente la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la actividad de los microorganismos, la estructura del suelo y la presencia de elementos potencialmente tóxicos. La mayoría de las especies vegetales se desarrollan mejor en suelos con pH ligeramente ácido, entre 6.0 y 7.0 (Villalba et al., 2020).

2.3.6 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico mide la cantidad de cationes que un suelo puede retener e intercambiar. Es una propiedad fundamental que depende de la proporción de arcillas y materia orgánica, los principales responsables de las cargas negativas que interactúan con nutrientes como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+) (Loayza et al., 2023). Según Kumar et al. (2020), la CIC es un indicador clave de la fertilidad del suelo, ya que afecta la retención de nutrientes y la capacidad de buffering del suelo frente a cambios químicos.

2.4. Azul de metileno

El azul de metileno es un colorante orgánico, conocido como cloruro de metiltionina, Su fórmula molecular es $C_{16}H_{18}ClN_3S$. Además, esta solución tiene un peso molecular de 319.85 g/mol y una densidad de 1.757 g/ml. Fue sintetizado por primera vez en 1876 para teñir ropa, pero no pasó mucho tiempo en que los científicos descubrieran que también era útil en medicina, especialmente para teñir preparaciones microscópicas (Gil, 2019). Este material tiene múltiples aplicaciones, entre ellas, se usa para realizar pruebas de laboratorio en el ámbito de la construcción, con el objetivo de medir el porcentaje de arcilla que contiene una muestra (Paredes, 2019).

2.4.3 Metodología para la tinción con azul de metileno

La metodología básica para realizar método azul de metileno (MAM), se puede obtener de estudios de Cokca y Birand (1993), quienes estandarizaron el procedimiento para suelos con diferentes contenidos de arcilla.

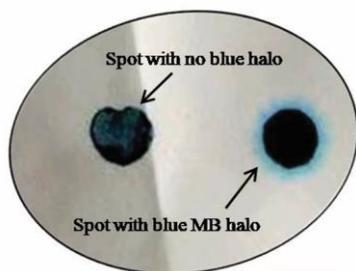
Para la preparación de la solución de titulación de azul de metileno (AM), se disolvió 1 g de polvo seco de azul de metileno en 200 ml de agua destilada. Luego la mezcla se agito por 5 minutos con una varilla de vidrio hasta obtener una disolución homogénea. Posteriormente, se guardó la solución en un frasco ámbar para su uso posterior.

Para la preparación de la solución del suelo, esta fue secada previamente en un horno a 105 °C durante 24 horas. Una vez completado el secado, las muestras fueron trituradas dentro de una bolsa plástica, para luego triturarlo con un rodillo. Posteriormente, se tamizó la muestra tratada en un tamiz con abertura de malla de 2 mm. Finalmente, se tomaron 10 g de la muestra de suelo tratada y se mezclaron con 30 ml de agua destilada

Una vez obtenidas las dos soluciones, se añadieron 0.5 ml de la solución de AM a la solución del suelo. Esta mezcla se agitó durante 1 minuto utilizando una varilla de vidrio. A continuación, se extrajo una gota de la solución y se colocó sobre papel filtro para su observación. Si no se observó la formación de un halo alrededor de la mancha, se continuó añadiendo incrementos de 0.5 ml de la solución de AM, repitiendo el proceso de agitación y observación tras cada adición. Este procedimiento se repitió hasta obtener una mancha con halo, lo que indica el punto final de la titulación (Figura 1). Cuando se llega al punto final, se anota el volumen total añadido, y luego se aplica la formula con los valores obtenido en el ensayo.

Figura 1

Representación de las manchas con y sin halo de AM en papel de filtro



Fuente: Kumar et al. (2021)

Una vez obtenido del azul de metileno absorbido, los valores se reemplazan en la fórmula.

La CIC se determina mediante la siguiente fórmula:

$$CIC = \frac{100}{W_s} \times V_{mb} \times N_{mb}$$

Donde:

CIC = capacidad de intercambio catiónico (mEq/100 g de arcilla)

Ws = Peso de la muestra de suelo (g)

Vmb = volumen de la solución de AM consumida (mL)

Nmb = normalidad de la solución de AM (mEq/mL)

A su vez, la normalidad de la solución se calcula con la siguiente fórmula:

$$Nmb = \frac{\text{peso azul de metileno (g)}}{320} \times \frac{100 - x}{100}$$

Donde:

X = contenido de humedad (%) de la sustancia azul de metileno

Para la mayoría de los fines prácticos, basta con estimar el agua de hidratación del colorante secándolo a 105°C a un peso constante. La masa molecular del azul de metileno es igual a 320 g (anhidro).

2.2. Marco Legal

La presente investigación se relaciona con ciertos objetivos, artículos y leyes que se encuentran en vigencia en el territorio nacional y a nivel internacional. Con base en el artículo 14, sección segunda de la Constitución de la República del 2008, se reconoce el derecho de los ciudadanos a vivir en un ambiente sano, equilibrado y sostenible, que garantice el buen vivir. Así como se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad, la integridad del patrimonio genético, la prevención del daño ambiental y la

recuperación de los espacios degradados. Además, en el artículo 71, capítulo 7, se reconoce el derecho de la naturaleza a ser respetada su existencia, mantenimiento y regeneración.

De igual manera, de acuerdo con el Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025, la investigación se ajusta con objetivo 12, dado que se busca promover modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.

Por otro lado, la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria en el artículo 3, por su parte considera fundamental establecer medidas fito y zoonosanitarias, con el objetivo de asegurar el bienestar de las personas, los animales y también mantener la inocuidad de los vegetales de manera que no representen un riesgo para quienes lo consumen.

Así también, el estudio se vincula con el cumplimiento de al menos 5 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por las Naciones Unidas el 25 de septiembre del 2015, los cuáles son: hambre cero (2), salud y bienestar (3), producción y consumo responsable (12), acción por el clima (13) y vida de ecosistemas terrestres (15).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en tres comunidades (Punku Wayku, San Francisco de cajas y San Miguel de Moraspungo) pertenecientes a la provincia de Imbabura. A continuación, en la Figura 2 se presenta el mapa de ubicación de las diferentes comunidades.

Figura 2

Ubicación de la investigación en la provincia de Imbabura

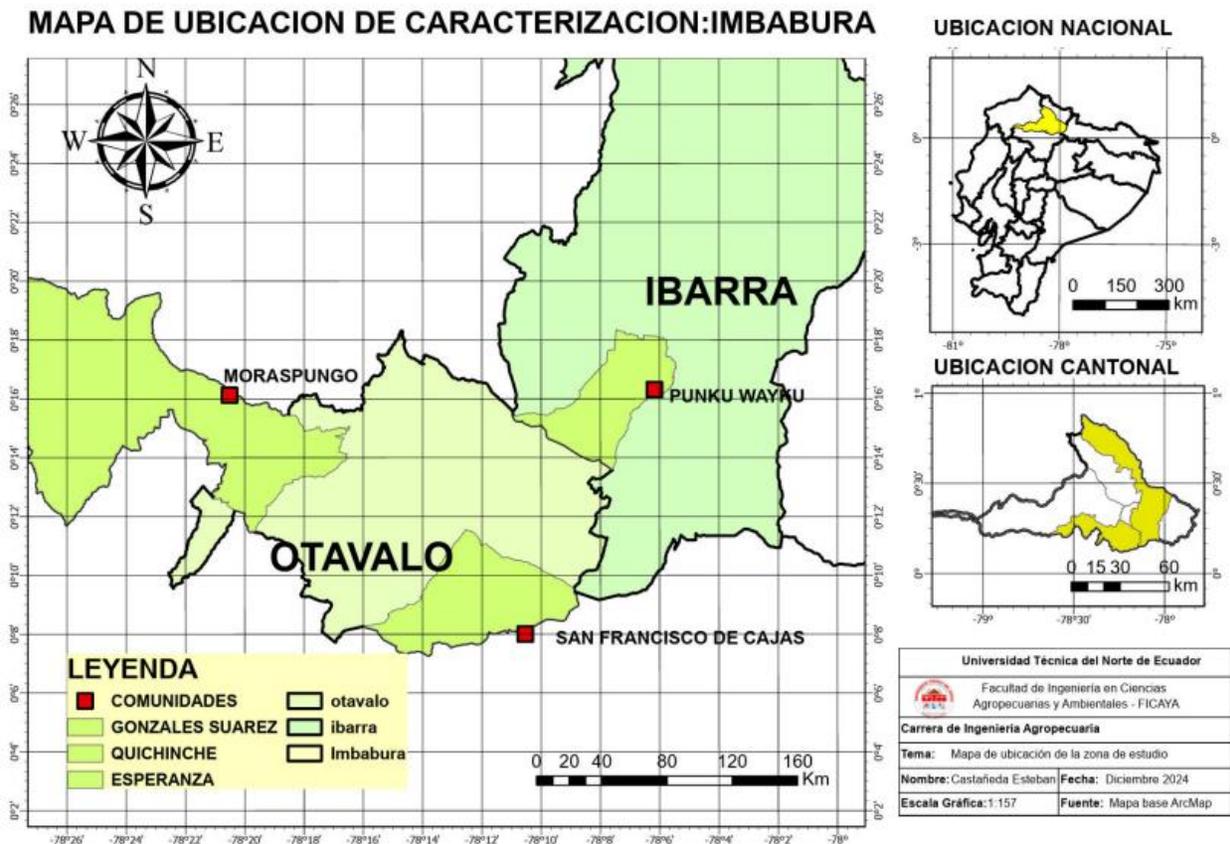


Tabla 1*Descripción de áreas de estudio*

Localidad/ Característica	Punku Wayku	San Francisco de Cajas	San Miguel de Moraspungo
Provincia	Imbabura	Imbabura	Imbabura
Cantón	Ibarra	Otavalo	Otavalo
Parroquia	La Esperanza	Gonzales Suárez	San José de Quichinche
Situación geográfica			
Altitud m.s.n.m	2600	3100	2900
Características climáticas			
Temperatura promedio (°C)	22	18	19
Cultura			
Pueblo	Kichwa Karanki	Kichwa kayambi	Kichwa Otavalo

3.2. Materiales, equipos, insumos y herramientas

Para la investigación, se utilizaron diversos materiales, equipos, insumos y herramientas que garantizaron el logro de los objetivos planteados. En la Tabla 2, se especifican los elementos utilizados, los cuales fueron fundamentales para llevar a cabo el estudio de manera efectiva y precisa.

Tabla 2*Lista de materiales utilizados en el trabajo*

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas
Platos de aluminio	Horno	Polvo seco AM	Barreno
Papel filtro N5	Balanza	Agua destilada	Pipeta plástica
Vasos de precipitación		Muestras de suelo	Micropipeta
Bolsas plásticas			Tamiz de 2mm se ancho malla
Varilla de vidrio			Pala

3.3. Métodos

La presente investigación es de carácter descriptivo y se enfocó en analizar los tipos de manejo agrícola y sus efectos sobre las propiedades químicas del suelo en distintos agroecosistemas de las comunidades de Ibarra y Otavalo, ubicados en la provincia de Imbabura. Asimismo, se evaluó y validó una metodología alternativa para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, buscando garantizar su precisión y aplicabilidad en estudios similares.

3.3.1 Población y muestra

Los predios seleccionados para la investigación fueron determinados en conjunto con la colaboración de la Fundación EkoRural, una organización dedicada a promover prácticas sostenibles enfocadas en la salud del suelo. La selección se realizó en función de su representatividad y de la diversidad de agroecosistemas presentes en las comunidades de estudio (Tabla 3). Además, se consideró la disposición y cooperación activa de los propietarios, quienes aportaron información clave sobre el manejo histórico de los terrenos y facilitaron el acceso necesario para la implementación de las metodologías estudiadas.

Tabla 3

Descripción de los agroecosistemas evaluados en el estudio

Agroecosistemas	Descripcion
Natural	Áreas no intervenidas directamente por actividades agrícolas, que conservan su estructura y biodiversidad original
Agroecológico	Sistemas que emplean prácticas sostenibles destinadas a minimizar el impacto ambiental y promover la regeneración del suelo.
Barbecho	Terrenos sometidos a períodos de descanso sin cultivo, con el propósito de restaurar parcialmente su fertilidad.
Tradicional	Sistemas agrícolas que utilizan tecnologías intensivas, como fertilizantes inorgánicos y agroquímicos.
Degradado	Suelos deteriorados por prácticas inadecuadas, como el monocultivo o un manejo deficiente de los recursos.

Las muestras utilizadas en este estudio provienen de tres asociaciones comunitarias: Chacra Sisa, de la comunidad de San Francisco de Cajas; Sumak Pacha, cuyos miembros pertenecen a diversas comunidades, aunque el trabajo se centró en la comunidad de San Miguel de Moraspungo; y, Sumak Yuyak, de la comunidad de Punku Wayku. Las dos primeras asociaciones están ubicadas en el cantón Otavalo, mientras que la última corresponde al cantón Ibarra.

En cada asociación se seleccionaron los suelos más representativos de los distintos agroecosistemas identificados, con el objetivo de garantizar una adecuada representatividad y diversidad en el análisis.

3.3.2 Unidad muestral

El estudio se llevó a cabo en tres comunidades, donde se seleccionaron los diferentes agroecosistemas siguiendo los criterios descritos anteriormente en la Tabla 3. En cada comunidad, se eligieron cinco lotes representativos correspondientes a los agroecosistemas natural, agroecológico, barbecho, tradicional y degradado.

En cada agroecosistema, se tomaron aleatoriamente cinco submuestras de suelo, las cuales se combinaron para formar una muestra homogeneizada representativa de cada agroecosistema. En total, se obtuvieron cinco muestras por comunidad, lo que dio como resultado 15 muestras totales para las tres comunidades.

3.3.3 Análisis estadístico

En el marco de este estudio se llevaron a cabo análisis cualitativos cuantitativos, mismos que se presentaron mediante tablas y gráficos con el propósito de facilitar un examen más detallado. Además, se emplearon herramientas estadísticas como Excel y Infostat vr.2020.

3.4. Variables evaluadas

Al ser una investigación descriptiva las variables que se evaluarán para conocer las propiedades químicas del suelo son las siguientes:

- **Macro y micronutrientes**

Para las variables macro y micronutrientes se registraron los datos obtenidos de los análisis químicos del suelo. El laboratorio utilizó métodos Espectroscopia de Absorción

Atómica/Espectroscopia de Emisión por Acoplamiento de Plasma Inducido y Detección Óptica en extracto Olsen Modificado pH 8.5 para determinar esta propiedad (INIAP, 2009)

- **Materia orgánica**

Para la variable materia orgánica se registró los datos obtenidos de los análisis químicos del suelo. El laboratorio utiliza los métodos Volumétrico-Walkley y Black (oxidación en frío) /Análisis Elemental para determinar esta propiedad (INIAP, 2009).

- **pH**

Para la variable pH se registró los datos obtenidos de los análisis químicos del suelo. El laboratorio utiliza el método potenciométrico, relación suelo: agua (1:2.5) para determinar esta propiedad (INIAP, 2009).

- **Capacidad de intercambio catiónico**

Para la variable capacidad de intercambio catiónico se registró los datos obtenidos de los análisis químicos del suelo. El laboratorio utiliza el método Acetato de Amonio 1M a pH:7 para determinar esta propiedad (INIAP, 2009).

- **Determinacion del CIC con azul de metileno**

Para la variable de valor del CIC con azul de metileno se realiza la metodología propuesta por Cokca y Birand (1993), para luego comparar los resultados obtenidos con el método Acetato de Amonio 1M a pH:7.

Para la interpretación de los resultados de los análisis químicos del suelo, se consideraron los niveles de interpretación de referencia para macro- y micronutrientes y materia orgánica (Tabla 5), pH (Tabla 4) y relaciones catiónicas (Tabla 6), propuestos por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2009), en su Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Callejón Interandino.

Tabla 4*Niveles de interpretación para los resultados del análisis de pH de suelo*

pH	Interpretación
<5.0	Muy ácido
5.0-5.5	Ácido
5.6-6.0	Medianamente ácido
6.1-6.5	Ligeramente ácido
6.6-7.5	Prácticamente neutro
7.6-8.0	Ligeramente alcalino
8.1-8.5	Medianamente alcalino
>8.5	Alcalino

Tabla 5*Niveles de interpretación para los resultados del análisis de macro- y micro-nutrientes y materia orgánica en suelos del callejón interandino utilizados por el DMSA de la EESC*

Parámetro	Niveles de interpretación			
	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
N (ppm)	< 30.00	30.00 - 60.00	> 60.00	
P (ppm)	< 10.00	10.00 - 20.00	> 20.00	
S (ppm)	< 12.00	12.00 - 24.00	> 24.00	
K (meq/100ml suelo)	< 0.20	0.20 - 0.38	> 0.38	
Ca (meq/100ml suelo)	< 2.00	2.00 - 5.00	> 5.00	
Mg (meq/100ml suelo)	< 0.50	0.50 - 1.50	> 1.50	
Cu (ppm)	< 1.00	1.00 - 4.00	> 4.00	
Fe (ppm)	< 20.00	20.00 - 40.00	> 40.00	
Mn (ppm)	< 5.00	5.00 - 15.00	> 15.00	
Zn (ppm)	< 3.00	3.00 - 7.00	> 7.00	
B (ppm)	< 1.00	1.00 - 2.00	2.10 - 4.00	> 4.00
MO (%)	< 3.00	3.00 - 5.00	> 5.00	
MO (%) en Andisoles	< 5.00	5.00 - 10.00	> 10.00	

Tabla 6

Niveles de interpretación para las relaciones catiónicas en suelos de callejón interandino utilizados por el DMSA de la EESC

Relación	Niveles de interpretación		
	Bajo	Óptimo	Alto
Ca/Mg	< 2.00	2.00 - 5.00	> 5.00
Mg/K	< 2.50	2.50 - 15.00	> 15.00
(Ca + Mg)/K	< 10.00	10.00 - 40.00	> 40.00
Ca/K	< 5.00	5.00 - 25.00	> 25.00

Para la interpretación de los resultados de los análisis químicos del suelo, se consideraron los niveles de interpretación de referencia para la capacidad de intercambio cationico, propuestos por el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, en su informe de procedimiento, geopedología, escala 1:25 000 (Geoportal del Agro Ecuatoriano, 2015).

Tabla 7

Niveles de valoración de la CIC

Etiqueta	Descripción
Muy bajo	< a 5cmol/kg de suelo seco
Bajo	5 a 10cmol/kg de suelo seco
Medio	11 a 20cmol/kg de suelo seco
Alto	21 a 30cmol/kg de suelo seco
Muy alto	> a 30cmol/kg de suelo seco

3.5. Manejo específico del estudio

A continuación, se detallan las actividades que se realizaron en la presente investigación:

3.5.1 Selección de ecosistemas y agroecosistemas en las comunidades

En conjunto con representantes de la fundación EkoRural, las muestras se tomaron de tres comunidades (Figura 3). En cada comunidad se identificaron y seleccionaron cinco agroecosistemas con los criterios mencionados anteriormente en la Tabla 3.

Figura 3

Selección de sistemas agrícolas



3.5.2. Análisis de suelo

Se realizaron 15 análisis de suelo, de los diferentes manejos agrícolas. Para cada análisis, se tomaron cinco submuestras: una del centro y cuatro de cada esquina del terreno. Estas submuestras se mezclaron homogéneamente para obtener una muestra compuesta de 1 kg. Después, cada muestra fue etiquetada según el manejo correspondiente y enviada al laboratorio para su análisis químico. También, se tomó una porción de las muestras de suelo para aplicar el MAM, con el propósito de evaluar la CIC de los suelos mediante una metodología alternativa (Figura 4).

Figura 4

Muestreo de suelo en la comunidad Punku Wayku, en el ecosistema Natural



Nota: a) Toma de muestra de suelo, b) Etiquetado de la muestra de suelo

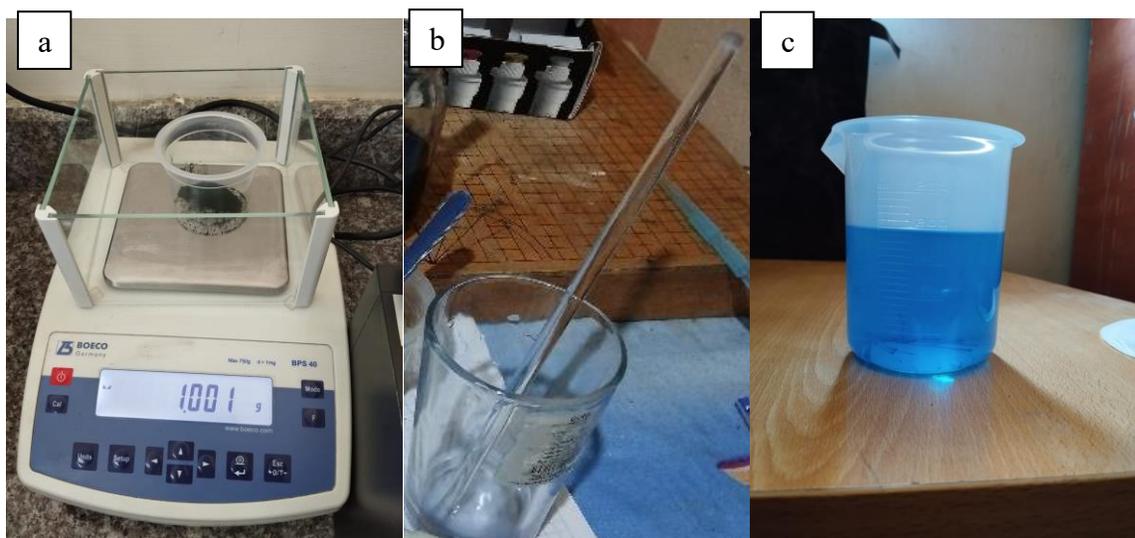
3.5.3 Empleo del método azul de metileno para determinación de la CIC

- **Preparación de la solución de titulación de azul de metileno**

Para la preparación de la solución de azul de metileno, se mezcló 1 g de polvo seco de azul de metileno en 200 ml de agua destilada, utilizando un vaso de precipitación como recipiente (Figura 5). La mezcla se agitó durante 5 minutos empleando una varilla de vidrio o un agitador magnético, asegurando la disolución homogénea del reactivo. Posteriormente, la solución preparada se almacenó en el mismo vaso de precipitación.

Figura 5

Preparación de la solución de azul de metileno



Nota: a) Pesado del polvo AM b) Agitación de la solución con varilla de vidrio c) Solución de AM preparada

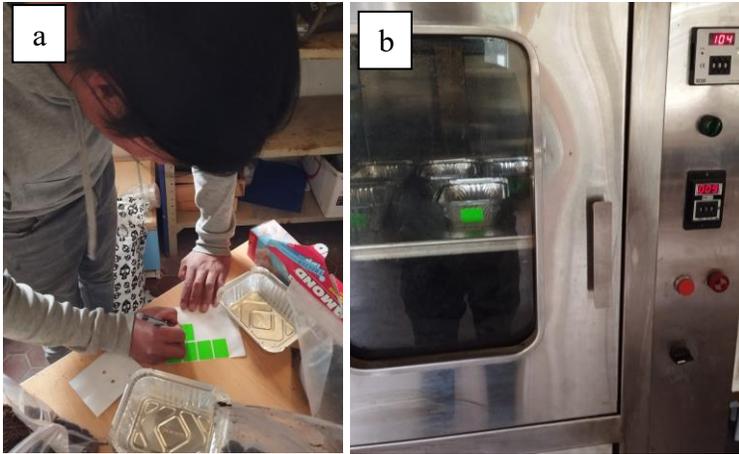
- **Preparación de la solución del suelo**

Etiquetado y secado

Las muestras de suelo fueron etiquetadas con los códigos correspondientes a cada agroecosistema. Posteriormente, se secó cada muestra en un horno a 105 °C durante 24 horas, asegurando la eliminación de la humedad necesaria para los análisis posteriores (Figura 6).

Figura 6

Colocación de muestras en el horno



Nota: a) Etiquetado de las muestras b) Secado de las muestras del suelo en el horno

Triturado y tamizado

Una vez secadas, las muestras de suelo fueron molidas. Para ello, cada muestra se colocó dentro de una bolsa plástica y se trituró cuidadosamente utilizando un rodillo. Posteriormente, la muestra triturada se tamizó a través de una malla con orificios de 2 mm de diámetro, obteniendo un suelo fino (Figura 7).

Figura 7

Homogenización de las muestras de suelo



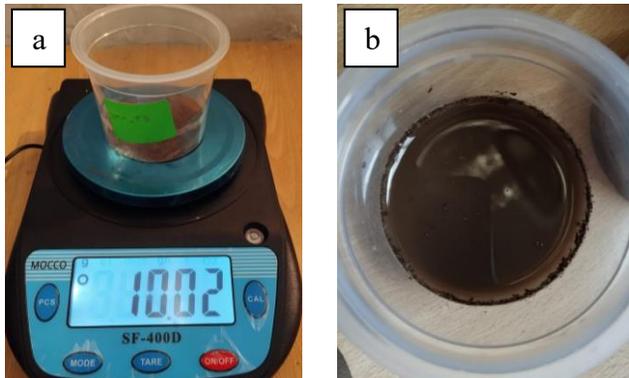
Nota: a) Muestra de suelo triturado en funda plastica b) Tamizado de la muestra de suelo

Solución de suelo

Se tomaron 10 g de la muestra de suelo tamizada, los cuales se disolvieron en 30 mL de agua destilada. Luego, la mezcla fue agitada durante cinco minutos para homogenizarla (Figura 8).

Figura 8

Preparación de la solución del suelo



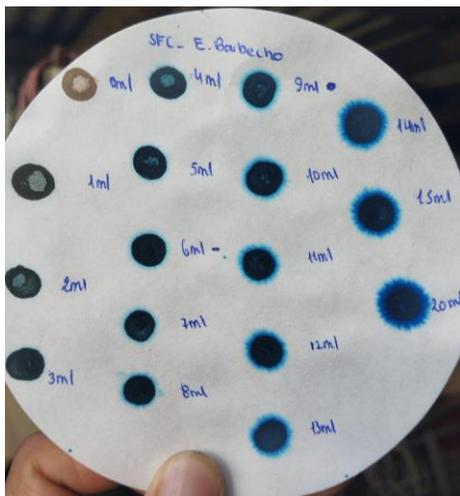
Nota: a) Pesado de la muestra de suelo b) Mezclado de muestra de suelo tamizado con agua destilada

- **Titulación azul de metileno en el papel filtro.**

A la suspensión de suelo se le añadió la solución de azul de metileno en incrementos de 0.50 ml. Después de cada adición, la mezcla fue agitada durante 1 minuto. Posteriormente, se extrajo una gota de la solución y se colocó en un cuadrado de papel filtro para su análisis (Figura 9).

Figura 9

Titulación AM en el papel filtro



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características del manejo agrícola

A través de las encuestas realizadas a los agricultores, se identificaron las prácticas de manejo agrícola empleados en las comunidades (Tablas 1, 2 y 3). La siguiente interpretación compara los sistemas evaluados en cada comunidad, abordando características como preparación del suelo antes de la siembra, cultivos predominantes, uso de fertilizantes, manejo de plagas, conservación del suelo y control de malezas.

4.1.1 Características del manejo agrícola en la comunidad de Punku Wayku

Se consideró como ecosistema natural una quebrada en proceso de mineralización (Figura 10), caracterizada por la escasez de vegetación forestal y una abundancia de piedras de diferentes tamaños que cubren gran parte de la superficie. El ecosistema tiene aspecto árido y rocoso, presenta una capa superficial de un suelo franco, que se extiende desde la superficie hasta una profundidad de 20 cm. A medida que se desciende a una profundidad de 20 a 40 cm, el suelo adquiere una textura franco-arenosa. La vegetación en esta quebrada es escasa, con algunas plantas herbáceas y arbustos adaptados a condiciones secas.

Figura 10

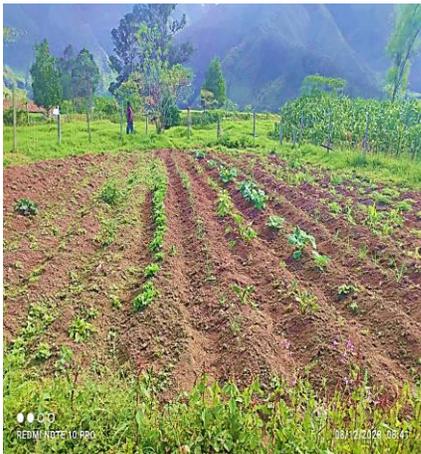
Ecosistema natural de la comunidad Punku Wayku



El agroecosistema agroecológico tiene una trayectoria productiva de aproximadamente diez años y se caracteriza por un sistema de policultivos en su extensión, donde se cultivan tanto especies de ciclo corto, como el maíz, como cultivos perennes, entre ellos frutales de limón, durazno, aguacates y tomate de árbol. La preparación del terreno combina el uso de maquinaria agrícola con el trabajo tradicional de la yunta. Antes de cada ciclo de cultivo, se incorpora estiércol de ganado y gallina, práctica que se realiza más de dos veces al año para mejorar la fertilidad del suelo. En el caso de los frutales, el estiércol se coloca alrededor de la corona de cada árbol. Además, el terreno es aprovechado por animales como ganado y gallinas, que ingresan para consumir la hierba y los residuos vegetales del cultivo anterior. El terreno cuenta con cercas vivas como árboles de aliso y algunos lecheros como cortavientos (Figura 11).

Figura 11

Ecosistema agroecológico de la comunidad Punku Wayku



El manejo de barbecho estuvo en descanso durante un periodo de 9 meses tras el cultivo anterior, esto después de 10 años de producción. Durante este período, el terreno desarrolló una cobertura vegetal compuesta por quikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y rábano forrajero (*Raphanus sativus* var). En este agroecosistema se practica el monocultivo con rotación, siendo los principales cultivos el trigo y algunas leguminosas, como fréjol y el haba. En este manejo se practica el pastoreo de animales como ganado y ovejas. Para preparar el suelo, el terreno se labra con tractor una semana antes de la siembra, eso con el fin de no perder la humedad del suelo (Figura 12).

Figura 12

Ecosistema barbecho de la comunidad Punku Wayku



En el agroecosistema tradicional se practican tanto el monocultivo como los policultivos desde hace aproximadamente nueve años. En este terreno existe el uso de insumos agrícolas, como agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, herbicidas y fertilizantes inorgánicos para aumentar la producción. Es un suelo franco, con presencia de pequeñas piedras en toda su extensión. Se emplean sistemas de rotación de cultivos para mantener la fertilidad. Antes de sembrar un nuevo cultivo, el terreno es utilizado para el pastoreo de ganado, ovejas y gallinas, que consumen los residuos vegetales del ciclo anterior. Además, se incorpora estiércol animal y el suelo se labra con tractor para descomponer los residuos vegetales y preparar la tierra. Finalmente, durante la etapa vegetativa del cultivo, se aplican fertilizantes inorgánicos, como el 10-30-10, para promover un crecimiento adecuado (Figura 13).

Figura 13

Ecosistema tradicional de la comunidad Punku Wayku



Se consideró como un agroecosistema degradado a una superficie al borde de un cerramiento de malla galvanizada, destinada a la crianza de gallinas criollas de traspatio durante aproximadamente 12 años. Esta superficie está totalmente compactada por el constante pisoteo de las gallinas y personas que ingresan al galpón, lo que ha limitado el desarrollo de vegetación, ya que no se registró cobertura vegetal en la zona muestreada (Figura 14). Sin embargo, se observa la incorporación constante de estiércol producido por las gallinas en el suelo de forma diaria. Como parte del manejo del área, se aplica cal agrícola dos veces al año para desinfectar el galpón, y una vez al año se realiza la cobertura de los bordes del suelo de la malla galvanizada con tierra proveniente del terreno de lado, la cual es removida durante las labores agrícolas.

Figura 14

Ecosistema degradado de la comunidad Punku Wayku



Tabla 8

Descripción de las prácticas de manejo aplicadas en cinco tipos de agroecosistemas en la comunidad de Punku Wayku

Características	Natural	Agroecológico	Barbecho	Tradicional	Degradado
Tiempo en producción	Indeterminado	Más de 10 años	Más de 10 años en producción, 1 año en descanso	Más de 9 años	12 años sin producción
Preparación del suelo	No aplica	Arado con maquinaria y Yunta	Ninguna	Arado con maquinaria y Yunta	Ninguna
Fertilización	No existe intervención	Orgánica	Orgánica	Orgánica e inorgánica	Orgánica
Frecuencia de fertilización	No aplica	Más de dos veces al año	Dos veces al año	Dos veces al año	Semanal
Sistema de cultivo	Espontánea y diversa	Policultivo	Monocultivo	Policultivo	Monocultivo
Cultivos/vegetación	Especies nativas, arbustos y hierbas propias del sistema	Cultivos de ciclo corto: solanáceas, crucíferas y cucurbitáceos. Cultivos perennes: árbol de tomate, aguacate y durazno.	Rábano forrajero y kikuyo	Maíz, fréjol y cobertura vegetal de kikuyo	Escasa Cobertura vegetal
Manejo de malezas	Coexisten de forma natural	Deshierbe manual y con herramientas	Pastoreo	Deshierbe manual y con herramientas	Pastoreo
Control de plagas y enfermedades	Ciclos autorregulados	Rotación y asociación de cultivos. Productos químicos	No aplica	Productos químicos	No aplica
Tipo de riego	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	No aplica
Conservación del suelo	Cobertura vegetal permanente	Cobertura vegetal, barreras vivas	Cobertura vegetal	Cobertura vegetal, barreras vivas	No aplica
Manejo de residuos agrícolas	Descomposición natural	Incorporación al suelo y alimentación a animales	Quema	Incorporación al suelo, alimentación animal y producción de abonos	No aplica
Tiempo de descanso entre cultivo	No aplica	Menos de 6 meses	Entre 6 meses y 1 año	Menos de 6 meses	Más de un 1 año

4.1.2 Características del manejo agrícola en la comunidad de San Francisco de Cajas

Este ecosistema natural presenta un paisaje dominado por arbustos de tamaño mediano, como el pumamaki (*Oreopanax ecuadorensis*) y la chilca (*Baccharis latifolia*). El suelo, de clase textural franco, está cubierto de pastos verdes y una capa de hojas secas en estado de descomposición, lo cual es esencial para la retención de humedad, favoreciendo la salud del suelo y el crecimiento de la vegetación (Figura 15). La topografía es ligeramente inclinada y el área se encuentra ubicada en el centro, actuando como una barrera viva entre un camino de tierra y un terreno utilizado para el pastoreo de ganado.

Figura 15

Ecosistema natural de la comunidad San Francisco de Cajas



El agroecosistema agroecológico fue utilizado anteriormente como lote para el almacenamiento de materiales de construcción, pero actualmente lo utilizan para la agricultura la cual cuenta con un año de producción agrícola. Las prácticas culturales se realizan de forma manual, utilizando azadones y rastrillos. El terreno está dividido en cuatro parcelas, esto con el fin de implementar la rotación de cultivos que incluyen especies de ciclo corto como gramíneas, leguminosas, solanáceas, crucíferas y cucurbitáceas, además existen cultivos perennes como el árbol de tilo utilizado como barrera viva (Figura 16). A lo largo de los bordes de cada parcela, se encuentran flores de diversas especies, las cuales actúan como atrayentes de insectos benéficos. Para la fertilización los agricultores incorporan compost al suelo en cada 2 semanas.

Figura 16

Ecosistema agroecológico de la comunidad San Francisco de Cajas



En la Figura 17, se muestra el agroecosistema barbecho, caracterizado por tener una superficie que ha permanecido en reposo durante más de 10 años, está cubierta predominante de vegetación de pastizales, especialmente kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y algunas arvenses. El suelo presenta una inclinación con pendiente pronunciada de clase textural franco. Actualmente, se utiliza principalmente para el pastoreo de ganado lo que ha generado una compactación en el suelo.

Figura 17

Ecosistema barbecho de la comunidad San Francisco de Cajas



En el agroecosistema tradicional se puede apreciar el cultivo de haba, el cual crece de forma homogénea y está organizado en hileras (Figura 18). El suelo es de textura franco, con una pendiente pronunciada y ha sido manejado bajo prácticas tradicionales durante aproximadamente tres años, utilizando arado con maquinaria agrícola y yunta para la preparación del suelo. La fertilización inorgánica se realiza dos veces al año, usualmente al momento de la siembra de un

nuevo cultivo. Además, el manejo incluye un periodo de descanso de dos meses entre cultivos, durante el cual se permite el pastoreo de ganado, lo que contribuye parcialmente a la incorporación de materia orgánica al suelo. Este cultivo presenta poca cobertura vegetal, conformada principalmente por plantas arvenses y el cultivo principal. Para maximizar el rendimiento y controlar plagas y enfermedades, se emplean agroquímicos.

Figura 18

Ecosistema tradicional de la comunidad San Francisco de Cajas



Para el manejo degradado (Figura 19), el paisaje muestra una zanja de gran tamaño, formada por la excavación. Las paredes muestran horizontes del suelo bien definidos. El terreno tiene una textura predominantemente árida, un suelo desnudo con unas muchas piedras. Al fondo de la imagen, se observa una superficie cubierta de vegetación, de árboles y arbustos, que son parte de un ecosistema montañoso. Esta diferencia entre la zanja y la vegetación al fondo nos muestra los efectos del manejo del terreno y sus cambios en el uso de la tierra en este entorno.

Figura 19

Ecosistema degradado de la comunidad San Francisco de Cajas



Tabla 9

Descripción de las prácticas de manejo aplicadas en cinco tipos de agroecosistemas en la comunidad de San Francisco de Cajas

Características	Natural	Agroecológico	Barbecho	Tradicional	Degradado
Tiempo en producción	Indeterminado	1 año	Más de 10 años en descanso	3 años	Ninguna
Preparación del suelo	No aplica	Arado manual	Ninguna	Arado con maquinaria y Yunta	No aplica
fertilización	No existe intervención	Orgánica	Ninguna	Orgánica e inorgánica	Ninguna
Frecuencia de fertilización	No aplica	Semanal	Ninguna	Dos veces al año	Ninguna
Sistema de cultivo	Espontánea y diversa	Policultivo con rotación	Monocultivo	Monocultivo con rotación	No aplica
Cultivos/ vegetación	Especies nativas, arbustos y hierbas propias del sistema	Cultivos de ciclo corto: gramíneas, leguminosas, solanáceas, crucíferas, cucurbitáceas. Cultivos perennes: árbol de tilo	kikuyo y arvenses	Habas	Escasa Cobertura vegetal
Manejo de malezas	Coexisten de forma natural	Deshierbe manual y con herramientas	Pastoreo	Deshierbe manual y con herramientas	Ninguna
Control de plagas y enfermedades	Ciclos autorregulados	Rotación y asociación de cultivos.	No aplica	Productos químicos	No aplica
Tipo de riego	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	No aplica
conservación del suelo	Cobertura vegetal permanente	Cobertura vegetal, barreras vivas	Cobertura vegetal	Ninguna	Ninguna
Manejo de residuos agrícolas	Descomposición natural	Incorporación al suelo y elaboración de compost.	Pastoreo	Pastoreo	No aplica
Tiempo de descanso entre cultivo	No aplica	Menos de 6 meses	Más de 1 año	Menos de 6 meses	Más de un 1 año

4.1.3 Características del manejo agrícola en la comunidad de San Miguel de Moraspungo

Se consideró un ecosistema natural (Figura 20) a un espacio de vegetación densa que creció de forma natural sin la intervención de las personas. Este entorno estuvo conformado por una variedad de plantas arbustivas y forestales de diferentes tamaños y formas. El suelo, de clase textural franco limoso, estuvo cubierto por una capa densa de raíces y hojas caídas, lo que ayudó a mantener la humedad del suelo y a mejorar su fertilidad. Además, este entorno fue dominado por una vegetación frondosa que proporcionó sombra y contribuyó a mantener la humedad del área debido a su densidad.

Figura 20

Ecosistema natural de la comunidad San Miguel de Moraspungo



Este agroecosistema agroecológico se caracteriza por la diversidad de hortalizas y frutales cultivados en el lote, promoviendo la biodiversidad y la resiliencia del sistema (Figura 21). El suelo es de clase textural franco arenoso y presenta árboles en los bordes del terreno, que actúan como barreras vivas. Este predio tiene una trayectoria de 15 años de producción agroecológica. Los cultivos se realizan en camas y se ejecutan prácticas como la rotación y asociación de cultivos, además del uso de plantas trampa para el manejo natural de plagas. Se aplican abonos orgánicos como el compost y biol en más de dos ocasiones al año, favoreciendo la fertilidad y salud del suelo. Este sistema de policultivos incluye especies de ciclo corto como solanáceas, leguminosas, crucíferas y cucurbitáceas, las cuales se rotan entre sí para optimizar los recursos y mantener el equilibrio del agroecosistema. Las labores agrícolas se realizan de forma manual, utilizando herramientas como el azadón y rastrillo.

Figura 21

Ecosistema agroecológico de la comunidad San Miguel de Moraspungo



El sistema de barbecho se caracterizó por la presencia de cobertura vegetal con varias especies de plantas herbáceas y malezas, donde predominó el kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), acedera (*Rumex obtusifolius*) y algunas arvenses (Figura 21). Este suelo es de clase textural franco arenoso, también presentó áreas sin cobertura vegetal, donde la arena fina fue predominante. Anteriormente se había cultivado chochos y luego no se cultivó nada durante un año. Además, el terreno es utilizado para el pastoreo de llamas, gallinas, pavos y bovinos.

Figura 22

Ecosistema barbecho de la comunidad San Miguel de Moraspungo.



El agroecosistema tradicional tiene un manejo de monocultivo con rotación, en el que se cultivan principalmente maíz y cebada de manera alternada (Figura 22). Las prácticas agrícolas son intensivas durante 5 años, y se utiliza maquinaria agrícola tanto para el labrado como para los aporques, optimizando el tiempo de trabajo en campo. El periodo de descanso entre cultivos es menor a dos meses. El terreno muestra una textura franco arenoso y no cuenta con cobertura

vegetal, lo que lo hace más vulnerable a la erosión y degradación. Para el manejo de plagas y enfermedades, se aplican agroquímicos, y se incorporan fertilizantes inorgánicos en dos momentos clave: durante la siembra y en la etapa vegetativa del cultivo, con el objetivo de incrementar el rendimiento.

Figura 23

Ecosistema tradicional de la comunidad San Miguel de Moraspungo.



El ecosistema degradado inició como una loma, donde se ingresó maquinaria para nivelar el terreno con el fin de cultivarlo (Figura 23). El suelo es de clase textural franco arenoso, donde se observó la presencia de piedras pequeñas y cascajos. No se había cultivado nada previamente y las lluvias anteriores habían provocado una erosión hídrica. Para recuperar su fertilidad, se esparcieron granos de leguminosas como fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y chochos (*Lupinus mutabilis*) con el fin de fijar nitrógeno los cuales estaban comenzando a germinar.

Figura 24

Ecosistema degradado de la comunidad San Miguel de Moraspungo



Tabla 10

Descripción de las prácticas de manejo aplicadas en cinco tipos de agroecosistemas en la comunidad de San Miguel de Moraspungo

Características	Natural	Agroecológico	Barbecho	Tradicional	Degradado
Tiempo en producción	Indeterminado	15 años	1 año	5 años	2 meses
Preparación del suelo	No aplica	Arado manual y rotulación mínima	Ninguna	Arado con maquinaria y Yunta	Arado con maquinaria
fertilización	No existe intervención	Orgánica	Ninguna	Orgánica e inorgánica	Ninguna
Frecuencia de fertilización	No aplica	Más de dos veces al año	Ninguna	Dos veces al año	Ninguna
Sistema de cultivo	Espontánea y diversa	Policultivo	No aplica	Monocultivo	Ninguna
Cultivos/ vegetación	Especies nativas, arbustos y hierbas propias del sistema	cultivos de ciclo corto: solanáceas, crucíferas, cucurbitáceas	Acedera, rábano forrajero y kikuyo	Maíz	Fréjol, habas y Chochos
Manejo de malezas	Coexisten de forma natural	Deshierbe manual y con herramientas	Pastoreo	Deshierbe manual y con herramientas	Ninguna
Control de plagas y enfermedades	Ciclos autorregulados	Rotación y asociación de cultivos.	No aplica	Productos químicos	No aplica
Tipo de riego	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	Solo depende de la lluvia	No aplica
conservación del suelo	Cobertura vegetal permanente	Cobertura vegetal, barreras vivas	Cobertura vegetal	Ninguna	No aplica
Manejo de residuos agrícolas	Descomposición natural	Incorporación al suelo	al Pastoreo	Incorporación al suelo, alimentación animal	No aplica
Tiempo de descanso entre cultivo	No aplica	2 semanas	Entre 6 meses y 1 año	Menos de 6 meses	Ninguna

4.2 Influencia de manejo agrícola en propiedades químicas del suelo

A continuación, se presentan en la Tabla 11 los resultados obtenidos de los análisis de suelos de la comunidad Punku Wayku en los laboratorios del INIAP.

Tabla 11

Propiedades químicas de los agroecosistemas de la comunidad Punku Wayku

Propiedad	Natural	Agroecológico	Barbecho	Tradicional	Degradado
N (ppm)	64.67	95.42	80.96	94.46	106.20
P (ppm)	54.25	66.20	36.12	52.95	158.51
K (meq/100ml suelo)	0.86	0.74	0.55	0.73	1.74
Ca (meq/100ml suelo)	9.62	9.49	8.45	10.42	12.32
Mg (meq/100ml suelo)	3.17	4.12	3.02	3.26	4.65
Zn (ppm)	3.10	4.70	2.60	2.60	9.50
Cu (ppm)	4.30	8.30	8.10	10.30	8.50
Fe (ppm)	197.00	511.00	286.00	390.00	647.00
Mn (ppm)	10.80	15.80	20.60	12.40	14.60
Ca/Mg	3.03	2.31	2.80	3.19	2.65
Mg/K	3.69	5.53	5.47	4.48	2.67
Ca/K	11.2	12.8	15.4	14.3	7.08
(Ca+Mg) /K	14.87	18.28	20.78	18.80	9.74
Σ Bases	13.65	14.35	12.03	14.41	18.71
pH	5.51	6.41	6.41	6.05	6.47
MO (%)	4.68	4.19	3.37	4.25	6.37
CIC	9.50	10.80	8.90	12.20	14.70

En la Tabla 11, se puede observar que los niveles de fertilidad de suelo son altos para los elementos N, P, K, Ca, Mg, Cu y Fe, de acuerdo con los niveles de interpretación del INIAP, permitiendo inferir que la fertilidad de suelos en esta comunidad es buena para estos elementos. Por otra parte, para el elemento Zn la categorización varió con respecto al ecosistema evaluado, teniendo que, en el manejo degradado se encontraron altos niveles de Zn, seguido de los manejo agroecológico y ecosistema natural, que mostraron niveles medios y finalmente, los manejos tradicional y barbecho que tuvieron niveles bajos. Para el Mn, los niveles fueron altos para los manejos barbecho y agroecológico, mientras que, el resto de los ecosistemas mostraron niveles medios.

La intensificación agrícola reduce la cantidad de MO en el suelo, lo que disminuye la disponibilidad de Zn (Barbieri et al., 2015). En los manejos barbecho y tradicional, se identificaron niveles medios de MO y altas concentraciones de Ca (Tabla 11), lo que sugiere que estos suelos tienen condiciones calcáreas que podrían estar limitando más la disponibilidad de Zn (Aurora et al., 2023).

Las relaciones catiónicas fueron óptimas en todos los agroecosistemas, a excepción de la relación catiónica $(Ca+Mg)/K$, que fue baja en el agroecosistema degradado. Esto podría atribuirse a la concentraciones elevadas de K que pueden competir por los sitios de intercambio catiónico con el Ca y Mg, haciendo que haya un desequilibrio catiónico (Larriva, 2003).

Los agroecosistemas agroecológicos, barbecho y degradado presentan valores de pH entre 6.1 y 6.5, considerados ligeramente ácidos. En contraste, el suelo perteneciente al ecosistema natural y agroecosistema tradicional registran valores más bajos, de 5.51 y 6.05, respectivamente, por lo que se consideran medianamente ácidos.

Los niveles de MO en los suelos evaluados muestran que la mayoría de los agroecosistemas se encuentran en un nivel medio, a excepción del manejo degradado, que presenta un nivel alto. Esto se debe a que la aplicación de estiércol de gallina incrementa significativamente los niveles macro y micronutrientes en el suelo. Estos elementos se liberan durante el proceso de descomposición, mejorando la actividad microbiana y la estructura del suelo, lo que proporciona una mayor disponibilidad de nutrientes (COAG, 2021).

Los resultados de la CIC para los diferentes tipos de agroecosistemas indican que todos los suelos se encuentran en el nivel bajo, lo que refleja una limitada capacidad para retener nutrientes. Sin

embargo, el suelo degradado destaca con el valor más alto dentro de este grupo, lo que podría deberse a la acumulación de materia orgánica proveniente del estiércol de gallina y la aplicación de cal en el suelo.

En la Tabla 12, se presentan los resultados obtenidos de los análisis de suelos de la comunidad San Francisco de Cajas en los laboratorios de INIAP.

Tabla 12

Propiedades químicas de los agroecosistemas de la comunidad San Francisco de Cajas

Propiedad	Natural	Agroecológico	Barbecho	Tradicional	Degradado
N (ppm)	152.08	203.97	196.29	167.67	80.13
P (ppm)	32.48	89.97	43.63	131.46	16.45
K (meq/100ml suelo)	0.68	1.35	0.45	0.71	0.98
Ca (meq/100ml suelo)	14.48	12.97	10.40	7.38	9.52
Mg (meq/100ml suelo)	4.77	2.85	1.3	1.17	2.09
Zn (ppm)	6.00	8.20	2.80	3.70	2.50
Cu (ppm)	7.60	11.10	10.00	10.50	8.80
Fe (ppm)	771.00	1077.00	1073.00	1092.00	462.00
Mn (ppm)	18.20	14.10	13.70	25.80	1.80
Ca/Mg	3.03	4.55	7.74	6.33	4.56
Mg/K	7.05	2.11	2.94	1.64	2.13
(Ca+Mg) /K	28.46	11.72	25.70	12.02	11.87
Ca/K	20.71	9.34	20.78	10.56	9.45
0Σ Bases	19.92	17.17	12.20	9.26	12.58
pH	6.16	6.08	5.58	5.26	6.36
MO (%)	8.20	6.84	5.67	4.45	2.87

En la Tabla 12 se puede observar altos niveles de N, K, Ca, Fe y Cu según los niveles de interpretación del INIAP. En cuanto al P, la mayoría de los agroecosistemas presentan un nivel alto, con excepción del degradado que presenta un nivel medio. En lo que respecta al Mg, los agroecosistemas agroecológico, natural y degradado muestran niveles altos, mientras que el barbecho y tradicional presentan niveles medios. En el Zn, el nivel es alto para el agroecológico, medio en el tradicional y natural, y bajo en el degradado y barbecho. Finalmente, con el Mn, este se encuentra en niveles altos en el ecosistema natural y tradicional, seguidos por el agroecológico y el barbecho que tienen niveles medios, y un nivel bajo en el degradado.

En el manejo del barbecho se identificó un suelo compactado, que ha sido destinado al pastoreo de ganado durante 10 años (Figura 17). Esta condición pudo haber afectado la disponibilidad de Zn, ya que propiedades físicas como la estructura, la porosidad y aireación afectan directamente en la movilidad de este elemento dificultando así el acceso por parte de las raíces (Cakmak, 2008).

En el agroecosistema degradado existe la excavación del suelo lo que modifica el pH y provoca la pérdida de materia orgánica, lo que reduce la capacidad del suelo de mantener en Mn en formas disponibles (Khoshru et al., 2023). Además, según Sparrow y Uren (2014) los suelos aireados por excavaciones expuestos a altas temperaturas favorecen la oxidación microbiana del Mn^{2+} , transformándolo en formas insolubles de Mn^{3+} y Mn^{4+} , lo que provoca su inmovilización y, en consecuencia, una deficiencia de este micronutriente en el suelo.

Las relaciones catiónicas $(Ca+Mg) /K$ y Ca/K fueron óptimas en todos los agroecosistemas evaluados, lo que relaciona un buen equilibrio nutricional para el desarrollo de las plantas. En cuanto a la relación catiónica Ca/Mg , los niveles fueron altos en los agroecosistemas tradicional y de barbecho, mientras que los demás agroecosistemas mostraron niveles óptimos. Por otro lado, la relación Mg/K mostró niveles óptimos en el ecosistema natural y el manejo de barbecho, no obstante, en los demás agroecosistemas presentó niveles bajos en esta relación.

En los agroecosistemas agroecológico y tradicional, este desequilibrio catiónico se produce por el alto contenido de K con relación al Mg, ocasionando la reducción de absorción del Mg, en suelos arenosos (Marschner y Marschner, 2012). Por otra parte, Ecuador cuenta con suelos volcánicos y sistemas agroecológicos que usan estiércoles de animales y compost, lo que hace normal encontrar niveles altos de K intercambiable (Novillo et al., 2018). Estas características son similares a la investigación de Ferrando (2023) sobre dinámica de K, donde afirma que suelos tienen la

capacidad natural de mantener niveles adecuado de nutrientes aun sin necesidad de fertilizantes químicos.

Los agroecosistemas agroecológicos, natural y degradado presentan valores de pH entre 6.1 y 6.5, considerados ligeramente ácidos, lo cual es adecuado para la mayoría de los cultivos. En cambio, el barbecho tiene un pH de 5.6, lo que lo clasifica como medianamente ácidos. Finalmente, el agroecosistema tradicional muestra un pH de 5.3, lo que se interpreta como un suelo ácido

Los agroecosistemas agroecológicos, natural y de barbecho presentan niveles altos de materia orgánica, lo que indica una mejor estructura y fertilidad del suelo en estas comunidades. Por otro lado, el suelo con manejo tradicional muestra un nivel medio de materia orgánica. En contraste, el suelo degradado presenta un nivel bajo de materia orgánica, lo que reduce su capacidad para retener nutrientes del suelo.

Y por último en la Tabla 13, se presentan los resultados obtenidos de los análisis de suelos de la comunidad San Miguel de Moraspungo en los laboratorios de INIAP.

Tabla 13

Propiedades químicas de los agroecosistemas de la comunidad San Miguel de Moraspungo

Propiedad	Natural	Agroecológico	Barbecho	Tradicional	Degradado
N (ppm)	102.57	74.19	80.65	68.67	46.12
P (ppm)	19.21	76.52	17.16	20.56	14.85
K (meq/100ml suelo)	1.03	0.78	0.32	0.55	0.30
Ca (meq/100ml suelo)	14.09	9.12	6.36	6.43	5.66
Mg (meq/100ml suelo)	3.54	1.69	0.74	0.79	0.72
Zn (ppm)	2.40	4.10	0.70	0.90	0.40
Cu (ppm)	4.20	6.50	5.20	7.10	3.40
Fe (ppm)	148.00	145.00	116.00	147.00	88.00
Mn (ppm)	6.50	16.20	3.00	4.30	1.70
Ca/Mg	3.98	5.41	8.65	8.10	7.85

Mg/K	3.45	2.17	2.27	1.43	2.44
(Ca+Mg)/K	17.16	13.91	21.90	13.05	21.57
Ca/K	14.12	11.37	21.33	10.66	19.10
Σ Bases	18.66	11.58	7.42	7.78	6.67
pH	6.75	6.36	6.21	5.97	6.12
MO (%)	9.63	4.49	3.98	4.79	2.02

Los macroelementos Ca y Fe destacaron con niveles altos en todos los agroecosistemas evaluados. En cuanto al N y Cu, se observaron niveles altos en todos los agroecosistemas, con la excepción de los suelos degradados, que mostraron niveles medios. En relación con el P, los suelos agroecológico y tradicional presentaron niveles altos, mientras que los demás mostraron niveles medios. Para el K, ecosistema natural, agroecosistema agroecológico y tradicional también presentaron niveles altos, y los demás manejos mostraron niveles medios. El Mg, indicó niveles altos en los suelos natural y agroecológico, mientras que los demás agroecosistemas presentaron niveles medios. En cuanto al Zn, se registró un nivel medio en el suelo agroecológico y niveles bajos en los demás agroecosistemas. Finalmente, en el caso Mn, el suelo agroecológico mostró un nivel alto, el natural un nivel medio y los demás agroecosistemas presentaron niveles bajos.

Los bajos niveles de Zn en los agroecosistemas barbecho, tradicional y degradado puede deberse a que estos suelos son de clase textural franco arenosas. Este microelemento es deficiente en suelos arenosos porque tienden a tener baja capacidad de retención de nutrientes además de tener una lixiviación acelerada (Cakmak, 2008). Por otra parte, el ecosistema natural a pesar del alto contenido de MO muestra una deficiencia para este elemento, la cual puede ser por la falta de reposición natural del micronutriente. Además, el ecosistema presenta una clase textural franco limosa la cual según Alloway (2008) y Cakmak (2008) en condiciones naturales puede generar una baja aireación del suelo. Esta limitación en el intercambio gaseoso restringe los procesos de mineralización, afectando la disponibilidad de Zn en el suelo.

Las relaciones catiónicas Ca/K se mantienen en niveles óptimos a lo largo de los diferentes agroecosistemas. Aunque el suelo natural muestra una relación Ca/Mg óptima, los otros

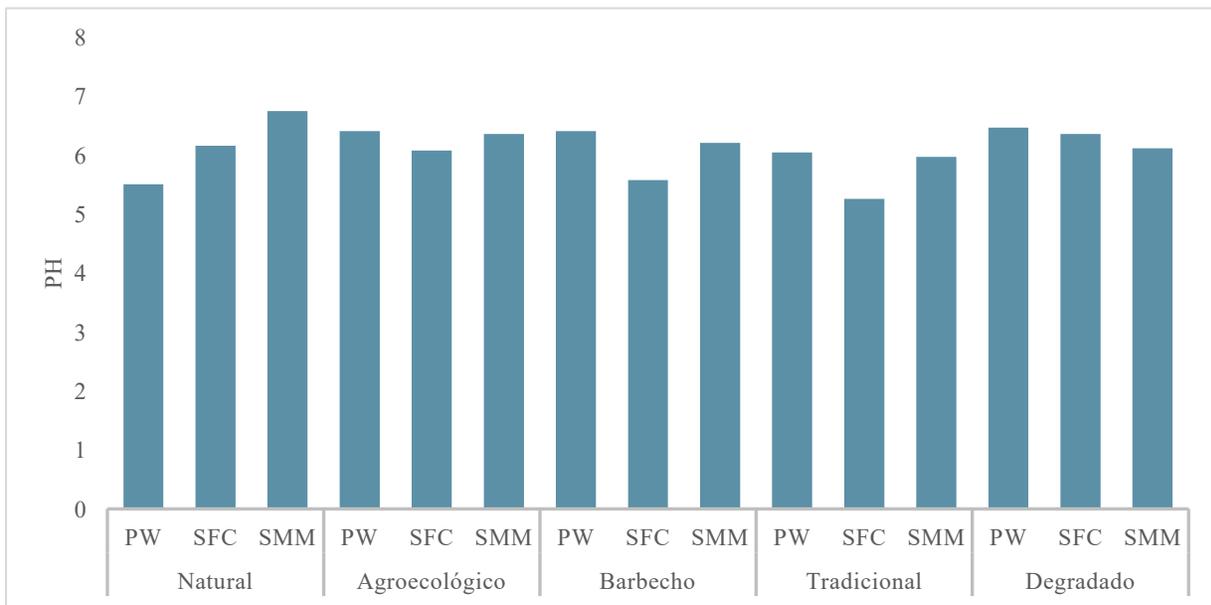
agroecosistemas exhiben niveles altos. En cuanto a la relación Mg/K, el agroecosistema natural presenta niveles óptimos, mientras que en los demás se observan niveles bajos. Por otro lado, la relación (Ca+Mg) /K es óptima en los agroecosistemas tradicional y agroecológico, mientras que, en los otros agroecosistemas niveles son altos.

Los agroecosistemas presentan diferentes niveles de acidez en el suelo. Los agroecosistemas agroecológicos, de barbecho y degradados son ligeramente ácidos, lo que puede influir en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad biológica del suelo. El tradicional es medianamente ácido, lo que podría limitar el crecimiento de algunas plantas sensibles a la acidez. En cambio, el ecosistema natural mantiene un pH neutro, que es ideal para la mayoría de las plantas, promoviendo equilibrio de los nutrientes en el suelo.

Para los niveles de materia orgánica el ecosistema natural presenta niveles altos, lo que muestra un suelo saludable con buena capacidad de retención de agua y nutrientes. Asimismo, los agroecosistemas agroecológicos, barbecho y tradicional, presentan niveles medios y el manejo degradado muestra niveles bajos de materia orgánica, reflejando la pérdida de fertilidad y la degradación del suelo.

Figura 25

Análisis del pH de las comunidades



Nota. PW=Punku Wayku, SFC=San Francisco de Cajas, SMM=San Miguel de Moraspungo

En cuanto a los niveles de pH (Figura 25), el análisis de las propiedades químicas de los suelos en los agroecosistemas y los ecosistemas naturales reveló diferencias significativas en varios parámetros clave. En términos generales, los agroecosistemas mostraron un pH promedio de 5.8, mientras que los ecosistemas naturales tuvieron un pH de 6.5, lo que indica que los suelos agrícolas tienden a ser más ácidos, posiblemente debido al uso frecuente de fertilizantes nitrogenados y la actividad de labranza. Esta diferencia de 0.7 unidades es estadísticamente significativa ($p < 0.05$), lo que sugiere que las prácticas agrícolas contribuyen a la acidificación del suelo.

4.3 Determinación de la capacidad de intercambio catiónica con el método azul de metileno

En esta investigación se compararon los valores de la capacidad de intercambio catiónico determinados mediante el método de laboratorio método acetato de amonio 1M a pH:7 (MAA) y el método del azul de metileno (MAM) en diferentes tipos de manejo de suelo. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14

Comparación de los valores de CIC obtenidos por los métodos de laboratorio y azul de metileno

Manejo	CIC- Acetato de Amonio 1M a pH:7 (cmol/kg)	CIC- Azul de metileno (cmol/kg)	Diferencia absoluta	Diferencia relativa (%)
Natural	9.50	1.09	8.41	88.53
Agroecológico	10.80	1.16	9.64	89.26
Barbecho	8.90	1.06	7.84	88.09
Tradicional	12.20	1.20	11.00	90.16
Degradado	14.70	1.19	13.51	91.81

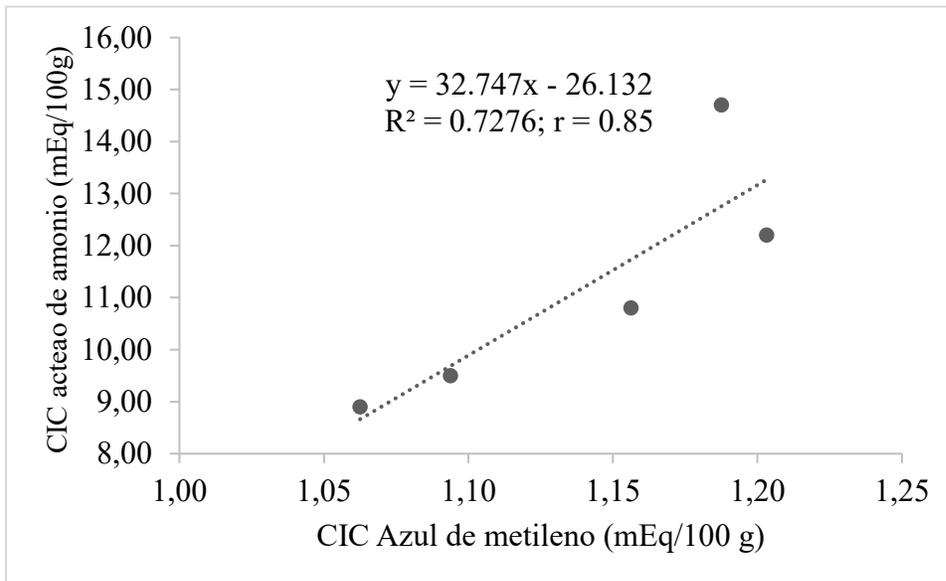
Los resultados muestran que el método del azul de metileno subestima significativamente los valores de CIC con respecto al método de laboratorio en todos los tipos de manejo.

La diferencia absoluta en los valores de CIC entre el MAM y el MAA fluctúa entre 7.84 cmol/kg, correspondiente al manejo en barbecho, y 13.51 cmol/kg en el manejo degradado. En cuanto a la diferencia relativa, esta varía desde un 88.09% en el manejo barbecho hasta un 91.81% en el

manejo degradado, lo cual evidencia la tendencia general del método de azul de metileno a subestimar los valores reales de la CIC. No obstante, el coeficiente de correlación de Pearson calculado muestra una relación positiva entre ambos métodos, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.7276$ (Figura 26), lo que indica un nivel de asociación aceptable entre los resultados obtenidos.

Figura 26

Relación entre CIC - Laboratorio y Azul de Metileno



Sin embargo, las diferencias absolutas y relativas elevadas entre ambos métodos sugieren que el azul de metileno no es completamente preciso para medir CIC. Aunque hubo diferencias en los valores absolutos de CIC medidos por ambos métodos, se observó una fuerte correlación ($R = 0.85$) entre los valores de CIC obtenidos por los métodos MAA y MAM (Figura 26), lo que implica que MAM se puede utilizar de manera efectiva para medir la CIC de suelos andinos del Ecuador. (Yukselen y Kaya, 2008) informaron un coeficiente de correlación casi similar (0.88) entre los resultados de MBST-CIC y NH_4-Na . De igual forma, Kumar et al. (2021) también habían informado previamente un coeficiente de correlación de 0.89 entre los valores de CIC determinados por el método de acetato de amonio y el método de titulación de azul de metileno.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que las prácticas de manejo agrícola tienen un impacto directo en la fertilidad de los suelos. La incorporación de materia orgánica, rotación de cultivos, aplicación de policultivos y la integración de animales para el pastoreo en los sistemas productivos contribuyen al mantenimiento de nutrientes esenciales como materia orgánica y macronutrientes.

Los tipos de manejo tienen un impacto en las propiedades químicas del suelo. En este sentido, los suelos naturales y agroecológicos muestran niveles altos en sus propiedades químicas, la fertilización en los agroecosistemas ha aumentado la concentración de algunos nutrientes, pero el manejo agrícola parece estar afectando negativamente la disponibilidad de Mn y Zn, lo que puede comprometer la fertilidad a largo plazo.

Para el método del azul de metileno puede ser útil para realizar evaluaciones preliminares rápidas o en contextos donde los recursos son limitados, como en pequeñas explotaciones agrícolas. No obstante, para estudios más precisos y para tomar decisiones agrícolas críticas, se recomienda seguir utilizando el método de acetato de amonio 1M a pH:7

5.2. Recomendaciones

Se recomienda mejorar el criterio de identificación y delimitación de los agroecosistemas en campo, ya que los resultados obtenidos muestran inconsistencias en su clasificación. En particular, el suelo degradado de Punku Wayku, el cual presentó valores más altos de MO y CIC en comparación con otros agroecosistemas. Esta situación indica una clasificación inadecuada, lo que podría afectar la interpretación de los datos.

En vista de los resultados para determinar la CIC, recomienda completar la recolección de muestras en todas las comunidades, ya que el presente trabajo solo incluye 5 muestras de Punku Wayku, lo cual impide realizar un análisis estadístico más fiable. Disponer de un mayor número de muestras permitiría una mejor evaluación de la efectividad, proporcionando una mayor validez a los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afzal, A., & Asad, S. A. (2019). Microbial Applications for Sustainable Agriculture. En M. Farooq & M. Pisante (Eds.), *Innovations in Sustainable Agriculture* (pp. 43-77). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23169-9_3
- Aguilar, Y., Caso Barrera, L., & Aliphat Fernández, M. (2019). Agroecosistemas tradicionales nüntaha'yi en la Reserva de La Biósfera Los Tuxtlas, Veracruz, México. *región y sociedad*, 31, e1147. <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1147>
- Alloway, B. J. (2008). *Zinc in Soils and Crop Nutrition* (segundo). International Zinc Association (IZA) & International Fertilizer Industry Association (IFA) — Bruselas y París. <https://www.fertilizer.org/resource/zinc-in-soils-and-crop-nutrition/>
- 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*, 33(2), 62-75. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.53>
- Barbieri, P. A., Rozas, H. R. S., Echeverría, H. E., Salvagiotti, F., Barbagelata, P., Barraco, M., Colazo, J. C., Ferraris, G., Sánchez, H. S., Díaz, R. H. C., Calvo, N. I. R., Esposito, G., & Eyherabide, M. (2015). *¿El análisis de suelo permite diagnosticar la deficiencia de zinc en el cultivo de maíz?*
- Barrezueta-Unda, S., Cervantes-Alava, A., Ullauri-Espinoza, M., Barrera-Leon, J., & Condoy-Gorotiza, A. (2020). EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE IGNICIÓN PARA DETERMINAR MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA PROVINCIA EL ORO-ECUADOR. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 19(2), 25-36. <https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.9747>

- Batis, B. V., Perea, Y. E., Fonseca, R. R., García, Y. M. R., Suárez, E. J. R., & Miranda, O. F. (2020). *Propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana en Santiago de Cuba*.
https://www.researchgate.net/publication/350451816_Propiedades_quimicas_del_suelo_en_cuatro_fincas_de_la_agricultura_suburbana_en_Santiago_de_Cuba
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302(1-2), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Caviedes, M., Gangotena, D. P., Albán, M. G., & Pantoja, J. L. (2023). II Simposio de manejo y fertilidad de suelos. *Archivos Académicos USFQ*, 45, 42.
<https://doi.org/10.18272/archivosacademicos.vi45.2905>
- COAG, C. (2021). *Volumen 1: Manual de manejo del estiércol*. Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos (COAG). <https://www.coagcanarias.com/wp-content/uploads/2021/11/Vol-1.-Manual-Manejo-del-Estiercol.pdf>
- Cokca, E., & Birand, A. (1993). Determination of Cation Exchange Capacity of Clayey Soils by the Methylene Blue Test. *Geotechnical Testing Journal*, 16(4), 518.
<https://doi.org/10.1520/GTJ10291J>
- Cortés, E., Álvarez, F., & González, H. (2009). *LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA: GESTIÓN, SELECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA MAQUINARIA PARA LAS OPERACIONES DE CAMPO*. 4(2). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321428102015>
- Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). *ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO QUE CONDICIONAN SU COMPORTAMIENTO:*
- Del Sordo Filho, G., Torrecilha, J. K., Scapin, M. A., Oliveira, S. M. B., & Da Silva, P. S. C. (2021). Characterization and adsorption capacity of Brazilian kaolin. *Journal of*

- Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 329(1), 61-70. <https://doi.org/10.1007/s10967-021-07674-3>
- Dominijanni, A., Fratolocchi, E., Guarena, N., Manassero, M., & Mazzieri, F. (2019). Critical issues in the determination of the bentonite cation exchange capacity. *Géotechnique Letters*, 9(3), 205-210. <https://doi.org/10.1680/jgele.18.00229>
- Dubey, P. K., Singh, A., Raghubanshi, A., & Abhilash, P. C. (2021). Steering the restoration of degraded agroecosystems during the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. *Journal of Environmental Management*, 280, 111798. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111798>
- Eugenio, N. R., McLaughlin, M., de Adelaida, U., Pennock, D., Pierzynski, G. M., Montanarella, L., Steffensen, J. C., Bazza, Z., Vargas, R., Ünlü, K., Kohlschmid, E., Perminova, O., Tagliati, E., Ugarte, O. M., Khan, A., Pennock, L., Sala, M., Verbeke, I., & Stanco, G. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta*.
- FAO. (2024). [Institucional]. Portal de Suelos de la FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Ferrando, M. (2023). *Estudio y dinámica de Potasio en suelos agrícolas de Uruguay* [Tesis de doctorado, UNIVDERSIDAD DE LA RÉPUBLICA URUGUAY]. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/41640>
- García Rodríguez, M. D. P., & Álvarez García, B. (2021). Preservación del medio natural en los Reales Sitios del entorno de Madrid. *Investigaciones Geográficas*, 76, 221. <https://doi.org/10.14198/INGEO.18344>
- Garduño De Jesús, E. G., Moctezuma Pérez, S., Espinoza Ortega, A., & Juan Pérez, J. I. (2021). Comercialización de cultivos y productos agroecológicos como aporte al sostenimiento de

- las unidades domésticas. El caso del grupo “Mujeres Cosechando”, México. *Sociedad y Ambiente*, 24, 1-23. <https://doi.org/10.31840/sya.vi24.2237>
- Geoportal del Agro Ecuatoriano. (2015). *Procedimiento, geopedología, escala 1:25 000* [Report]. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. <https://fliphtml5.com/wtae/gfqz/basic>
- Gil, M. (2019). *Azul de metileno: Características, preparación, usos* [Educativa]. Lifeder. <https://www.lifeder.com/azul-de-metileno/>
- Gliessman, S. R., Engles, E., & Krieger, R. (2002). *Agroecology: Ecological processes in sustainable agriculture*. Ann Arbor Press.
- Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Mendez, V. E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C., & Jaffe, R. (2007). *Agroecología: Promoviendo una transición hacia la sostenibilidad*. 16(1). <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=459>
- Godenzzi, J. C., & Vengoa Z., J. (1998). Representaciones en quechua de los conceptos de descanso, barbecho y fertilidad del suelo. *Apuntes: Revista de Ciencias Sociales*, 42, 65-79. <https://doi.org/10.21678/apuntes.42.470>
- Gortaire A., R. (2017). Agroecología en el Ecuador. Proceso histórico, logros, y desafíos. *Antropología Cuadernos de investigación*, 17, 12. <https://doi.org/10.26807/ant.v0i17.85>
- Guerrero Lázaro, J. M. G. (2019). *Determinación de la capacidad de intercambio catiónico por el método del formaldehído* [TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN SUELOS, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4116>
- INIAP. (2009). *Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Callejón Interandino* [Boletín Técnico No. 127]. Estación Experimental Santa Catalina – INIAP.

- Jaramillo, D. F. (2002). *INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DEL SUELO* (1.^a ed.). Jaramillo Jaramillo, Daniel Francisco. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/147701>
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). *LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIAS DE SU USO EN LA AGRICULTURA*.
- Kahr, G., & Madsen, F. T. (1995). Determination of the cation exchange capacity and the surface area of bentonite, illite and kaolinite by methylene blue adsorption. *Applied Clay Science*, 9(5), 327-336. [https://doi.org/10.1016/0169-1317\(94\)00028-O](https://doi.org/10.1016/0169-1317(94)00028-O)
- Khoshru, B., Mitra, D., Nosratabad, A. F., Reyhanitabar, A., Mandal, L., Farda, B., Djebaili, R., Pellegrini, M., Guerra-Sierra, B. E., Senapati, A., Panneerselvam, P., & Mohapatra, P. K. D. (2023). Enhancing Manganese Availability for Plants through Microbial Potential: A Sustainable Approach for Improving Soil Health and Food Security. *Bacteria*, 2(3), 129-141. <https://doi.org/10.3390/bacteria2030010>
- Kumar, Dr. M., Hazarika, S., Choudhury, B., Verma, B., Thangavel, R., Moirangthem, P., Rajkhowa, D. J., Dey, J., Oppo, P., & Mayanglambam, H. D. (2021). Methylene Blue Spot Test for Cation Exchange Capacity (CEC) Estimation in Acid Soils of India. *Research Biotica*, 3, 124-127. <https://doi.org/10.54083/ResBio/3.2.2021.124-127>
- Kumar, M., Hazarika, S., Choudhury, B. U., Verma, B. C., Ramesh, T., Moirangthem, P., Rajkhowa, D. J., Dey, J. K., Oppo, P., & Devi, M. H. (2021). Methylene Blue Spot Test for Cation Exchange Capacity (CEC) Estimation in Acid Soils of India. *Research Biotica*, 3(2), 124. <https://doi.org/10.54083/ResBio/3.2.2021.124-127>
- Larriva, N. (2003). *Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas*. 2(2), 2. <https://doi.org/10.17163/lgr.n2.2003.09>

- León Sicard, T., Mendoza Rodríguez, T., & Córdoba Vargas, C. (2014). *La estructura agroecológica principal de la finca (EAP): Un nuevo concepto útil en agroecología*. 10, 55-66.
- Licona Velázquez, L. S., & Estupiñán, L. H. (2019). Barbecho como práctica cultural: Una revisión histórica y alcances frente a la sostenibilidad. *Luna Azul*, 49, 21-37. <https://doi.org/10.17151/luaz.2019.49.2>
- Loayza, G., Salinas Ojeda, Á. J., & Salomé, A. (2023). *Validación de métodos analíticos para la determinación de Nitrógeno Total, y Potasio en suelos* [Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/42255>
- Marschner, H., & Marschner, P. (Eds.). (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed). Elsevier/Academic Press.
- Martínez, R. (2008). *Agricultura tradicional campesina: Características ecológicas*. 21(3), 3-13.
- Melgarejo, V., & Bautista, S. (2019). *Agroecología: De agroecosistemas a agroecosistemas sostenibles*. 18(2), 1-13.
- Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (4.^a ed.). https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf
- Navarro Bravo, A., Sandoval, B. F., Menes, M. M., Cossio, F. G., & Ceja, O. (2008). *INDICADORES FÍSICOS DEL SUELO BAJO LABRANZA DE CONSERVACIÓN Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO DE TRES CULTIVOS*. 4(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000200002

- Novillo, I. D., Carrillo Zenteno, M. D., Cargua Chavez, J. E., Nabel Moreiral, V., Albán Solarte, K. E., & Morales Intriago, F. L. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177-187. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Olivares Campos, B. O., Paredes, F., Rey, J. C., Lobo, D., & Galvis-Causil, S. (2021). The relationship between the normalized difference vegetation index, rainfall, and potential evapotranspiration in a banana plantation of Venezuela. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 18(1), 58. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v18i1.50379>
- Palacios Vélez, O. L., & Escobar Villagrán, B. S. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y Ciencias del Agua*.
- Paredes Lucas, R. J. (2019). *PAREDES LUCAS RONY JOHAN QUINDE MACIAS CRISTOPHER REYNALDO* [Tesis de Pregrado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Quijano-Cuervo, L. G., Robledo-Ospina, L. E., García Hernández, L. F., & Escobar Sarria, F. (2021). Arañas: Tejiendo un eslabón crucial para el equilibrio de los agroecosistemas. *Revista Digital Universitaria*, 22(3). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.3.5>
- Ramírez Pisco, R., Leiva Rojas, E. I., & Restrepo Yépez, R. F. (2022). Materia orgánica particulada y mineralogía de un Andisol bajo labranza y barbecho. *Acta Agronómica*, 70(4). <https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.80861>
- Reardon, C. L., Wuest, S. B., Melle, C. J., Klein, A. M., Williams, J. D., Barroso, J., & Long, D. S. (2019a). Soil Microbial and Chemical Properties of a Minimum and Conventionally Tilled Wheat–Fallow System. *Soil Science Society of America Journal*, 83(4), 1100-1110. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0344>

- Reardon, C. L., Wuest, S. B., Melle, C. J., Klein, A. M., Williams, J. D., Barroso, J., & Long, D. S. (2019b). Soil Microbial and Chemical Properties of a Minimum and Conventionally Tilled Wheat–Fallow System. *Soil Science Society of America Journal*, 83(4), 1100-1110. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0344>
- Rodríguez Delgado, I., Pérez Iglesias, H. I., & García Batista, R. M. (2021). *Degradación del suelo en sistemas agrícolas de la granja Santa Inés, provincia de El Oro, Ecuador*. 13, 557-564.
- Sáenz, G., Guevara, F., González, A., & La O, M. (2023). Agroecosistemas tradicionales del trópico mexicano: Los “bajíos” de Chiapas y sus características en el contexto actual. *Revista de Ciencias Sociales*, 29(2), 108-122. <https://doi.org/10.31876/rcs.v29i2.39964>
- Sanford, G. R., Posner, J. L., Jackson, R. D., Kucharik, C. J., Hedtcke, J. L., & Lin, T.-L. (2012). Soil carbon lost from Mollisols of the North Central U.S.A. with 20 years of agricultural best management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 162, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.08.011>
- Sarandón, S. J. (2020). *BIODIVERSIDAD, AGROECOLOGÍA Y AGRICULTURA SUSTENTABLE*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/109141>
- Segui, P. (2018). *Ecosistemas naturales; qué son, tipos y ejemplos* [Página web]. OVACEN. <https://ecosistemas.ovacen.com/naturales/>
- Sparrow, L. A., & Uren, N. C. (2014). Manganese oxidation and reduction in soils: Effects of temperature, water potential, pH and their interactions. *Soil Research*, 52(5), 483. <https://doi.org/10.1071/sr13159>
- Villagra, M. C. (2023). *Importancia de la materia orgánica en el manejo del suelo*.

- Villalba Martínez, C. J., Merino García, A., & Etchevers Barra, J. (2020). Diagnosis of the chemical fertility of soils (Rhodic Paleudult) in agricultural and forest systems of the Eastern region of Paraguay. *Investigación Agraria*, 22(2), 92-99.
<https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.diciembre.2202658>
- Yukselen, Y., & Kaya, A. (2008). Suitability of the methylene blue test for surface area, cation exchange capacity and swell potential determination of clayey soils. *Engineering Geology*, 102(1-2), 38-45.
- Zambrano-Yepes, J., Herrera-Valencia, W., & Motta-Delgado, P. A. (2020). Concentración de los macronutrientes del suelo en áreas de pastoreo del departamento de Caquetá, Amazonia colombiana. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-12.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1673

ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta realizada a los propietarios de los diferentes agroecosistemas



Universidad Técnica del Norte
Facultad en Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales
Carrera de Agropecuaria



ENCUESTA SOBRE MANEJO AGRÍCOLA EN DIFERENTES AGROECOSISTEMAS

Evaluar las prácticas agrícolas utilizadas en diferentes agroecosistemas y determinar su impacto en la calidad del suelo y la productividad.

1. Comunidad donde se realiza la encuesta

2. Nombre del agricultor

3. Tipo de agroecosistema a evaluar

- Agroecológico
- Tradicional
- Barbecho
- Degradado

4. Superficie del predio

5. Tiempo de producción del predio

MANEJO DEL SUELO

6. ¿Qué utiliza para preparar el suelo antes de la siembra?

- Arado con maquinaria
- Yunta
- Arado manual
- Roturación mínima

7. ¿Qué máquinas utiliza para las labores culturales?

- Aporque con maquinaria
- Aporque con yunta
- Aporque manual

8. ¿Qué máquinas utiliza para la cosecha?

- Maquinaria agrícola
- Manual

9. ¿Qué herramientas utiliza en su parcela?

- Pala
- Azadón

- Pico
- Machete
- Carretilla
- Ninguno

10. ¿Qué técnicas de conservación de suelo emplea?

- Terrazas
- Barreras vivas
- Cobertura vegetal
- Abonos verdes
- No aplica técnicas de conservación

11. ¿Deja descansar el suelo entre ciclos de cultivo?

- Sí
- No

12. ¿Cuánto tiempo deja descansar el suelo entre cultivos?

- Menos de 6 meses
- Entre 6 meses y 1 año
- Más de 1 año
- No deja descansar el suelo

13. ¿Qué prácticas realiza durante el tiempo de descanso del suelo?

- Siembra de abonos verdes
- Aplicación de materia orgánica
- Labranza mínima
- Ninguna práctica

14. ¿Qué cultivos o actividades realiza después de un período de descanso del suelo?

- Cultivos de alto rendimiento
- Cultivos de cobertura
- Pastoreo
- Otros _____

15. ¿Existen animales cerca de la parcela?

- Sí
- No

¿Cuáles? _____

16. ¿Cómo maneja las malezas que se presentan en sus cultivos?

- Aplicación de herbicidas químicos
- Deshierbe manual o con maquinaria agrícolas

- Pastoreo
- No se realiza ningún control específico

MANEJO DE CULTIVOS

17. Cultivos sembrados anteriormente

18. Cultivos sembrados actualmente

19. Estado de los cultivos actualmente

- Implementación
- Crecimiento
- Cosecha
- Rastrojo (cosechado)

20. Tipo de cultivos sembrados

- Cultivos de ciclo corto
- Cultivos perennes
- Cultivos forestales
- Ninguno

21. ¿Cómo clasificaría el tipo de cultivo en su parcela?

- Monocultivo (Un solo tipo de cultivo)
- Policultivo (Varios tipos de cultivos)

22. ¿Realiza rotación de cultivos en este manejo?

- Sí
- No

23. ¿Qué cultivos rota con mayor frecuencia?

24. ¿Realiza asociaciones de cultivos?

- Sí
- No

25. ¿Qué cultivos asocia con mayor frecuencia?

26. ¿Cómo se manejan los residuos agrícolas?

- Quema
- Incorporación al suelo
- Alimentación animal
- Producción de abonos

27. ¿Usa herbicidas en su parcela?

- Si
 No

En caso de ser afirmativa la respuesta mencione el nombre del herbicida que utiliza en la parcela y el color de la etiqueta del envase (rojo, amarillo, azul o verde)

FERTILIZACIÓN

28. ¿Realiza análisis de suelo?

- Si
 No

29. ¿Qué tipo de fertilizantes aplica en el predio?

- Químicos
 Orgánicos
 Ambos
 No aplica fertilizantes

30. ¿Qué abonos orgánicos usa?

- Compost
 Bocashi
 Humus
 Estiércol de animal
 Ceniza
 Abonos verdes
 Ninguno

Otros _____

31. ¿Con qué frecuencia aplica los abonos?

- Una vez al año
 Dos veces al año
 Más de dos veces
 No aplica

32. ¿Qué fertilizantes usa?

- 10-30-10
 Nitrato de potasio
 15-15-15
 Urea
 Ninguno

Otros _____

33. ¿Con qué frecuencia aplica fertilizantes?

- Una vez al año
- Dos veces al año
- Más de dos veces
- No aplica

CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

34. ¿Tiene algún conocimiento sobre el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades?

- Si
- No

35. ¿Se practica el monitoreo de plagas y enfermedades?

- Si
- No

36. Si es así, ¿con qué frecuencia?

- Diario
- Semanal
- Quincenal
- Nunca

37. ¿Qué métodos utiliza para el control de plagas y enfermedades?

- Químico (agroquímicos)
- Biológico (depredadores, parasitoides, hongos entomopatógenos)
- Físico y manual (trampas, poda, rastrillado)
- Cultural (rotación de cultivos, asociación de cultivos, gestión de malezas)

RIEGO Y MANEJO DEL AGUA

38. ¿Cuenta con acceso a agua de riego?

- Si
- No

39. ¿Qué método de riego utiliza?

- Riego por aspersión
- Riego por goteo
- Riego por gravedad
- Solo depende de la lluvia

40. ¿El riego es suficiente para sus cultivos?

- Si
- No
- A veces

41. **¿Considera que la disponibilidad de agua afecta el rendimiento de sus cultivos?**

Mucho

Poco

Nada

ASISTENCIA TÉCNICA

42. **¿Alguna vez ha recibido asistencia técnica?**

Si

No

43. **¿Cuál es la frecuencia con la que reciben asistencia técnica?**

Permanente (cada 8 o 15 días)

Una vez al año

Ocasional (una vez al mes o más)

Ninguna

44. **¿Qué tipo de asistencia técnica ha recibido?**

Pública: Instituciones del Gobierno (MAGAP, INIAP, Gobierno Provincial)

Privada: Empresas que hayan vendido algún tipo de producto o servicio

Académica

45. **Destino de la producción**

Exportación

Industrias

Intermediario

Autoconsumo

Alimentación de animal