



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN
UN TRANSECTO ALTITUDINAL DEL REFUGIO DE VIDA
SILVESTRE YANKAY**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORA: RAQUEL FREIRE VARGAS

DIRECTOR: Ing. VICENTE JAVIER PARRA LEÓN, M.Sc.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Raquel Freire Vargas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Raquel Freire Vargas, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 06 de mayo de 2024

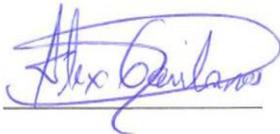


Raquel Freire Vargas

C.I. 092291669-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN UN TRANSECTO ALTITUDINAL DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE YANKAY**, realizado por el la señorita: **RAQUEL FREIRE VARGAS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Alex Vinicio Gavilanes Montoya, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-05-06
Ing. Vicente Javier Parra León, M.Sc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-06
Ing. Dennis Renato Manzano Vela, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-06

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero a mis padres que siempre han estado para mí y me han apoyado en cada momento de mi vida además de su inspiración para culminar con mis estudios. A mi abuela Pilar Torres que siempre reza por mí y desea lo mejor para mi vida. Lo dedico a todos mis primos, tíos y además a los miembros de mi familia que ya no están, todos han influenciado de manera positiva en mi vida.

Raquel

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la institución por haberme permitido culminar mis estudios de manera satisfactoria. Un especial agradecimiento a mi director y asesor de tesis que prestaron su guía y confianza, sin ellos no hubiera podido terminar con este trabajo.

Raquel

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1.	Planteamiento del problema	3
1.2.	Objetivos	4
1.2.1.	<i>Objetivo general.....</i>	4
1.2.2.	<i>Objetivos específicos</i>	4
1.3.	Justificación	4
1.4.	Pregunta de investigación	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Suelo	6
2.1.1.	<i>Composición mineral del suelo</i>	6
2.2.	Propiedades del suelo	6
2.2.1.	<i>Propiedades químicas</i>	7
2.2.1.1.	<i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	7
2.2.1.2.	<i>pH (Potencial de Hidrógeno)</i>	7
2.2.1.3.	<i>Porcentaje de saturación de bases</i>	8
2.2.1.4.	<i>Conductividad eléctrica.....</i>	8
2.2.1.5.	<i>Nutrientes del suelo</i>	10
2.2.1.6.	<i>Nitrógeno</i>	11
2.2.1.7.	<i>Fósforo</i>	11
2.2.1.8.	<i>Potasio</i>	11
2.2.1.9.	<i>Calcio.....</i>	11

2.2.1.10.	<i>Magnesio</i>	12
2.2.1.11.	<i>Hierro</i>	12
2.2.1.12.	<i>Zinc</i>	12
2.2.1.13.	<i>Materia Orgánica</i>	13
2.2.1.14.	<i>Relación carbono-nitrógeno</i>	13
2.3.	Tipos de suelo	14
2.3.1.	<i>Tipos de suelo en Ecuador</i>	14
2.3.1.1.	<i>Suelos forestales</i>	14
2.4.	Calidad del suelo	15
2.4.1.	<i>Suelos con cobertura vegetal</i>	16
2.5.	Funciones del suelo	16
2.5.1.	<i>Ciclos biogeo-químicos</i>	17
2.5.2.	<i>Almacenamiento o fijación de carbono</i>	17
2.5.3.	<i>Reserva de biodiversidad</i>	17
2.5.4.	<i>Almacenamiento y filtración de agua</i>	17
2.6.	Áreas protegidas	18
2.6.1.	<i>Refugio de vida silvestre</i>	18

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1.	Área de estudio	19
3.2.	Ubicación geográfica	19
3.3.	Aspectos biofísicos	20
3.3.1.	<i>Clima</i>	20
3.3.1.1.	<i>Temperatura</i>	20
3.3.1.2.	<i>Precipitación</i>	20
3.3.2.	<i>Relieve</i>	20
3.3.3.	<i>Hidrología</i>	20
3.3.4.	<i>Suelos</i>	21
3.3.4.1.	<i>Inceptisoles</i>	21
3.3.4.2.	<i>Histosoles</i>	21
3.3.5.	<i>Cobertura natural vegetal</i>	21
3.4.	Nivel de investigación	22
3.5.	Enfoque de la investigación	22
3.6.	Muestreo en el refugio de vida silvestre Yankay	22

3.6.1.	<i>Materiales y equipos</i>	22
3.6.2.	<i>Recolección de muestras</i>	23
3.6.3.	Identificación de las unidades experimentales	24
3.7.	Metodología	24
3.7.1.	<i>Reactivos y equipos</i>	24
3.7.1.1.	<i>Equipos y materiales de laboratorio</i>	24
3.7.1.2.	<i>Reactivos de laboratorio</i>	24
3.7.2.	<i>Determinación del pH</i>	23
3.7.3.	<i>Determinación de la CE</i>	23
3.7.4.	<i>Determinación del nitrógeno</i>	23
3.7.5.	<i>Determinación del fósforo</i>	23
3.7.6.	<i>Determinación de potasio, calcio y magnesio</i>	23
3.7.7.	<i>Cálculo de materia orgánica</i>	23
3.7.8.	<i>Calidad del suelo</i>	24
3.7.9.	<i>Elaboración del mapa de la calidad del suelo del RVSY</i>	27
3.7.9.1.	<i>Delimitación de las unidades de muestreo de suelos para el análisis de interpolación</i>	27
3.7.9.2.	<i>Análisis químico de las muestras de suelos</i>	27
3.7.9.3.	<i>Análisis estadístico y de verificación</i>	28

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	29
4.1.	Determinar el pH, Conductividad eléctrica, Capacidad de Intercambio Catiónico, macro y micro elementos, materia orgánica de las muestras del suelo obtenidas	29
4.1.1.	<i>pH del suelo</i>	30
4.1.2.	<i>Conductividad eléctrica</i>	31
4.1.3.	<i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	32
4.1.4.	<i>Materia orgánica</i>	33
4.1.5.	<i>Relación entre pH, CIC y MO</i>	34
4.1.6.	<i>Macronutrientes primarios</i>	35
4.1.6.1.	<i>% Nitrógeno total</i>	35
4.1.6.2.	<i>Fósforo</i>	36
4.1.7.	<i>Cationes Cambiables o bases: Ca, Mg, K</i>	37
4.1.7.1.	<i>Calcio</i>	37

4.1.7.2.	<i>Magnesio</i>	38
4.1.7.3.	<i>Potasio</i>	38
4.1.8.	<i>Micronutrientes: Fe, Mn, Zn</i>	40
4.2.	Establecer la calidad del suelo en base a los indicadores químicos identificados	41
4.2.1.	<i>Evaluación de los indicadores de calidad del suelo</i>	41
4.2.1.1.	<i>pH</i>	41
4.2.1.2.	<i>Nitrógeno total (%)</i>	41
4.2.1.3.	<i>Evaluación de Materia orgánica</i>	42
4.2.1.4.	<i>Evaluación de Capacidad de intercambio catiónico</i>	42
4.2.1.5.	<i>Evaluación de Potasio</i>	43
4.2.1.6.	<i>Evaluación de Calcio</i>	43
4.2.1.7.	<i>Evaluación de Mg</i>	44
4.2.1.8.	<i>Evaluación de Manganeso</i>	44
4.2.1.9.	<i>Evaluación de Hierro</i>	45
4.2.1.10.	<i>Evaluación de Zinc</i>	45
4.2.1.11.	<i>Evaluación de Fósforo</i>	46
4.3.	Generar mapas de las características químicas de los suelos en el transecto altitudinal	49
4.3.1.	<i>Mapa de pH</i>	49
4.3.2.	<i>Mapa de Capacidad de Intercambio Catiónico</i>	50
4.3.3.	<i>Mapa de CIC</i>	51
4.3.4.	<i>Mapa de Materia orgánica</i>	52
CONCLUSIONES		54
RECOMENDACIONES		55

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Clasificación de la salinidad de los suelos según la CE	10
Tabla 2-2:	Tipos de suelo, según los valores de CE obtenidos	10
Tabla 2-3:	Superficie aproximada de los órdenes de suelo en Ecuador	14
Tabla 3-1:	Ubicación geográfica.....	24
Tabla 3-2:	Indicadores del suelo para establecer la calidad del suelo	25
Tabla 3-3:	Clasificación de ICS (%).....	27
Tabla 4-1:	Análisis químico de 6 unidades experimentales	29
Tabla 4-2:	Evaluación del pH	41
Tabla 4-3:	Evaluación del NT (%).....	41
Tabla 4-4:	Evaluación de MO (%).....	42
Tabla 4-5:	Evaluación de CIC (meq/100g)	42
Tabla 4-6:	Evaluación de K (mg/kg).....	43
Tabla 4-7:	Evaluación de Ca (mg/kg).....	43
Tabla 4-8:	Evaluación de Mg (mg/kg).....	44
Tabla 4-9:	Evaluación de Mn (mg/kg).....	44
Tabla 4-10:	Evaluación de Fe (mg/kg)	45
Tabla 4-11:	Evaluación de Zn (mg/kg).....	45
Tabla 4-12:	Evaluación de P (mg/kg).....	46
Tabla 4-13:	Evaluación de la calidad del suelo en base a los indicadores químicos del suelo	46

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1:	Mapa del refugio de vida silvestre Yankay	19
Ilustración 4-1:	pH del suelo	30
Ilustración 4-2:	Conductividad eléctrica	31
Ilustración 4-3:	Capacidad de Intercambio Catiónico	32
Ilustración 4-4:	Materia orgánica del suelo	33
Ilustración 4-5:	Relación pH, CIC y MO	34
Ilustración 4-6:	NT del suelo	35
Ilustración 4-7:	Fósforo del suelo	36
Ilustración 4-8:	Calcio del suelo	37
Ilustración 4-9:	Magnesio del suelo	38
Ilustración 4-10:	Potasio del suelo	38
Ilustración 4-11:	Cationes intercambiables	39
Ilustración 4-12:	Micronutrientes del suelo.....	40
Ilustración 4-13:	Calidad del suelo	47
Ilustración 4-14:	Interpolación del pH	49
Ilustración 4-15:	Interpolación de CE	50
Ilustración 4-16:	Interpolación de CIC.....	51
Ilustración 4-17:	Interpolación de MO.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DE MUESTRA

ANEXO B: PREPARACIÓN DE MUESTRA

ANEXO C: PRUEBAS DE ENSAYO

ANEXO D: RESULTADOS DE LABORATORIO

RESUMEN

El refugio de vida silvestre Yankay es un área protegida donde la falta de estudios previos sobre el recurso suelo dificulta la evaluación y predicción de amenazas, aumentando la vulnerabilidad del ecosistema y restringiendo el desarrollo de estrategias de conservación efectivas. La escasez de información impide una planificación y toma de decisiones basadas en datos precisos, lo que podría conducir a estrategias ineficaces y a la degradación del ecosistema. Es por ello que este estudio tiene como objetivo analizar las propiedades químicas del suelo en un transecto altitudinal de dicha área con el fin de evaluar si el suelo del refugio es de calidad. Para lograr esto, la metodología implementada tuvo un enfoque exploratorio-descriptivo. Se acudió al área de estudio para seleccionar los sitios representativos y se dividió el transecto en 6 unidades experimentales de donde se obtuvieron 6 muestras complejas a partir de un muestreo aleatorio estratificado. Luego se analizaron las muestras en el laboratorio de suelos de la Facultad de Recursos Naturales y se determinaron sus principales propiedades químicas como el pH, CE, CIC, Materia Orgánica, macro y micro nutrientes, los cuales se establecen como parámetros para evaluar la calidad del suelo del refugio. A partir de estos análisis se evaluó la calidad del suelo en base a los valores establecidos por la USDA dando como resultado suelos de alta calidad, ya que todas las UE registraron valores mayores al 55%, a pesar de que en 2 de las 6 UE se ha presentado cambio de uso de suelo (de forestal a potrero) por intervención antropogénica, en las propiedades químicas aún no se refleja una influencia directa y siguen manteniendo dichas propiedades. En conclusión, a pesar de las variaciones en las propiedades químicas a lo largo del transecto, todos los suelos analizados están en óptimas condiciones.

Palabras clave: <PROPIEDADES QUÍMICAS>, <ANÁLISIS DE SUELO>, <CALIDAD DEL SUELO>, <SUELOS FORESTALES >, <BOSQUE HÚMEDO PREMONTANO>, <REFUGIO DE VIDA SILVESTRE>.



0472-DBRA-UPT-2024

SUMMARY

The Yankay Wildlife Refuge is a protected area where the lack of previous studies on the soil resource makes the evaluation and prediction of threats difficult, increasing the vulnerability of the ecosystem and restricting the development of effective conservation strategies. Information scarcity impedes accurate data-based planning and decision-making, which could lead to ineffective strategies and ecosystem degradation. That is why this study aims to analyze the chemical properties of the soil in an altitudinal transect of that area in order to evaluate whether the refuge soil is of quality. To achieve this, the methodology implemented had an exploratory-descriptive approach. The study area was visited to select representative sites and the transect was divided into 6 experimental units from which 6 complex samples were obtained from stratified random sampling. Then the samples were analyzed in the soil laboratory of the Faculty of Natural Resources and their main chemical properties were determined such as pH, EC, CEC, Organic Matter, macro and micro nutrients, which are established as parameters to evaluate the quality of the soil shelter. From these analyzes the quality of the soil was evaluated based on the values established by the USDA, resulting in high quality soils, since all EUs recorded values greater than 55%, despite the fact that in 2 of the 6 EUs there has been a change in land use (from forest to pasture) due to anthropogenic intervention; a direct influence is not yet reflected in the chemical properties and these properties continue to be maintained. In conclusion, despite the variations in chemical properties along the transect, all soils analyzed are in optimal conditions.

Keywords: <CHEMICAL PROPERTIES>, <SOIL ANALYSIS>, <SOIL QUALITY>, <FOREST SOILS>, <PREMONTANE HUMID FOREST>, <WILDLIFE SHELTER>.



Lic. Lorena Cecilia Hernández Andrade. Mcs.
1803737889

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural de gran importancia, el cual despierta un interés científico, práctico y significativo por su papel esencial en la sostenibilidad ambiental, la producción de alimentos y el soporte de ecosistemas diversos. De acuerdo con (FAO, 1996) “Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento”. Está compuesto por minerales, materia orgánica, agua y aire, en constante interacción y evolución. Esta entidad compleja y dinámica no solo sirve como medio de crecimiento para las plantas, sino que también alberga procesos biogeoquímicos que impactan directamente en la salud de los ecosistemas.

En el planeta, aproximadamente el 30% de la superficie está cubierto por bosques y suelos forestales los cuales desempeñan un papel muy importante para el sustento de la vida humana, más de mil millones de personas dependen directamente de los ecosistemas forestales para sus medios de vida y la capacidad de "soporte vital" es posible porque los bosques ofrecen diversos servicios ecosistémicos, como suministro y calidad del agua, biodiversidad y hábitat para plantas y animales, oportunidades recreativas, captura de carbono y la obtención de productos maderables y no maderables (Hatten, 2019, págs. 373-396).

En Ecuador, la desigual distribución de la tierra y el uso ineficiente del suelo han provocado procesos de degradación que dificultan el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en la mayoría de los casos. Identificar áreas del territorio nacional actualmente subutilizadas con usos poco intensivos proporciona la base necesaria para implementar programas gubernamentales que promuevan un nuevo enfoque de gestión. Este nuevo enfoque deberá incluir medidas de conservación, uso racional de los recursos naturales e iniciativas para mitigar los impactos del cambio climático (Garzón et al., 2002, pág. 6; Manchego et al., 2017, págs. 1-9).

Para lograr lo mencionado anteriormente, es crucial considerar las áreas protegidas, que, de acuerdo con Dudley (2008), son regiones geográficas claramente delimitadas y administradas mediante medios legales con el objetivo de garantizar la conservación a largo plazo de la naturaleza, así como sus servicios ecosistémicos y los valores culturales asociados a ella. El propósito principal de las áreas protegidas es preservar la naturaleza en su integridad, ofrecer un hábitat seguro para especies en riesgo de extinción, ayudar en la lucha contra el cambio climático y servir como espacios para la investigación científica y la educación ambiental. El establecimiento y cuidado de estas áreas desempeñan un papel fundamental en la conservación a largo plazo de la diversidad biológica y la salud del medio ambiente global (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022, pág. 1).

En Ecuador, aproximadamente el 20% del territorio está preservado a través de áreas protegidas, las cuales son consideradas como la categoría de mayor protección según las leyes ambientales del país. Estas áreas son una parte esencial de uno de los subsistemas dentro del extenso Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), conocido como Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE). Se distribuyen a lo largo del territorio continental e insular y albergan una valiosa diversidad biológica y servicios ecosistémicos que benefician tanto a las comunidades urbanas como rurales (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022, pág.1).

El refugio de vida silvestre Yankay, localizado en la parroquia Río Negro, provincia de Tungurahua, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde el año 1984 y posee una extensión de 200 hectáreas. Hasta el momento no hay ninguna infraestructura física en la propiedad y no ha existido una participación activa de las facultades de la universidad para la creación y ejecución de un plan de manejo integral para la investigación y conservación de la región de pie de monte a pesar de que cuenta con recursos naturales muy valiosos tanto de flora como de fauna (ESPOCH, 2023, pág.1). Es por ello que surge el interés y la necesidad de realizar una investigación acerca de la calidad del suelo en base a indicadores químicos ya que este es uno de los recursos más importantes del que depende la vida en general. Además de que se pretende convertir al Refugio de vida silvestre Yankay en un área protegida y para ello es importante contribuir con datos específicos del suelo.

Para un manejo óptimo de la tierra, es crucial identificar sus características químicas en el contexto del lugar de estudio, a través de técnicas de análisis. Según Calderón-Medina et al. evaluar las características químicas en un lugar y momento específico proporciona información fundamental para desarrollar indicadores de calidad del suelo, en este contexto, las propiedades químicas del suelo están directamente vinculadas con la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, entre estas propiedades es importante destacar el pH, conductividad eléctrica, la materia orgánica, así como los niveles extraíbles de fósforo, nitrógeno y potasio (2018). Con ello se podrían implementar prácticas más responsables y eficientes para salvaguardar la salud y productividad de los suelos a lo largo del tiempo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

De acuerdo con (UICN, 2022) la actividad humana, especialmente la relacionada con la producción de alimentos y la silvicultura, está causando cambios significativos en los paisajes. En la actualidad, aproximadamente un tercio de todas las tierras experimentan degradación o están en proceso de degradación, lo que tiene consecuencias negativas para la biodiversidad y amenaza servicios esenciales de los ecosistemas, como el almacenamiento de carbono.

El cambio de uso de la tierra es un proceso mediante el cual principalmente las actividades humanas transforman el paisaje natural, refiriéndose a cómo se ha utilizado la tierra, generalmente enfatizando el papel funcional de la tierra para las actividades económicas (Bima et al. 2017, pág. 1). La pérdida de biodiversidad y la degradación de los servicios ecosistémicos debido al cambio no sostenible del suelo amenazan la salud de los ecosistemas y la capacidad de la Tierra para proporcionar recursos esenciales. Por ello es importante tomar en cuenta este particular para la preservación de la biodiversidad, mitigar el cambio climático y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos naturales.

Otro de los problemas acerca del área de estudio es la escasa información. Sin estudios previos se dificulta la posibilidad de evaluar o predecir amenazas que pueden afectar a un área natural, por tanto, la vulnerabilidad del ecosistema puede aumentar y se puede restringir el desarrollo de estrategias de conservación, lo cual puede resultar en la degradación del ecosistema. La planificación y la toma de decisiones basadas en datos inexactos o incompletos pueden dar lugar a estrategias ineficaces. Para abordar estos problemas, es crucial la investigación, la recopilación de datos científicos, así como la colaboración entre GADs, comunidades locales y científicos. El conocimiento y la comprensión de las áreas naturales son fundamentales para su adecuada conservación y gestión sostenible. La investigación tiene como fin llenar el vacío de conocimiento existente, proporcionando datos esenciales para la conservación de la biodiversidad y la gestión sostenible del suelo en este entorno específico mediante el análisis de propiedades químicas del suelo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar las propiedades químicas del suelo de un transecto altitudinal del refugio de vida silvestre Yankay

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el pH, Conductividad Eléctrica, Capacidad de Intercambio catiónico, macro y microelementos, materia orgánica de las muestras del suelo obtenidas.
- Establecer la calidad del suelo en base a los indicadores químicos identificados.
- Generar un mapa de las características químicas de los suelos en el transecto altitudinal.

1.3. Justificación

El suelo, como base fundamental de los ecosistemas, desempeña un papel crítico en el mantenimiento de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos. El cambio del uso del suelo y la falta de información en el Refugio de vida silvestre Yankay sobre las principales características del suelo, en específico las químicas, plantean un escenario que requiere una investigación profunda. Conocer las propiedades químicas del suelo es determinante para conocer la salud de los ecosistemas. La identificación de dichas propiedades permitirá comprender mejor cómo el suelo sostiene la vida, contribuyendo así a estrategias de conservación efectivas. Además, proporcionará información esencial para el diseño de prácticas de gestión sostenible del suelo.

Realizar un análisis del suelo es una de las herramientas más eficientes para evaluar la calidad del suelo y su capacidad productiva ya que se puede determinar la disponibilidad de los nutrientes y la probabilidad de respuesta a la fertilización para definir la capacidad de uso de los suelos. Determinar específicamente las propiedades químicas del suelo es de gran importancia para comprender, proteger y conservar la biodiversidad y los ecosistemas de la zona, así como para tomar decisiones sostenibles en la gestión del territorio y los recursos naturales de dicho lugar.

La falta de investigaciones previas hace que el estudio sea valioso, ya que proporciona una línea base para futuras comparaciones y posibilita la implementación de prácticas adecuadas de manejo de la tierra, considerando la sostenibilidad y conservación de la biodiversidad. Además, los resultados del estudio tienen implicaciones más amplias para la comprensión de los suelos en

ecosistemas similares y contribuir al conocimiento científico en el campo de la edafología y la ecología.

Esta investigación contribuye a la conservación a nivel local al proporcionar datos precisos del suelo de dicho lugar, Además, los resultados podrían tener implicaciones a nivel global, al proporcionar información valiosa sobre la gestión sostenible del suelo en áreas protegidas. Este estudio es esencial para comprender y conservar eficazmente la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que dependen intrínsecamente de la salud del suelo en este entorno específico.

1.4. Pregunta de investigación

¿Cuál es la calidad del suelo en el transecto altitudinal del refugio de vida silvestre Yankay en relación con sus propiedades químicas?

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Suelo

El suelo es un cuerpo natural tridimensional que se forma a lo largo del tiempo debido a la alteración física y química de una roca madre, influenciado por condiciones climáticas y topográficas específicas, y la actividad de organismos vivos, a medida que evoluciona, se desarrollan capas verticales llamadas horizontes que contienen minerales, materia orgánica, agua y gases, y tienen propiedades físicas y químicas únicas, como estructura, textura, porosidad, pH, capacidad de retención de agua, entre otras (Ortiz, 2015, pag. 51).

Se trata de un recurso natural finito y no regenerativo que desempeña varias funciones ambientales en los ciclos biogeoquímicos, como el carbono, nitrógeno, fósforo, entre otros. Estos elementos, debido a la influencia de la energía disponible, se trasladan de los sistemas biológicos a los componentes inorgánicos del planeta (Burbano, 2016, pag.118). El suelo representa un recurso natural esencial que tiene un impacto considerable tanto en el medio ambiente como en la economía. Además, la salud y la prosperidad de la población presente y de las venideras están estrechamente ligadas a la calidad de los suelos (Álvarez et al., 2021).

2.1.1. *Composición mineral del suelo*

Las rocas y los minerales de la corteza terrestre forman los elementos del suelo. Los minerales tienen propiedades físicas y características únicas debido a su composición definida. Pueden ser primarios por enfriamiento de lava o secundarios al precipitarse de soluciones con minerales disueltos (Hernández, 2019, págs. 1-13).

2.2. Propiedades del suelo

Las propiedades del suelo abarcan las cualidades específicas de su estructura física, composición química y elementos biológicos presentes. Estas propiedades son influenciadas por una variedad de factores, como el tipo de material geológico del cual se deriva, la vegetación cercana, el tiempo de exposición a condiciones climáticas adversas (como la erosión debida a la intemperie), la topografía y las modificaciones causadas por las actividades humanas a lo largo del tiempo (Hilda, 2010, pág. 6).

Es crucial destacar que las propiedades del suelo están íntimamente ligadas a su utilidad para una variedad de propósitos. Las cualidades físicas del suelo bajo condiciones de humedad o sequedad influyen en su idoneidad para la construcción, capacidad de drenaje y retención de agua, plasticidad, facilidad para el crecimiento de raíces, aireación y habilidad para retener nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, entre otros aspectos (Porta Casanellas, 2008, pág.7).

2.2.1. Propiedades químicas

2.2.1.1. Capacidad de intercambio catiónico

Los iones son partículas con carga eléctrica que se forman por la pérdida o ganancia de electrones en átomos o moléculas. Al ganar electrones, se convierten en aniones cargados negativamente; al perder electrones, se transforman en cationes con carga positiva (Keenan y Wood, 1971 citado en Jaramillo, 2002, pág. 6-10). Los cationes comunes en el suelo son: H^+ , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Si^{4+} . Los aniones comunes en el suelo de menor a mayor carga son: OH^- , NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- , $H_2PO_4^-$, $H_2BO_3^-$, F^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HPO_4^{2-} , MoO_4^{2-} .

Según Ramírez Carvajal (1997, pág. 12). La CIC es la cantidad de cargas negativas por 100 gramos de suelo, medida en mEq. El aumento del pH del suelo provoca más cargas negativas y precipitación de aluminio, disminuyendo los iones hidrógeno y aumentando el intercambio catiónico. Cuando la CIC es alta, hay más elementos en el suelo. Valores bajos de CIC indican poca disponibilidad de elementos. Se consideran bajos: 10-20 medios, 20-30 altos, >30 mEq/100g.s. se consideran muy altos.

La importancia de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) radica en su papel fundamental para la fertilidad del suelo. Funciona como un reservorio donde los suelos mantienen los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, tales como potasio, magnesio, calcio y nitrógeno. Estos elementos encuentran un entorno propicio para ser almacenados y disueltos en el agua del suelo, lo que da lugar a la solución del suelo (Bueno y Fernández, 2019, pág. 9).

2.2.1.2. pH (Potencial de Hidrógeno)

Según Osorio (2012, págs. 1-25), el pH es una característica química fundamental en los suelos, ya que proporciona información sobre la acidez o alcalinidad de la solución del suelo, de la cual las raíces y los microorganismos obtienen sus nutrientes. La escala de pH abarca valores de 0 a 14 y se basa en el principio de que la constante de equilibrio para la disociación del agua es 10^{-14} .

El pH constituye una propiedad fisicoquímica fundamental en la composición del suelo, dado que incide directamente en la accesibilidad de los nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. Asimismo, desempeña una función vital en la capacidad de disolución de dichos nutrientes y en la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica. Asimismo, influye de manera importante en la presencia de iones perjudiciales, en el potencial de intercambio catiónico (CIC) y en diversas otras características cruciales que, en última instancia, influyen en la productividad del suelo. (Ramírez Carvajal, 1997, pág. 13).

Los nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio son considerados como nutrientes primarios y son requeridos en grandes cantidades en comparación con otras categorías de nutrientes. Por otro lado, el azufre, el magnesio y el calcio son conocidos como nutrientes secundarios y son esenciales en cantidades más pequeñas, aunque su importancia es significativa. El zinc y el manganeso son micronutrientes necesarios en concentraciones bajas. Los suelos que presentan deficiencias de nutrientes secundarios y micronutrientes pueden ser corregidos de manera efectiva al mantener el pH del suelo en un nivel óptimo (Osorio et al., 2022, pág. 15).

El pH del suelo también influye en otros aspectos, como el porcentaje de saturación de bases y la capacidad de intercambio catiónico. Un pH cercano a 7 incrementa la solubilidad de varios elementos, mientras que en suelos ácidos, la solubilidad del aluminio y el manganeso se ve aumentada, lo que puede resultar perjudicial para las plantas cuando alcanzan niveles tóxicos (Ramírez Carvajal, 1997, pág. 14).

2.2.1.3. Porcentaje de saturación de bases

Según la FAO (2023), el suelo contiene tanto cationes ácidos como cationes básicos, y la proporción de cationes básicos que ocupan lugares en los coloides del suelo se conoce como el porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo alcanza un nivel de 7 (punto neutro), la saturación de bases alcanza el 100%, lo que señala la ausencia de iones de hidrógeno en los coloides.

2.2.1.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del suelo (CE) es una medida de la capacidad del agua presente en el suelo para llevar corriente eléctrica. Este proceso ocurre principalmente a través de los poros saturados de agua, donde los cationes (como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y NH_4^+) y los aniones (como SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- y HCO_3^-) de las sales disueltas en el agua del suelo transportan cargas eléctricas,

permitiendo así la conducción eléctrica. Por lo tanto, la concentración de iones en el suelo es el factor determinante de su capacidad de conducir electricidad (USDA, 2011, pág. 3).

La capacidad de una solución para conducir electricidad aumenta conforme se incrementa su concentración de sales (CE); por consiguiente, se espera que una solución salina con una mayor CE tenga una concentración de sales más elevada. La unidad de medida común para las soluciones es dS/m (decisiemens por metro). Dado que la conductividad varía con la temperatura, la medición a 25°C se considera como estándar general. En el caso de los suelos, la conductividad está asociada con la cantidad de sales presentes en el agua que estos contienen, y estas sales pueden estar más o menos diluidas (Soriano, 2019, pág. 7).

La conductividad del suelo, determinada por factores como las sales solubles, la porosidad, la textura (especialmente el contenido de arcilla), la humedad y la temperatura, varía según las condiciones climáticas. En áreas con alta precipitación, se pueden eliminar las sales, disminuyendo la conductividad eléctrica (CE), mientras que, en zonas áridas, las sales tienden a acumularse, resultando en una alta CE. La CE disminuye significativamente a temperaturas bajo cero y aumenta con el contenido de arcilla, siendo los suelos con arcillas de alta capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los suelos áridos con alto contenido de sales y sodio intercambiable suelen tener una CE extremadamente alta. En suelos salinos con nivel freático elevado, el agua capilar puede aumentar la concentración de sal y la CE en las capas superficiales (USDA, 2011, pág. 6).

La capacidad de un suelo para conducir corrientes eléctricas, es decir, su conductividad eléctrica (CE), generalmente se asocia con su porosidad y contenido de humedad. En términos simples, a mayor porosidad y humedad, mayor será la CE. La composición original del suelo también influye en la variabilidad de la CE, siendo los granitos menos conductivos que las lutitas marinas y los depósitos lacustres arcillosos más conductivos que los depósitos arenosos o aluviales (USDA, 2011, pág. 7).

Los suelos con altos niveles de salinidad ($CE_e \geq 4$ dS/m) y sodicidad (relación de absorción de sodio ≥ 13) se caracterizan por tener una alta CE. Además, se ha observado una relación entre los valores de CE medidos con sensores comerciales y la presencia de arcilla, lechos rocosos y fragipanes a diferentes profundidades. Las áreas microtopográficas deprimidas en campos agrícolas tienden a ser más húmedas y acumular más materia orgánica y nutrientes, lo que resulta en una mayor CE en comparación con áreas más elevadas con mejor drenaje (USDA, 2011, pág.1-2).

La conductividad eléctrica de un suelo (CEs) varía en relación con su contenido de humedad, disminuyendo cuando está completamente saturado debido a la dilución de la solución, y aumentando en el punto de marchitamiento, cuando las sales se concentran. Por lo general, se determina la conductividad eléctrica utilizando el extracto de saturación a 25°C. Este proceso implica saturar una muestra de suelo con agua destilada a 25°C y luego extraer el agua de la pasta mediante succión a través de un filtro (USDA, 2011, pág.1-2).

Tabla 2-1: Clasificación de la salinidad de los suelos según la CE

CE_{1:5}dSm⁻¹	CE_{Ps}dSm⁻¹	Calificativo
< 0.35	< 2	No salino
0.35-0.65	2 - 4	Ligeramente salino
0.65-1.15	4 – 8	Salino
> 1.15	> 8	Muy salino

Fuente: Soriano, 2019.

Realizado por: Freire, R., 2024.

Tabla 2-2: Tipos de suelo, según los valores de CE obtenidos

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	Crecimiento vegetal
< 500 dSm⁻¹	Buen desarrollo
500 – 1000 dSm⁻¹	Aparecen problemas en crecimiento
> 1000 dSm⁻¹	Dificultades en muchos cultivos

Fuente: Soriano, 2019.

Realizado por: Freire, R., 2024.

La existencia de altos niveles de conductividad eléctrica en el suelo puede tener un impacto negativo en el crecimiento saludable de las plantas, ya que sugiere una concentración elevada de sales. La capacidad de cada tipo de cultivo para prosperar varía dentro de rangos específicos de conductividad, los cuales son influenciados por el tipo de sales presentes en el suelo (Soriano, 2019, pág. 1-7).

2.2.1.5. Nutrientes del suelo

El suelo se compone de tres fases: sólida, líquida y gaseosa, cada una desempeñando funciones específicas en el suministro de nutrientes. La fase sólida funciona como la principal reserva de nutrientes, con partículas inorgánicas que contienen nutrientes catiónicos como potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre, mientras que las partículas orgánicas constituyen la principal reserva de nitrógeno y, en menor medida, de fósforo y azufre. Por otro

lado, la fase líquida, conocida como solución del suelo, facilita el transporte de nutrientes, los cuales se encuentran principalmente en forma iónica, desde diversas partes del suelo hasta las raíces de las plantas (Mengel et al., 2001, pág. 9).

2.2.1.6. Nitrógeno

En suelos naturales no modificados, aproximadamente el 95% del nitrógeno se encuentra presente en la materia orgánica del suelo. Organismos como plantas, animales y microorganismos almacenan compuestos ricos en nitrógeno en sus tejidos, tales como aminoácidos, ácidos nucleicos y proteínas. Cuando los desechos o cuerpos muertos de estos organismos se depositan en el suelo, este material y sus productos de descomposición constituyen la materia orgánica (Walworth, 2013, pág. 2).

2.2.1.7. Fósforo

El fósforo en el suelo se encuentra en dos formas principales: orgánica e inorgánica. Ambas formas, cuando se suman, representan la totalidad del fósforo presente en el suelo. Aunque la cantidad total de fósforo en el suelo suele ser alta, con concentraciones que oscilan entre 200 y 6000 libras por acre, aproximadamente el 80 por ciento de este fósforo permanece inmóvil y no está disponible para la absorción por parte de las plantas (Prasad y Chakraborty, 2019, pág. 1).

2.2.1.8. Potasio

El potasio es vital para el desarrollo de las plantas como un elemento macroscópico esencial, y su insuficiencia se evidencia rápidamente debido a las altas demandas que tienen. Aunque las plantas lo toman en forma de ion K^+ , en el suelo y en los fertilizantes, generalmente se indica como K_2O . Asimismo, su capacidad de desplazamiento en el suelo es moderada en comparación con el nitrógeno y tiende a acumularse en suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico (Larriva, 2003, pág. 7).

2.2.1.9. Calcio

El calcio desempeña una función crucial en la regulación de los aspectos físicos y químicos del suelo, como su estructura y pH. Los iones de calcio facilitan la unión o agregación de los coloides del suelo (como las plaquetas de arcilla), formando fragmentos o agregados. Además, los suelos en los que el calcio es predominante tienden a tener una buena estructura, un adecuado drenaje interno y son propicios para la labranza (Incitec Pivot Fertilizers, 2021, pág. 1).

El calcio es fundamental para la integridad estructural del suelo, ya que desempeña un papel crucial en el proceso de floculación. En este proceso, las partículas de arcilla se unen y se separan de otras partículas del suelo, formando agregados que mejoran la claridad del agua en comparación con suelos con menos agregados. Entre los cationes, el calcio sobresale al mantener unidas las partículas de arcilla de manera más efectiva que otros, como el magnesio, que también tiene una carga de +2 (Anderson, 2023, pág. 10).

2.2.1.10. *Magnesio*

El magnesio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre y está presente en una variedad de minerales. Las plantas pueden obtener este elemento a medida que estos minerales se desgastan o se descomponen. Se retiene en la superficie de las partículas de arcilla y en la materia orgánica del suelo. A pesar de que esta forma de magnesio intercambiable está disponible para las plantas, este nutriente no se escurre fácilmente del suelo. (Kaiser y Rosen, 2023, pág. 5).

2.2.1.11. *Hierro*

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando alrededor del 5,1% de su peso total y aproximadamente un 3,8% de su contenido en el suelo. Principalmente, se encuentra presente en las estructuras cristalinas de varios minerales, originándose a partir de minerales primarios como olivino, augita, hornblenda y biotita, siendo estos últimos una fuente considerable en las rocas ígneas (Juarez et al., 2019, pág. 8).

La descomposición de estos minerales genera hierro soluble, el cual puede ser aprovechado por organismos, unirse a compuestos orgánicos o convertirse en minerales secundarios como sulfuros, carbonatos y minerales de arcilla. Esto abarca principalmente óxidos e hidróxidos con distintas composiciones y grados de cristalización, los cuales desempeñan un papel crucial en la solubilidad del hierro en el suelo (Juarez et al., 2019, pág. 5).

2.2.1.12. *Zinc*

La deficiencia de zinc es más prevalente en suelos arenosos, mientras que en suelos arcillosos es menos común debido a la capacidad de estos últimos para adsorber y retener el elemento. Solo la fracción de zinc presente en la solución del suelo y la que puede ser desadsorbida con facilidad está disponible para las plantas, pero también es susceptible a la lixiviación, especialmente en suelos tropicales. El zinc es principalmente captado en su forma iónica Zn^{2+} o, en entornos con pH elevado, como $ZnOH^+$ (Intagri, 2022, pág. 19).

2.2.1.13. *Materia Orgánica*

La cantidad de materia orgánica del suelo (MOS) generalmente oscila entre el 1% y el 5% de la masa total del suelo; sin embargo, su importancia radica en su impacto significativo en las propiedades y funciones del suelo, contribuyendo fundamentalmente a su salud. La MOS constituye la mayor reserva de carbono orgánico en la Tierra, así como una fuente importante de todos los nutrientes esenciales. Además, contribuye de manera significativa a la formación y estabilidad de los agregados del suelo. Por consiguiente, la MOS también regula la porosidad del suelo y las funciones hidrológicas, ya que su aumento reduce las tasas de infiltración y escorrentía, mejorando así el control de inundaciones (Hatten, 2019, págs. 373-396).

La materia orgánica del suelo (MOS) alberga la mayor parte del nitrógeno presente en el suelo y, en la mayoría de los casos, es responsable de la mayor parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Además, tiene la capacidad de unir compuestos tóxicos como el aluminio, lo que reduce la toxicidad del suelo y beneficia a las plantas. En consecuencia, los suelos con un alto contenido de MOS suelen ser más fértiles que aquellos con bajos niveles de MOS, ofreciendo una variedad de beneficios adicionales para las plantas, como una mejora en las condiciones de enraizamiento y una mayor retención de humedad en el suelo. En general, la MOS cumple múltiples funciones físicas, químicas y biológicas que contribuyen al desarrollo de bosques robustos, resistentes y productivos (Hatten, 2019, págs. 373-396).

2.2.1.14. *Relación carbono-nitrógeno*

La Relación C/N se emplea como un marcador de la calidad del sustrato orgánico del suelo, indicando la cantidad de nitrógeno disponible para las plantas. Cuando los valores son altos, esto indica una descomposición lenta de la materia orgánica, ya que los microorganismos retienen el nitrógeno, impidiendo su disponibilidad para las plantas. Por el contrario, cifras entre 10 y 14 señalan una mineralización y descomposición rápida de los tejidos, ya que la actividad microbiana se incrementa, lo que proporciona nutrientes adecuados tanto para los microorganismos como para las plantas. Además, una relación C/N de bacterias y hongos del suelo inferior a 15 indica una mayor eficacia en la descomposición de la materia orgánica cuando los valores de C/N son bajos (Gamarra et al., 2018, pág. 2).

2.3. Tipos de suelo

De acuerdo con el Sistema Americano de Taxonomía de Suelos (Soil Taxonomy), se reconocen doce órdenes de suelos, los cuales se distinguen por la presencia o ausencia de ciertos horizontes diagnósticos o características que indican variaciones en el tipo y grado de los procesos edafogénicos predominantes en la formación del suelo. Estos doce órdenes de suelo son: entisoles, inceptisoles, mollisoles, alfisoles, ultisoles, espodosoles, oxisoles, ardisoles, andisoles, vertisoles, histosoles y gelisoles (Borja, 2014, pág. 3).

2.3.1. Tipos de suelo en Ecuador

En Ecuador, a través de una colaboración entre el MAG-IICACLIRSEN, se identificaron 8 de los 12 órdenes de suelo, que son: oxisoles, histosoles, ardisoles, vertisoles, mollisoles, alfisoles, entisoles e inceptisoles. El siguiente cuadro proporciona una síntesis del área ocupada por cada orden de suelo en Ecuador (Borja, 2014, pág. 6).

Tabla 2-3: Superficie aproximada de los órdenes de suelo en Ecuador

Órdenes de suelo			
	Ha	Km²	%
Oxisoles	8019.97	80.2	0.033
Histosoles	288977.33	2889.8	1.20
Ardisoles	233537.69	2335.4	0.97
Vertisoles	370486.87	3704.9	1.54
Mollisoles	1817523.26	18175.2	7.54
Alfisoles	1403372.08	14033.7	5.83
Entisoles	2924164.01	29241.7	12.14
Inceptisoles	17045885.9	170458.9	70.75

Fuente: MAGAP, 2002 citado en Borja, 2014.

Realizado por: Freire, R., 2024.

2.3.1.1. Suelos forestales

Ecuador tiene una extensión de alrededor de 28 millones de hectáreas, de las cuales el 52% se destina a actividades forestales, con un 43% ocupado por bosques naturales y el restante 1.14% por plantaciones forestales. La posición geográfica del país, junto con la presencia de la Cordillera de los Andes y las corrientes marinas, contribuye a una amplia diversidad climática y vegetal. En áreas donde la exposición a 12 horas de luz diaria es constante a lo largo del año, se facilita el

crecimiento acelerado de especies forestales, tanto autóctonas como introducidas, lo que genera una elevada demanda tanto a nivel nacional como internacional (Borja, 2014, pág. 3).

- **Orden de suelo refugio de vida silvestre Yankay**

Según Pesantes et al. (2021, pág. 17), el Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (2015) establece el orden de suelos en Ecuador como sigue: Inceptisoles (41%), Andisoles (19%), Molisoles (9%), Ultisoles (9%), Entisoles (6%), Alfisoles (5%), Vertisoles (2%), Aridisoles (1%), y No aplicables (8%). Basándonos en este estudio y en la ubicación del refugio de vida silvestre Yankay, se identifican dos tipos de suelos:

a) Andisoles (ando: negro), suelos derivados de cenizas volcánicas con evolución moderada, caracterizados por una alta retención de humedad que los hace propensos a deslizamientos y con deficiencias en la nutrición de las plantas debido a la baja disponibilidad de fósforo (Ministerio de Agricultura y Ganadería-SIGTIERRAS, 2015).

b) Inceptisoles, suelos con evolución baja a media, ubicados en zonas relativamente estables a lo largo del tiempo, con un grado variable de desarrollo y fertilidad. Este tipo de suelo es el más común en el territorio nacional (Ministerio de Agricultura y Ganadería-SIGTIERRAS, 2015).

2.4. Calidad del suelo

La calidad del suelo se refiere a la adecuación del suelo para un uso específico a lo largo del tiempo, mientras que la salud del suelo está relacionada con el estado actual de las propiedades en constante cambio del suelo, tales como el contenido de materia orgánica, la diversidad de organismos presentes y los productos microbianos (Bautista et al. 2004, pág. 2).

La calidad del suelo abarca los aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo, así como las interacciones entre ellos; por lo tanto, es fundamental evaluar estos elementos de manera integral. Estas variables se identifican como indicadores de calidad del suelo (ICS) porque reflejan una condición específica y muestran cualquier cambio o tendencia en dicha condición. Estos indicadores se emplean como instrumentos de medición que proporcionan información sobre las propiedades, procesos y características del suelo (Afanador et al., 2020, pág.6).

Los componentes químicos esenciales empleados en la elaboración de los Indicadores de Calidad del Suelo (ICS) abarcan la capacidad de amortiguación del suelo, la disponibilidad de nutrientes

para las plantas, el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de carbono orgánico total y activo, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el nitrógeno total y mineralizado, la capacidad de adsorción de fosfatos, así como la disponibilidad de micronutrientes. Debido a la variación que presenta tanto en el tiempo como en el espacio, la evaluación de la calidad del suelo demanda tener en cuenta estas dimensiones. En términos espaciales, las áreas de estudio pueden abarcar desde parcelas individuales hasta regiones más extensas, mientras que en cuanto a la dimensión temporal se refiere al período durante el cual un indicador experimenta cambios. Al llevar a cabo una evaluación constante de la calidad del suelo, se facilita el monitoreo continuo, la identificación de cambios y la aplicación de prácticas de manejo apropiadas (Estrada et al., 2017, pág. 12).

La aplicación de indicadores de calidad del suelo puede representar una herramienta valiosa en la toma de decisiones, ya que estos indicadores muestran respuestas sensibles a las prácticas de gestión en diferentes horizontes temporales: corto, medio y largo plazo. Esto varía según la propiedad particular y el tipo de suelo bajo evaluación (García et al., 2012, pág. 6).

2.4.1. Suelos con cobertura vegetal

La existencia de vegetación juega un papel crucial en la preservación de la calidad del suelo y puede ser un método eficaz para prevenir la erosión, tanto por el viento como por la lluvia. La vegetación actúa como una barrera directa que protege la superficie del suelo, mitigando así la erosión provocada por lluvias intensas, al tiempo que contribuye a la retención de agua y estabilización de las partículas. Además, un mayor desarrollo de la vegetación puede progresivamente añadir más materia orgánica al suelo, lo que mejora la estabilidad de sus agregados, incrementa la actividad biológica y promueve la capacidad de absorción y retención de agua (Mandal, 2023, pág. 11).

2.5. Funciones del suelo

Las diversas funciones del suelo están mayormente ligadas a la agricultura, el medio ambiente, la conservación de la naturaleza y el paisaje. Estas funciones abarcan la producción de biomasa y alimentos, el ciclo de nutrientes, la regulación del agua, así como interacciones ambientales como almacenamiento, filtración y transformación. También incluyen la creación de hábitats para la vida biológica, la conservación de la diversidad genética, el suministro de materias primas y su importancia como patrimonio físico y cultural. Además, el suelo sirve como plataforma para la construcción de estructuras humanas como edificios y carreteras (Trujillo, et al., 2018, pág. 6). A continuación, se enumerarán las funciones que son más pertinentes para este estudio:

2.5.1. Ciclos biogeo-químicos

Los ciclos biogeoquímicos son procesos naturales esenciales que desempeñan un papel crítico en el mantenimiento de condiciones estables en la Tierra y en el sustento de la vida. Estos ciclos, que involucran elementos como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y otros, son fundamentales, y el suelo juega un papel central en su realización. Sin los ciclos biogeoquímicos, la transferencia continua de elementos químicos desde los sistemas bióticos a los abióticos no sería posible (Burbano, 2016, pág. 6).

2.5.2. Almacenamiento o fijación de carbono

La importancia de la función del suelo relacionada con el carbono ha aumentado considerablemente debido a las preocupaciones globales actuales sobre el cambio climático. El suelo actúa como el principal reservorio de carbono en la naturaleza, lo que impide la liberación de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático. Mediante la colaboración entre las plantas y la actividad de los organismos del suelo, el carbono se transforma en materia orgánica y se deposita en el suelo, donde permanece durante extensos lapsos de tiempo (Burbano, 2016, pág. 1).

2.5.3. Reserva de biodiversidad

El suelo contiene una gran diversidad de vida debido a la abundancia de organismos que residen tanto en su capa superficial como en su interior. Esta variedad es tan notable que se considera que supera la diversidad encontrada en numerosos otros hábitats naturales. Es importante destacar que los servicios ambientales ofrecidos por el suelo se basan en gran medida en las complejas comunidades de organismos presentes en este entorno (Burbano, 2016, pág. 3).

2.5.4. Almacenamiento y filtración de agua

El suelo juega un papel esencial en diversos aspectos del ciclo hidrológico al absorber, infiltrar y retener agua, lo que contribuye a la recarga de los acuíferos. En esta función, el suelo influye en la calidad del agua al actuar como un filtro y un reservorio, capturando y mitigando ciertos contaminantes y previniendo su llegada a las fuentes de agua. Además, el suelo tiene un impacto indirecto en la regulación de la temperatura y la humedad, lo que puede resultar beneficioso para mejorar la calidad del aire (Burbano, 2016, pág. 15).

2.6. Áreas protegidas

Se caracterizan por ser territorios específicamente definidos, oficialmente designados y administrados, ya sea por medios legales o por otros métodos efectivos, con el propósito fundamental de asegurar la preservación a largo plazo de la naturaleza, así como de los servicios ecosistémicos y los aspectos culturales relacionados. Aunque la protección de los ecosistemas es crucial para mantener la vida, las áreas protegidas también apoyan los medios de subsistencia y las aspiraciones humanas (Convenio sobre la diversidad biológica, 2018, pág. 2).

2.6.1. Refugio de vida silvestre

Zonas que necesitan acción directa de gestión, con el objetivo de preservar los entornos naturales y satisfacer las necesidades específicas de ciertas especies, como áreas de reproducción y otros lugares cruciales para recuperar o conservar poblaciones de especies particulares (Guevara, 2011, pág.7).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Área de estudio

La región bajo investigación se localiza en el refugio de vida silvestre Yankay, que abarca una extensión de 200 hectáreas y se encuentra en la parroquia de Río Negro, en el Cantón Baños de la Provincia de Tungurahua. Esta área es la parroquia más oriental de la provincia y se sitúa a unos 30 kilómetros de la ciudad de Baños. La altitud de la parroquia alcanza los 1186 metros sobre el nivel del mar (Pazmiño, et al., 2014, pág. 14). Para acceder específicamente al refugio, desde la cabecera parroquial de Río Negro es necesario seguir un camino adoquinado de 6 km hasta el sector del río Encanto. Posteriormente, se continúa por un camino de herradura de 2 km hasta llegar a la propiedad de la institución (ESPOCH, 2023, pág. 1).

3.2. Ubicación geográfica

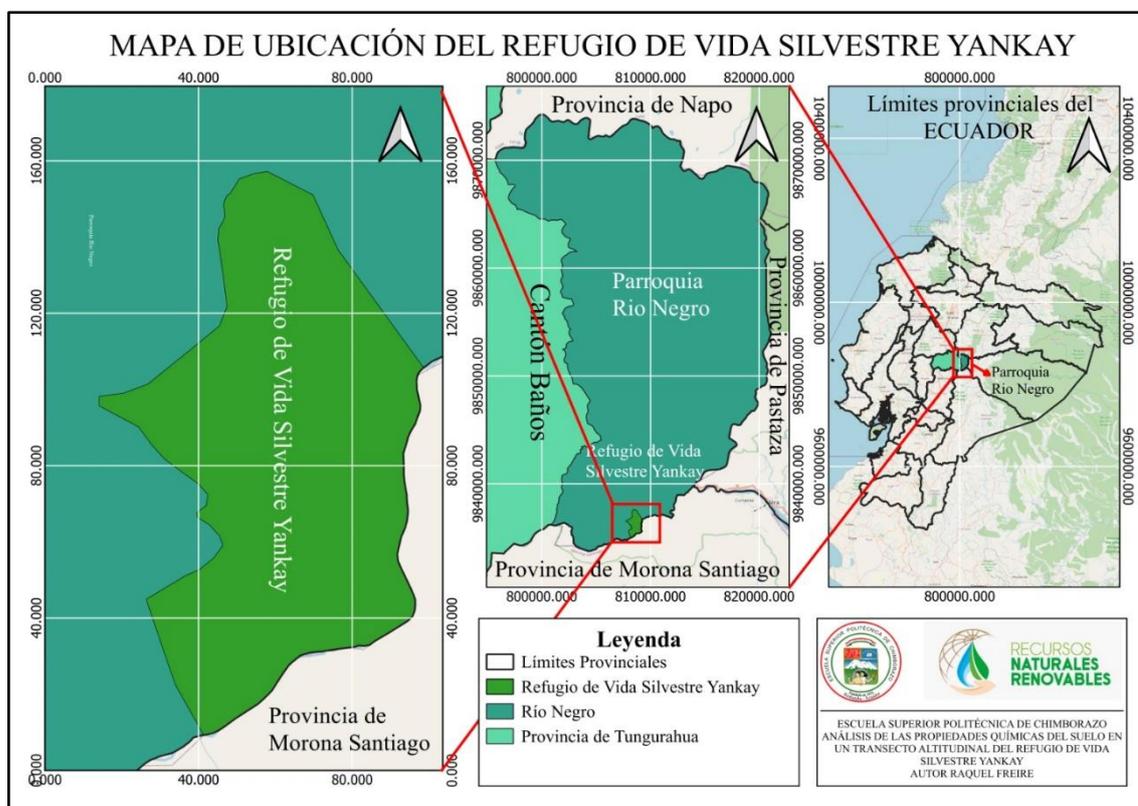


Ilustración 3-1: Mapa del refugio de vida silvestre Yankay

Realizado por: Freire, R., 2024.

3.3. Aspectos biofísicos

3.3.1. *Clima*

El clima en Río Negro es de tipo ecuatorial lluvioso. La circulación atmosférica se distingue por vientos suaves durante la mañana y más intensos por la tarde, siendo más pronunciados en los meses de julio, agosto y septiembre (Pazmiño, et al., 2014, pág. 4).

3.3.1.1. *Temperatura*

Hasta el año 2015, en la Parroquia Río Negro, se registraron temperaturas mínimas de 16°C y máximas de 20°C (GAD Parroquial Rio Negro, 2020, pág. 20-23).

3.3.1.2. *Precipitación*

En registros históricos comprendidos entre 1891 y 2015, se documenta que la Parroquia Río Negro experimenta precipitaciones anuales que oscilan entre 1800 y 2700 mm. Las lluvias en esta área son abundantes y se presentan de manera frecuente (GAD Parroquial Rio Negro, 2020, pág. 16-20).

3.3.2. *Relieve*

La Parroquia Río Negro presenta una topografía irregular, lo que hace que la mayoría de sus áreas estén ubicadas en zonas propensas a riesgos ambientales significativos. Varios sectores experimentan deslizamientos frecuentes debido a las elevadas precipitaciones, además de enfrentar desbordamientos de ríos. Esta situación conlleva a pérdidas económicas en los sectores agrícola, ganadero, piscícola y turística (GAD Parroquial Rio Negro, 2020, pág. 31-32).

3.3.3. *Hidrología*

Según la información obtenida del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Cantón y el PDOT Parroquial durante el lapso de 2015 a 2019, se determina que la cuenca principal en la Parroquia Río Negro corresponde al Río Pastaza. Dentro de esta parroquia, solo se detecta la existencia de la subcuenca del Río Topo, que cubre un área de 43,656.90 hectáreas, junto con sus afluentes más pequeños (GAD Parroquial Rio Negro, 2020, pág. 11-15).

3.3.4. Suelos

Según él (GAD Parroquial Río Negro, 2020) el 80% del uso de suelo en el territorio parroquial son bosques secundarios y primarios sin intervención humana. En la parroquia Río Negro del cantón Baños, se encuentran principalmente dos tipos de suelos: los Inceptisoles y los Histosoles (GAD Municipal Baños de Agua Santa , 2020, pág. 27).

3.3.4.1. Inceptisoles

Los suelos oscuros, limosos, suaves y esponjosos se formaron como resultado de la antigua ceniza volcánica. A mayor profundidad, adquieren un tono amarillento y poseen una capacidad para retener humedad que oscila entre el 100% y el 200% (GAD Municipal Baños de Agua Santa , 2020, pág. 31).

3.3.4.2. Histosoles

Estos suelos, mayormente compuestos de materia orgánica y denominados turbas, están completamente saturados de agua, lo que evita la descomposición de los materiales orgánicos (GAD Municipal Baños de Agua Santa , 2020, pág. 31).

3.3.5. Cobertura natural vegetal

En la parroquia Río Negro, se encuentran los parques nacionales Llanganates y Sangay, así como áreas de bosques bajo conservación o protección ambiental, cada uno con diversos ecosistemas que incluyen bosque siempre verde montano, bosque siempre verde montano bajo, bosque siempre verde montano alto y páramo (GAD Parroquial Río Negro, 2020, pág. 36-37).

Del año 2015 al 2020 según el (GAD Parroquial Río Negro, 2020, pág. 36-37) se observó un aumento significativo en la identificación de áreas de bosque bajo conservación, pasando de 1024 hectáreas a 12,457 hectáreas, dicho aumento refleja el alto valor ecológico y biodiversidad presentes en la región, lo cual destaca la importancia de implementar proyectos que incentiven la conservación y protección de los recursos naturales en esta área.

El Refugio de vida Silvestre Yankay cuenta con 200 hectáreas, toda esta área está declarada como área protegida por parte de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo debido a su gran riqueza biológica.

3.4. Nivel de investigación

El presente estudio es de carácter exploratorio-descriptivo ya que en el lugar de estudio no existe información previa y se recopilieron datos primarios para posteriormente detallar las propiedades químicas principales del suelo a través de análisis en el laboratorio con el fin de caracterizar apropiadamente el suelo del refugio de vida silvestre Yankay y proporcionar información para estudios posteriores. Como menciona (Hernández, 2014, pág. 92) los estudios descriptivos buscan identificar propiedades o atributos de procesos, objetos u otros fenómenos que están siendo analizados. En otras palabras, su objetivo principal es recolectar o medir información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o variables que se están investigando.

3.5. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es mixto debido a que se caracterizó y evaluó la calidad del suelo en base a los análisis químicos en el laboratorio de suelos utilizando estadística descriptiva. La investigación mixta combina datos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión más completa y profunda, permitiendo al investigador corroborar la información y compensar las limitaciones de cada enfoque individual (Ortega, 2023, pág. 1). En este caso los componentes cuantitativos analizados son: pH, CE, CIC, MO, macro y micro elementos. Por otro lado, los cualitativos son los niveles de fertilidad del suelo.

3.6. Muestreo en el refugio de vida silvestre Yankay

3.6.1. Materiales y equipos

- GPS
- Estacas
- Banderines
- Flexómetro
- Libreta de campo
- Barreno
- Bolsas Zip Loc
- Guantes de látex
- Agua destilada
- Cuchillo
- Marcadores
- Cámara

3.6.2. Recolección de muestras

El muestreo se realizó en base al Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) bajo el decreto ejecutivo 3516. Se acudió al área de estudio para seleccionar los sitios representativos para la recolección de las muestras del suelo, marcando cada zona con estacas, así mismo se levantaron los puntos necesarios mediante GPS. La representatividad de las muestras está relacionada con los objetivos del muestreo de suelos, los cuales en este caso son: manejo de nutrientes (fertilidad o calidad) y caracterización para fines de planificación del uso de la tierra (Mendoza y Espinoza, 2017, pág. 14).

El muestreo se realizó mediante el método aleatorio estratificado el cual según (Mendoza y Espinoza, 2017, pág. 20) implica la subdivisión de las áreas a muestrear en estratos; en cada estrato se recogen muestras que luego se combinan. Esta técnica de muestreo se seleccionó específicamente para terrenos con pendientes o en laderas, como ocurre en el refugio de vida silvestre. Por tanto, en base a esto se dividió el área en 6 unidades muestrales (UM) las cuales tenían las siguientes medidas: 50 x 600 m.

Se recolectaron 15 submuestras, ya que para (Osorio, 2012, pág. 2) se aconseja, como norma general, tomar entre 10 y 20 submuestras para una unidad de muestreo. Así mismo en TULSMA se menciona que se debe tomar una muestra compuesta constituida por 15 a 20 submuestras correctamente georreferenciadas, para actividades menores a 100 h cada una con un peso mayor a 0.5 kg. Según Schweizer (2011, pág. 13), es recomendable que las submuestras se tomen a una profundidad uniforme. Para suelos forestales se sugiere una profundidad de muestreo de 0 a 20 cm o de 20 a 40 cm. Por esta razón, en el refugio de vida silvestre, se tomó cada submuestra a una profundidad de 20 cm utilizando un barreno. Antes de la recolección, se limpió el lugar de muestreo eliminando cualquier planta u hojarasca de la superficie (Osorio, 2012, pág. 2).

Cada submuestra se colocó en un balde desinfectado previamente, para no alterar la composición de las muestras, y finalmente se mezclaron las submuestras para obtener una muestra compleja de 1.0 kg, luego se introdujo dicha cantidad en una funda Ziploc de 26.8cm x 27,3cm, se etiquetó de manera adecuada incluyendo la fecha en que se tomó la muestra, el lugar y la UM correspondiente, dicho procedimiento se realizó por cada UM. Finalmente se llevó cada muestra (6 en total) al laboratorio de suelos de la facultad de recursos naturales para analizar su composición química.

3.6.3. Identificación de las unidades experimentales

Tabla 3-1: Ubicación geográfica

Unidades experimentales	Coordenadas	Descripción
UE 1	-1.468867°, - 78.226215°	Uso de suelo forestal
UE 2	-1.468849°, - 78.226697°	
UE 3	-1.468244°, - 78.227689°	
UE 4	-1.468553°, - 78.227772°	
UE 5	-1.468615°, - 78.227209°	Uso de suelo: potrero
UE 6	-1.468694°, - 78.228832°	Uso de suelo dual, forestal y potrero

Realizado por: Freire, R., 2024.

3.7. Metodología

3.7.1. Reactivos y equipos

3.7.1.1. Equipos y materiales de laboratorio

- pHmetro
- Colorímetro
- Mufla
- Estufa
- Agitador Eléctrico
- Conductímetro
- Espectrofotómetro
- Balanza analítica
- Probeta (100ml)
- Vasos de precipitado (50ml)

3.7.1.2. Reactivos de laboratorio

- Bicarbonato de sodio (6.3g)
- EDTA (0.015g)
- Superfloc (0.015g)
- Fenol (8.2g)

- Hidróxido de sodio (6.3g)
- Clorox (70ml)
- Tartrato de potasio y antimonio (0.0105g)
- Ácido sulfúrico concentrado (1.734ml)
- Molibdato de amonio (0.079g)
- Goma arábica (0.070g)
- Ácido ascórbico (0.070g)
- Oxido de lantano en polvo (0.704g)
- Ácido clorhídrico fumante (3.00ml)

3.7.2. Determinación del pH

El pH desempeña un papel crucial al anticipar la disponibilidad, solubilidad y movilidad de los elementos minerales en el suelo. Para la mayoría de los macronutrientes, el rango óptimo de pH varía entre 6,5 y 7 (Bonta, 2011, pág. 6). Para su determinación en el laboratorio:

1. Se enciende el pHmetro media hora antes de iniciar
2. Se pesan 20 g de suelo secados al ambiente, se colocan en vasos de precipitado en los cuales se agrega 50 ml de agua destilada medido con una probeta.
3. Se mezcla con una varilla de vidrio por espacio de un minuto
4. Se dejan en reposo las muestras durante 30 minutos, mientras tanto se calibra el equipo con las soluciones buffer pH = 7.0. buffer pH = 4.0 y buffer pH = 10.0
5. Finalmente se realiza la lectura de las mediciones del pH de cada muestra

3.7.3. Determinación de la CE

La conductividad eléctrica (CE) se utiliza para evaluar la concentración total de sales presente en una solución de suelo (Bonta, 2011, pág. 3).

1. En una balanza analítica se pesan 80 g de suelo seco al aire y previamente tamizado (2 mm)
2. Se añaden 60 ml de agua destilada utilizando una probeta
3. Se mezcla por espacio de 5 minutos con un agitador.
4. Se deja la suspensión en reposo durante 30 minutos y se vuelve a remover 10 minutos antes de leer la conductividad.
5. Se lee la conductividad y se expresan los resultados en mmhos/cm a 25°C

C.E mmohs/cm = 1411.8 mmhos/cm x lectura del aparato
Calibración del equipo con estándares: KCl 0.01 N y KCl 0.001 N

3.7.4. Determinación del Nitrógeno

1. Para la obtención del nitrógeno se tomó 2.5g de suelo colocándolo en un vaso de precipitado
2. luego se añaden 9 ml de Fenol Básico y se echa 10 ml de clorox.
3. Se mezcla suavemente y se deja en reposo por 20 minutos.
4. Finalmente se toma la lectura en el colorímetro.

3.7.5. Determinación del fósforo

1. Se agrega de 2.5 g de suelo y se coloca en un vaso de precipitado
2. Se añaden 9.5 ml de agua destilada.
3. Se colocan 10 ml de ácido ascórbico y se mezcla suavemente, dejándolo en reposo durante 20 minutos para posteriormente tomar la lectura en el colorímetro.

3.7.6. Determinación de potasio, calcio y magnesio

Previo a las lecturas, lo primero que se realiza es pesar 2.5 g de suelo y depositarlos en un frasco en el cual se añaden 25 ml de la solución extractante OLSEN, se cierra el envase y se coloca la mezcla en un agitador eléctrico por 30 minutos, luego se filtra y se continua con el siguiente procedimiento para las diferentes lecturas:

1. Se toma una alícuota de 1 ml del extracto
2. Se coloca en un vaso de precipitado en el cual se añaden 9 ml de agua destilada
3. Se incorporan 10 ml de Oxido de Lantano(K) y se mezcla suavemente.
4. Finalmente se tomó la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.7.7. Cálculo de materia orgánica

1. Primero se pesa el crisol asegurándose que esté limpio y seco.
2. Se agregan 5 gramos de suelo previamente secado y se coloca en la estufa por 24 horas a 105 °C. Pasado el tiempo se retira, se enfría y pesa.
3. Luego se coloca el crisol en la mufla con su identificación por 20 min a 450°C
4. Finalizado este tiempo se deja enfriar en el desecador por 30 minutos.

Para calcular el contenido de materia orgánica, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%MO = \frac{\text{Peso Estufa} - \text{Peso Mufla}}{m \text{ (g peso de la Estufa)}} \times 100$$

Donde:

m = peso del suelo en la estufa a los 105°C

3.7.8. *Calidad del suelo*

Una vez realizados los análisis respectivos de las 6 muestras en el laboratorio, se revisó literatura de diversas fuentes como libros, tesis, artículos o guías relacionadas al tema de la calidad del suelo en base a indicadores químicos, como por ejemplo la “Guía técnica para muestreo de suelos” de Mendoza y Espinoza o el libro “Interpretación de análisis de suelo” de la autora Soledad Garrido; como base principal se utilizan los resultados del primer objetivo y se tiene como referencia el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA).

Según (TULSMA, 2015) la fertilidad del suelo se refiere a la capacidad del suelo para suministrar los nutrientes esenciales requeridos para el desarrollo saludable y productivo de las plantas.

Los niveles de fertilidad se determinan según las propiedades químicas del suelo:

- Potencial hidrógeno (pH)
- Conductividad Eléctrica
- Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)
- Bases totales (BT): Ca⁺², Mg⁺², K⁺
- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)

Para poder determinar si el suelo del refugio de vida silvestre Yankay es de calidad se compararon los resultados obtenidos del primer objetivo mediante la siguiente tabla de interpretación propuesta por la USDA para la evaluación de la calidad del suelo donde fueron adaptadas la materia orgánica y la Capacidad de intercambio catiónico según los rangos establecidos para suelos forestales propuestos por Balland (1984) y Gagnard et al (1988).

Tabla 3-2: Indicadores del suelo para establecer la calidad del suelo

Indicador	Rangos	Condición del suelo	Evaluación
pH	3.01 - 4.0	Fuertemente ácido: solo las plantas más tolerantes a los ácidos pueden crecer.	0
	4.01-5.5	Moderadamente ácido: el crecimiento de plantas intolerantes al ácido se ve afectado dependiendo de los niveles de Al, Mn y otros metales extraíbles.	1
	5.51-6.8	Ligeramente ácido: óptimo para muchas especies de plantas, particularmente para las especies más tolerantes a los ácidos.	2
	6.81-7.2	Casi neutral: óptimo para muchas especies de plantas, excepto aquellas que prefieren suelos ácidos.	2
	7.21-7.5	Ligeramente alcalino – óptimo para muchas especies de plantas excepto aquellas que prefieren suelos ácidos, posibles deficiencias de P disponible y algunos metales (por ejemplo, Zn)	1
	7.51-8.5	Moderadamente alcalino: preferido por plantas adaptadas a este rango de pH.	1
	> 8.5	Fuertemente alcalino: preferido por plantas adaptadas a este rango de pH, posible toxicidad	0
MO	> 3	Alto	2
	2-3	Medio	1
	< 2	Bajo	0
CIC	> 20	Alto	2
	10-20	Medio	1
	< 10	Bajo	0
Nitrógeno total en suelos minerales (%)	> 0.5	Alto - excelente reserva de nitrógeno	2
	0.1-0.5	Moderado - niveles adecuados	1
	< 0.1	Bajo - podría indicar la pérdida de N orgánico	0
k (mg/kg)	> 500	Alto - excelente reserva de K	2
	100-500	Moderado - niveles adecuados para la mayoría de las plantas	1
	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
Mg (mg/kg)	> 500	Alto - excelente reserva de Mg	2
	100-500	Moderado - niveles adecuados para la mayoría de las plantas	1
	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
Ca (mg/kg)	> 1000	Alto - excelente reserva, probablemente suelo calcáreo	2
	101 - 1000	Moderado: niveles adecuados para la mayoría de las plantas.	1
	10-100	Bajo - posibles deficiencias	0
	< 10	Muy bajo: depleción grave de Ca, es más probable que se produzcan efectos adversos	-1

	> 100	Alto: posibles efectos adversos para las plantas sensibles al Mn	0
	11 - 100	Moderado: efectos adversos o deficiencias menos probables	1
Mn (mg/kg)	1 - 10	Bajo: efectos adversos poco probables, posibles deficiencias	1
	< 1	Muy bajo - deficiencias más probables	0
	> 10	Alto - efectos desconocidos	1
Fe (mg/kg)	0.1-10	Moderado - efectos desconocidos	1
	< 0.1	Bajo - posibles deficiencias, posiblemente suelo calcáreo	0
	> 10	Alta: posible toxicidad para plantas sensibles al Zn, puede indicar	0
Zn (mg/kg)	1-10	Moderado: efectos desconocidos, pero efectos adversos poco probables	1
	< 1	Bajo - posibles deficiencias en suelos calcáreos o arenosos.	0
	> 30	Alta: excelente reserva de P disponible en suelos ligeramente ácidos a alcalinos, posibles efectos adversos a la calidad del agua por la erosión de suelos con alto contenido de P.	1
P (mg/kg)	10-30	Moderado: niveles adecuados para el crecimiento de las plantas.	1
	< 10	Bajo - Posibles deficiencias de P	0

Fuente: (Amacher et al, 2007).

Realizado por: Freire, R., 2024.

Para establecer la calidad del suelo se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{ICS \%} = (\text{ICS total} / \text{total de máximos posibles para las propiedades medidas}) \times 100$$

Dónde:

$$\text{ICS total} = \sum \text{valores individuales del índice de propiedad del suelo}$$

El valor máximo del ICS total en este caso es de 18 ya que se midieron 11 propiedades del suelo. Luego, el ICS total se expresa como un porcentaje del valor máximo posible del ICS total para las propiedades del suelo que se miden.

Una vez calculado el ICS se comparan los valores porcentuales obtenidos de cada unidad experimental con la siguiente tabla

Tabla 3-3: Clasificación de ICS (%)

ICS (%)	Clasificación de la calidad del suelo
75,00-100	Muy alto
51,00 - 74,99	Alto
50,00 - 50,99	Moderado
25,00 - 49,99	Bajo
0,00 - 24,99	Muy bajo

Fuente: (Ramirez et al, 2022).

Realizado por: Freire, R., 2024.

3.7.9. Elaboración del mapa de la calidad del suelo del RVSY

3.7.9.1. Delimitación de las unidades de muestreo de suelos para el análisis de interpolación

Las Unidades Experimentales (UE) del refugio de vida silvestre Yankay fueron delimitados según la factibilidad de acceso a cada una de ellas. Para el mapeo se utilizó el GPS Waypoints de lo cual se tomaron puntos de referencia y verificación en el campo. Para la georreferenciación de las UE e interpolación se utilizó el programa Arcmap 10.5.

En cada unidad se tomó al menos una muestra de suelo, compuesta por 15 submuestras extraídas a una profundidad de 20 cm y distribuidas de manera aleatoria en el área respectiva de cada UE. En total, se recopilieron 90 submuestras de suelo, las cuales constituyeron el conjunto inicial de datos utilizado para crear mapas interpolados con las variables seleccionadas. Para georreferenciar cada muestra, se asignó un centroide dentro del polígono correspondiente a cada lote, con el propósito de obtener las coordenadas geográficas (X, Y) y adjuntar los valores Z (variables químicas del suelo analizadas) necesarios para llevar a cabo las interpolaciones (Henríquez et al., 2013).

3.7.9.2. Análisis químico de las muestras de suelos

Las muestras de suelo utilizadas tanto en el proceso de interpolación como en el de validación fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, conforme al procedimiento detallado en el objetivo 1.

3.7.9.3. Análisis estadístico y de verificación

Los resultados de los análisis químicos de las 90 submuestras de suelo fueron sometidos a un análisis geoestadístico para las variables de interés. Se llevó a cabo la interpolación de los datos utilizando el método Kriging a través del programa Arcmap 10.5. Esto generó una superficie continua que representa las variables interpoladas (Henríquez et al., 2013).

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Determinar el pH, Conductividad eléctrica, Capacidad de Intercambio Catiónico, macro y micro elementos, materia orgánica de las muestras del suelo obtenidas

Tabla 4-1: Análisis químico de 6 unidades experimentales

Parámetro	UE 1	UE 2	UE 3	UE 4	UE 5	UE 6
pH	6.2	6.51	5.68	5.71	5.63	6.04
C.E (dS/m)	0.0643	0.06348	0.0593	0.0555	0.0711	0.1873
M.O (%)	8.9	7.3	5.1	4.3	6.6	3.0
CIC (meq/100g)	16.5	12.7	10.9	10.5	14.5	12.1
N (ppm)	7.07	7.73	7.77	5.94	10.83	6.59
P (ppm)	12.75	9.50	9.96	10.08	10.66	23.07
K (meq/100g)	0.21	0.22	0.09	0.12	0.23	0.57
Ca (meq/100g)	0.6	1.1	1.3	4.5	2.3	20
Mg (meq/100g)	0.003	0.002	0.001	0.005	0.0038	0.021
Fe (ppm)	194.87	217.73	196.63	186.37	224.5	148.3
Zn (ppm)	1.2	1.01	4.15	0.02	1.95	1.87
Mn (ppm)	6.05	12.59	8.62	11.48	21.51	32.85

Realizado por: Freire, R., 2024.

En la tabla 4-1 se indican los resultados obtenidos del laboratorio para las 6 unidades experimentales, donde se puede apreciar que el contenido de nutrientes es más alto en la 5 y 6.

4.1.1. pH del suelo

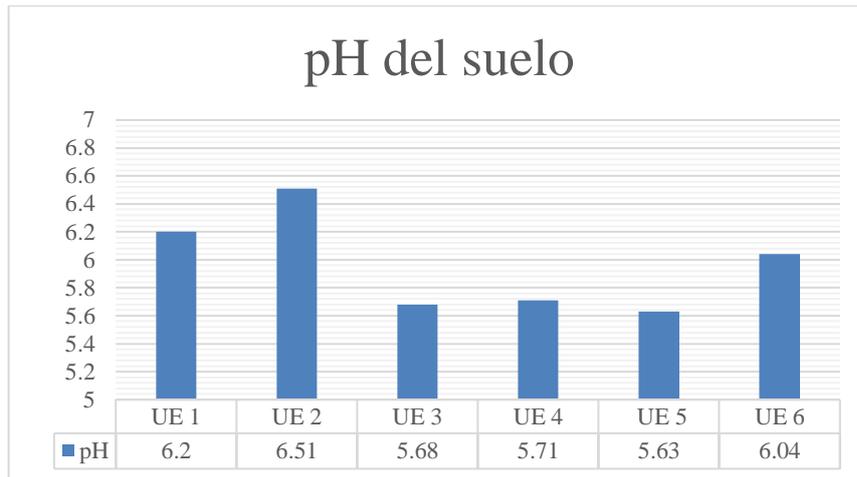


Ilustración 4-1: pH del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

Como se observa en la ilustración 4-1 el pH más alto fue de 6,51 correspondiente a la UE 2 y el más bajo fue en la UE 5 de 5.63, de manera general el pH en el transecto de muestreo es de 5.9 ± 0.35 por lo tanto, se observa que el pH no varía significativamente en todas las unidades experimentales y de acuerdo a los rangos establecidos por TULSMA (2015) los suelos del RVSY se caracterizan entre medianamente ácidos a ligeramente ácidos. Específicamente para el rango de 6.1-6.5 en el cual se encuentran la UE 1, 2 y 6 (Osorio, 2012) menciona que aquí se da una condición adecuada para la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Estudios forestales indican que un pH de 5.2 a 7.0 es óptimo para el crecimiento de la vegetación, ya que en este intervalo los árboles disponen de una reserva apropiada de macro y micronutrientes (Amacher et al., 2007; Costello et al., 2003), con posibles deficiencias quizás de P y Zn (Samson, 2017).

4.1.2. Conductividad eléctrica

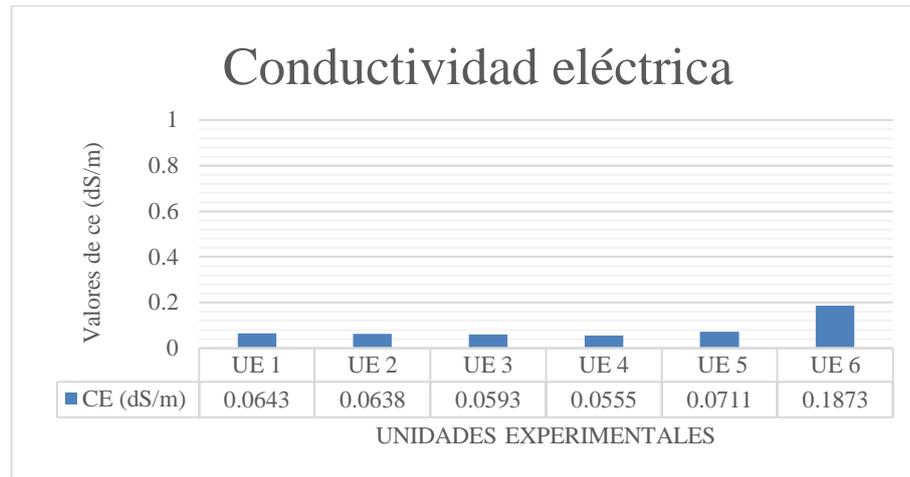


Ilustración 4-2: Conductividad eléctrica

Realizado por: Freire, R., 2024.

En la ilustración 4-2 los valores de la CE de las unidades experimentales 1 a 5 no varía de manera significativa ya que estos oscilan entre 0,05 dS/m a 0.07 dS/m, en promedio se tiene $0,0628 \pm 0,05$ dS/m. Únicamente la UE 6 posee un valor más elevado de 0.1873 lo que quiere decir que en esta área existe levemente una mayor concentración de sales minerales, lo cual se evidencia en las ilustraciones 4-7, 4-8 y 4-9 las cuales muestran que en esta unidad experimental se presentan los valores más altos de Ca, Mg y K, elementos que se relacionan directamente con este parámetro.

Sin embargo, todos los valores monitoreados se encuentran por debajo de 2 dS/m, que de acuerdo a lo descrito por (Bonta, 2011, pág. 22) significa que son suelos no salinos. Así mismo Castellanos (2000) menciona que suelos con conductividad eléctrica menor a 1 dS/m no presentan restricción para el crecimiento vegetal. A pesar de esto Gong (2022) argumenta que, si el valor de la conductividad eléctrica es demasiado bajo, indica que los nutrientes eficaces son insuficientes, lo que concuerda con el presente estudio, ya que en la mayoría de las unidades experimentales se dan valores bajos de la mayoría de nutrientes analizados.

4.1.3. Capacidad de intercambio catiónico

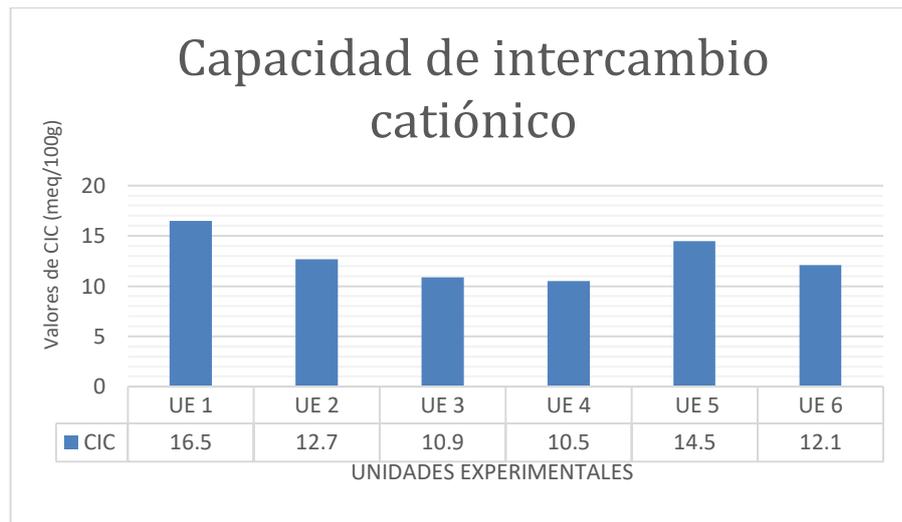


Ilustración 4-3: Capacidad de Intercambio Catiónico

Realizado por: Freire, R., 2024.

El valor más alto de CIC fue de 16.5 meq/100g y se encontró en la UE 1, por otra parte, de las unidades 2 a 6 los valores fluctúan entre 10.5 a 14.5 meq/100g que corresponde mayormente a suelos franco arenosos. En promedio la CIC en el transecto es de $12,87 \pm 2,28$. Según Moro (2013) una CIC sobre 10 meq/100g es adecuada e indica una alta capacidad para mantener cationes. Sin embargo, en este estudio se evidencia que la mayoría de las UE no registran valores óptimos en cuanto a los cationes intercambiables, lo que se debe principalmente al relieve y las condiciones climáticas del área de estudio, el cual posee un terreno desigual donde se presentan altas precipitaciones la mayor parte del año, lo cual tiene como resultado pérdidas por lixiviado (ver ilustración 4-10).

De acuerdo con Balland (1984; Gagnard et al. 1988 citado en Larios, 2014) el criterio de los valores de CIC comprendidos entre 10 y 20 meq/100g se consideran normales y, entre 20 y 30 meq/100g altos específicamente para suelos forestales. En base a dicho criterio, en el caso del refugio de vida silvestre los valores de CIC son normales ya que se encuentran en un rango de 10,5 a 16,5 meq/100g.

4.1.4. *Materia orgánica*

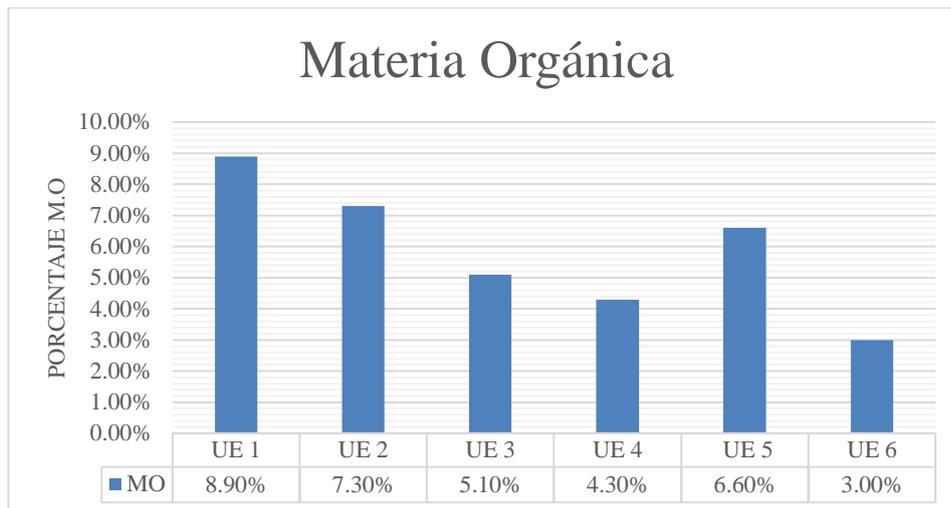


Ilustración 4-4: Materia orgánica del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

Como se evidencia en la ilustración 4-4 los valores porcentuales más bajos de MO se encuentran en las UE 4 y 6 correspondientes a 4,30 % y 3,00 % respectivamente. Dado que los suelos son de tipo franco arenosos, estos naturalmente poseen un menor contenido de MO que los suelos arcillosos. Además, se presenta un cambio de uso específicamente en la UE 6 de suelo (de forestal a potrero) y según Cantú y Yáñez (2018) la modificación en el uso del suelo tiene el potencial de provocar cambios significativos en la cobertura vegetal, generando alteraciones en las propiedades químicas, lo que podría resultar en niveles reducidos de MO. Según Molina (2007) los suelos que presentan menos del 2% de materia orgánica tienen un contenido bajo, mientras que aquellos con un rango de 2 a 5% se consideran de contenido medio, entonces es deseable que el valor supere el 5%. En este caso ninguna UE presentó valores por debajo del 2%, la mayoría presenta valores deseables de 3,0% a 8,9%. Así mismo, según Giménez y Bratos (1985, citado en Micó, 2005) para suelos de tipo francos los niveles de la materia orgánica son los siguientes: muy bajo de 0-1.5 %, bajo de 1.5-2 %, normal de 2-3 %, alto de 3-3.75 % y muy alto mayores a 3.75 %. Dado que los suelos analizados corresponden a franco arenosos se tomó en cuenta esta valoración donde todas las UE presentarían valores altos de MO.

4.1.5. Relación entre pH, CIC y MO

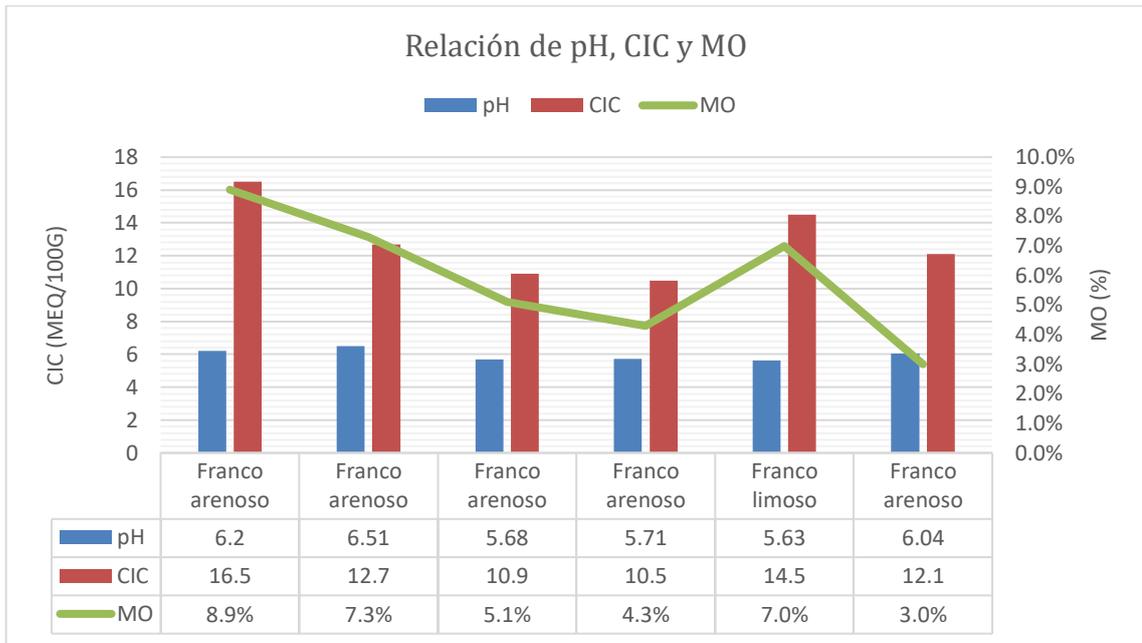


Ilustración 4-5: Relación pH, CIC y MO

Realizado por: Freire, R., 2024.

En la ilustración 4-5 se puede observar la relación entre los parámetros de pH, CIC y MO de lo cual podemos corroborar que en la mayoría de las unidades experimentales (1-5) se da una relación prácticamente directa entre la CIC y la materia orgánica a excepción de la UE 6, esto podría estar relacionado a la cantidad de sales que se presenta en esta unidad, donde la CIC probablemente no se vería afectada de manera directa por la MO. Además, la materia orgánica de acuerdo a Giménez y Bratos (1985, citado en Micó, 2005) está en un nivel alto por poseer un valor del 3% por lo que no sería una relación inversa. Para contrastar con la información descrita, se puede tomar en cuenta la localización del área de estudio y su relieve. Según Sánchez, et al. (2020) los piedemontes que se extienden sobre Pastaza y Morona Santiago registran precipitaciones medias aproximadas de 5000 mm; tienen buenas condiciones de drenaje; son ligeramente ácidos (pH 5,9), con alto contenido de materia orgánica (> 3,2%) y CIC entre 5 a 10 cmol kg⁻¹; condiciones que no son favorables para retener los cationes esenciales para la nutrición de las plantas. En la ilustración 4-11 se observa que no hay una elevada cantidad de cationes esenciales por lo tanto en estos tipos de suelos no se recomienda el desarrollo de la agricultura y ganadería. Sin embargo el contenido de CIC en los suelos del refugio de vida silvestre son más altos que los mencionados comúnmente en esta zona, por lo cual también se considerara como un suelo adecuado.

4.1.6. Macronutrientes primarios

4.1.6.1. % Nitrógeno total

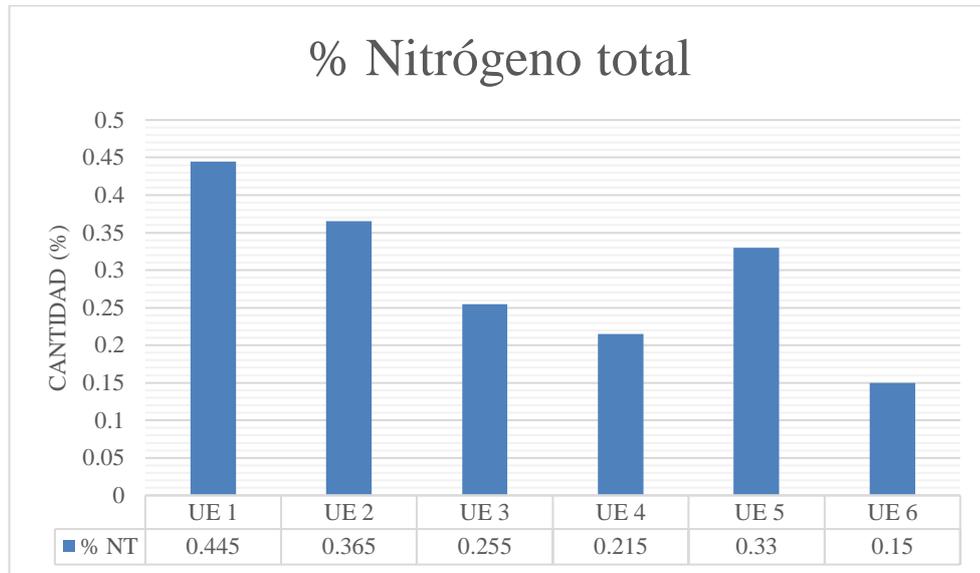


Ilustración 4-6: NT del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

El valor más alto de nitrógeno, como se aprecia en la ilustración 4-6, fue de 0.45%, correspondiente a la UE 1, mientras que el valor más bajo fue en la UE 6, con un 0.15%. Estos resultados se encuentran dentro del rango de referencia establecido por Amacher et al. (2007), quienes sugieren que los niveles óptimos de nitrógeno oscilan entre el 0.1% y el 0.5%.

La cantidad de nitrógeno obtenida representa aproximadamente el 5% de la materia orgánica presente en el suelo (ver ilustración 4-4). Este resultado concuerda con lo reportado por Ottos (2015, págs. 3-38), quien destaca la estrecha relación entre la cantidad de materia orgánica y el nitrógeno total del suelo. Ottos menciona que el contenido promedio de nitrógeno en la materia orgánica del suelo suele situarse alrededor del 5%, con variaciones habituales que oscilan entre el 4% y el 6%.

Según Kang et al. (2023), los suelos forestales son importantes reservorios de nitrógeno y desempeñan un papel vital en el mantenimiento de los ciclos del carbono y el nitrógeno de los ecosistemas forestales, así como en la estabilidad de los ecosistemas. Estudios anteriores han demostrado que el contenido de nitrógeno de la superficie del suelo (0–30 cm) es más importante para los bosques que otros nutrientes.

4.1.6.2. Fósforo

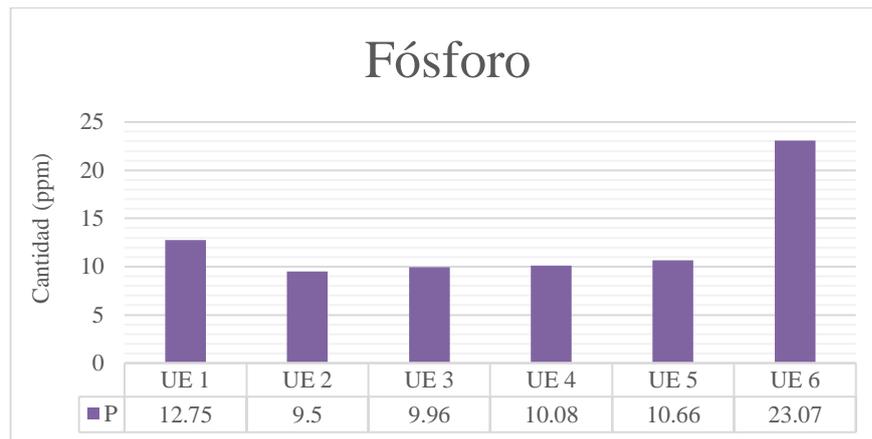


Ilustración 4-7: Fósforo del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

Las unidades experimentales 2 y 3 registraron los valores más bajos, menores a 10 ppm entrando en el nivel bajo. Pero en las UE 1, 4, 5 y 6 se obtuvieron valores de 10,08 a 23,07 los cuales se encuentran en el rango de 10-30 que representan un contenido moderado de este elemento lo que significa que presenta niveles adecuados y óptimos para el crecimiento de las plantas específicamente para suelos forestales. En términos generales el promedio del fósforo fue de $12,67 \pm 5,2$. Según (Méndez y Bertsch, 2012) el P puede ser escaso debido a reacciones diversas donde es absorbido o retenido, alcanzando su máxima solubilidad en el rango de pH entre 5,5 y 6,5 como en el caso de las muestras obtenidas en todas las UE. Así mismo Méndez y Bertsch (2012) mencionan que el nivel crítico general definido para la mayoría de los suelos y cultivos es de 10 mg/L. Rojas (2018, pág.7) confirma que la máxima disponibilidad de fósforo se observa en un rango óptimo de pH del suelo que va de 6,5 a 7,5. Por lo tanto, en rangos de pH ácido hasta 6,5, se disminuye la solubilidad de los fosfatos de hierro y aluminio, incrementando simultáneamente la solubilidad de las formas ligadas al calcio.

4.1.7. Cationes Cambiables o bases: Ca, Mg, K

4.1.7.1. Calcio

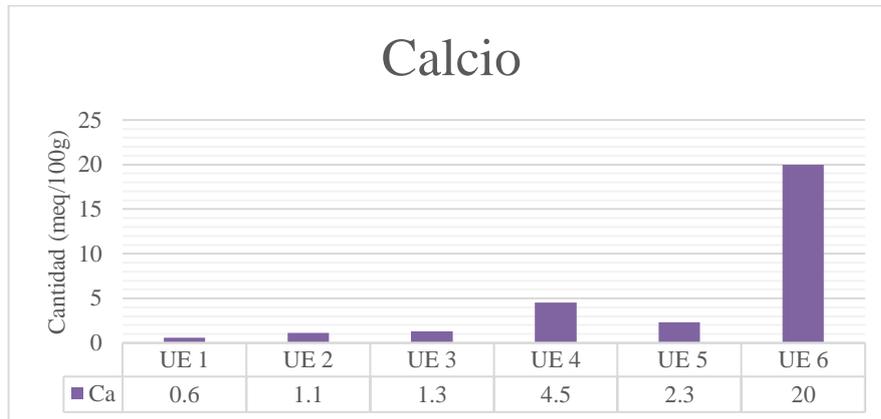


Ilustración 4-8: Calcio del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

La ilustración 4-8 revela una marcada variabilidad en los niveles de calcio entre las unidades experimentales analizadas. Se destaca que la concentración más alta de calcio, registrada en 20 meq/100g, corresponde a la UE 6, seguida por la UE 4 con 4.5 meq/100g. En contraste, las concentraciones en las UEs 2, 3 y 5 son considerablemente más bajas, situándose por debajo de los 4 meq/100g, mientras que la UE 1 muestra la concentración más baja, apenas 0.6 meq/100g.

Esta variabilidad puede estar influenciada por diversos factores, como la mineralogía del suelo y la actividad microbiana, según sugieren Osorio et al. (2022, págs. 93-108). De acuerdo con Amacher (2007), la disponibilidad de calcio en el suelo se clasifica como moderada a alta. Este hallazgo concuerda con las observaciones de Ruiz (1997), quien señala que, en suelos agroforestales, la deficiencia de calcio es poco común en comparación con otros nutrientes.

4.1.7.2. Magnesio

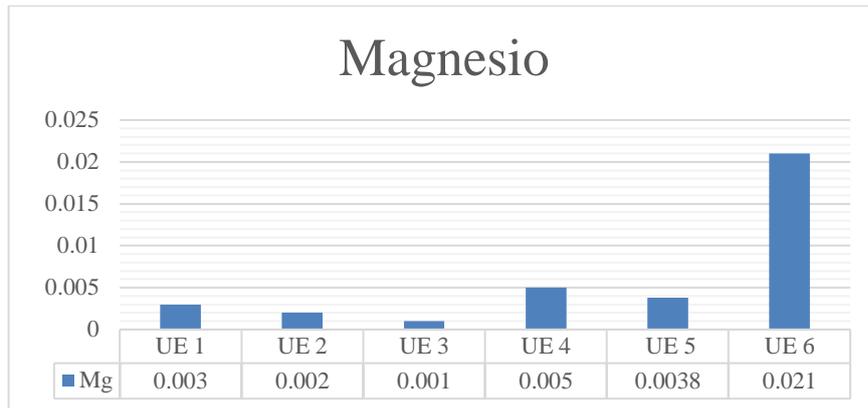


Ilustración 4-9: Magnesio del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

En este gráfico se pueden ver los valores del contenido de magnesio los cuales oscilan entre 0.003 a 0.021 meq/100g, el más bajo correspondiente a la UE 3 y el más alto a la UE 5. En tanto se observa que los valores del Mg no varían significativamente en todas las unidades experimentales ya que se encuentran por debajo de 1 meq/100g, y en base a la tabla de interpretación de Molina y Meléndez (2002 citado en Elizondo, 2019, pág. 13) representa el nivel bajo, lo que quiere decir que existe una deficiencia significativa de este elemento en todas las muestras de suelo obtenidas de cada unidad experimental.

4.1.7.3. Potasio

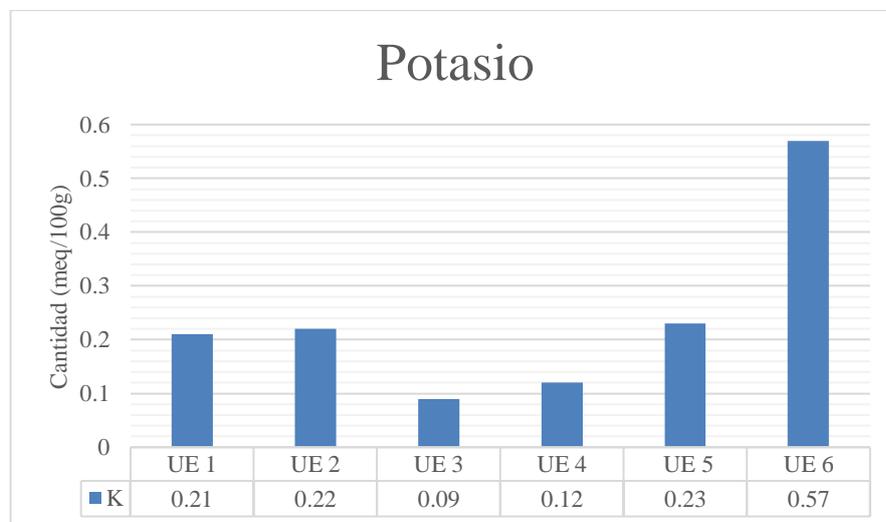


Ilustración 4-10: Potasio del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

En base a la ilustración 4-8, los valores del potasio en todas las UE se encuentran por debajo de 0.6 meq/100g, siendo los más bajo de 0.09 y 0.12 meq/100g correspondientes a la UE 3 y 4 respectivamente. Las UE 1, 2 y 5 poseen valores de 0.21, 0.22 y 0.23 meq/100g respectivamente los cuales se encuentran en un nivel medio, mientras que el valor más elevado registrado fue de 0.57 meq/100g en la UE 6, el único que pertenece al nivel óptimo. Según Garrido (1993) son ricos en potasio los suelos que se abonan frecuentemente con estiércol, en el caso de la UE 5 y 6 donde se encuentran los valores más elevados corresponde a zonas de potrero donde el suelo se abona con estiércol de vaca.

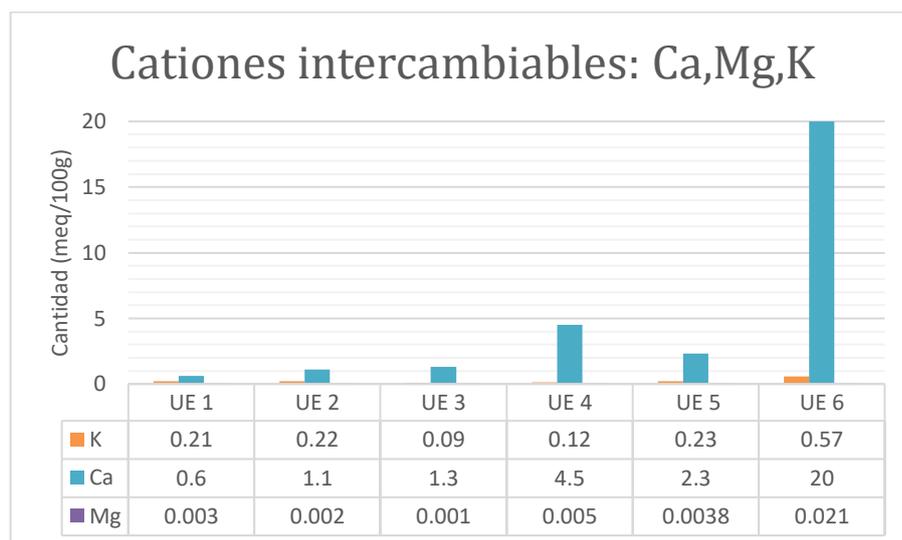


Ilustración 4-11: Cationes intercambiables

Realizado por: Freire, R., 2024.

En esta gráfica se muestran en conjunto el potasio, calcio y magnesio; donde se observa que la unidad 6 es la que posee los valores más elevados de los cationes mencionados y se podría relacionar directamente con la CE de la ilustración 4-2. Otro factor que influye podría ser la cercanía al río, ya que este puede contener dichos cationes, elevando el contenido de nutrientes en el suelo en estas zonas (ver ilustración 4-15).

Sin embargo, en la mayoría de las unidades experimentales se presentaron valores bajos a muy bajos, lo que, según Acevedo, et al. (2010) estos valores pueden ser considerados como un nivel crítico debido a las elevadas precipitaciones y a la pendiente del terreno, lo cual concuerda con el área de estudio. Así mismo Valarezo (2004 citado en Díaz, 2018) menciona que una de las razones por las que se dan estos valores bajos es el resultado de altas precipitaciones, altas temperaturas, lixiviación progresiva en suelos de trópico húmedo (Méndez et al., 2012) y coinciden con que niveles bajos de Ca y Mg se encuentran frecuentemente en regiones de alta precipitación (pérdidas por

lixiviado) y en zonas con materiales parentales naturalmente pobres en dichos elementos como se da en esta región de la amazonia ecuatoriana.

4.1.8. Micronutrientes: Fe, Mn, Zn

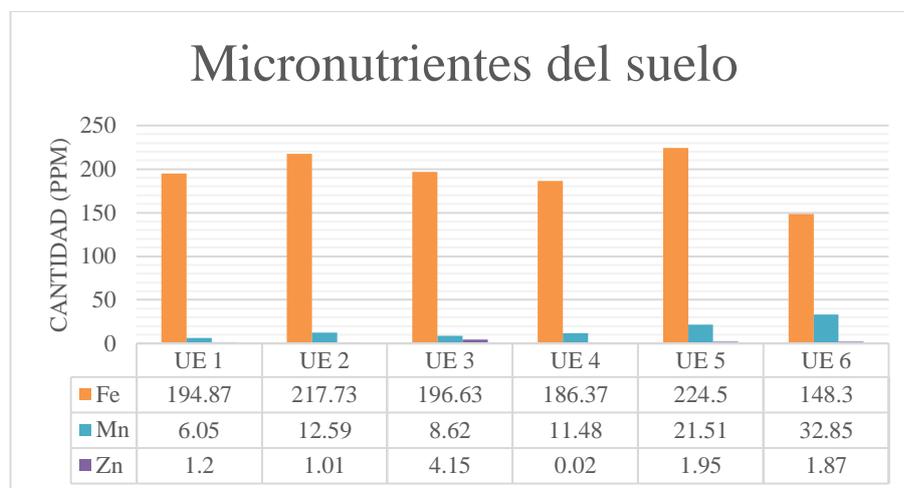


Ilustración 4-12: Micronutrientes del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

En la ilustración 4-12 se pueden visibilizar los valores del Hierro, Manganeso y Zinc de las UE, de lo cual claramente se observa que hay una gran diferencia entre el contenido de Fe en comparación con el Mn y el Zn. Para el Fe los valores no difieren considerablemente y fluctúan entre 148,3 ppm y 224,5 ppm, lo que en promedio da un valor de $194,7 \pm 27,0$. Según Pérez (2013) el intervalo óptimo de hierro (Fe) va de 10 a 50 mg/L, por lo tanto, en todas las unidades experimentales existe un exceso de Fe, ya que presentaron valores mayores a 100 mg/L. Según Bravo, et al. (2017) estos valores elevados se deben principalmente al material parental sobre el cual se desarrollan los suelos de la amazonia ecuatoriana, que por su naturaleza son muy pobres en bases intercambiables y que, por el contrario, pueden ser muy ricos en hierro, lo que hace que el porcentaje de saturación con bases de estos suelos sea muy bajo y generalmente ácido. Además, de acuerdo con Custode y Sourdat (1986 citado en (Bravo et al, 2015) estos factores hacen que en la fracción de intercambio predominen principalmente elementos como el hierro, producto del proceso de ferralitización que se ve favorecido en condiciones amazónicas por las altas precipitaciones y donde se han lavado las bases intercambiables como el calcio y magnesio lo cual se puede comprobar en la ilustración 4-11.

Por otro lado, con respecto al Mn el valor más bajo se encuentra en la UE 1 con 6.05 ppm y el más alto en la UE 6 de 32.85 ppm, todas las UE presentan valores óptimos de este micronutriente ya que no presentaría ningún efecto tóxico para el crecimiento de las plantas.

Con respecto al Zn, este posee los valores más bajos entre todos los micronutrientes analizados, siendo el más deficiente la UE 4 con un valor de 0.02 ppm y el más abundante la UE 3 con un valor de 4.15 ppm. Según Wallace (1970) por lo general en suelos tropicales es común el lavado de este micronutriente, particularmente en suelos franco-arenosos como es el caso del refugio.

4.2. Establecer la calidad del suelo en base a los indicadores químicos identificados

4.2.1. Evaluación de los indicadores de calidad del suelo

4.2.1.1. pH

Tabla 4-2: Evaluación del pH

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	6,2	5.51 - 6.8	Ligeramente ácido: óptimo para muchas especies de plantas, particularmente para las especies más tolerantes a los ácidos.	2
2	6,51	5.51 - 6.8	Ligeramente ácido: óptimo para muchas especies de plantas, particularmente para las especies más tolerantes a los ácidos	2
3	5,68	5.51 - 6.8	Ligeramente ácido: óptimo para muchas especies de plantas, particularmente para las especies más tolerantes a los ácidos	2
4	5,71	5.51 - 6.8	Ligeramente ácido: óptimo para muchas especies de plantas, particularmente para las especies más tolerantes a los ácidos	2
5	5,63	5.51 - 6.8	Ligeramente ácido: óptimo para muchas especies de plantas, particularmente para las especies más tolerantes a los ácidos	2
6	6,04	5.51 - 6.8	Ligeramente ácido: óptimo para muchas especies de plantas, particularmente para las especies más tolerantes a los ácidos	2

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.2. Nitrógeno total (%)

Tabla 4-3: Evaluación del NT (%)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	0,45	0.1 - 0.5	Moderado - niveles adecuados	1
2	0,37	0.1 - 0.5	Moderado - niveles adecuados	1
3	0,26	0.1 - 0.5	Moderado - niveles adecuados	1
4	0,22	0.1 - 0.5	Moderado - niveles adecuados	1
5	0,33	0.1 - 0.5	Moderado - niveles adecuados	1
6	0,15	0.1 - 0.5	Moderado - niveles adecuados	1

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.3. Evaluación de Materia orgánica

Tabla 4-4: Evaluación de MO (%)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	8,9%	> 3	Alto	2
2	7,3%	> 3	Alto	2
3	5,1%	> 3	Alto	2
4	4,3%	> 3	Alto	2
5	7,0%	> 3	Alto	2
6	3,0%	2-3	Medio	1

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.4. Evaluación de Capacidad de intercambio catiónico

Tabla 4-5: Evaluación de CIC (meq/100g)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	16,5	10-20	Medio	1
2	12,7	10-20	Medio	1
3	10,9	10-20	Medio	1
4	10,5	10-20	Medio	1
5	14,5	10-20	Medio	1
6	12,1	10-20	Medio	1

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.5. Evaluación de Potasio

Tabla 4-6: Evaluación de K (mg/kg)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	82,1	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
2	86	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
3	35,2	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
4	46,9	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
5	89,9	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
6	222,9	100 - 500	Moderado - niveles adecuados para la mayoría de las plantas	1

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.6. Evaluación de Calcio

Tabla 4-7: Evaluación de Ca (mg/kg)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	120,2	101 - 1000	Moderado: niveles adecuados para la mayoría de las plantas	1
2	220,4	101 - 1000	Moderado: niveles adecuados para la mayoría de las plantas	1
3	260,5	101 - 1000	Moderado: niveles adecuados para la mayoría de las plantas	1
4	901,8	101 - 1000	Moderado: niveles adecuados para la mayoría de las plantas	1
5	460,9	101 - 1000	Moderado: niveles adecuados para la mayoría de las plantas	1
6	4007,8	> 1000	Alto - excelente reserva, probablemente suelo calcáreo	2

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.7. Evaluación de Mg

Tabla 4-8: Evaluación de Mg (mg/kg)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	0,4	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
2	0,2	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
3	0,1	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
4	0,6	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
5	0,5	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0
6	2,6	< 100	Bajo - posibles deficiencias	0

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.8. Evaluación de Manganeso

Tabla 4-9: Evaluación de Mn (mg/kg)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	6,05	1 - 10	Bajo: efectos adversos poco probables, posibles deficiencias	1
2	12,59	11 to 100	Moderado: efectos adversos o deficiencias menos probables	1
3	8,62	1 - 10	Bajo: efectos adversos poco probables, posibles deficiencias	1
4	11,48	11 to 100	Moderado: efectos adversos o deficiencias menos probables	1
5	21,51	11 to 100	Moderado: efectos adversos o deficiencias menos probables	1
6	32,85	11 to 100	Moderado: efectos adversos o deficiencias menos probables	1

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.9. Evaluación de Hierro

Tabla 4-10: Evaluación de Fe (mg/kg)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	194,87	> 10	Alto - efectos desconocidos	1
2	217,73	> 10	Alto - efectos desconocidos	1
3	196,63	> 10	Alto - efectos desconocidos	1
4	186,37	> 10	Alto - efectos desconocidos	1
5	224,5	> 10	Alto - efectos desconocidos	1
6	148,3	> 10	Alto - efectos desconocidos	1

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.10. Evaluación de Zinc

Tabla 4-11: Evaluación de Zn (mg/kg)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	1,2	1 - 10	Moderado: efectos desconocidos, pero efectos adversos poco probables	1
2	1,01	1 - 10	Moderado: efectos desconocidos, pero efectos adversos poco probables	1
3	4,15	1 - 10	Moderado: efectos desconocidos, pero efectos adversos poco probables	1
4	0,02	< 1	Bajo - posibles deficiencias en suelos calcáreos o arenosos.	0
5	1,95	1 - 10	Moderado: efectos desconocidos, pero efectos adversos poco probables	1
6	1,87	1 - 10	Moderado: efectos desconocidos, pero efectos adversos poco probables	1

Realizado por: Freire, R., 2024.

4.2.1.11. Evaluación de Fósforo

Tabla 4-12: Evaluación de P (mg/kg)

UE	Análisis químico	Indicador	Descripción	Evaluación
1	12,75	10-30	Moderado: niveles adecuados para el crecimiento de las plantas.	1
2	9,5	< 10	Bajo - Posibles deficiencias de P	0
3	9,96	< 10	Bajo - Posibles deficiencias de P	0
4	10,08	10-30	Moderado: niveles adecuados para el crecimiento de las plantas.	1
5	10,66	10-30	Moderado: niveles adecuados para el crecimiento de las plantas.	1
6	23,07	10-30	Moderado: niveles adecuados para el crecimiento de las plantas.	1

Realizado por: Freire, R., 2024.

Tabla 4-13: Evaluación de la calidad del suelo en base a los indicadores químicos del suelo

Indicador	Uso de suelo forestal				Potrero	Uso dual
	UE 1	UE 2	UE 3	UE 4	UE 5	UE 6
pH	2	2	2	2	2	2
NT (%)	1	1	1	1	1	1
K	0	0	0	0	0	1
Mg	0	0	0	0	0	0
Ca	1	1	1	1	1	2
Mn	1	1	1	1	1	1
Fe	1	1	1	1	1	1
Zn	1	1	1	0	1	1
P	1	0	0	1	1	1
MO	2	2	2	2	2	2
CIC	1	1	1	1	1	1
Σ individual de propiedades del suelo	11	10	10	10	11	12
ICS (%)	61,11	55,56	55,56	55,56	61,11	66,67

Realizado por: Freire, R., 2024.

Como se aprecia en la tabla 4-13 siguiendo la metodología propuesta por la USDA para establecer la calidad del suelo, se puede observar que la unidad experimental 6 presentó el valor más alto de 66,67%, seguido de las UE 1 y 5 con 61,11% y finalmente las UE 2, 3 y 4 con valores de 55,56%. Según el rango de calidad propuesto por (Ramirez et al, 2022) dichos valores corresponden a un nivel alto de calidad de suelo. Y por tanto todos los suelos se consideran buenos por disponer principalmente de un pH óptimo, por poseer buenos niveles de nitrógeno y porque en la mayoría de las UE los valores de la materia orgánica son altos. Pese a que la UE 5 y la 6 ya presentan cambio en el uso del suelo por actividades antropogénicas, las propiedades químicas son las últimas en verse alteradas por dicho impacto. Hecho que corrobora (PISCITELLI, 2015) al mencionar el orden de degradación de los suelos los cuales son: 1-Erosión, 2-Degradación física, 3-Degradación biológica y 4- Degradación química.

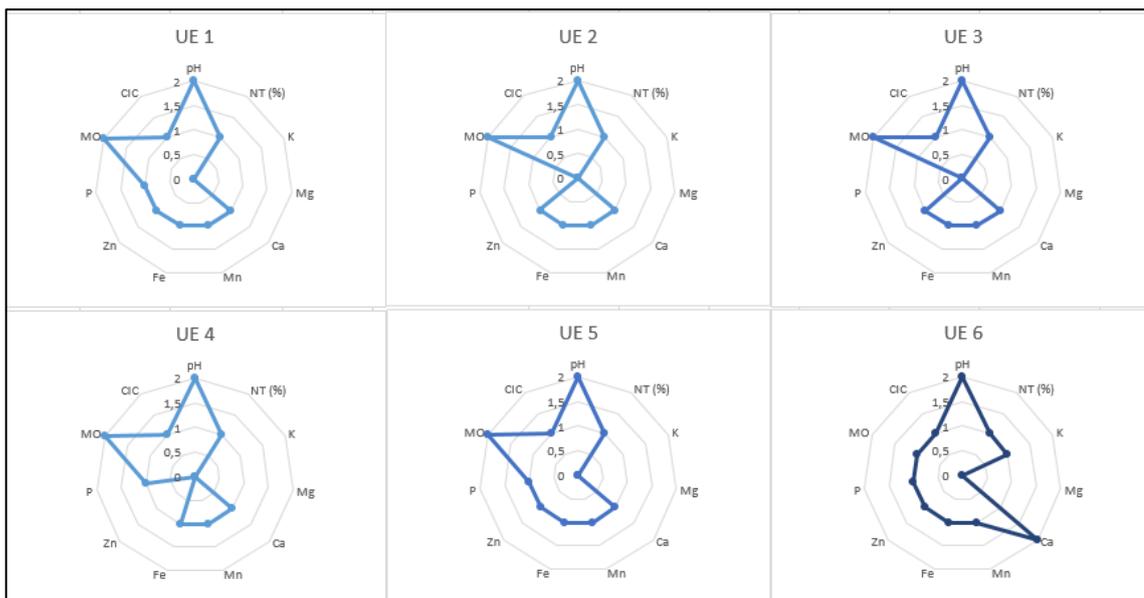


Ilustración 4-13: Calidad del suelo

Realizado por: Freire, R., 2024.

En la Ilustración 4-13, se presentan gráficos radiales que ilustran la evaluación de la calidad del suelo en diferentes unidades experimentales (UE), las cuales abarcan tres usos de suelo distintos. Estos gráficos comparan múltiples parámetros, incluyendo el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), así como los macro y micro elementos principales. Estos parámetros son fundamentales para comprender la calidad del suelo en cada una de las UE. Los valores, representados en una escala del 0 al 2, ilustran una mayor calidad del suelo cuanto más cercanos estén a 2.

Las unidades experimentales 1, 2, 3 y 4, cada una identificada por su uso forestal, exhibieron tendencias específicas en cuanto a la calidad del suelo. Aunque mostraron niveles óptimos de pH

y materia orgánica, se identificaron deficiencias en el CIC y los macro y micro elementos. Entre estas unidades, la UE 1 sobresalió como la que presenta la mejor calidad de suelo en comparación con las demás. La tendencia hacia valores óptimos de pH y materia orgánica en las unidades forestales sugiere una buena capacidad de estos suelos para albergar una diversidad de organismos y mantener la productividad vegetal (Jones y Olson, 2017, págs. 2-13). Sin embargo, la deficiencia en el CIC y en los macro y micro elementos observada en estas unidades resalta la necesidad de implementar prácticas de manejo específicas para mejorar la fertilidad del suelo, como la aplicación controlada de nutrientes (Gutiérrez et al., 2015, págs. 201-215).

Por otro lado, la UE 5, destinada al uso de suelo como potrero, exhibió características similares a las unidades forestales, resaltando una equivalencia notable con la UE 1 en cuanto a la calidad del suelo. Esta similitud en las características del suelo entre las unidades forestales y aquellas utilizadas como potreros sugiere una capacidad relativa del suelo para mantener su calidad a pesar de los cambios en el uso de la tierra. Según Tsegaye (2019, págs. 26-34), investigaciones han demostrado la capacidad de recuperación de los suelos frente a ciertos tipos de cambios en el uso de suelo.

En cuanto a la UE 6, que tiene un uso dual de suelo (forestal y potrero), se observó una calidad del suelo relativamente buena en todos los parámetros, especialmente en el pH y el calcio. Esta unidad se destacó por presentar un polígono más regular donde la mayoría de los indicadores mostraron valores óptimos, lo que indica una mayor uniformidad en la calidad del suelo en comparación con las otras unidades. Esta uniformidad podría estar relacionada con la integración de diferentes prácticas de manejo. De acuerdo con Calle et al. (2012, págs. 32-40), el pastoreo puede contribuir al mantenimiento de las complejas redes tróficas en los suelos y a la restauración de la fertilidad de las tierras, lo que resalta la importancia de diversificar los usos del suelo para mejorar su estabilidad y fertilidad.

Es esencial destacar que se ha encontrado una insuficiencia de magnesio (Mg) en todas las unidades experimentales. De acuerdo con Intagri (2023, pág. 1), las pérdidas de Mg en el suelo pueden surgir debido a diversos factores como la lixiviación, la absorción por microorganismos, la baja retención de cationes en el suelo y la precipitación por minerales secundarios. Esta falta de magnesio se convierte en un elemento crítico que restringe la producción de cultivos (Cakmak y Yazici, 2010, citado en CompoExpert, 2020, pág. 2). Este hallazgo resalta la importancia de abordar este aspecto específico para mejorar la fertilidad del suelo y garantizar condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de la vegetación.

4.3. Mapas de las características químicas de los suelos en el transecto altitudinal

4.3.1. Mapa de pH

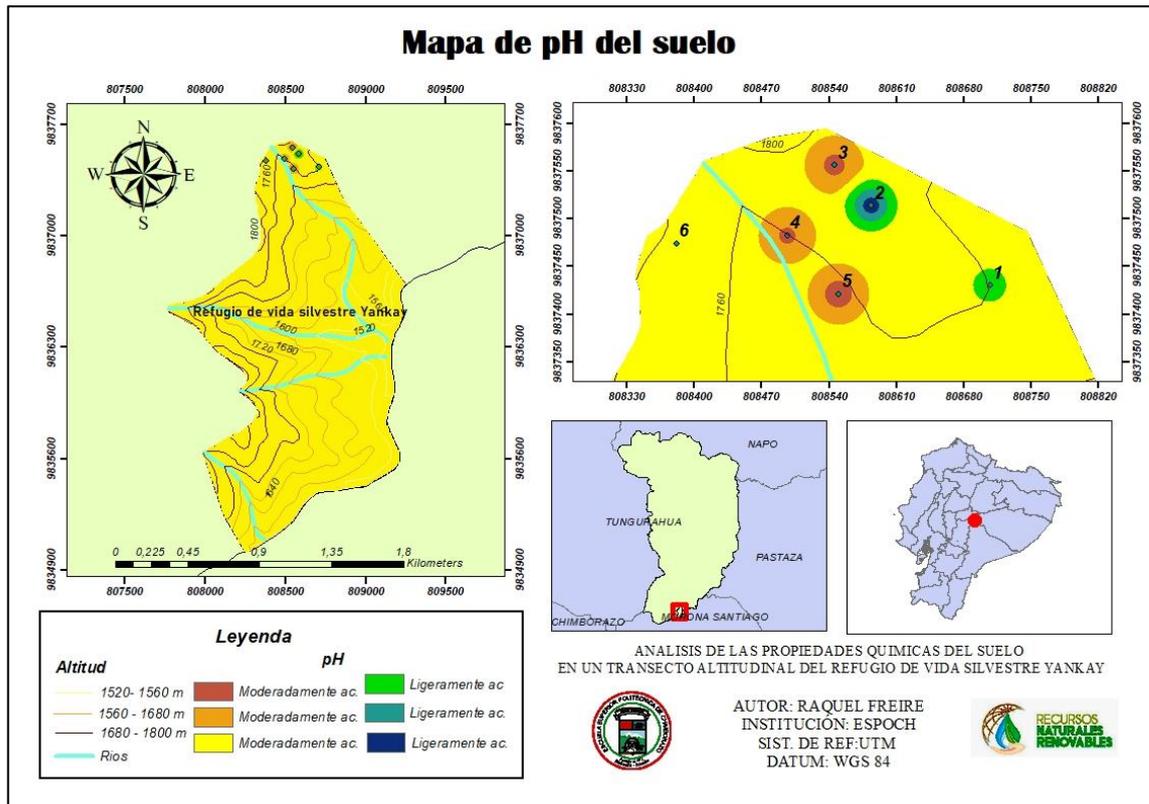


Ilustración 4-14: Interpolación del pH

Realizado por: Freire, R., 2024.

El pH de los suelos en el refugio se sitúa dentro de un rango adecuado para mantener una calidad óptima del suelo, mostrando niveles moderados a ligeramente ácidos. Es interesante destacar que el pH, especialmente en las UE 1 y 2, es menos ácido que en otras áreas, dado que estas zonas se utilizan exclusivamente con propósitos forestales. De acuerdo con Ayut (2019, págs 1-2.), un pH ligeramente ácido en el suelo favorece el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Por otro lado, en las UE dedicadas al uso de suelo potrero, según lo indicado por Intagri (2021, pág.1), la aplicación de estiércol puede provocar tanto un aumento como una disminución en la acidez del suelo. La descomposición de la materia orgánica genera ácidos orgánicos e inorgánicos, lo que contribuye a una cierta acidez, aunque generalmente, el estiércol contiene suficientes cationes básicos para neutralizar estos ácidos.

4.3.2. Mapa de Conductividad eléctrica

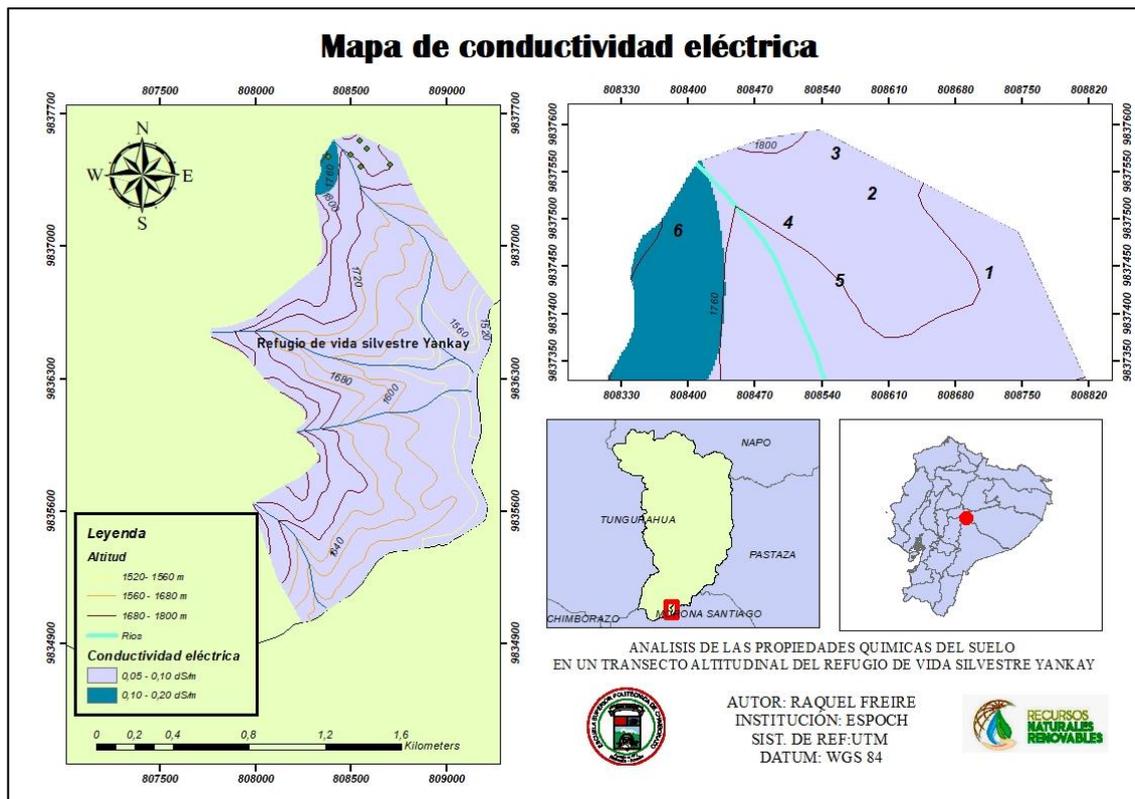


Ilustración 4-15: Interpolación de CE

Realizado por: Freire, R., 2024.

En la ilustración 4-15, se puede observar que solamente la UE 6 presenta el valor más alto de Conductividad Eléctrica (CE), mientras que las otras unidades muestran niveles similares, todos por debajo de 0,088 dS/m. Según Trejo et al. (2013, págs. 3-4), dosis elevadas de estiércol pueden aumentar considerablemente la conductividad eléctrica del suelo, ya que la descomposición del estiércol libera grandes cantidades de aniones y cationes, lo que resulta en un incremento de la salinidad del suelo. Además, la influencia del agua del río puede contribuir al transporte de sales disueltas que incrementan la conductividad eléctrica del suelo en las áreas cercanas. De acuerdo con las observaciones de Omuto (2021, pág. 5), las sales solubles depositadas en el suelo durante la evaporación del agua se acumulan progresivamente con el tiempo, dando lugar a la formación de suelos salinos.

4.3.3. Mapa de CIC

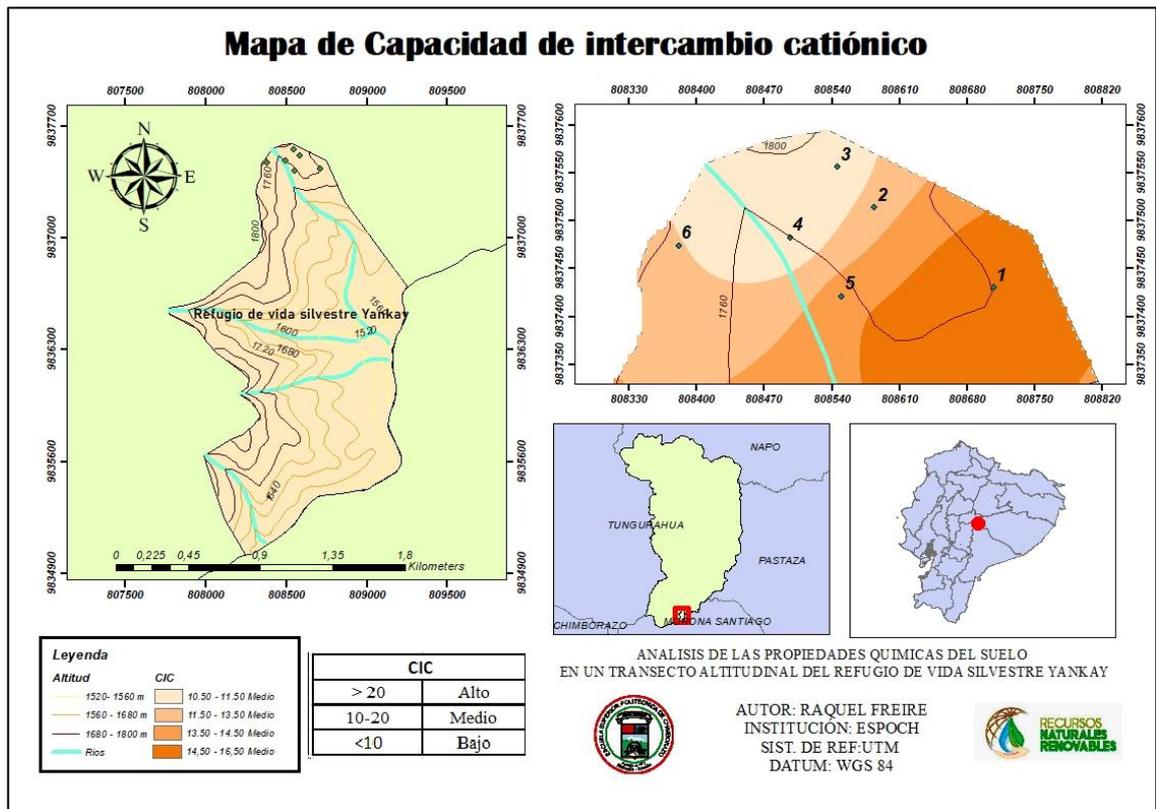


Ilustración 4-16: Interpolación de CIC

Realizado por: Freire, R., 2024.

Como se observa en la ilustración 4-16, todas las unidades experimentales se ubican dentro del rango medio de los valores del Índice de Cationes Intercambiables (CIC), lo que sugiere condiciones adecuadas para suelos forestales. El CIC es un indicador crucial de la fertilidad del suelo, ya que refleja la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. En este contexto, valores más altos de CIC suelen asociarse con suelos más ricos en nutrientes y con una mayor capacidad para mantener la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Nostoc, 2022, pág.1). En este caso, las UE 1, 2 y 5 destacan dentro de esta categoría.

Al analizar la distribución espacial de los valores de CIC, se revela un patrón de aumento gradual al desplazarse hacia el sureste. Este fenómeno puede ser resultado de una interacción compleja entre varios factores ambientales y geográficos. Según Fong (2019, pág. 2), la topografía ejerce una influencia significativa en la distribución de los nutrientes del suelo, ya que afecta procesos como la erosión y el transporte de minerales. Por otro lado, la vegetación circundante puede desempeñar un papel importante en la acumulación de materia orgánica y nutrientes en el suelo, como lo sugiere García (2022, pág. 1). Además, la composición mineralógica del suelo, como señala Intagri

(2020), puede tener un impacto directo en su capacidad de intercambio catiónico y, por ende, en su fertilidad.

4.3.4. Mapa de Materia orgánica

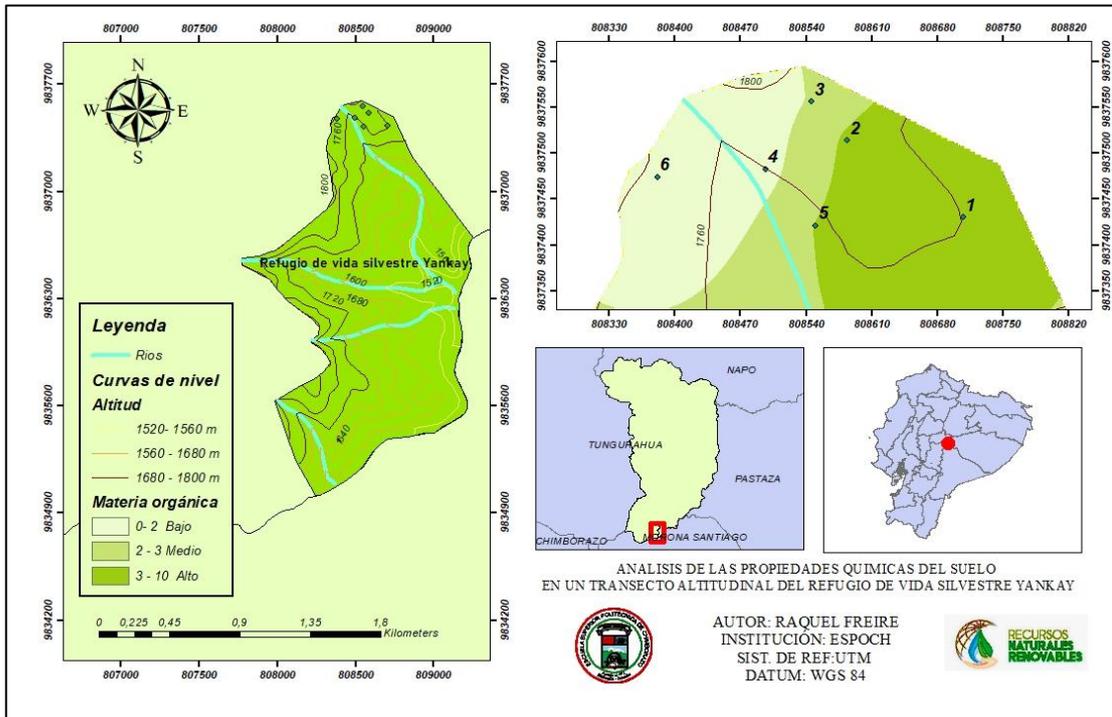


Ilustración 4-17: Interpolación de MO

Realizado por: Freire, R., 2024.

En la ilustración 4-17, se resalta que las unidades experimentales 1, 2 y 5 muestran un elevado contenido de materia orgánica, lo que guarda una estrecha relación con los niveles de CIC observados en la ilustración 4-16. La presencia de materia orgánica en el suelo no solo mejora su capacidad para retener agua, sino que también contribuye significativamente a su capacidad de intercambio catiónico, lo que está directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, según señala Quideu et al. (2019, págs. 1-3).

Al analizar los patrones espaciales, se revela una tendencia de aumento en los niveles de materia orgánica de oeste a este, un fenómeno que puede estar influenciado por diversos factores como el clima, el material parental, los organismos del suelo, la textura del suelo y el uso del suelo. De acuerdo con Ritter (2019, págs. 1-5), el clima impacta la vegetación y la actividad microbiana, mientras que el tipo de roca madre determina la disponibilidad de nutrientes. Los organismos del suelo contribuyen a la descomposición de la materia orgánica, la textura del suelo influye en la

retención de agua y nutrientes, y el uso del suelo, como la agricultura, puede modificar la cantidad de materia orgánica presente.

CONCLUSIONES

El análisis químico del suelo en el transecto altitudinal del refugio de vida silvestre Yankay en conclusión ha proporcionado una visión detallada de su composición. Se encontró que los valores de pH son adecuados para el desarrollo vegetal en todas las unidades experimentales, aunque se detectó una ligera concentración adicional de sales minerales en la UE 6, según lo indicado por la conductividad eléctrica. Aunque la capacidad de intercambio catiónico y los niveles de materia orgánica se mantienen dentro de rangos normales, se identifican variaciones significativas en los niveles de nitrógeno total y fósforo entre las unidades, sugiriendo una posible influencia de factores ambientales específicos en su disponibilidad. Además, las concentraciones de calcio, magnesio y potasio varían entre las unidades, siendo bajas en la mayoría de ellas. En cuanto a los micronutrientes, se destaca un exceso de hierro en todas las unidades, mientras que el manganeso se mantiene en niveles óptimos y el zinc muestra deficiencias en la mayoría. Esta variabilidad en la disponibilidad de nutrientes a lo largo del transecto podría impactar la fertilidad del suelo y la productividad vegetal en diferentes áreas del refugio.

Con respecto a la calidad del suelo se realizó una evaluación en base a los indicadores establecidos por la USDA expresados en valores porcentuales. Se determinó que todos los suelos poseen una calidad alta ya que todas las UE registraron valores mayores al 55%. A pesar de que en 2 de las 6 UE se presenta cambio de uso de suelo de forestal a potrero por intervención antropogénica, en las propiedades químicas aún no se refleja una influencia directa y siguen manteniendo dichas propiedades. Es decir que todos los suelos analizados están en óptimas condiciones lo cual se evidencia por la abundante vegetación en todas las zonas monitoreadas.

La elaboración de mapas basados en el análisis de las propiedades químicas del suelo revela patrones claros de distribución espacial, lo que permite identificar áreas de alta y baja calidad en función de los indicadores químicos evaluados. Es destacable una diferencia significativa entre las primeras cinco unidades experimentales y la última, ubicada al otro lado del riachuelo, lo que sugiere la presencia de características distintivas influenciadas por factores ambientales locales, enfatizando la importancia de considerar la heterogeneidad del entorno en la evaluación de la calidad del suelo.

RECOMENDACIONES

- Continuar con investigaciones acerca de la calidad del suelo y su relación con la vegetación en el refugio de vida silvestre Yankay,
- Realizar estudios de análisis de la calidad del agua para triangular la información de esta investigación.
- Relacionar los valores de los parámetros estudiados con las propiedades físicas y biológicas

BIBLIOGRAFÍA

1. **AMACHER, Michael; et al.** *Soil Vital Signs: A New Soil Quality Index (SQI) for Assessing Forest Soil Health* [en línea]. USA: United States Department of Agriculture, 2007. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: https://www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs_rp065.pdf
2. **ANDERSON, Ben.** *Calcium in Soil: How It Helps Plants*. [blog]. [Consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.epicgardening.com/calcium-in-soil/>.
3. **AQM-LABORATORIO.** *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. [blog]. 2015. [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>.
4. **AYUT, A.** *Porque se necesita saber el nivel de pH del suelo* [blog]. Argentina: Amos, 2019. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/por-que-se-necesita-saber-el-nivel-de-ph-del-suelo.html>
5. **BAUTISTA, A. et al.** *La calidad del suelo y sus indicadores*. Oaxaca-México: S&N, 2004, pág.6.
6. **BERNIER, R & UNDÚRRUGA, P.** *Análisis de suelo. Metodología e interpretación*. Ecuador: Centro Regional de Investigación Remehue - INIAP, 199, págs. 1-10.
7. **BIMAL KANTI, Paul & HARUN, Rashid.** *Chapter Six - Land Use Change and Coastal Management*. EE.UU: Climatic Hazards in Coastal Bangladesh, 2017, pág. 183.
8. **BONTA, Alejandro.** "Interpretación de análisis de suelo". *Revista Frutícola* [en línea], 2011, (United State of America), vol. 3 (1), págs. 199-205. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1090-7807. Disponible en:
9. **BORJA, P.** Crecimiento de teca (*Tectona grandis* L.) en diferentes Inceptisoles, en la hacienda El Belén del Sector Boyería, Cantón Palenque, Provincia de Los Ríos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica del Litoral, Guayas. Guayaquil-Ecuador. 2014. págs. 1-132. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en:

<https://dokumen.tips/documents/escuela-superior-politecnica-del-litoral-facultad-de-trabajo-final-de-graduacion.html?page=1>

10. **BUENO, L. & FERNÁNDEZ, R.** "La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos". *Ambito Investigativo*, vol. 10, 11, (2019), pág. 9.
11. **BURBANO, Hernán.** *El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria*. Ecuador: Ciencias Agrícolas, 2016, pág. 118
12. **CALDERÓN Medina, C.** "Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta". *Redalyc*, vol. 3, n° 1, (2018), págs. 141-157.
13. **CALLE, Z.; et al.** "Integración de las actividades forestales con la ganadería extensiva sostenible y la restauración del paisaje" *Revista FAO* [en línea], 2012, vol. 63 (1), págs. 1-10. [Consulta: 14 abril 2024]. ISSN 0248-6520. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i2890s/i2890s06.pdf>
14. **CARTER, M. R. et al.** *Concepts of soil quality and their significance*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1997, págs. 1-24.
15. **COMBO EXPERT.** *Nutrición Mineral Importancia del Magnesio en la producción de cultivos*. Chile: Editorial Better Crops, 2010. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://www.compo-expert.com/sites/default/files/2020-07/Journal%20Nutrición%20Mineral.pdf>
16. **CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA.** *Áreas protegidas*. Egipto: Grand Magaph, 2018, págs. 1-10.
17. **DE NONI, G & TRUJILLO, G.** *Degradación del suelo en el Ecuador : principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso*. [en línea]. Argentina: New Times Green, 1986. [Consulta: 18 septiembre 2023]. Disponible en: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cc-2010/26531.pdf

18. **DUDLEY, N.** *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Gland: UICN, 2008, págs. 5.
19. **ELIZONDO, M.** *Guía para la toma de muestras de suelo y foliares para el diagnóstico de la fertilidad*. San José: Libros Educativos, 2019. pág. 13.
20. **ESPOCH.** *Rio Negro*. [blog]. Riobamba: Publicaciones ESPOCH, 2023. [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://historicoweb.espoch.edu.ec/index.php/estaciones-experimentales/280-rio-negro.html>.
21. **FAO.** *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. [en línea]. Roma: Age Emperise, 1996. [Consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/W1309S/W1309S00.htm>
22. **FAO.** *Portal de Suelos de la FAO: Propiedades Químicas*. [En línea] España: Enhanced, 2023. [Consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>.
23. **FONG, L.** Efectos de factores topográficos sobre la profundidad de suelos y la estructura vertical de su textura, capacidad de campo y almacenes de carbono en el noroeste de Baja California [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. 2019. págs. 1-77. [Consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3017/1/TESIS_LIZAFONG_11_NOV_2019A.pdf
24. **GAD MUNICIPAL BAÑOS DE AGUA SANTA.** *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Tunguhua: Municipio de Baños de Agua Santa, 2020, págs. 1-7.
25. **GAD PARROQUIAL RIO NEGRO.** *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del gobierno autónomo descentralizado parroquialrural de rio negro*. Rio Negro: Municipio de Pastaza, 2020, págs. 4.
26. **GAMARRA, Cynthia, et al. 2018.** "Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo". *Revista Mexicana de Ciencias Forestales Asunción*, vol. 9, n° 3, (2018), pág. 7.

27. **GARAVITO, F.** *Propiedades químicas de los suelos*. Bogotá: Publicaciones montevideo, 1974. págs. 6.
28. **GARCÍA, M.** La importancia de la materia orgánica en el suelo. *GeniaBionergy* [en línea]. 2022. [Consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: <https://geniabioenergy.com/importancia-materia-organica-en-el-suelo/>
29. **GARRIDO, Soledad.** *Interpretación de análisis de suelos*. Ecuador: Ministerio de Agricultura pesca y alimentacion, 1993. págs5.
30. **GARZÓN, E., et al.** *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras del país*. Bogotá-Colombia: Publicaciones J&J, 2002, pág.6.
31. **GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA.** *Agenda Tungurahua desde la visión territorial*. Ambato-Ecuador: Publicaciones del estado, 2015, pág. 1.
32. **GREGORIO, A.** *Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2005, pág. 19.
33. **GUEVARA, Diana.** Diseño metodológico y levantamiento de línea base para el monitoreo de los onketos de conservación del refugio de vida silvestre Pasochoa, parroquia Uyumbichu, cantón Mejía, Provincia de Pichina. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2011. págs. 1-78. [Consulta: 2023-09-23]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/763>
34. **GUEVARA, Gladys, et al.** *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*. Babahoyo: Editorial Saberes del Conocimiento, 2020, pág. 166.
35. **GUTIERREZ CASTRONERA, Edgar Vladimir; et al.** “Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos” *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2015, vol. 6 (1), págs. 201-215. [Consulta: 14 abril 2024]. ISSN 10248-8954. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263138085016.pdf>

36. **HATTEN, J. 2019.** Chapter 15 - A 'healthy' balance – The role of physical and chemical properties in maintaining forest soil function in a changing world. *Developments in Soil Science*. s.l. : Elsevier, 2019, Vol. 36, págs. 373-396.
37. **HENRIQUEZ, C., et al.** *Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el análisis kriging y su validación*. Ecuador: Agronomía Costarricense, 2013, págs. 1-12.
38. **HERNÁNDEZ, Jonathan.** "Determinación de propiedades de suelos agrícolas a partir de mediciones eléctricas realizadas en campo y en laboratorio". *Instituto potosino de investigación científica y tecnológica, a.c.* vol. 1, n°2, (2019), págs. 1-13.
39. **HERNÁNDEZ, Roberto.** *Metodología de la investigación*. México: McGrawhill, 2014. pág. 92.
40. **HILDA, H.** Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Instituto Potosino De Investigación Científica Y Tecnológica, A.C.. D.F México-México. 2010. págs. 1-151. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/2217/1/TMIPICYTH4D42019.pdf>
41. **HIRZEL, Juan.** *Fertilidad de suelos*. Santiago de Chile: Boletín de trigo, 2004, págs. 49-75.
42. **INCITEC PIVOT FERTILIZERS. 2021.** *Calcium*. Ecuador: Ediciones Tela Verde, 2021, págs. 1-8.
43. **INTAGRI.** *El magnesio en el suelo y su efecto en las raíces*. [blog]. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/el-magnesio-en-el-suelo-y-su-efecto-en-las-raices>
44. **INTAGRI.** *Fertilizantes orgánicos* [blog]. Chile: Intagri, 2021. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/estrategias-para-reducir-la-acidificacion-de-suelos#:~:text=La%20aplicación%20de%20estiércol%20puede,para%20neutralizar%20a%20los%20ácidos.>

45. **INTAGRI.** *La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo* [blog]. Chile: Intagri, 2021. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
46. **INTAGRI.** *La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo* [blog]. Chile: Intagri, 2022. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>.
47. **JARAMILLO, F.** *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Hipanoparlantes, 2002. págs. 6-10.
48. **JONE, C. & OLSON RUTZ, K.** *Soil pH and Organic Matter* [en línea]. USA: Montan State Unniversity, 2017. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://store.msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/4449-8.pdf>
49. **JUAREZ, M, et al.** *Hierro en el sistema suelo-planta*. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad de Alicante. Madrid-Ecuador. 2007. págs. 1-23. [Consulta: 2023-07-23]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1845>
50. **KAISER, D. & ROSEN, C.** *Magnesium for crop production*. España: Books-Green, 2023, pág. 2.
51. **KEENAN, K. & WOOD. J..** *Química General*. España: Libros Libres, 1971. pág. 1.
52. **LARRIVA, Narcisa.** "Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas". *La granja*. vol. 2, n° 4, (2018), pág. 23.
53. **LÓPEZ, R., et al.** *Manual de análisis químicos de suelos*. La Paz: Centro de investigaciones biológicas del Noroeste, S.C, 2002. págs. 1-15.
54. **LOPOUKHINE, L. et al.** "Protected areas: providing natural solutions to 21st Century challenges". *Sapiens*. [en línea], 1997, (United State of America), vol. 1 (2), págs. 1-20. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://journals.openedition.org/sapiens/1254>

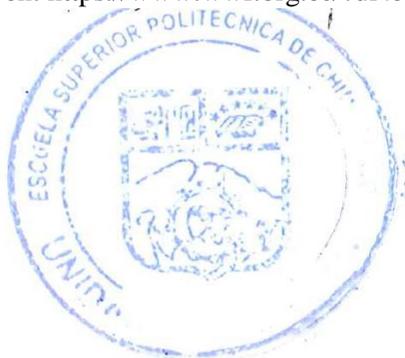
55. **MAGAP.** *Superficie aproximada de los órdenes de suelo en el Ecuador.* Ecuador: Imprenda Rosio, 2002, pág. 4.
56. **MANCHEGO, C. et al.** *Climate change versus deforestation: Implications for tree species distribution in the dry forests of southern Ecuador.* Ecuador: Ediciones G&L, 2017, págs. 1-9.
57. **MANDAL, Torsten.** *Plant Cover and Soil – Water Conservation.* Wikifarmer. [blog]. [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://wikifarmer.com/plant-cover-and-soil-water-conservation/>.
58. **MARX, Hart & STEVENS. K. 1999.** *Soil Test Interpretation Guide.* s. EE.UU: Oregon State University Extension Service, 1999, pág. 7.
59. **MÉNDEZ, J & BERTSCH, F.** *Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica.* San José-Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, 2012, pag. 6.
60. **MENDOZA, R. & ESPINOZA, A.** *Guía técnica para muestreo de suelos.* Managua: Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services, 2017, pag. 2.
61. **MENGEL, K., et al.** *Principles of Plant Nutrition.* EE.UU: Kluwer Academic Publishers , 2001. pág. 15.
62. **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA-SIGTIERRAS.** *Mapa de órdenes de suelos del Ecuador.* [blog]. Quito: SIGTIERRAS, 2015. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <http://www.sigtierras.gob.ec/mapa-de-ordenes-de-suelos/>
63. **MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA.** *Áreas Protegidas.* [blog]. 2022. [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/areas-protegidas-3/>.
64. **MORO, Alberto.** *AQM laboratorios. Interpretación de los análisis de suelos.* [blog]. [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://aqmlaboratorios.com/consideraciones-e-interpretacion-de-analisis-de-suelos/>.

- 65. NOSTOC.** *Los nutrientes del suelo y la capacidad de intercambio catiónico (CIC)* [blog]. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://www.nostoc.es/nutrientes-suelo-y-capacidad-intercambio-cationico-cic/>
- 66. OCHOA PACHAS, José & YUNKOR ROMERO, Yurela.** *El estudio descriptivo en la investigación científica.* (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Autónoma de Perú. Lima-Perú. 2019. págs. 1-8.
- 67. ORTEGA, C.** *QuestionPro: Investigación mixta. Qué es y tipos que existen.* [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-mixta/#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20mixta%20es%20una,de%20estos%20m%C3%A9todos%20por%20separado..>
- 68. ORTIZ, Roque.** *Síntesis de la evolución del conocimiento en Edafología.* Murcia: Eucabacteria, 2015, pág. 51.
- 69. OSORIO RIVERA, Miguel Ángel; et al.** *Suelos: Caracterización e Importancia* [en línea]. La Plata-Argentina: Puerto Madero Editorial, 2017. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>
- 70. OSORIO, M, et al.** *Suelos Caracterización e importancia.* La plata : Puerto Madero, 2022, pág. 8.
- 71. OSORIO, N.** *Toma de muestras de suelos para evaluar la fertilidad del suelo.* Medellín-Colombia: Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal, 2012, pág. 6.
- 72. OSORIO, N.W.** *pH del suelo y disponibilidad de nutrientes.* (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Nacional de Colombia. Medellín-Colombia. 2012. págs. 1-25.
- 73. OTTOS DÍAZ, Elvis.** *Relación entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total de los suelos de la provincia de leoncio prado.* [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María-Perú. 2015. págs. 1-138. [Consulta: 2024-04-14]. Disponible en: <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/173/AGR-628.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- 74. PACHACAMA, E.** *Determinación del ph en suelos de producción agrícola*. Ecuador: Impresiones Guaytambos, 2024, págs.1-5.
- 75. PAZMIÑO, M, et al.** *Diseño de un modelo de desarrollo turístico para la parroquia Rio Negro Cantón Baños Provincia de Tungurahua*. Quito: Bolero S.A., 2014, pág. 6.
- 76. PEREZ, Esteban.** "Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica". vol.29, n°1 (2013), (Costa Rica). págs. 6-18.
- 77. PESANTES, M.** *Plan de manejo del parque nacional río negro sopladora* [en línea]. Quito-Ecuador: Ediciones Publicas, 2021. [Consulta: 14 abril 2024]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/11/PLAN-DE-MANEJO-DEL-PARQUE-NACIONAL-RIO-NEGRO-SOPLADORA.pdf>
- 78. PORTA Casanellas, J.** *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo*. España : Mundi-Prensa, 2008, pág. 7.
- 79. PRASAD, Rishi & CHAKRABORTY, Debolina.** *Phosphorus Basics: Understanding Phosphorus Forms and Their Cycling in soils*. Alabama: Alabama Cooperative Extension System, 2019, pág. 7.
- 80. RAMÍREZ CARVAJAL, Roberto.** *Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos*. Bogotá: Convenio fenalce - sena - sac, 1997. pág. 12.
- 81. RITTER, M.** Factores que afectan el desarrollo del suelo. *Libretexts* [en línea]. 2019.[Consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geografía_%28Física%29/El_ambiente_físico_%28Ritter%29/11:_Sistemas_de_Suelo/11.05:_Factores_que_afectan_el_desarrollo_del_suelo
- 82. ROJAS, C.** *Interpretación de la disponibilidad de fósforo en los suelos de Chile*. Chile: Centro Regional de Investigación INIA La Platina, 2018, pág. 7.
- 83. ROMIG, D.E. et al.** *How farmers assess soil health and quality*. EE.UU: Soil Water Conservation, 1995. págs. 229-236.

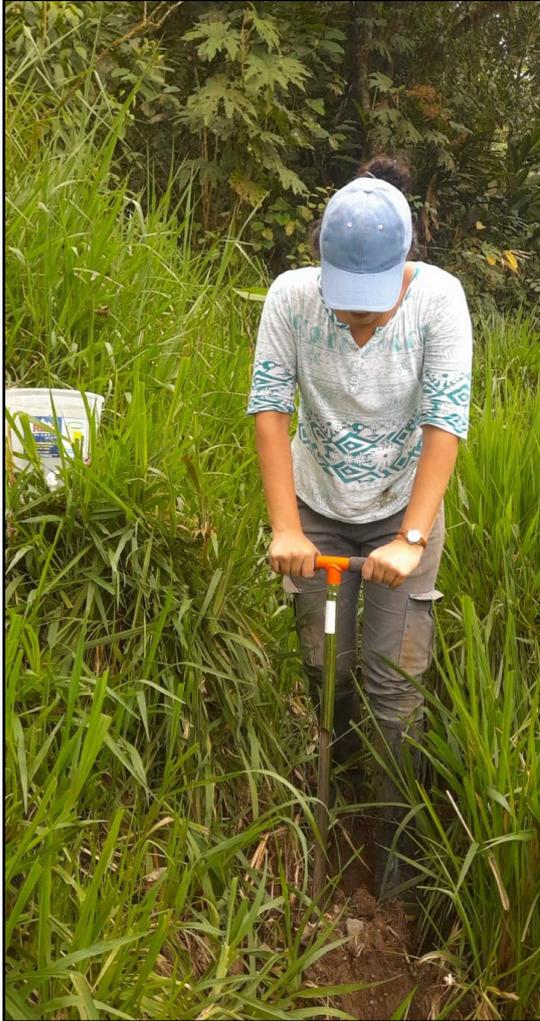
- 84. RUIZ, Rafael.** Calcio: disponibilidad en el suelo y su absorción por la planta. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Talca, Santiago de Chile-Chile: 1997. págs. 1-24. [Consulta: 2024-04-14]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/39160>
- 85. SAAVEDRA, L.** *Propiedades físicas y químicas del suelo urbano del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México.*. Mexico : Terra Latinoamerica, 2020, pág. 3.
- 86. SADEGHIAN, H. 2018.** *Interpretación de los resultados de análisis de suelo.* Manizales: Produccion Ecolibros, 2018, pág. 6.
- 87. SANCHEZ, Elsa.** *The pennsylvania state university.* [blog]. [Consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://extension.psu.edu/high-tunnel-soil-test-report-organic-matter-and-cation-exchange-capacity>.
- 88. SANCHEZ, J.** *Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las plantas.* Ecuador: Libros L&L, 2020, pág. 7.
- 89. SCHWEIZER, S.** *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad.* San José: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), 2011, págs. 1-19.
- 90. SNI.** *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del gobierno autónomo descentralizado parroquialrural de rio negro.* Ecuador: Impresiones del Estado, 2019, pág. 6.
- 91. SONON, S. et al.** *Cation exchange capacity and base saturation.* Georgia: Mc-Book-Greenwall, 2014, pág. 2.
- 92. SORIANO, María.** *Conductividad eléctrica del suelo.* (Trabajo de titulación) (Titulación). Universitat Politècnica de Valencia. Valencia-Ecuador. 2019. págs. 1-7.
- 93. TORREZ, Gilberto & CHINCHILLA, Felipe.** *Manual de interpretación de análisis de suelos y foliares para la nutrición de limón, aguacate, cocotero y marañón.* Santa Tecla: MAG-FRUTAL-ES, 2006, pág. 2.

- 94. TREJO, Héctor; et al.** “Conductividad eléctrica en el estrato 0-20 cm de profundidad del suelo abonado con estiércol, CAEFAZ-UJED”. *ResearchGate* [en línea], 2013, vol. 1 (2), págs. 1-12. [Consulta: 14 abril 2024]. ISSN 1205-9854. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Conductividad-electrica-en-el-estrato-0-20-cm-de-profundidad-del-suelo-abonado_fig4_262737754#:~:text=\(2013\)%20%2C%20señalan%20que%20dosis,debe%20cuidar%20las%20dosis%20de](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Conductividad-electrica-en-el-estrato-0-20-cm-de-profundidad-del-suelo-abonado_fig4_262737754#:~:text=(2013)%20%2C%20señalan%20que%20dosis,debe%20cuidar%20las%20dosis%20de)
- 95. TRUJILLO GONZÁLEZ, Juan Manuel, et al.** *El recurso suelo: un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad*. Colombia : Amnesia Edu, 2018, pág. 6.
- 96. TSEGAYE, B.** “Effect of Land Use and Land Cover Changes on Soil Erosion in Ethiopia”. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology* [en línea], 2019, vol. 5 (1), págs. 201-215. [Consulta: 14 abril 2024]. ISSN 0026-0034. Disponible en: <https://www.agriscigroup.us/articles/IJASFT-5-138.php>
- 97. UICN.** *Áreas protegidas y uso del suelo*. [blog]. [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.iucn.org/es/nuestro-trabajo/areas-protegidas-y-uso-del-suelo>.
- 98. USDA.** *Soil Quality Physical Indicator Information Sheet Series*. [blog]. [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf>.
- 99. WALWORTH, James. 2013.** *Nitrogen in Soil and the Environment*. COLLEGE OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCES, THE UNIVERSITY OF ARIZONA. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad de Arizona. Arizona-Ecuador. 2013. págs. 1-25.
- 100. WWF.** *Sin áreas protegidas y conservadas, no hay futuro*. [blog]. 2021. [Consulta: 14 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.wwf.org.ec/?uNewsID=366710>



ANEXOS

ANEXO A: OBTENCIÓN DE LA MUESTRA



ANEXO B: PREPARACIÓN DE MUESTRA





ANEXO C: PRUEBAS DE ENSAYO









ANEXO D: RESULTADOS DE LABORATORIO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
LABORATORIO DE SUELOS



Nombre del Propietario: Srta. Raquel Freire Fecha de ingreso: 17/01/2024
Fecha de salida: 02/02/2024

TEMA TIC: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO EN UN TRANSECTO ALTITUDINAL DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE YANKAY"

CARRERA: RECURSOS NATURALES RENOVABLES PAO: OCTAVO

Ubicación: Refugio de Vida Silvestre Yankay Rio Negro Baños Tungurahua
Nombre de la granja Parroquia Cantón Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS

Ident. muestra	pH	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	%	mg/L		Meq/100g			ppm			Meq/100g
		C.E.	M.O	NH4	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	C.I.C.
Unidad experimental 1	6.20 L. Ac	64.3 N	8.9 A	9.07 B	12.75 B	0.21 B	0.6 B	0.003 MB	194.87 A	1.2 B	6.05 B	16.5 M
Unidad experimental 2	6.51 N	63.8 N	7.3 A	9.91 B	9.50 B	0.22 B	1.1 B	0.002 MB	217.73 A	1.01 B	12.59 B	12.7 B
Unidad experimental 3	5.68 L. Ac	59.3 N	5.1 M	9.96 B	9.96 B	0.09 B	1.3 B	0.001 MB	196.63 A	4.15 B	8.62 B	10.9 B
Unidad experimental 4	5.71 L. Ac	55.5 N	4.3 M	7.62 B	10.08 B	0.12 B	4.5 B	0.005 MB	186.37 A	0.02 B	11.48 B	10.5 B
Unidad experimental 5	5.63 L. Ac	71.1 N	7.2 A	13.88 B	10.66 B	0.57 M	2.3 B	0.021 MB	224.5 A	1.95 B	21.51 M	14.5 M
Unidad experimental 6	6.04 L. Ac	187.3 N	2.91 B	8.45 B	23.07 M	0.23 B	20.0 M	0.0038 B	148.3 A	1.87 B	32.85 A	12.1 M

CODIGO	
N: Neutro	A: alto
MB: Muy bajo	M: medio
L. Ac. Légeramente ácido	B: bajo





Ing. Víctor Lindao Ph.D.
JEFE DE LAB. SUELOS



Ing. Elizabeth Pachacama Ch.
TECNICO DOCENTE

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 1/2, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono 2998220 Extensión 418
"Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza"



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 08 / 03 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Raquel Freire Vargas
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Recursos Naturales Renovables
Título a optar: Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
 Ing. Vicente Javier Parra León, M.Sc. Director del Trabajo de Integración Curricular  Ing. Dennis Renato Manzano Vela, MSc Asesor del Trabajo de Integración Curricular