



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“ANÁLISIS Y RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO
CATIONICO CON PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELOS DE
CINCO SISTEMAS PRODUCTIVOS EN COTOPAXI, MEDIANTE
METODOLOGÍAS Y APLICACIONES MÓVILES”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo.

Autor:

Changoluisa Caisaluisa Nataly Rocio

Tutora:

Tapia Borja Alexandra Isabel

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Changoluisa Caisaluisa Nataly Rocio, con cédula de ciudadanía No 1850128479, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: **“ANÁLISIS Y RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CON PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELOS DE CINCO SISTEMAS PRODUCTIVOS EN COTOPAXI, MEDIANTE METODOLOGÍAS Y APLICACIONES MÓVILES”**, siendo la ingeniera Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja Mg, Tutora del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 23 de febrero del 2024



Changoluisa Caisaluisa Nataly Rocio

C.C: 1850128479

ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CHANGOLUISA CAISALUISA NATALY ROCIO**, identificada con cédula de ciudadanía **1850128479** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**ANÁLISIS Y RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CON PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELOS DE CINCO SISTEMAS PRODUCTIVOS EN COTOPAXI, MEDIANTE METODOLOGÍAS Y APLICACIONES MÓVILES**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: mayo 2020 – septiembre 2020

Finalización de la carrera: octubre 2023 – febrero 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja Mg

Tema: “**ANÁLISIS Y RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CON PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELOS DE CINCO SISTEMAS PRODUCTIVOS EN COTOPAXI, MEDIANTE METODOLOGÍAS Y APLICACIONES MÓVILES**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a. La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

- c. La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d. La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e. Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de febrero del 2024.



Nataly Rocio Changoluisa Caisaluisa

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DE LA TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutora del Proyecto de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS Y RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CON PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELOS DE CINCO SISTEMAS PRODUCTIVOS EN COTOPAXI, MEDIANTE METODOLOGÍAS Y APLICACIONES MÓVILES”, de Changoluisa Caisaluisa Nataly Rocio, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de febrero del 2024



Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.

C.C: 0502661754

DOCENTE TUTORA

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Changoluisa Caisaluisa Nataly Rocio, con el título de Proyecto de Investigación: **ANÁLISIS Y RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CON PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELOS DE CINCO SISTEMAS PRODUCTIVOS EN COTOPAXI, MEDIANTE METODOLOGÍAS Y APLICACIONES MÓVILES**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de febrero del 2024


Ing. Mercy Lucila Ilbay , Ph.D.
C.C: 0604147900
LECTOR 1 (PRESIDENTE)


Ing. Francisco Hernán Chancusig, Mg.
C.C: 0501883920
LECTOR 2 (MIEMBRO)


Ing. Wilman Paolo Chasi, Mg.
C.C: 0502409725
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Esta investigación de pregrado y el resultado de mi formación, se la debo a muchas personas, en especial a mis padres, por el apoyo económico, moral y el amor más sincero que han brindado siempre, todo el esfuerzo que han hecho por mí y para mi serán muy bien recompensados sin lugar a duda este es el primero de muchos logros que están a base de su sudor y lágrimas, todo esto indudablemente estarán en mi memoria, más bien le doy gracias a Dios por mi vida y por la suya, así también un agradecimiento especial a ustedes, Darwin, José, Adriana y Verónica por confiar en mí siempre y brindarme esta motivación día a día y nunca subestimarme, gracias Dios una vez más por haberlos puesto a todos ustedes en mi camino para ayudarme a construir mis éxitos, sin duda son una bendición; y, por todas las cosas buenas que me permitieron sonreír y las malas que indudablemente me ayudaron a crecer.

Finalmente, a las Ingenieras Alexandra Tapia y Mercy Ilbay, por su invaluable tiempo y comprensión en el transcurso de mi investigación.

Nataly Rocio Changoluisa Caisaluisa

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón esta investigación a toda mi familia, mi pareja sentimental y a ese pequeño ser que estoy formando dentro mí que en todo este proceso has sido un acompañante fiel pese a todo lo que hemos pasado eres y serás ese guerrero que lucha todos mis batallas y penas junto a mí. A todos ellos dirijo mi admiración, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y el de triunfar en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo los quiero demasiado.

Nataly Rocío Changoluisa Caisaluisa

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ANÁLISIS Y RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CON PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELOS DE CINCO SISTEMAS PRODUCTIVOS EN COTOPAXI, MEDIANTE METODOLOGÍAS Y APLICACIONES MÓVILES”

Autor:
Changoluisa Caisaluisa Nataly Rocio

RESUMEN

En la actualidad la salud del suelo es importante para garantizar que los agricultores adopten nuevas prácticas sostenibles asegurando una buena salud alimentaria. La presente investigación se realizó en convenio con la Fundación Ekorural en el proyecto “Agricultura para la vida” y se estableció en la Universidad Técnica de Cotopaxi, la misma que tiene como objetivo evaluar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de diferentes sistemas productivos (agroecológico, convencional, tradicional, degradado y ecosistema de referencia) en tres zonas como: Salache CEYPSA, Isinche y Carrillo con tres metodologías para obtener (CIC) que son : tinción con azul de metileno (AM), calcinación del suelo (MO), con la pasta saturada (pH), y dos tecnologías móviles como LandPKS para obtener el (color) y Slakes para (estabilidad de agregados). Con el método de tinción con azul de metileno el CIC máximo fue de 4,8 meq/100g en el sistema agroecológico ubicado en Salache y un mínimo de 0,83 meq/100g en un sistema degradado de la misma zona. Los resultados obtenidos por los análisis (AM) e (INIAP) presentan similitud con un CIC total que rondan entre 0-15 meq/100g estimando a estos suelos como pobres. Para verificar la validez de las aplicaciones móviles se comparó los resultados bajo una correlación de Pearson con una relación lineal media de 0,36 materia orgánica y 0,19 pH, mientras que estabilidad agregados -0,31 y el color -0,12 lo que indica que aún hay relación con una correlación débil lo que no influirá en la CIC. Estas metodologías y aplicaciones contribuirán a los productores en conocer de manera sencilla y de bajo costo la salud del suelo.

Palabras clave: Capacidad de intercambio catiónico (CIC), salud del suelo, propiedades físicas y químicas.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

THEME: "ANALYSIS AND RELATIONSHIP OF CATION EXCHANGE CAPACITY WITH PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS IN SOILS OF FIVE PRODUCTIVE SYSTEMS IN COTOPAXI, BY MEANS OF METHODOLOGIES AND MOBILE APPLICATIONS".

Author:

Changoluisa Caisaluisa Nataly Rocio

ABSTRACT

Currently, soil health is important to ensure that farmers adopt new sustainable practices to ensure good food health. The present research was conducted in agreement with the Ekorural Foundation in the project "Agriculture for life" and was established at the Technical University of Cotopaxi, the same that aims to evaluate the cation exchange capacity (CIC) in soils of different production systems (agroecological, conventional, traditional, degraded and reference ecosystem) in three areas such as: Salache CEYPSA, Isinche and Carrillo with three methodologies to obtain (CIC) which are : staining with methylene blue (AM), soil calcination (MO), with saturated paste (pH), and two mobile technologies such as LandPKS to obtain the (color) and Slakes for (aggregate stability). With the methylene blue staining method, the maximum CIC was 4.8 meq/100g in the agroecological system located in Salache and a minimum of 0.83 meq/100g in a degraded system in the same area. The results obtained from the (AM) and (INIAP) analyses show similarity with a total CIC between 0-15 meq/100g, estimating these soils as poor. To verify the validity of the mobile applications, the results were compared under a Pearson correlation with an average linear relationship of 0.36 organic matter and 0.19 pH, while aggregate stability -0.31 and color -0.12 indicate that there is still a relationship with a weak correlation which will not influence the CIC. These methodologies and applications will contribute to the producers in knowing in a simple and low cost way the health of the soil.

Key words: Cation exchange capacity (CIC), soil health, physical and chemical properties.

INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	4
4.1 Beneficiarios directos	4
4.2 Beneficiarios indirectos	4
5. PROBLEMÁTICA.....	5
6. OBJETIVOS.....	6
6.1 Objetivo General.....	6
□ Evaluar la eficiencia del método Azul de metileno (AM) para cuantificar el Intercambio Catiónico (CIC).	6
6.2 Objetivos Específicos	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	9
8.1 Calidad de suelo.....	9
8.2 Indicadores del suelo	9
8.2.1 Indicador físico	9
8.3 Indicador químico	11
8.4 Cationes	11
8.5 Aniones	12
8.6 Intercambio catiónico	12
8.7 Azul de metileno.....	13
8.7.1 Metodología para la tinción con azul de metileno.....	14

8.8	Materia orgánica	15
8.8.1	Metodología de calcinación para determinar el porcentaje de materia orgánica. 15	
8.9	pH.....	15
8.9.1	Metodología de pasta saturada del suelo para determinar el pH.	16
8.10	Sistemas de producción agrícola.....	16
8.10.1	Sistema natural	16
8.10.2	Sistema agroecológico	16
8.10.3	Sistema convencional	17
8.10.4	Sistema tradicional	17
8.10.5	Sistema degradado.....	17
9.	PREGUNTA CIENTIFICA	17
10.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	17
	Tipos de investigación	17
10.1	Investigación bibliográfica	18
10.2	Investigación estadística	18
10.3	Métodos de investigación	18
10.3.1	Científico	18
10.3.2	Inductivo.....	18
10.3.3	Deductivo	18
	Instrumentos de investigación	18
10.3.4	Cuaderno de campo	18
10.3.5	Gestores bibliográficos	19
10.3.6	Tablas	19
10.3.7	Área de estudio	19
10.4	Muestreo	23
10.5.	Metodología de tinción con Azul de metileno para medir.	25
10.6.	Metodología tecnológica móvil para la estabilidad de agregados.....	29
10.7.	Metodología tecnológica móvil para determinar el color del suelo	30
10.8.	Metodología de calcinación para obtener el porcentaje de materia orgánica del suelo 32	
10.9.	Metodología de pasta saturada del suelo (SPE) para obtener el pH.....	34
10.10.	Análisis estadístico.....	36
11.	ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	37

11.1	Cuantificación de la capacidad de intercambio catiónico a través del método de tinción con azul de metileno por sistemas de producción por zonas	37
11.2	Cuantificación de la capacidad de intercambio catiónico a través del método de tinción con azul de metileno por cada uno de los sistemas de producción.....	39
11.3	Comparación cualitativa de la capacidad de intercambio catiónico entre un análisis de laboratorio y la tinción con azul de metileno	44
11.4	Análisis del color en los sistemas productivos	45
11.5	Análisis de la estabilidad de agregados en los sistemas productivos	46
11.6	Análisis del pH en los sistemas productivos.....	47
11.7	Análisis del porcentaje de MO en los sistemas productivos.....	48
11.8	Correlación Pearson CIC entre propiedades químicas del suelo.	49
11.9	Correlación Pearson CIC entre propiedades físicas del suelo.	51
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
12.1	Conclusiones	54
12.2	Recomendaciones	55
13.	REFERENCIAS	55
14.	ANEXOS.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.	7
Tabla 2.	Rangos de medición de la capacidad de intercambio catiónico CIC.....	13
Tabla 3.	Antecedentes de las prácticas culturales y agrícolas realizadas por los productores.	20
Tabla 4.	Valores de la CIC obtenidos a través de dos metodologías AM-INIAP.....	29
Tabla 5.	Resultados de la capacidad de intercambio catiónico entre análisis de un laboratorio y el método de tinción con azul de metileno	45
Tabla 6.	Correlación entre las variables MO y pH con referencia a la CIC.....	50
Tabla 7.	Correlación entre las variables estabilidad de agregados y color con referencia a la CIC.	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio.....	19
---	----

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Capacidad de intercambio catiónico en la zona de Salache CEYPSA.....	37
Gráfico 2. Capacidad de intercambio catiónico en la zona de Isinche	38
Gráfico 3. Capacidad de intercambio catiónico en la zona de Carrillo	38
Gráfico 4. CIC de los sistemas productivos agroecológicos	40
Gráfico 5. CIC de los sistemas productivos degradados	41
Gráfico 6. CIC de los sistemas productivos tradicionales	42
Gráfico 7. CIC de los sistemas productivos convencionales.....	43
Gráfico 8. CIC de los sistemas considerados como ecosistemas de referencia.....	44
Gráfico 9. Nivel del color en los sistemas de producción	46
Gráfico 10. Nivel de estabilidad de agregados en los sistemas de producción	47
Gráfico 11. Nivel de pH en los sistemas productivos.....	48
Gráfico 12.. Porcentaje de materia orgánica en los sistemas productivos.....	49
Gráfico 13. Gráfica de dispersión de CIC vs. %MO	50
Gráfico 14. . Gráfica de dispersión de CIC vs. pH.....	51
Gráfico 15. Gráfica de dispersión de CIC vs. Estabilidad de agregados.....	53
Gráfico 16. Gráfica de dispersión de CIC vs. Color.....	54

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título de investigación:

“ANÁLISIS Y RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO CON PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN SUELOS DE CINCO SISTEMAS PRODUCTIVOS EN COTOPAXI, MEDIANTE METODOLOGÍAS Y APLICACIONES MÓVILES”

Fecha de inicio:

Octubre 2023

Fecha de finalización:

Febrero 2024

Lugar de ejecución:

Isinche – Carrillo – campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia

Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Ingeniería Agronómica

Proyecto de investigación vinculado:

“Fortalecimiento de capacidad de empoderamiento de la provincia de Cotopaxi”

Equipo de Trabajo:

Tutora: Alexandra Isabel Tapia Borja Mg.

Estudiante: Nataly Rocio Changoluisa Caisaluisa

Lector A: Mercy Lucila Ilbay Yupa. PhD.

Lector B: Francisco Hernán Chancusig. Mg.

Lector C:

Área de Conocimiento:

Agricultura, silvicultura y pesca

Línea de investigación:

Línea 1: Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y prevención de desastres naturales.

La biodiversidad forma parte intangible del patrimonio nacional: en la agricultura, en la medicina, en actividades pecuarias, incluso en ritos, costumbres y tradiciones culturales. Esta línea está enfocada en la generación de conocimiento para un mejor aprovechamiento de la biodiversidad y los recursos naturales, basado en la caracterización agronómica, morfológica, genómica, física, usos ancestrales de los recursos naturales, la adecuada atención al cambio climático y los ecosistemas frágiles, permitiendo el desarrollo de planes de manejo, producción, equidad social y conservación del patrimonio natural, así como el uso racional de los recursos naturales para reducir y mitigar riesgos naturales.

Línea de vinculación de la carrera:

Gestión de recursos naturales, biotecnología, biodiversidad y gestión para el desarrollo humano y social.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

La presente investigación está estrechamente relacionada en un proyecto vinculado con los propietarios de diferentes sistemas de producción establecidos dentro de la provincia de Cotopaxi que están vinculadas a la fundación Ekorural que se dedica a ayudar a las personas, a través del fortalecimiento del liderazgo local, la agencia comunitaria y la capacidad organizacional con el proyecto Agricultura para la vida.

Con un énfasis en conocer la salud del suelo evaluando diferentes métodos que exponga con claridad y facilidad las condiciones en el que se encuentra el indicador del Intercambio Catiónico (CIC) porque es una propiedad importante relacionada con la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas, con el fin de proveer una herramienta de evaluación que pueda ser empleada directamente por los productores, y que permita fortalecer un cuerpo de prácticas no solamente sostenibles en el tiempo, sino que contribuyan a la regeneración de sus espacios de producción.

3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

La importancia de esta investigación, radica en la necesidad de recopilar, identificar y evaluar de manera teórica las ventajas y desventajas de algunos métodos químicos para la determinación de intercambio catiónico (CIC) en sistemas productivos de la provincia de Cotopaxi, con esta investigación se llegara a entender si estos sistemas constan con un buen manejo de este parámetro (CIC), ya que el mismo destaca en la salud y calidad del suelo, en tal sentido la capacidad de intercambio catiónico enfatiza en ser un indicador potencial de suelo para realizar un intercambio o retención de nutrientes, contribuirá a determinar la dosis y frecuencia de aplicación de fertilizantes, para determinar la propiedad química más importante como una medida base para determinar la fertilización de cada cultivo (León, 2018).

La siguiente investigación está apuntada a la comprobación de una nueva metodología y ciertos procedimientos para como conocer la salud del suelo los cuales reciben una importancia considerable a nivel regional y nacional, ya que la determinación precisa de indicadores químicos, físicos y biológicos capacitará a productores, investigadores y entidades vinculadas a mantener un buen manejo del suelo.

Cuidar el suelo es esencial para garantizar la seguridad alimentaria, la salud del medio ambiente y el bienestar humano, realizar las buenas prácticas sostenibles en el suelo son clave para abordar los desafíos ambientales y alimentarios a futuro. Los efectos adversos del cambio climático, la sobreexplotación de los recursos naturales, el quebranto de la biodiversidad, la pérdida y el desperdicio de alimentos pueden desmejorar la capacidad del mundo para satisfacer sus necesidades (FAO, 2024).

Lo que afecta a la salud del suelo en la región de la Sierra comúnmente es la erosión, la pérdida de materia orgánica, la contaminación por agroquímicos y la compactación del suelo debido a prácticas agrícolas intensivas. Estas acciones pueden afectar la fertilidad del suelo, la capacidad de retención de agua y nutrientes, y la biodiversidad del ecosistema. Durante el período comprendido entre 1982 y 2003, la degradación del suelo alcanzó el 14,2 % de la totalidad de la tierra arable del territorio nacional que equivalente a 34.686 km². Aproximadamente 37,500 km² es decir el 15 % de los suelos, muestran signos de erosión, lo que indica un aumento del 0,8 % en la degradación del suelo en el transcurso de estos años esta situación es especialmente notable en la región Sierra (Montatixe Sánchez & Eche Enriquez, 2021).

Las relaciones entre los pequeños productores y las cadenas de valor están influenciadas por los regímenes globales a la economía. Este régimen puede hacer que los pequeños productores se vuelvan vulnerables ante la variabilidad climática y la obtención de nuevas tecnologías que aporten a conocer sobre los recursos naturales. Los pequeños productores deben cumplir con estándares y requisitos para ser integrados a entornos investigativos, lo que desvía su atención del manejo sustentable de su producción y dificulta su capacidad para enfrentar o adaptarse a las amenazas climáticas, alimentarias y la pérdida de los niveles de sustentabilidad de los recursos en su medio de vida (Prócel, 2018).

La siguiente investigación está apuntada a la comprobación de una nueva metodología y ciertos procedimientos para conocer la salud y como se encuentra la calidad del suelo los cuales reciben una importancia considerable a nivel regional y nacional, ya que la determinación precisa de indicadores químicos, físicos y biológicos capacitará a productores, investigadores y entidades vinculadas a mantener un buen manejo del suelo.

De tal manera que esta metodología que es a través de la tinción de azul metileno para comprobar las condiciones de este indicador, ayudara no solo analíticamente sino económicamente ya que hoy en día realizar un análisis de suelo es costoso porque ronda entre 60 dólares (INIAP, 2020). Consecuentemente es difícil de entender por parte de un pequeño agricultor donde depende de la rentabilidad del cultivo para poder acceder a este tipo de privilegio. Además, cuatro procedimientos diferentes como el color, la estabilidad de agregados, cantidad de materia orgánica y la suma total de nutrientes de cationes (carga +), que ayudaran a comprobar si el suelo cumple con un buen manejo, tanto en el aspecto físico, químico que requiere.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1 Beneficiarios directos

El presente trabajo investigativo beneficiara a los estudiantes y miembros de la universidad que puedan conocer sobre procedimientos sencillos que puedan medir la salud del suelo.

4.2 Beneficiarios indirectos

Los productores de la provincia de Cotopaxi y a las comunidades que estén vinculadas con la fundación Ekorural que realicen prácticas agrícolas y donde su conocimiento es mínimo en cuanto a la salud y calidad del suelo.

5. PROBLEMÁTICA

El suelo es un recurso dinámico y viviente cuya condición es clave tanto para la producción de alimentos y fibras como para el balance global y la función de los ecosistemas, la calidad y salud de los suelos determinan la sostenibilidad agrícola y la calidad medioambiental y, como una consecuencia de ambas la salud de plantas, animales y humanos en donde evaluar de qué tan bien el suelo realiza todas sus funciones, ahora y cómo se conservan a futuro es clave para tener una visualización de como estaría protegido la alimentación y economía mundial en los siguientes años (Ellenbeck, 2023). La problemática central que motiva esta investigación reside en la necesidad imperante de evaluar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) con una metodología sencilla y accesible en los sistemas productivos de la provincia de Cotopaxi considerando que la CIC, un parámetro crítico e importante para la salud del suelo.

Según la ONU (2022), advierte que los actuales enfoques para la gestión de la tierra amenazan la mitad de la producción económica mundial cifrada en 44 billones de dólares, en donde las proyecciones destacan que la recuperación de los suelos podría generar hasta 140 billones de dólares al año, invirtiendo menos de una cuarta parte del gasto anual en combustibles fósiles y subsidios agrícolas.

En la actualidad la presencia de nuevas tecnologías o métodos para conocer la calidad y salud del suelo tiene un alto costo dependiendo el interés del agricultor, realizar un análisis de suelo nos determina el estado y los requerimientos nutritivos que necesita la planta, la capacidad del suelo para retener e intercambiar nutrientes entre otros parámetros más que representa grandes beneficios productivos para el agricultor (Agraria, 2023).

La falta de análisis de los suelos, que permitan conocer sus condiciones y adoptar decisiones técnicas sobre la aplicación de fertilizantes, es un asunto que está dejando consecuencias negativas en la productividad de pequeños agricultores. De hecho, en Ecuador la mayor parte de los análisis de suelos son requeridos por medianos y grandes agricultores. Los pequeños no tienen interés en realizarlos porque un cuentan un capital mínimo o estable del cultivo que cubra este tipo gasto. Por tal razón necesita un mayor apoyo para estudiar las condiciones de los suelos y conocer si los insumos o practicas usadas son las más adecuadas o necesarias para aquellos agricultores que solo tienen conocimientos empíricos y no técnicos (El Universo, 2018).

La investigación busca abordar la carencia de conocimiento e inculcar metodologías que cubran el desconocimiento de cómo mantener una eficiente calidad y salud del suelo, destacando la

relevancia de evaluar los parámetros físicos y químicos como indicadores clave para el manejo eficiente del suelo en los sistemas productivos de la provincia de Cotopaxi.

El método propuesto para esta evaluación, utilizando la tinción con azul de metileno, se presenta como una alternativa innovadora y accesible. Sin embargo, surge la necesidad de verificar y optimizar esta metodología para adaptarla a las condiciones específicas de los suelos de Cotopaxi. Además, la implementación de procedimientos adicionales como, la escala de colores, la estabilidad de agregados y materia orgánica, agrega veracidad a la evaluación, generando la necesidad de comprender su aplicabilidad y relevancia en el contexto local.

La dificultad actual radica en la escasez de metodologías prácticas y accesibles para evaluar la CIC, lo que limita la capacidad de los agricultores para comprender y gestionar eficazmente la salud de sus suelos. La metodología propuesta no solo tiene el potencial de ofrecer resultados precisos y significativos, sino que también aborda la problemática económica asociada con los análisis de suelo costosos y poco comprensibles para los agricultores.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

- Evaluar la eficiencia del método Azul de metileno (AM) para cuantificar el Intercambio Catiónico (CIC).

6.2 Objetivos Específicos

- Determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico a través del método de tinción con azul de metileno (AM).
- Comparar si existe similitud entre los resultados de la capacidad de intercambio catiónico obtenidos mediante la técnica de tinción de AM y el análisis de laboratorio del suelo.
- Comprobar si las metodologías del color, la estabilidad de agregados, materia orgánica, pH tienen influencia en la capacidad del Intercambio Catiónico.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

OBJETIVO 1	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
<p>Determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico a través del método de tinción con azul de metileno (AM).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de las áreas del estudio. • Toma de muestras en zig-zag de cada finca. • Preparación de cada muestra y otros materiales en el laboratorio de suelos del Campus Salache. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación de las áreas de estudio. • Obtención de quince muestras por cada sistema de producción. • Preparación de la solución de azul de metileno, materiales y equipos de acuerdo con los procedimientos establecidos en la metodología. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa del área de estudio. <p>Fotografías de las adiciones de azul de metileno en cada muestra.</p>
OBJETIVO 2	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
<p>Comparar si existe similitud entre los resultados de la capacidad de intercambio catiónico obtenidos mediante la técnica de tinción de AM y el análisis de laboratorio del suelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de tablas de resultados de la técnica AM y resultados del (INIAP). • Análisis cualitativo de las dos técnicas que dan a conocer el nivel de la CIC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muestras de suelo para los análisis. • Base de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados adquiridos por el INIAP y método AM

OBJETIVO 3	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Comprobar si las metodologías del color, la estabilidad de agregados, materia orgánica pH tienen influencia en la capacidad del Intercambio Catiónico.	<ul style="list-style-type: none"> Analizar las proporciones del suelo con aplicaciones telefónicas y un proceso en laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> Secado de las proporciones del suelo para ser analizados en las aplicaciones telefónicas. Preparación, secado y calcinación de muestras para el obtener el % de MO. Interpretación de los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> Registro de datos de cada procedimiento.

Elaborado por: (Changoluisa, 2024).

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Calidad de suelo.

Es aquel que desempeña un papel de producir, sostener y regular sus funciones dentro de un ecosistema con el objetivo de promover la salud de las plantas y animales, midiendo así la capacidad que presenta el mismo. Esto nos confirma Estrada et al. (2017), el concepto de calidad es funcional, incluye variables que sirven para evaluar la condición del suelo, o de los indicadores de calidad de suelo (ICS).

Como señala Cuadras Berrelleza et al. (2021) la calidad de los suelos son los atributos o características que lo hacen ser de un modo u otro; es decir, apto o no para ciertas actividades, aquí, por calidad de suelo se entiende las características, atributos o propiedades, por ejemplo, las fisicoquímicas y microbiológicas que permitan al suelo ser fértil y producir productos sanos. Entonces, la calidad de los suelos es un factor determinante en la producción de alimentos sanos, por lo que su deterioro, afecta al medio ambiente, la economía y el bienestar social.

8.2 Indicadores del suelo

Los indicadores de calidad del suelo son considerados como herramientas de medición que deben proporcionar información sobre propiedades, procesos y características, son propiedades mensurables que revelan cómo la productividad o función del suelo responde al medio ambiente e indican si la calidad del suelo está mejorando, permaneciendo igual o disminuyendo. Proporcionan información sobre los efectos de los cambios en el uso de la tierra y el impacto de las prácticas agrícolas en la degradación o su funcionamiento, donde los indicadores de la calidad del suelo son las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como los procesos que ocurren en él (Rayo et al., 2017).

8.2.1 Indicador físico

El indicador físico refleja la manera como el suelo almacena, retiene y provee agua o nutrientes a las plantas permitiendo la aeración y penetración en el desarrollo radical, entre ellas se encuentran propiedades como: estructura, color densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad conductividad hidráulica y capacidad de almacenamiento (Calderón & Medina, 2018).

Específicamente caracterizan el sistema del suelo y los procesos de transporte de masa y energía dentro de la zona crítica que se extiende desde la roca madre hasta la parte superior de

la cubierta vegetal, están relacionados con los procesos biológicos y químicos que ocurren a la vez dentro del mismo volumen de suelo Jones et al (2018).

8.2.1.1 Color

El color es una propiedad física que apoya a comprobar las condiciones que se encuentra un suelo como indicador de fertilidad, su manera de evaluación son dependientes de su contenido y el estado de los minerales así también indican la oxidación o reducción química del suelo ya sea del pasado o presente de la piedra original debido a la erosión, el color puede ser oscuro por la materia orgánica, un color amarillo, marrón o rojo se debe a la presencia de óxidos férricos y puede adquirir también un color negro debido al manganeso entre otros óxidos. Las coloraciones rojas, cafés o amarillas se da más en zonas tropicales debido a la oxidación e hidratación dependiendo de factores tales como el drenaje, la aireación, condiciones de humedad y temperatura (Calvo, 2022).

Este indicador no tiene efectos directos en el crecimiento de las plantas, pero afecta indirectamente a la temperatura y la humedad del suelo, cuando mayor cantidad de energía calorífica esté disponible en el suelo causaran mayores grados de evaporación, pero cuando los suelos sean húmedos o mojados presentaran colores oscuros por las propiedades refractivas a mayor cantidad de luz penetrada en suelo menos será reflejada (Fertilab, 2021).

8.2.1.2 Gestor de recursos terrestres - Land Potential Knowledge System (LandPKS)

Este sistema gratuito fue creado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - Servicio de Investigación Agrícola (USDA-ARS) inició LandPKS en el 2013 con fondos de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), es una herramienta de monitoreo para la conservación de la tierra, en donde recopilan, planifican y administran datos relacionados con el suelo como el uso o cobertura del suelo, pendiente del suelo, textura de la tierra, limitaciones del suelo, color del suelo, salud del suelo y precipitaciones. Los cuales ayudaran en los proyectos a implementar programas de seguridad alimentaria, restauración de tierras, adaptación al cambio climático, conservación de la biodiversidad y recomendaciones de gestión a nivel de campo (ISRIC , 2021).

La aplicación LandPKS incluye actualmente dos módulos LandInfo y LandCover. LandInfo hace que la caracterización del sitio y del suelo sea sencilla, guía al usuario sobre cómo texturizar manualmente el suelo y documenta otras características importantes, la versión 3.2 incluye la nueva función Color del suelo, que permite al usuario determinar el color de su muestra de suelo tomando una fotografía de la muestra junto a una tarjeta de referencia,

agregando la profundidad del suelo, de tal manera que te da tres datos como el Munsell, laboratorio y RGB (Red, Green, Blue) dependiendo el análisis (ECHO, 2024).

8.2.1.3 Estabilidad de agregados

La estabilidad de los agregados (EA) es la capacidad del suelo para mantener las características del espacio sólido y poroso cuando se exponen a procesos de deterioro, y se considera un buen indicador de la sostenibilidad del suelo, es un expositor de del nivel de erosión, la aeración, la actividad biológica y la emisión de carbono, todo esto es puede ser causado por las gotas de lluvia, presencia de presiones mecánicas externas o internas, la explosión de aire atrapado por la humedad. (Tecnal , 2023).

8.2.1.4 Gestor de recursos terrestres - SLAKES

Esta versión de la aplicación Slakes ha sido desarrollada por Soil Health Institute que brinda acceso abierto a un método confiable para calcular la estabilidad de agregados, uno de los indicadores de la salud del suelo que se miden con más frecuencia. Se fotografían tres agregados de suelo secados al aire al principio y al final de una inmersión de 10 minutos en el agua. En donde el área el suelo de ambas imágenes estima automáticamente utilizando un lagoritmo umbral de pixeles en la aplicación del teléfono. Siendo así un índice de estabilidad de agregados adimensional calculando la relación entre el área inicial y final del suelo. Los valores del índice oscilan entre 0.1 – 1 los valores más altos indican mayor estabilidad de agregados (Soil Health Intitute , 2024).

8.3 Indicador químico

Un indicador químico tiene la capacidad de medir el desarrollo de la diversidad y productividad, filtración, moderación, degradación y desintoxicaciones de materiales orgánicos e inorgánicos. Donde sus propiedades o cambios pueden utilizarse para evaluar ciertos procesos que ocurren en el medio ambiente del suelo como, por ejemplo; el pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, intercambio catiónico, carbono en el suelo (Chaves Cordoba, 2020).

Rúales (2019), afirma que generalmente en el estudio de las propiedades químicas del suelo el objetivo es determinar la relación dinámica de los nutrientes catiónicos, la fertilidad de los suelos, y su influencia en el estado nutricional de las plantas. Estas propiedades tienen relación en cuanto al uso y manejo de los suelos en conjunto con factores bióticos y climáticos.

8.4 Cationes

Un catión es un ion con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones. En el suelo, los cationes se encuentran equilibrados por aniones en solución, por lo cual la planta puede absorberlos o liberarlos de la misma, siendo el H^+ el de mayor liberación, el mismo que en grandes cantidades contribuye a la acidificación del suelo. El número total de cationes que un suelo puede retener correspondiendo a su carga negativa total, es decir, la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Los cationes más comunes son: Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Potasio (K^+) y Amonio (NH_4^+) (Aranda Saltos, 2017).

8.5 Aniones

Según Aranda Saltos (2017), es un átomo con carga eléctrica negativa, que tiene un exceso de electrones, donde la mayor parte de los aniones absorbidos por las plantas provienen de la solución del suelo por que dentro de la planta se combinan con los carbohidratos para formar compuestos orgánicos complejos. Los aniones comunes en el suelo son: Cloruro (Cl^-), Nitrato (NO_3^-), Sulfato (SO_4^{2-}), y Fosfato (PO_4^{3-}).

8.6 Intercambio catiónico

Como afirman Bueno & Fernández (2019) la CIC es la propiedad química responsable en gran medida de la fertilidad de los suelos, considerada como una bóveda donde se encuentran guardado los nutrientes necesarios para la vida de las plantas, tales como el potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), sodio (Na), Hiderogeno (H), amonio (NH_4) y hierro (Fe). Los cuales tendrán un lugar donde almacenarse y solubilizarse en el agua del suelo, refiriéndose así al número de sitios de intercambio de cationes que se pueda tener, mientras mayor sea la capacidad de almacenaje de cationes abra aumento de disponibilidad para las plantas.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) constituye una evaluación de la capacidad total de un suelo para retener cationes intercambiables, expresada en mili equivalentes por cada 100 gramos de suelo (meq 100 g-1) o centimoles de carga de ion por kilogramo (cmol (+) kg-1) a un pH específico, este parámetro se emplea de manera extensa en la caracterización de suelos y en la valoración de su aptitud para suministrar o retener nutrientes a las plantas (Ruales, 2019).

Las arcillas y la materia orgánica tienen una mejor CIC considerados los sustratos más fértiles de la composición del suelo, el pH puede afectar a este indicador debido a un aumento o descenso de nutrientes volviéndose insolubles y se lixivien (disolución o lavado por acción del agua) por tal razón el potencial de hidrogeno debe rondar entre 6-7, los microorganismos mejoran la estructura del suelo, liberan protones, alteran químicamente nutrientes para que

puedan integrarse al intercambio, metabolizan el humus mejorando la estructura del suelo, cuando existe un exceso de fertilizantes químicos en suelo desequilibran al resto de nutrientes y llegan a saturar la CIC (Nostoc Biotech., 2023).

Tabla 2. Rangos de medición de la capacidad de intercambio catiónico CIC.

CIC TOTAL (meq/100g)	RANGO	ESTIMACIÓN
0-15	BAJO	SUELO POBRE
15-30	MEDIO	SUELO MEDIO
30-45	ALTO	SUELO RICO

Fuente: (Gallardo & Salinas, 2023)

8.7 Azul de metileno

Según Paredes & Quinde (2019), menciona que fue sintetizada por primera vez en 1876, en base de anilina siendo un tinte creado para el uso en la industria textil, descubriendo posteriormente su potencial como tinte para la identificación en microscopia, coexistiendo como el primer compuesto que se utiliza en los tratamientos de enfermedades como la malaria.

Se encuentra en forma de cristales o polvo con una estructura cristalina visualmente con un tono verde oscuro, resplandeciendo con un matiz bronceado, no posee olor, mantiene su estabilidad cuando está expuesto al aire. En soluciones acuosas o alcohólicas, muestra un matiz azul profundo, fácilmente soluble en agua y cloroformo, y moderadamente soluble en alcohol. Este compuesto tiene diversas aplicaciones, como colorante para materiales como algodón y lana, tinción en contextos biológicos y bacteriológicos, actuando también como reactivo en titulaciones de oxidación-reducción para análisis volumétricos y como indicador (Tequima S.L , 2023).

Es conocido por varios nombres químicos como 3,7 bis (dimetilamino) – cloruro de fenazationio, cloruro de tetrametiltionina o cloruro de metiltionina, su fórmula química es $C_{16}H_{18}ClN_3S$. A demás posee un peso molecular de 319,85 g/mol y un punto de fusión 100 °C. En solución tiene una densidad de 1.757 g/cm³ por lo que es completamente inodoro (Lifider , 2019).

8.7.1 Metodología para la tinción con azul de metileno

La absorción de azul de metileno por la arcilla en suspensión implica el cambio de varias propiedades fisicoquímicas, en primer lugar, la superficie se cubre de colorante con diversas intensidades dependiendo a su actividad de partículas de grava, arena, limo y compuestos por minerales inactivos presentan absorción casi nula y consecuencia colorean muy poco. Además, los minerales poco activos toma tonalidad azul clara mientras que minerales arcillosos de mayor actividad coloidal como las smectitas toman un color azul intenso (Paredes & Quinde, 2019).

El suelo posee iones y estos tienen una capacidad de intercambio de cargas, los iones se encuentran en la superficie del suelo lo que permite que con la presencia de azul de metileno el cual provee carga contraria produciendo dicho intercambio o reacción (ion-dipolo) que se presenta en forma de atracción de cargas positivas (solución de azul de metileno) y negativas (arcillas) cubriéndolas así uniformemente a las partículas de arcilla (Paredes & Quinde, 2019).

El procesamiento de las muestras consiste en el secado, a 104°C por 24h, molido y tamizado. Una vez que las muestras han sido procesadas, se procederá a determinar la CIC con una solución de azul de metileno. Para esto, se usará una solución de 1 g de azul de metileno. Para esto, se usará una solución de 1 g de azul de metileno (peso seco) diluido en 200 ml de agua destilada. La solución ya azul de metileno será añadida en alícuotas de 0.5 ml a una solución de suelo, preparada con 10 g de suelo y 30 ml de agua destilada. Tras cada adición, se agitará la solución de suelo por minuto, y se colocará una gota de la misma en un papel filtro. Cuando el suelo haya llegado a su capacidad de saturación, el azul de metileno se difundirá por fuera del suelo, mostrando un halo azul alrededor de la gota (Barbosa & Romero, 2017).

Entonces, la capacidad de intercambio catiónico se determina colocando el volumen total de AM en la siguiente fórmula:

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

Donde:

- CIC = Capacidad de Intercambio catiónico (mEq/100 g de arcilla)
- W_s = Peso de la muestra de suelo (g)
- V_{mb} = Volumen de la solución de AM consumida en (mL)

- N_{mb} = Normalidad de la solución de AM (mEq/mL)

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

$$N_{mb} = \frac{\text{Peso del Azul de Metileno (gramos)}}{320} \times \frac{100 - X}{100}$$

Donde, x = contenido de humedad del reactivo de AM (%).

8.8 Metería orgánica

Es una propiedad que implica tanto aspectos químicos como biológicos, es el resultado de la interacción compleja entre la materia orgánica en descomposición, los microorganismos del suelo y los procesos químicos asociados, donde esta combinación de aspectos es fundamental para la fertilidad, la estructura y la salud general del suelo (Izquierdo Bautista & Arévalo Hernández, 2021).

8.8.1 Metodología de calcinación para determinar el porcentaje de materia orgánica.

La calcinación es una técnica utilizada para determinar el contenido de materia orgánica en muestras de suelo. Está basada en la combustión controlada de la materia orgánica presente en las muestras, dejando atrás las cenizas inorgánicas. La diferencia de peso entre la muestra antes y después de la calcinación se utiliza para calcular el porcentaje de materia orgánica perdida durante el proceso.

Es importante tener en cuenta que este método solo proporciona una estimación del contenido de materia orgánica y que puede perderse parte de la materia orgánica volátil durante la calcinación. Además, ciertos compuestos inorgánicos presentes en el suelo pueden interferir con los resultados, por lo que es fundamental seguir cuidadosamente los procedimientos establecidos y considerar las limitaciones del método (Barrezueta-Unda et al., 2020).

8.9 pH

Según Soriano (2018), el pH del suelo es una medida que indica su acidez o alcalinidad, determinada por la concentración de iones de hidrógeno (H^+), este pH influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la actividad microbiana, la estructura del suelo y la presencia de elementos tóxicos, además la mayoría de las plantas prefieren un pH ligeramente ácido, entre 6.0 y 7.0. Sin embargo, los suelos arcillosos suelen ser más alcalinos y los arenosos más ácidos. Las prácticas agrícolas, como la aplicación de fertilizantes, pueden alterar el pH del suelo.

8.9.1 Metodología de pasta saturada del suelo para determinar el pH.

La técnica de pasta saturada del suelo consiste en crear una pasta homogénea al mezclar una cantidad específica de suelo con agua destilada hasta que la muestra alcance una consistencia similar a la del barro, una vez formada la pasta extraer una solución acuosa mediante una bomba de vacío la cual será medida en el ionómetro pH LaquaTwin PH-3 (Mamani, 2022).

8.10 Sistemas de producción agrícola

Jacto (2023), afirma que los sistemas de producción agrícola engloban un conjunto de métodos, recursos, tecnologías y fuerza laboral con el propósito de cultivar uno o varios tipos de cultivos. Cada uno de estos sistemas presenta atributos específicos que los vuelven idóneos para abordar necesidades y tipos particulares, en efecto, los sistemas agrícolas son proveedores principales de alimentos a nivel mundial. Por ende, la organización y la evolución de estos sistemas desempeñan un papel fundamental en la seguridad alimentaria de la población.

Los sistemas de producción agrícolas es el conjunto de explotaciones individuales con recursos básicos, modelos empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares; a los cuales corresponderían estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas, en donde cada finca cuenta con características específicas que se derivan de la diversidad existente en lo relacionado a la dotación de recursos y a las circunstancias familiares, entonces los elementos biofísicos, socioeconómicos y humanos de una finca son interdependientes y, por lo tanto, las fincas pueden ser analizadas como sistemas desde varios puntos de vista (Caicedo, 2020).

8.10.1 Sistema natural

Es un sistema con suelos de relieves irregulares, con una inmensa variedad de vegetación nativa rodeados de árboles excesivamente ramificados. A su alrededor se encuentran ríos o quebradas donde ya está adaptada su fauna y flora con las características de no tener perturbaciones por maquinaria agrícola sin presencia de acceso humano o que no ocurran prácticas o algún tipo de manejo agrícola en él (Zebrowsky & Gonzáles, 2019).

8.10.2 Sistema agroecológico

Según Suarez & Ortega (2019), estos sistemas se caracterizan por ser pequeñas unidades productivas, arraigados en la racionalidad ecológica de la agricultura tradicional, con tecnologías y prácticas de manejo de los recursos naturales relacionadas a su cosmovisión cultural (vinculo que se establece entre el ser humano y la naturaleza), con propias formas de

organización para el trabajo y comercialización, basado en dinámicas sociales de cooperación e integración.

8.10.3 Sistema convencional

Es un sistema de agricultura intensiva, con un nivel alto de tecnificación y con un uso máximo de tecnología, las técnicas utilizadas son bastante estandarizadas y se asocia a un tipo de cultivo comercial, sus capacidades físicas y técnicas de los agricultores juegan un papel fundamental, también el uso excesivo de insumos químicos es una de sus principales características, su objetivo principal es producir y proveerse económicamente del cultivo sin tener ninguna por plagas o malas prácticas agrícolas (Certis Belchim. , 2022).

8.10.4 Sistema tradicional

Según Guardado (2022), el sistema tradicional se caracteriza por ciertos hábitos empíricos como el manejo herramientas básicas y el uso mínimo de productos químicos. Otra de las características de este tipo de sistema es la diversidad de la vegetación autóctona donde se siembran distintas especies y cultivos que ayudan a estabilizar los resultados a largo plazo, consiguiendo como fruto distintos alimentos que casi siempre son consumidos por el agricultor dentro de este entorno sus principios o conocimientos son transmitidos de generación tras generación.

8.10.5 Sistema degradado

Es un sistema con características biofísicas afectadas por la combinación de procesos como la contaminación realizados por el hombre de manera indeseable o puede ser producida por una variedad de factores, como la erosión, compactación, salinización, acidificación y la pérdida de materia orgánica. A consecuencia de esto el suelo tiene baja productividad biológica, carecerá de actividad microbiana, tendrá baja capacidad fértil evitando así el proceso del crecimiento vegetal (Jacto, 2022).

9. PREGUNTA CIENTIFICA

¿La capacidad de intercambio catiónico puede ser analizada y relacionada con los parámetros físicos y químicos en suelos de sistemas productivos mediante metodologías o aplicaciones móviles?

10. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Tipos de investigación

10.1 Investigación bibliográfica

Implica examinar la documentación bibliográfica disponible sobre el tema de investigación, este proceso constituye uno de los pasos fundamentales en esta investigación, involucrando la elección de fuentes de información sobre el intercambio catiónico en suelo con el propósito de obtener los fundamentos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

10.2 Investigación estadística

Es un proceso donde se utilizará variables y métodos estadísticos que den información para interpretar y analizar datos sobre el estado en que se encuentra la salud de los diferentes suelos de la provincia de Cotopaxi.

10.3 Métodos de investigación

10.3.1 Científico

La investigación del proyecto está basada en normas, técnicas para la estructuración del marco teórico aportando nuevos conocimientos para desarrollar las metodologías para medir la capacidad de intercambio catiónico en el suelo.

10.3.2 Inductivo

Este método se utilizó en la presente investigación para encontrar una metodología que mida de forma práctica la CIC, sumándole dos indicadores físicos y un análisis de suelo como medios de verificación para observaciones y conclusiones concretas.

10.3.3 Deductivo

Este método fue empleado con la intención de comenzar con aspectos generales para luego proporcionar explicaciones detalladas sobre la metodología que es la tinción con azul de metileno para evaluar la capacidad de intercambio catiónico en diferentes sistemas de producción agrícola.

Instrumentos de investigación

10.3.4 Cuaderno de campo

Se recolectó información sobre los procesos implicados para la parte estadística de la investigación, utilizándolo como un receptor de información.

10.3.5 Gestores bibliográficos

Son herramientas que almacenan las referencias bibliográficas de las bases de datos de revistas científicas, libros o investigaciones de titulación que permitirán organizar las citas y la bibliografía utilizada en esta investigación.

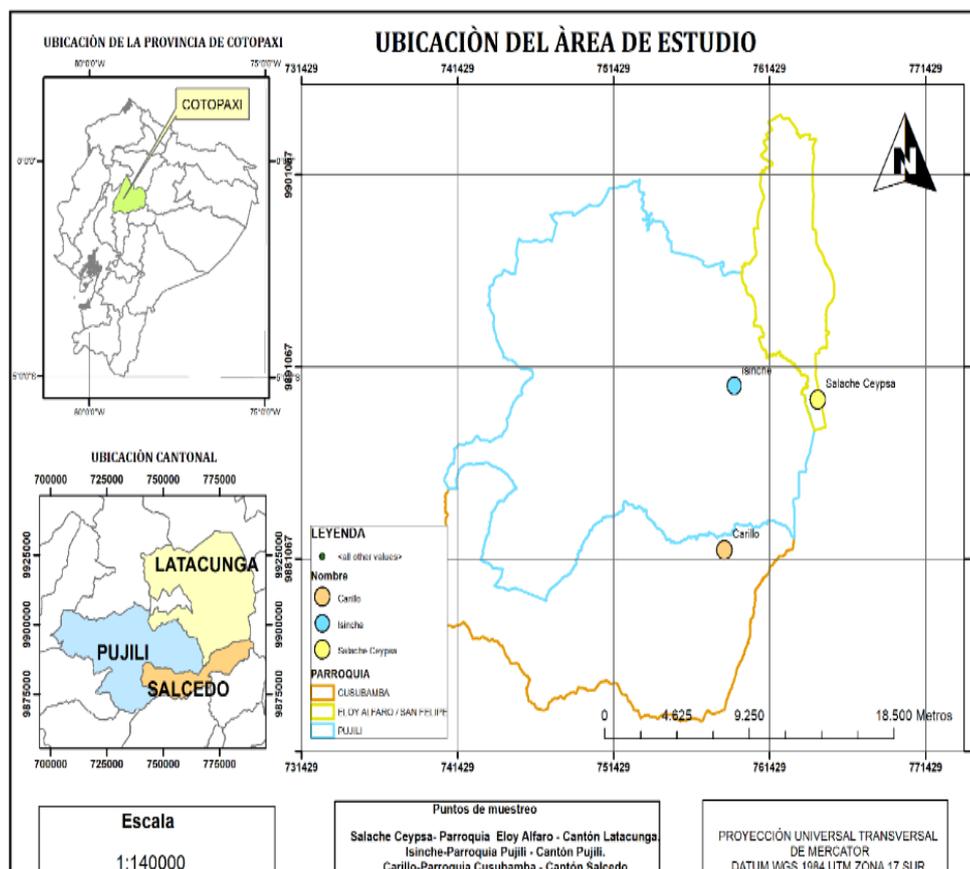
10.3.6 Tablas

Se utilizaron tablas para el análisis e interpretación de resultados para tomar decisiones y obtener conclusiones verídicas.

10.3.7 Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en 3 diferentes zonas situadas en tres cantones (Salcedo, Latacunga y Pujilí) de la provincia de Cotopaxi localizada en la región interandina del país, en cada una analizaremos cinco sistemas de producción: ecosistema de referencia, agroecológico, tradicional, convencional y degradados. El rango altitudinal de estos cantones varía entre 2600 m.s.n.m a 2970 m.s.n.m, la temperatura media anual varía de 10 y 12°C, (Santos, 2022). Para la delimitación de área de estudio se utilizó el software Arc Gis 10x ver (figura 1).

Figura 1. Mapa del área de estudio



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

Tabla 3. *Antecedentes de las prácticas culturales y agrícolas realizadas por los productores.*

NOMBRE DEL SITIO	TIPO DE MANEJO	ANTECEDENTES
<i>Salache CEYPSA</i>	Agroecológico	<ul style="list-style-type: none"> • 12 años de producción agrícola • Existe cercas vivas de ornamentales, forestales y frutales • No utiliza ningún tipo de producto químico • Existe rotación de cultivos • No solo son monocultivos • Uso total de abonos son orgánicos • Cuentan con riego suficiente
	Convencional	<ul style="list-style-type: none"> • 12 años de producción agrícola • Se utiliza como zona de pastoreo • Poco ingreso de maquinaria pesada • Cuenta con un sistema de riego • Mínimo uso de productos químicos • Su producción está dispuesta para la ganadería
	Ecosistema de referencia	<ul style="list-style-type: none"> • Nunca se realizó alguna siembra o prácticas agrícolas • No existe ningún tipo de cultivo sembrado por el hombre • Existen muchas variedades de especies silvestres • No ingresan personas a esa zona • No existe evidencia de que haya ingresado alguna maquinaria agrícola
	Degradado	<ul style="list-style-type: none"> • 6 años de producción agrícola • Son consideras terrazas agrícolas

		<ul style="list-style-type: none"> • Existe policultivos • Se encuentra en proceso de recuperación • Notable erosión del suelo debido a su ubicación • El riego es mínimo para esa zona
	Tradicional	<ul style="list-style-type: none"> • 12 años de producción agrícola • Realizan siembras de cereales • Uso frecuente de fertilizantes, fungicidas y plaguicidas químicos • Ingreso frecuente de maquinaria agrícola • Cuentan con sistema de riego • Uso de tecnología agrícola como drones
<i>Isinche</i>	Agroecológico	<ul style="list-style-type: none"> • 5 años de producción • Utiliza estiércol animal como abono • Siembra diferentes tipos hortalizas • No utiliza maquinaria • No utiliza productos químicos • Tiene cercas vivas • No cuenta con un sistema de riego
	Convencional	<ul style="list-style-type: none"> • 5 años de producción agrícola • Siembra cereal para el autoconsumo • Utiliza estiércol animal como abono • No utiliza maquinaria para sus labores • No cuenta con ningún sistema de riego
	Ecosistema de referencia	<ul style="list-style-type: none"> • Alrededor de 30 años sin uso agrícola • Tiene árboles forestales y silvestres • No realizan prácticas laborales • No tiene un sistema de riego
	Degradado	<ul style="list-style-type: none"> • 15 años de producción agrícola • Monocultivos de cereales • No existe un sistema de riego • Existe evidente erosión del suelo

		<ul style="list-style-type: none"> • Frecuente uso de maquinaria agrícola • Utilización de abonos orgánicos e inorgánicos
	Tradicional	<ul style="list-style-type: none"> • 10 años de producción agrícola • Utilizan productos químicos, fungicidas y herbicidas • Monocultivos y policultivos • Utilizan maquinaria dos veces antes de la siembra. • No cuenta con un sistema de riego
<i>Carillo</i>	Agroecológico	<ul style="list-style-type: none"> • 5 años de producción agrícola • Tiene cercas vivas de frutales y algunas forestales • Tiene policultivos tanto como hortalizas y verduras • No ingresa maquinaria agrícola • Sus productos son para autoconsumo • Utiliza abono de estiércol animal
	Convencional	<ul style="list-style-type: none"> • 4 años de producción agrícola • No ingresan maquinaria agrícola, utilizan a los animales como medio de laboreo en el terreno • Solo existen monocultivos de papas, maíz o pasto • Uso mínimo de fertilizantes o fungicidas • Sus productos son comercializados • Tiene sistema de riego
	Ecosistema de referencia	<ul style="list-style-type: none"> • Nunca se ha sembrado algún tipo de cultivo • Evidencia casi nula de ingreso por personas

		<ul style="list-style-type: none"> • Existen plantas medicinales y algunas malezas, mas no de arboles • Junto a ella pasa un canal de riego
	Degradado	<ul style="list-style-type: none"> • Tres años que no se ha sembrado nada • No cuenta con algún ingreso de maquinaria pesada en ese periodo • Existe consecuente erosión del suelo • Solo ingresan animales • No tienen algún tipo de sistema de riego • Existe baja cobertura vegetal
	Tradicional	<ul style="list-style-type: none"> • Más de 15 años de producción agrícola • Ingresa más 3 veces al año maquinaria pesada y utilizan herramientas tradicionales • Utiliza fertilizantes, fungicidas y herbicidas • Su producción es de autoconsumo y comercial • Cuentan con un sistema de riego • En ocasiones tienen monocultivos como policultivos

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

10.4 Muestreo

Esta investigación se basó y fue complementado en el protocolo de tomas de muestras de suelo inferido por (Arévalo & Gauggel , 2019).

1. Se reconoció las áreas donde se tomarán las muestras, en este caso se tomó un total de 15 muestras las cuales cinco son los manejos de cada lugar.
2. Para cada muestra se juntaron 35 sub muestras con la ayuda de un barreno a una profundidad de 20cm.



Fotografía 1.

3. El muestreo fue en forma de zigzag hasta tener una muestra considerable de suelo.



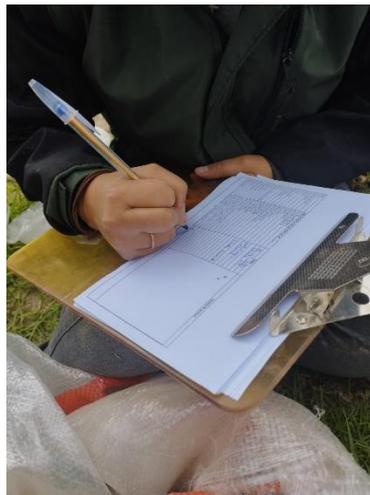
Fotografía 2.

4. Se mezcló las muestras y se dividió en partes iguales tanto para el laboratorio UTC como para el INIAP.



Fotografía 3.

5. Se llenan las fichas de identificación requerida por cada institución.



Fotografía 4.

6. Para el etiquetado de las muestras se usó los códigos de la letra CX (Cotopaxi) que corresponde a la provincia, 01-05 se refiere al número de manejo, así también las AE, ER, CO, TR y DE pertenecen a los tipos de manejo.
7. Las muestras fueron enviadas al laboratorio externo correctamente etiquetadas y pesadas 2kg por muestra.

10.5. Metodología de tinción con Azul de metileno para medir.

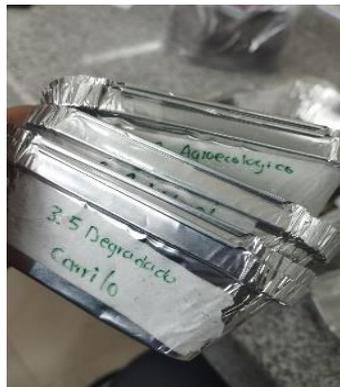
Para calcular capacidad de intercambio catiónico se adaptó en al protocolo de (Barbosa & Romero, 2017) que indica cómo realizar este método por tinción.

1. Se procede a colar la muestra con un tamiz de 2mm ancho de malla para eliminar todas estructuras gruesas.



Fotografía 5.

2. Se identifican recipientes pequeños con los códigos correspondientes de cada manejo.



Fotografía 6.



Fotografía 7.

3. Se toma 40 gr de la muestra ya tamizada para ponerlo en el recipiente.



Fotografía 8, 9.

4. Se lleva las muestras a secar por 104° por veinte y cuatro horas, para no tener ningún índice de humedad en la muestra.



Fotografía 10.

5. Se prepara una solución de azul de metileno seco con 1gr de este en 200 ml de agua destilada.



Fotografía 11.

6. Se toma la muestra de interés ya seca y se disuelven en 30 ML de agua destilada.



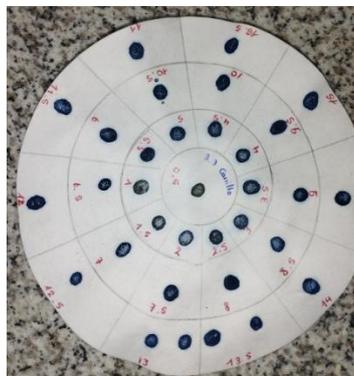
Fotografía 12.

7. Se añade la solución de AM a esta suspensión de suelo con incrementos de 0,5. Después de cada adición de 0.5 ml en un agitador magnético por un minuto. Se realiza este proceso las veces que sea necesaria hasta encontrar la cantidad que muestre el halo Azul.



Fotografía 13.

8. Se extrae la gota de la solución y se coloca en el papel filtro para el registro de adición de ml de AM.



Fotografía 14.

Esta tabla muestra los valores obtenidos de cinco muestras a través de las dos metodologías realizadas bajo procesos y condiciones de laboratorio.

Tabla 4. Valores de la CIC obtenidos a través de dos metodologías AM-INIAP

Identificación de la muestra	CIC-INIAP	CIC - AM
	meq/100 g suelo	meq/100 g suelo
Muestra 1	10,9	0,83
Muestra 4	10,9	4,8
Muestra 5	15,0	1,2
Muestra 13	9,5	1,95

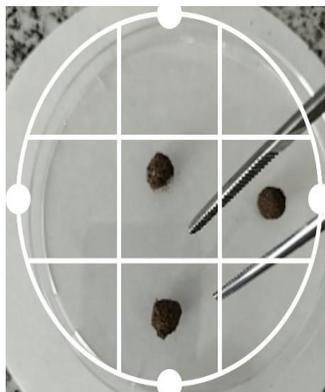
10.6. Metodología tecnológica móvil para la estabilidad de agregados

1. Se requiere que muestra de suelo para esta práctica debe estar previamente seca al ambiente por 24 horas.
2. Se descarga la aplicación Slakes de forma gratuita en Play Store.



Fotografía 15.

3. Se procede a tomar trípode a la 15 – 20 cm de altura para tomar la fotografía.
4. En una caja Petri se añade 3 agregados de 4 a 8 diámetros de ancho en forma triangular.



Fotografía 16.

5. Se procede a toma la primera foto de los agregados ajustando el color solo en la base que corresponda a estos.



Fotografía 17.

6. Por consiguiente, se toma la segunda foto, pero en esta debe ser añadida agua destilada hasta que cubra por su totalidad los agregados. Donde cambiara su forma por el contacto con el agua, pero no tiene inferencia en el resultado.



Fotografía 18.

7. Se debe esperar por 10 minutos en la aplicación, sin mover el celular en ningún momento y realice su análisis dando así un resultado donde valores cercanos al 1 el suelo es altamente estable y menores 0,50 tiene baja estabilidad de agregados.



Fotografía 19.

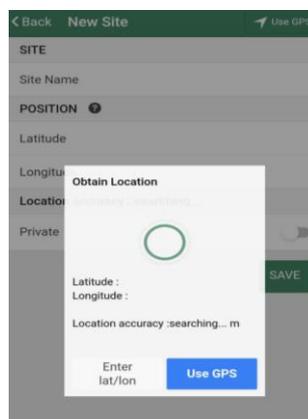
10.7. Metodología tecnológica móvil para determinar el color del suelo

1. La muestra del suelo para esta práctica debe estar previamente seca al ambiente por 24 horas.
2. Se descarga la aplicación de forma gratuita LandPKS en Play Store.



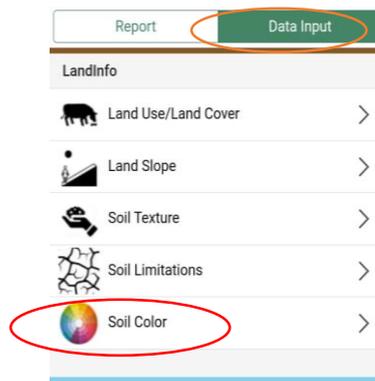
Fotografía 20.

3. Se abre la aplicación para vincular con tu cuenta google.
4. Clic en New Site donde se ubican las coordenadas de zona de muestreo o guiarte en el GPS de la aplicación. Además, añadimos el nombre de la muestra en Site Name.



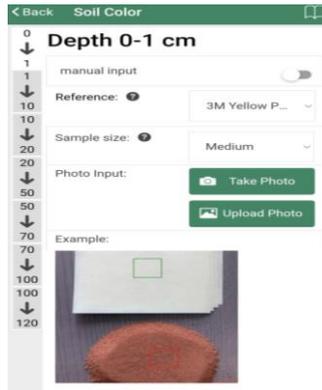
Fotografía 21.

5. Clic en Data Input para utilizar el parámetro de Soil color.



Fotografía 22.

6. Se rectifican los datos que son para el análisis de color, como la profundidad del suelo que está en la parte izquierda, el color del papel de referencia siempre va a ser (3M Yellow Post-It), tamaño de muestra que viene en (bajo, medio, alto).



Fotografía 23.

7. Finalmente da valores cuantitativos RGB que indican el porcentaje de tendencia de color es decir cuánto alto sea el valor más oscuro será el suelo.



Fotografía 24.

10.8. Metodología de calcinación para obtener el porcentaje de materia orgánica del suelo

1. Tener 100 gr de suelo y posteriormente tamizar a 2 mm.
2. Secar los 100 gr de suelo tamizado introduciéndole en la estufa a 105 °C durante 24 horas.
3. Introducir los crisoles dentro de la mufla durante 2 horas a una temperatura de 430 °C, esto es para eliminar la humedad de los crisoles.



Fotografía 25.

4. Anotar el peso total de cada crisol y enmarcar el número de manejo.
5. Pesar en la balanza analítica de precisión 3 gr de la muestra de suelo para consiguiente ser añadida al crisol.



Fotografía 26.

2. Poner los crisoles con los 3 gr de suelo dentro de la mufla a 430 °C por cuatro horas.



Fotografía 27.

3. Extraer el crisol con la muestra de suelo y dejar en el desecador para que alcance la temperatura ambiente.



Fotografía 28.

4. Finalmente se pesó de nuevo los crisoles con los gr de suelo anotando el peso final después de estar dentro de la mufla a 430 °C.

10.9. Metodología de pasta saturada del suelo (SPE) para obtener el pH

1. Tener 200 gr de muestra de suelo de cada manejo, mantener en reposo la muestra 24 horas antes del procedimiento a continuación, tamizar la muestra en el número de tamiz 60.



Fotografía 29.

6. Elaborar una mezcla entre el suelo y el agua destilada tipo lodo, debe dar como resultado una pasta brillante para comprobar que se haya realizado de manera correcta realizamos un corte en la mitad de la mezcla si se cierra o se vuelve unir uniformemente será válida.



Fotografía 30.

7. Se tapó la mezcla con plástico Stretch Film y dejar en reposo por dos horas.



Fotografía 31, 32.

8. Después de esperar el debido reposo de las muestras, procedemos a tomar la muestra y añadir en el embudo Buchner que tiene en su base un papel filtro para evitar pérdidas de extracción, consecuentemente se conectó a la bomba al vacío. Se esperó alrededor de 10 minutos para obtener los mililitros de agua de la pasta que se requiera.



Fotografía 33, 34, 35.

9. Se colocó máximo tres gotas en los Ionómetros para poder pH.



Fotografía 36.

10.10. Análisis estadístico

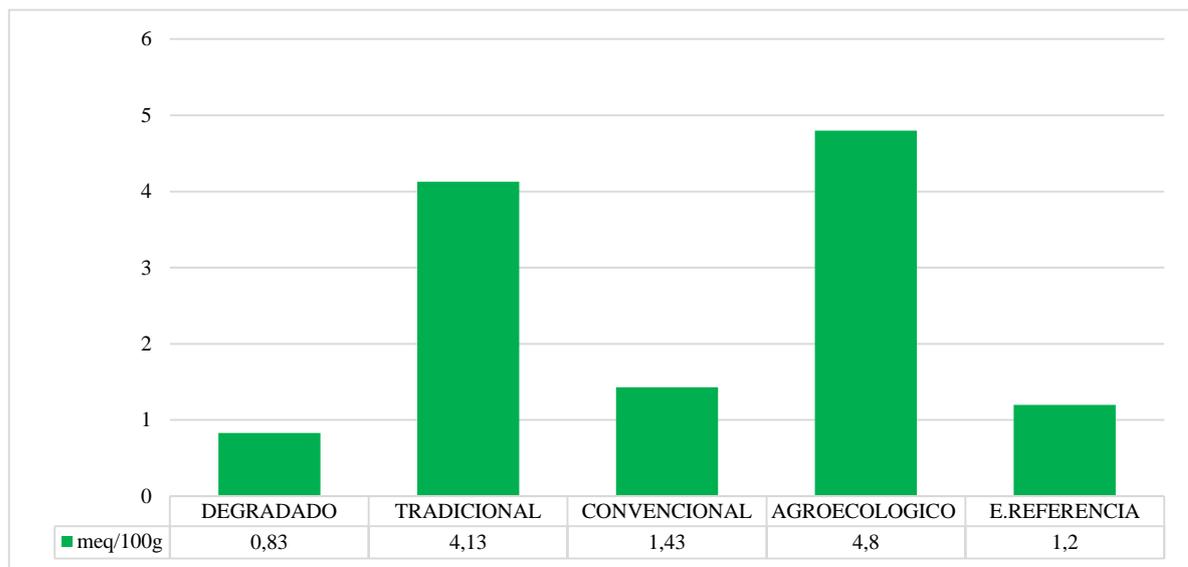
Se realizó un análisis de coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación entre la capacidad de intercambio catiónico entre variables cuantitativas de las propiedades químicas y físicas del suelo para determinar la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables, así verificar si están asociadas entre sí.

11. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

11.1 Cuantificación de la capacidad de intercambio catiónico a través del método de tinción con azul de metileno por sistemas de producción por zonas

Se puede observar que en el Gráfico 1, el sistema agroecológico muestra la máxima capacidad dentro de la zona de Salache CEYPSA con el valor de 4,8 meq/100 g, debido a sus prácticas como el uso adecuado de abonos e insumos totalmente orgánicos, la presencia de cercas vivas como forestales y frutales, el cero uso de maquinaria agrícola. Contribuyen a que el suelo mantenga sus características resguarden la buena calidad del suelo, pero según Gallardo & Salinas (2023) el sistema no está en la capacidad de realizar dichos procesos si se encuentran en un nivel es bajo que varié 0-10 meq/100g. Pero si el suelo cuenta 25 – 45 meq/100g serán considerados suelos medios o ricos en intercambiar y suministrar nutrientes.

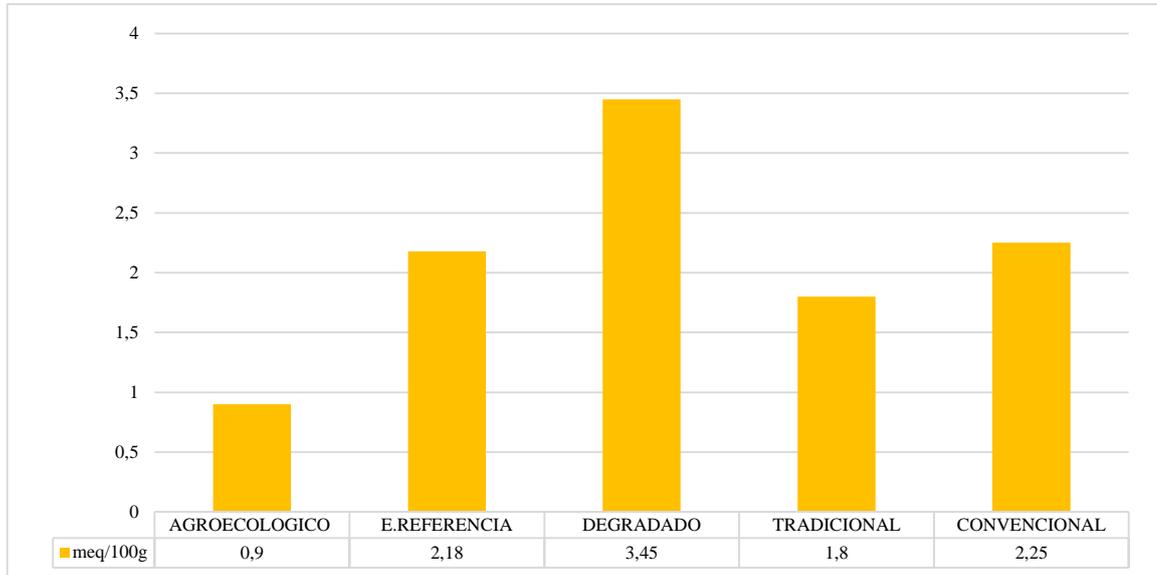
Gráfico 1. Capacidad de intercambio catiónico en la zona de Salache CEYPSA



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

En el Gráfico 2, el sistema degradado muestra la máxima capacidad de intercambio en la zona de Isinche con 3,45 meq/100 g, esto correspondería a la habitual siembra de cereales o leguminosas, la constante aplicación de abonos y encontrarse en proceso de recuperación.

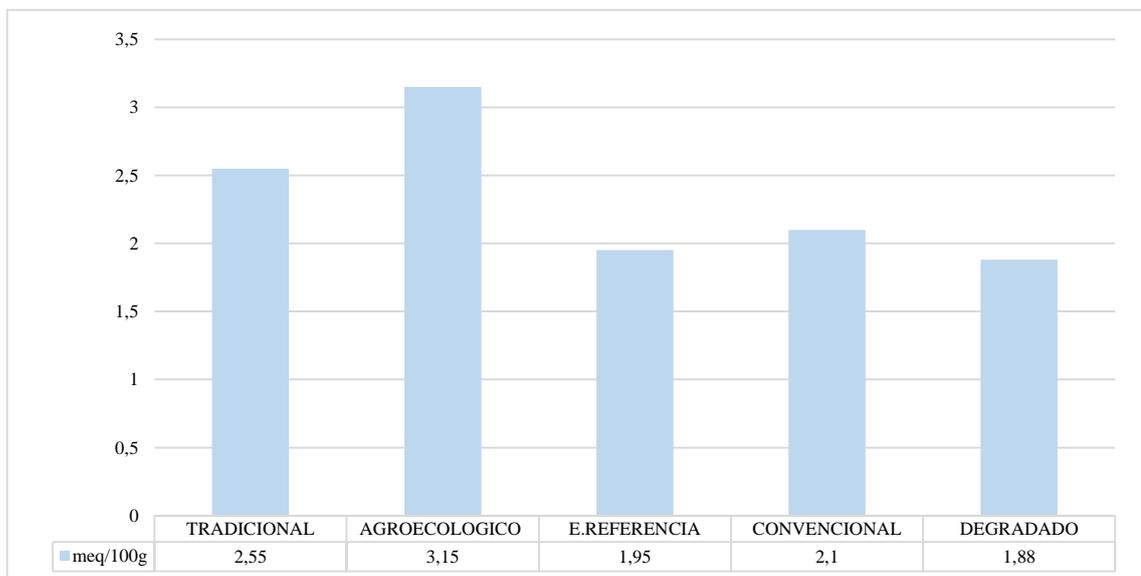
Gráfico 2. Capacidad de intercambio catiónico en la zona de Isinche



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

En el Gráfico 3, el sistema agroecológico de la zona de Carrillo tiende a ser el que se encuentra en máxima capacidad realizar el intercambio catiónico con un 3,15 meq/100 g a diferencia de los otros sistemas, la frecuente siembra hortalizas y verduras, poseer cercas vivas de frutales y algunas forestales, no ingresa maquinaria agrícola y utiliza abono orgánico aportan significativamente que aquel resalte en los otros sistemas.

Gráfico 3. Capacidad de intercambio catiónico en la zona de Carrillo



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

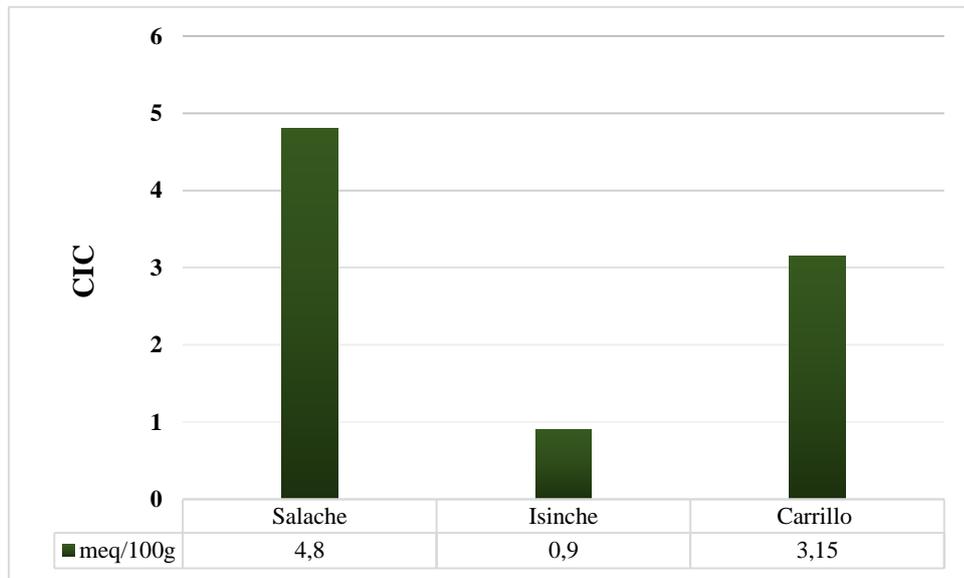
Sin embargo, se recalca que todos los sistemas evaluados dentro de esta investigación a través de la metodología de tinción con AM, corresponden a un nivel bajo porque sus valores no varían a más de 5 meq/100g presentando evidente deficiencia para desarrollar procesos que ayuden a mejorar o mantener un suelo saludable y fértil.

11.2 Cuantificación de la capacidad de intercambio catiónico a través del método de tinción con azul de metileno por cada uno de los sistemas de producción

Con base a los análisis observados en el Gráfico 4, realizados se determinó que, dentro de las tres zonas que abarcan el sistema agroecológico se prevalece con un valor máximo en la zona de Salache CEYPSA. Esto se da gracias al interés de la Universidad en recuperar e impartir conocimientos de cómo mejorar y mantener un sitio agroecológico, su inversión económica toma relevancia a diferencia de las otras zonas por que aquellas no cuentan con un acceso económico permanente para invertir en insumos orgánicos que ayuden a mejorar su sistema.

Coronel (2019), atestigua que los sistemas agroecológicos deben desarrollar agro ecosistemas con una dependencia mínima de agroquímicos e insumos de energía tomando en cuenta principios básicos como el reciclaje de nutrientes y energía, sustitución de insumos externos, mejoramiento de la materia orgánica y actividad biológica del suelo, diversificación de especies de plantas y recursos genéticos de los agro ecosistemas y la optimización de las interacciones con la productividad del sistema agrícola en su totalidad. De tal manera que esta es la razón principal de que la zona de Salache prevalezca con valores máximos en cuanto al intercambio catiónico es el interés de fortalecer estos principios básicos con los estudiantes han resultado eficientes para generar más estrategias dentro del sistema.

Las prácticas y la forma de cómo llevar en un avance constante dentro de esta zona agroecológica en Salache resultan positivos en desarrollar capacidades que aporten un incremento potencial en el suelo para retener e intercambiar nutrientes. Sin embargo, las dos zonas restantes deben tomar en cuenta que sus prácticas y aportaciones agrícolas deben ser reformadas para que el suelo se adapte de mejor manera a las características agroecológicas.

Gráfico 4. CIC de los sistemas productivos agroecológicos

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

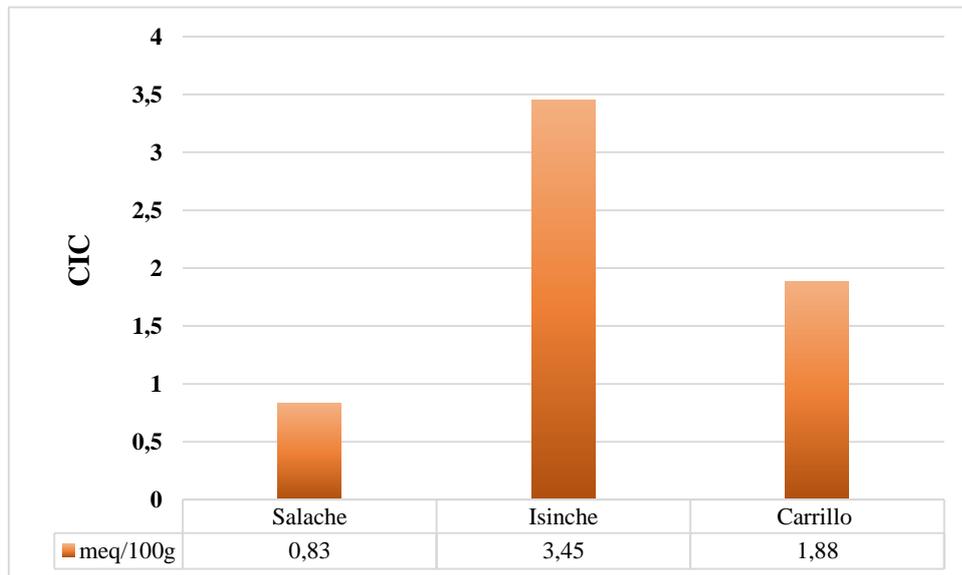
De acuerdo al Gráfico 5, de los sistemas degradados se determina que la zona de Isinche tiene el máximo potencial en realizar mejor la actividad atraer y cambiar nutrientes, esto se debe a que el suelo de este sistema tiene varios años de producir e ingresar maquinaria agrícola realizando así una modificación en la estructura del suelo que es de tipo cangahua e ir desvaneciendo el endurecimiento que posee, la constante producción agrícola ha ido evitando un poco la erosión ya que regularmente el suelo se encuentra cubierto por los cultivos.

Palacios et al. (2018), deduce que problema principal de los suelos degradados es la erosión como consecuencia de las malas prácticas agrícolas, la presencia de fuertes pendientes y su propia composición. El origen volcánico de los suelos andinos es común encontrar cangahuas, que ocasionan problemas a la agricultura. A demás la falta de nuevas tierras productivas, en conjunto con la expansión agrícola, generan la necesidad de rehabilitar las áreas afectadas para mejorar la calidad de vida de los habitantes y recuperarlos.

Es por eso que la zona de Salache debido a su ubicación que está en un área mayormente compuesta de cangahuas y la erosión de la misma es muy evidente causa el devaste cimiento de nutrientes que participen de manera activa en la producción y la estabilidad de los cultivos. Carrillo cuenta con un terreno que no se ha sembrado en años, pero si tienen el ingreso constante de animales para el pastoreo los cuales han ido generando una erosión mecánica y destruyen la cobertura vegetal, todas estas prácticas disminuyen la fertilidad del suelo al eliminar las

partículas más finas, arcillas y materia orgánica, que son importantes para mantener la CIC y la estructura del suelo.

Gráfico 5. CIC de los sistemas productivos degradados

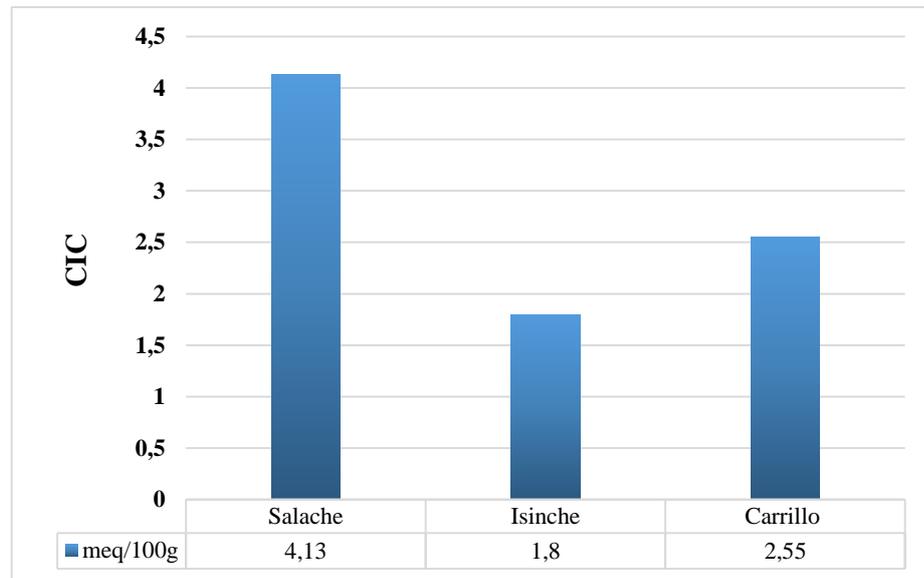


Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

En los sistemas tradicionales analizados dentro de esta investigación se observan en el Gráfico 6, el valor máximo se encuentra dentro de la zona Salache CEYSA, porque existe una continua actividad agrícola de ciertas leguminosas como la alfalfa, vicia o pastos con fines alimenticios para los animales del campus. Esto conlleva a garantizar conocimientos e innovaciones empíricas impartidas por la universidad, además dentro de esta área la productividad está basada en técnicas poco automatizadas y estandarizadas para ser respetuosos con el medio ambiente.

Sacoto (2022), destaca que los sistemas tradicionales se rigen en la intensidad del uso del conocimiento y no en la intensidad de la aplicación de insumos químicos, estos incrementarían mecanismos de reciclaje de nutrientes a través del uso de sistemas de rotaciones basadas en leguminosas y la integración de ganado a este suelo. En cuanto a las zonas de Isinche y Carrillo al no realizar rotación de cultivos porque persistentemente siembran maíz serían los causantes de no incrementar o disminuir su valor en CIC, su sistema si interfiere en los conocimientos tradicionales, pero no es suficiente para mejorar su proceso.

Gráfico 6. CIC de los sistemas productivos tradicionales

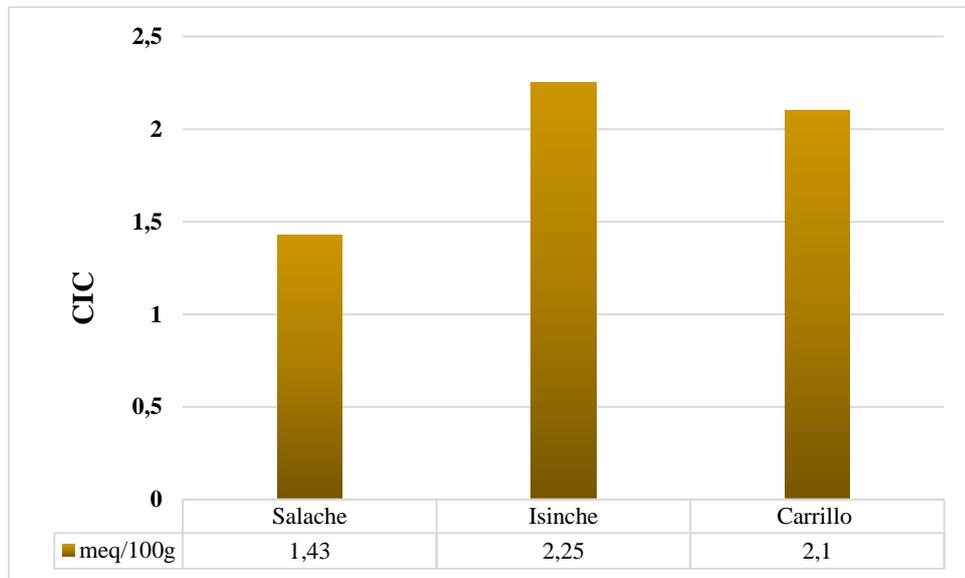


Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

Con respecto a los sistemas convencionales Gráfico 7, se determinó que la zona de Isinche contiene mayor índice en CIC esto es gracias a que en la zona el uso intensificado de productos químicos es bajo puesto que su productividad es solo para autoconsumo más no para ser comercializado, si existe una evidente productividad agrícola y el uso de maquinaria, pero no sería el promotor de que disminuya la capacidad suministrar nutrientes. Para Escobar (2017) un sistema convencional es un método de producción que hace uso de insumos considerados externos como, herbicidas, pesticidas y abonos químicos sintéticos, con el fin de obtener el máximo rendimiento en el menor tiempo posible sin tener pérdidas económicas, los cuales tienen un impacto negativo en la salud del suelo y la biodiversidad, lo que a su vez puede afectar a la (CIC) del suelo disminuyendo así la cantidad y calidad de los nutrientes disponibles para las plantas .

Después de esto se puede entender que las dos zonas usan considerablemente más productos químicos y a la intensiva producción agrícola con fines comerciales en este caso la venta de papa especialmente en Carrillo es la base económica de este sitio, entonces serían los causantes de que tengan menor capacidad de atraer y suministrar nutrientes.

Gráfico 7. CIC de los sistemas productivos convencionales

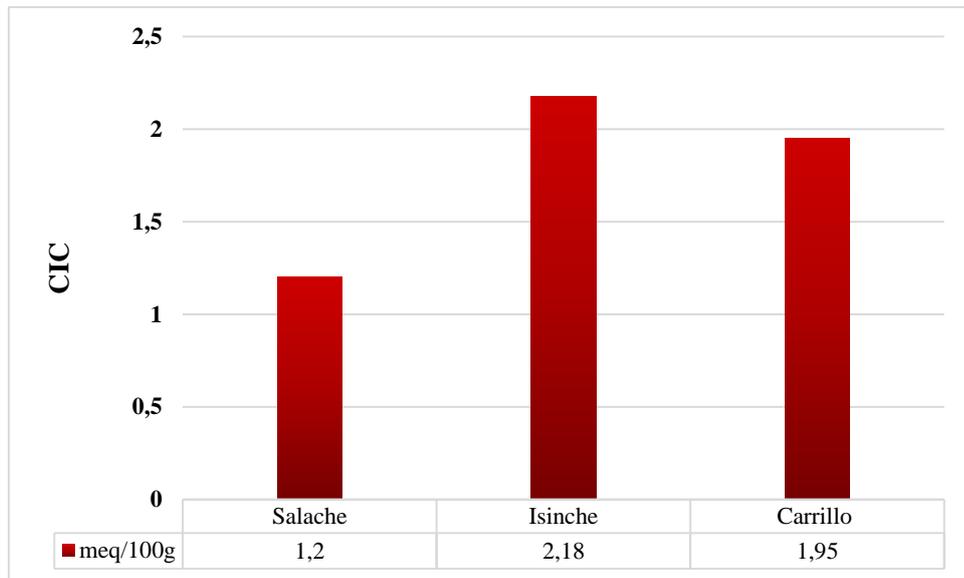


Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

En cuanto a los ecosistemas de referencia Isinche tiene el valor máximo a fin de que tiene presencia de vegetación nativa y algunas forestales como cholán y aliso los cuales protegen de cualquier tipo de erosión, este suelo jamás fue utilizado para la producción agrícola. Cabello & Navarro (2021), señala que los ecosistemas referenciales cumplen con máxima vegetación nativa y más estable en su nivel de madurez, sus condiciones del sitio permiten que exista ausencia de perturbaciones o bloqueos, expresando así su vegetación en potencia, este modelo se construye a partir de la búsqueda de información primaria y secundaria sobre las condiciones previas al ecosistema perturbado, con el objetivo de conocer su historia.

Por otro lado, Salache cuenta si con extensa vegetación, pero alrededor de ella existe un río el cual se ha ido expandiendo con maquinaria pesada los cuales indican un índice de perturbación, en Carrillo la zona considerada como referencia está al lado de un canal del agua también sería un indicador de que fue manipulado por el hombre. Todas estas perturbaciones afectan a restauración ecológica que en general buscan mejorar la salud del suelo y la biodiversidad, lo que a su vez puede perfeccionar la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Gráfico 8. CIC de los sistemas considerados como ecosistemas de referencia.



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

11.3 Comparación cualitativa de la capacidad de intercambio catiónico entre un análisis de laboratorio y la tinción con azul de metileno

En tabla 5, se observa los rangos establecidos por Gallardo & Salinas (2023) en donde estiman como se encuentra el suelo de acuerdo a la capacidad de intercambio catiónico en tres niveles diferentes. De tal manera que en la tabla 4 podemos observar y deducir que las cinco muestras se encuentran en un nivel bajo, considerando como suelos pobres por que en ninguno de los dos procedimientos presentan valores entre 20 - 45 meq/100g para ser estimados suelos medios o altos en determinar esta capacidad, cabe recalcar que no se realiza una comparación cuantitativa ya que las metodologías para obtener estos resultados son diferentes. Con el método de tinción con AM la muestra 4 (agroecológico) presenta mejores condiciones en realizar el intercambio catiónico y con la metodología realizada en el laboratorio particular es la muestra 5 (ecosistema de referencia).

Tabla 5. Resultados de la capacidad de intercambio catiónico entre análisis de un laboratorio y el método de tinción con azul de metileno

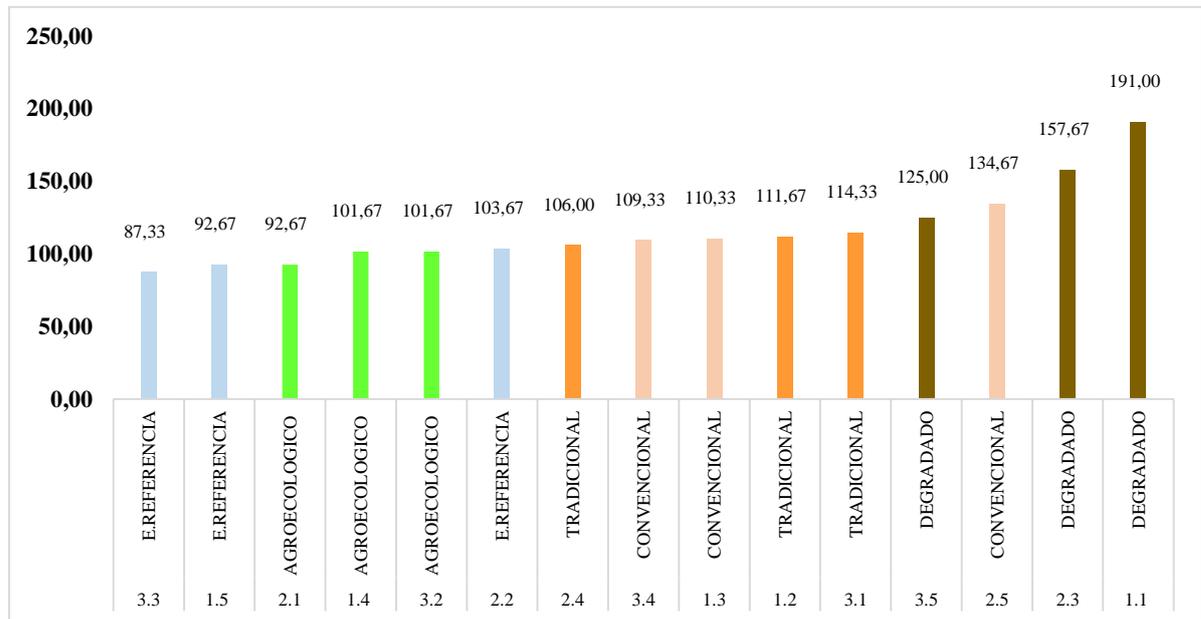
Numero de muestra	CIC-INIAP Meq/100 g suelo	CIC - AM Meq/100 g suelo
Muestra 1	Bajo	Bajo
Muestra 4	Bajo	Bajo
Muestra 5	Bajo	Bajo
Muestra 13	Bajo	Bajo
Muestra 14	Bajo	Bajo

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

11.4 Análisis del color en los sistemas productivos

Cuando los colores son más oscuros los valores vienen a ser bajos, los más claros tendrán valores altos esto se debe a la absorción de luz por que un color de suelo oscuro va absorber menos luz que al contrario de un color más claro cuándo se va tomar una fotografía para el análisis tecnológico en la aplicación móvil. Los suelos con colores más claros tienden a tener una mejor aireación y drenaje, lo que puede ser beneficioso para el crecimiento de las plantas. Por otro lado, los suelos con colores más oscuros pueden retener más humedad y nutrientes (Valdivia, 2019). De tal manera que el suelo con tendencia oscura será el ideal para realizar de mejor manera el intercambio catiónico necesario para la óptima fertilización, en este caso es el Ecosistema de referencia de la tercera zona (Carrillo) como se puede observar en el gráfico 9. Por el contrario, el sistema degradado de la primera zona (Salache CEYPSA) posee un color claro indicando su nivel de compactación limitando el crecimiento de las raíces y reduciendo la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes.

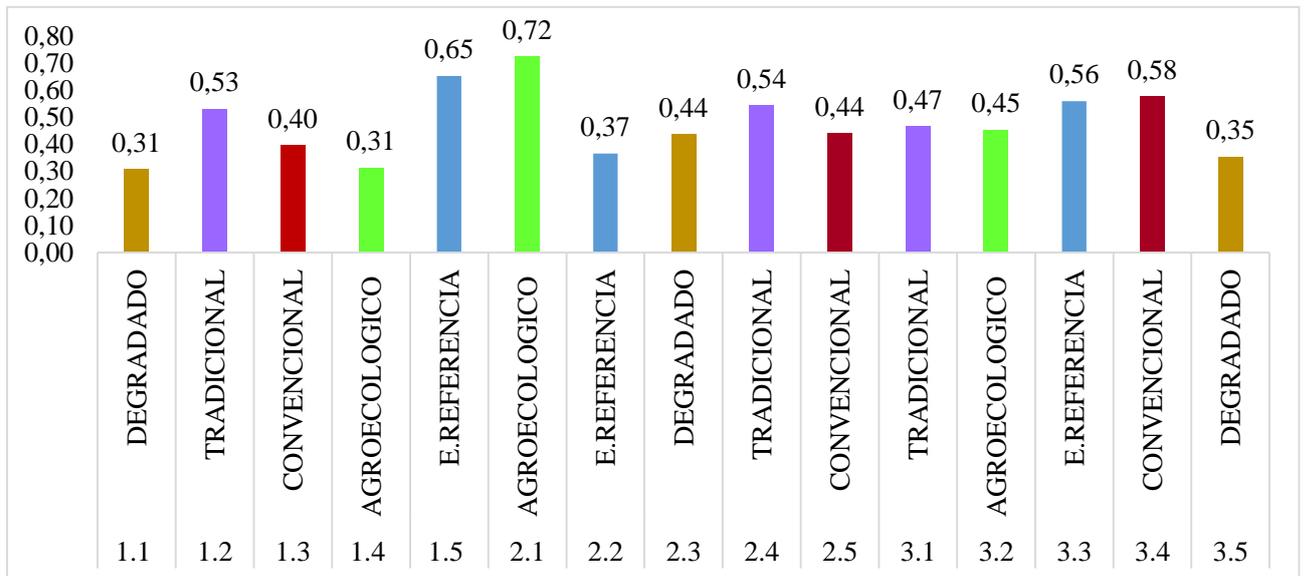
Gráfico 9. Nivel del color en los sistemas de producción



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

11.5 Análisis de la estabilidad de agregados en los sistemas productivos

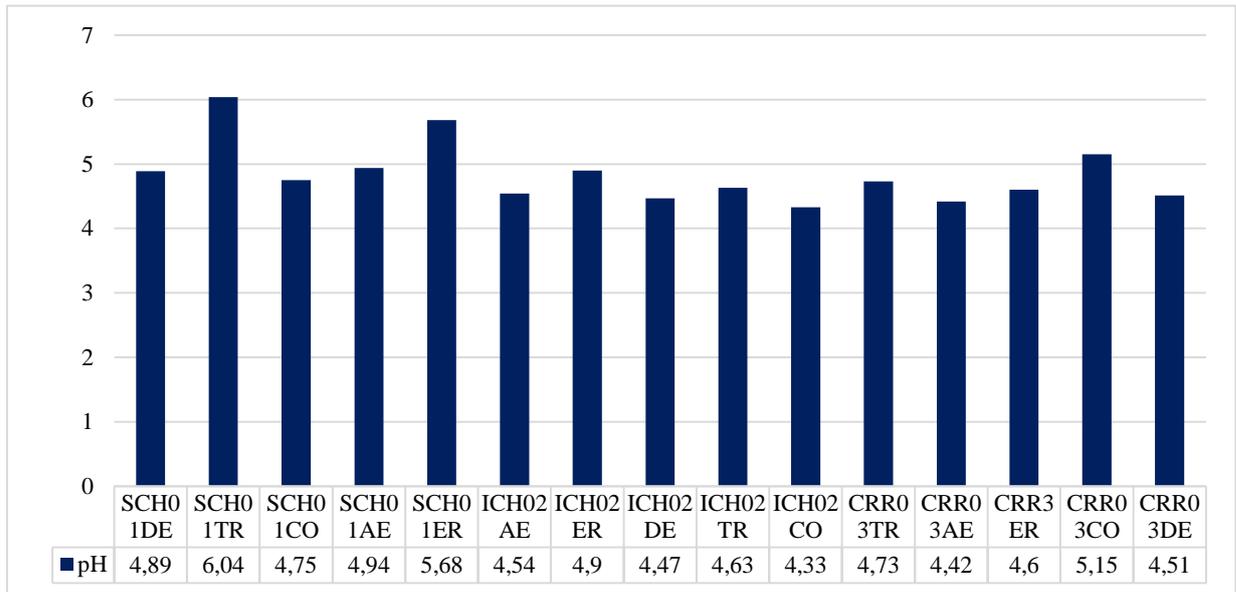
De acuerdo al gráfico 10, el sistema degradado de Salache CEYSA tiene menos presencia de agregados estables por su evidente erosión y compactación de suelo procesos que afectan directamente a suministrar nutrientes que influyan en la CIC. Pero cual si tiene alta capacidad de las partículas de suelo en mantenerse unidas en forma de agregados es el sistema agroecológico de la segunda zona (Isinche) en donde InfoAgro (2019) atestigua que todos los suelos que cuenten con una buena formación agregada apoyara a muchas internaciones químicas y serán menos susceptibles a la erosión, realizando nuevas prácticas como el aumento de la materia orgánica, la reducción de la compactación, el manejo adecuado del riego, el uso de polímeros sintéticos y el uso de cultivos de cobertura. Siendo así el sistema agroecológico con agregados más estables infiriendo fuertemente que la salud del suelo puede ir creciendo y mejorando con buenas prácticas agrícolas.

Gráfico 10. Nivel de estabilidad de agregados en los sistemas de producción

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

11.6 Análisis del pH en los sistemas productivos

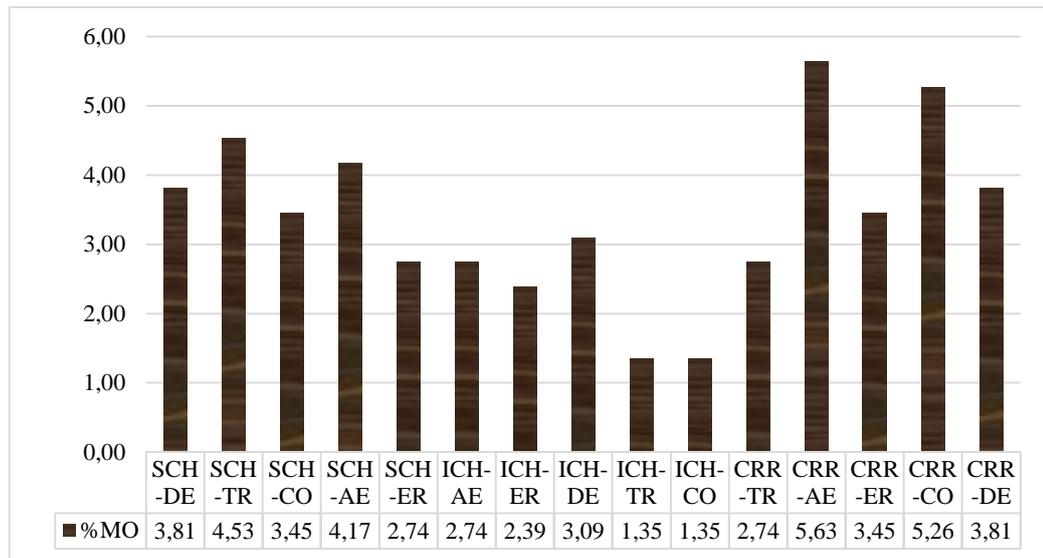
A medida que incrementa el valor del pH suministra un incremento de las cargas negativas y con eso genera una mejor capacidad de retener cationes en el complejo de cambio, que permite incrementar el grado de fertilidad en los suelos (Quispe & Luis, 2021). El estudio realizado para obtener el pH en zonas productivas de Cotopaxi corrobora una vez más que existen baja disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana ya que todas las muestras presentan un pH ácido, sin embargo, no necesariamente significa que el suelo esté en mal estado, ya que ciertas plantas se adaptan bien a estos niveles.

Gráfico 11. Nivel de pH en los sistemas productivos

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

11.7 Análisis del porcentaje de MO en los sistemas productivos

Los porcentajes ideales de materia orgánica en el suelo varían, pero en un supuesto correcto, deberían estar cerca del cinco por ciento, aunque, en muchos casos, el porcentaje de materia orgánica en el suelo no llega ni siquiera al 2 %, lo que hace que el 5- 10% sea considerado ideal en la actualidad (Molina, 2017). De acuerdo al gráfico 12, se evidencia que en los sistemas productivos existe un porcentaje desde 1,35 – 5,63 de materia orgánica indicando así que los suelos evaluados tienen baja presencia, la cual no formará complejos orgánicos y no tendrá buen equilibrio iónico relacionados estrechamente con la CIC.

Gráfico 12. Porcentaje de materia orgánica en los sistemas productivos

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

11.8 Correlación Pearson CIC entre propiedades químicas del suelo.

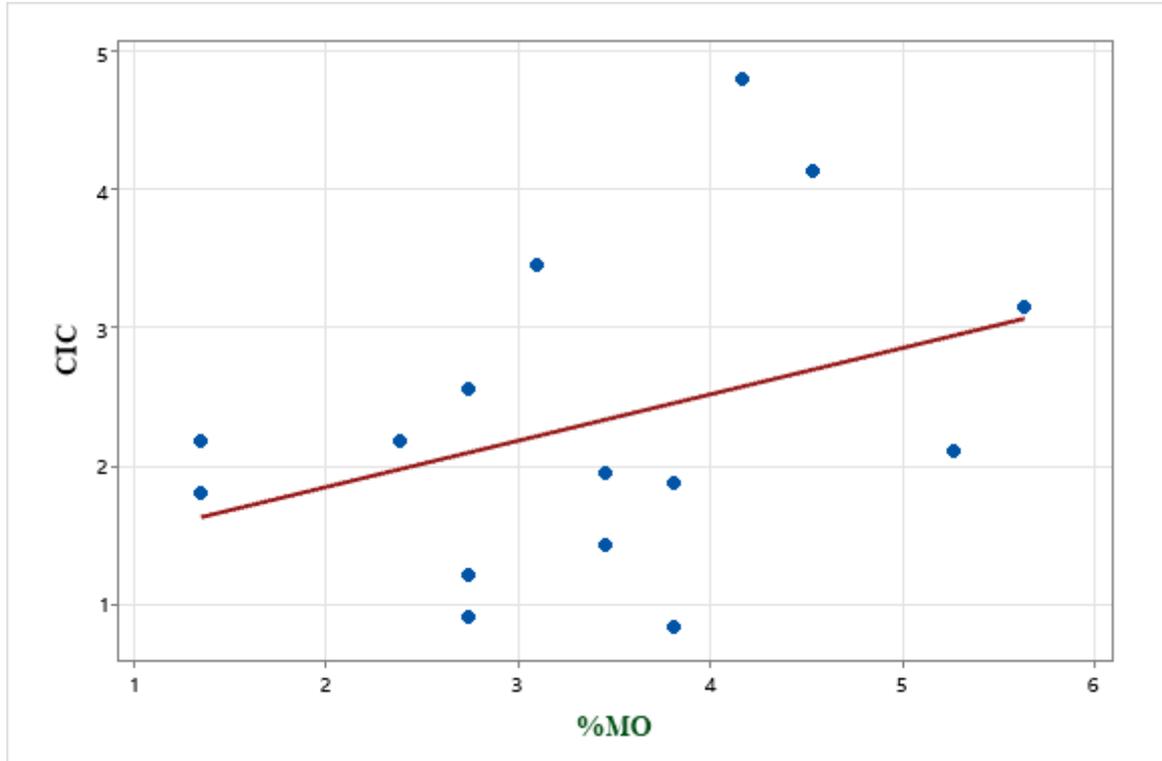
La correlación de Pearson se usó para conocer y establecer la relación entre variables en este caso la correlación entre la CIC, con propiedades químicas MO y pH del suelo medida en cada una de las muestras del estudio. En la tabla 6, se muestran los coeficientes de correlación para cada variable, en donde es posible ver la mediana relación lineal positiva de 0,36 al correlacionar la CIC con la materia orgánica este resultado se debe a que los dos procedimientos se realizaron bajo lineamientos dentro del laboratorio, pero con diferentes materiales y operaciones. Al analizar al menos dos variables simultáneamente, surge la pregunta sobre la coherencia entre ellas. Buscando determinar si los valores de una variable cambian consistentemente o se asemejan con los de la otra o no hay ningún patrón que las asocie (Lalinde, 2018). Sin embargo en el caso de la correlación con el pH existe poca relación positiva con 0.19 debido a que el procedimiento para obtener información se dio mediante un equipo que incorpora un electrodo plano diseñado con una tecnología HORIBA. Ver el gráfico 13 y 14 la relación positiva lineal de las variables.

Tabla 6. *Correlación entre las variables MO y pH con referencia a la CIC.*

CIC- VARIABLES	VALOR DE R	CORRELACIÓN	ESTIMACIÓN
MO	0,36	Correlación media	0.3 < 0.5
PH	0,19	Poca correlación	0.1 < 0.3

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

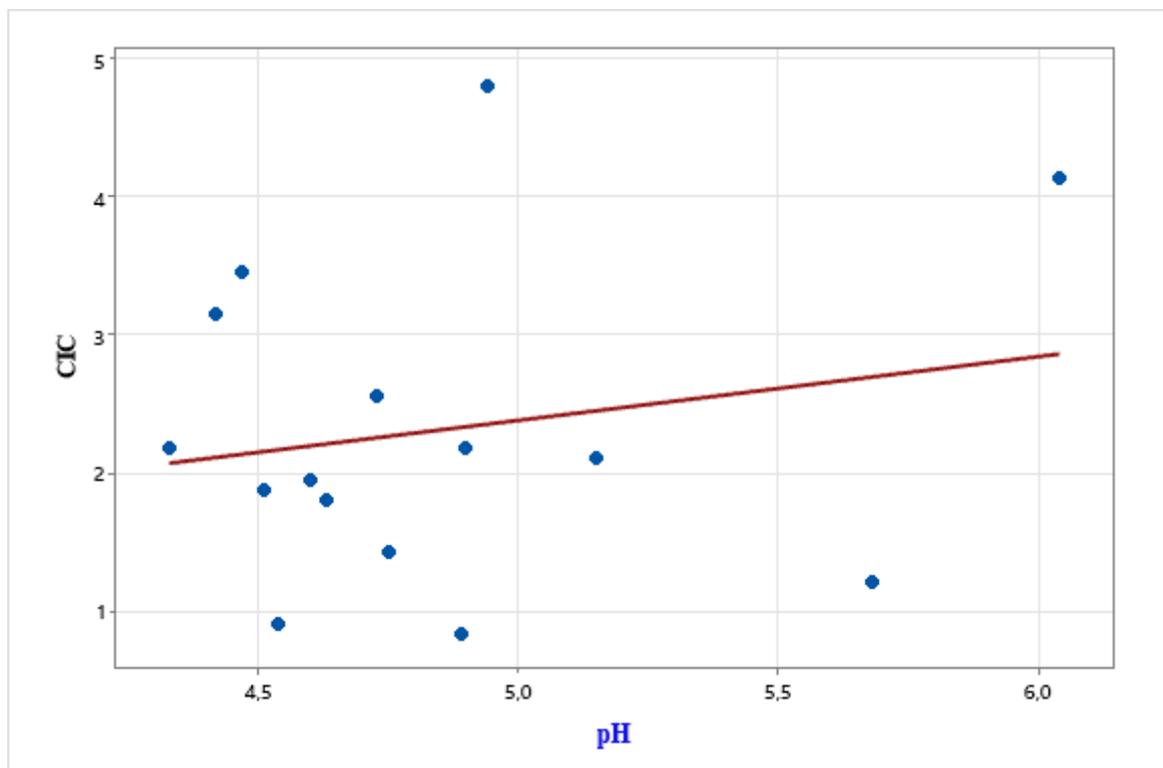
En el gráfico 13, podemos observar una dispersión media que nos indica una relación moderada entre las variables representadas, mostrando una relación lineal media entre la cantidad de la CIC y materia orgánica. La línea de tendencia indica que, en promedio, la CIC tiende a aumentar a medida que aumenta la MO. Sin embargo, la relación no es perfectamente precisa porque hay una dispersión de puntos alrededor de la línea de tendencia, lo que sugiere que otros factores también pueden influir en esta relación.

Gráfico 13. Gráfica de dispersión de CIC vs. %MO

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

En el gráfico 14, se observa una dispersión con poca correlación indica que las variables como el pH y la CIC representadas no están fuertemente relacionadas entre sí en el conjunto de datos analizado por qué no siguen una tendencia clara ya que el nivel de pH en CIC no es un predictor confiable en determinar esta capacidad en el suelo. Es importante tener en cuenta que la ausencia de correlación en los datos no significa necesariamente que no exista una relación causal, pero en este caso particular, no se observa una relación clara entre la CIC y el nivel Ph con respecto a los resultados obtenidos.

Gráfico 14. . Gráfica de dispersión de CIC vs. pH



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

11.9 Correlación Pearson CIC entre propiedades físicas del suelo.

En el caso de estas relaciones se determinó que existe una relación lineal negativa débil con $-0,31$ entre las variables CIC y estabilidad de agregados como se puede visualizar en la tabla 7, es decir que hay una relación floja entre las dos, entonces a medida que aumenta el valor de una variable, disminuye el valor de la otra (Lalinde, 2018), por tal manera que los cationes intercambiables, como calcio, magnesio, potasio y sodio, se adhieren a las superficies de las partículas del suelo y las sustancias orgánicas, pero no forman un enlace totalmente fuerte que mantengan las partículas unidas y contribuyan a la estabilidad de los agregados.

En cuanto a las relaciones establecidas con el color indica una evaluación negativa muy débil con -0,12 entre las variables analizadas. Sin embargo, la fuerza de esta relación sugiere que los cambios en una variable tienen un impacto limitado en la otra, aunque la capacidad de intercambio catiónico y el color del suelo pueden estar influenciados por algunos de los mismos factores. Es posible que en algunos suelos la CIC tenga influencia en el color, pero en otros casos no necesariamente existirá una correlación clara entonces la relación entre estas dos variables dependerá de la composición y las características específicas del suelo en cuestión (Fertilab, 2021).

Además, todos los resultados obtenidos dentro de estas propiedades físicas son mediante aplicaciones móviles descargadas en medios telefónicos, lo que puede inferir también en que los resultados no se relacionen con el resultado expuesto por la metodología bajo parámetros de laboratorio.

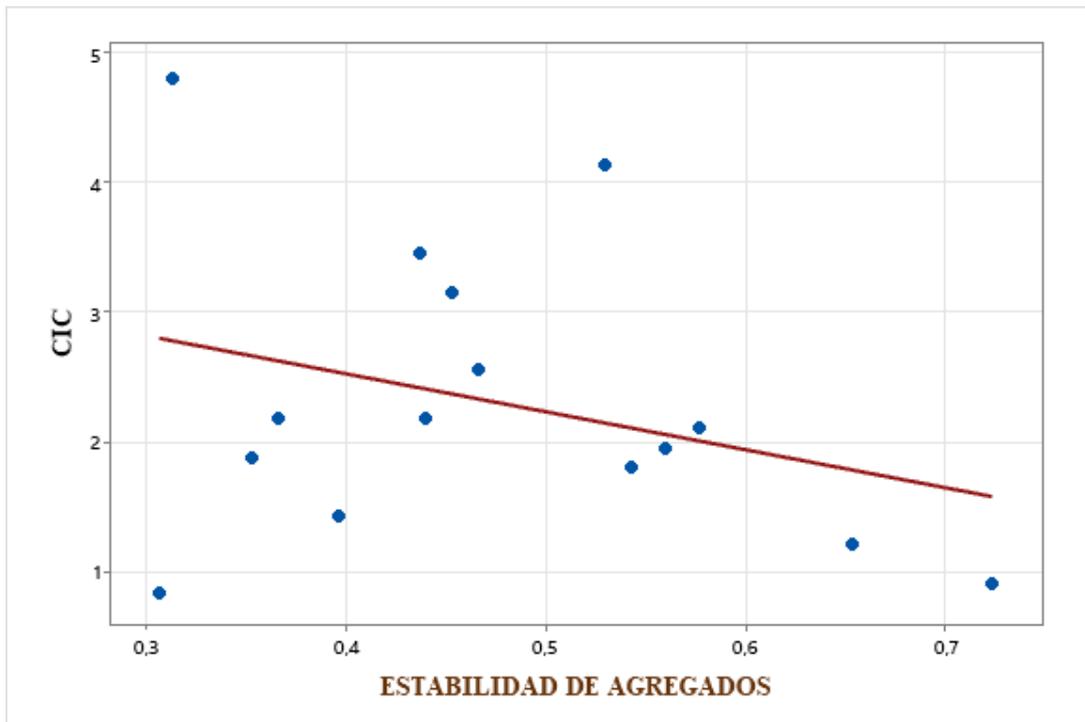
Tabla 7. *Correlación entre las variables estabilidad de agregados y color con referencia a la CIC.*

CIC- VARIABLES	VALOR DE R	CORRELACIÓN	ESTIMACIÓN
ESTABILIDAD DE AGREGADOS	-0,31	Correlación negativa media débil	-0.3 < 0.50
COLOR	-0,12	Correlación negativa baja débil	-0.10 < -0.3

Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

El gráfico 15, de dispersión muestra una correlación negativa débil entre la capacidad de intercambio catiónico y la estabilidad de agregados. Aunque los puntos tienden a descender ligeramente, lo que sugiere que a medida que aumenta el CIC, la estabilidad de agregados tiende a disminuir en promedio, la dispersión de los puntos indica que la relación no es muy fuerte. Esto significa que, aunque hay una tendencia general, y mucha variabilidad en los datos y otros factores pueden estar influyendo en la estabilidad de agregados.

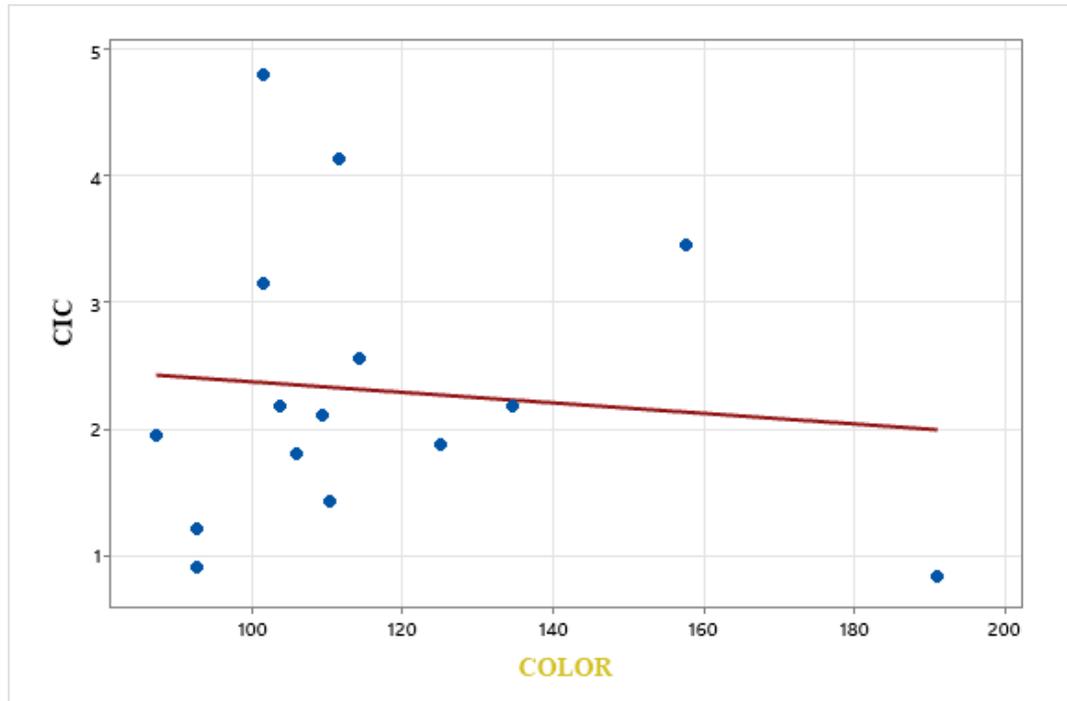
Gráfico 15. *Gráfica de dispersión de CIC vs. Estabilidad de agregados.*



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

En el gráfico 16, de dispersión muestra una clara relación lineal descendente con una mínima inclinación entre la CIC y el color. A medida que aumenta la CIC, el color tiende a disminuir de manera consistente es decir muestra una relación ligera cuando los valores del otro aumentan, pero la relación entre ellas es floja porque los puntos de concentración no se encuentran cerca del origen, lo que refleja una evaluación débil.

Gráfico 16. Gráfica de dispersión de CIC vs. Color



Elaborado por: (Changoluisa, 2024)

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

- Se determinó la capacidad de intercambio catiónico en el suelo de los sistemas productivos con el método de tinción con azul de metileno, con una capacidad máxima de 4,8 meq/100g en el sistema agroecológico ubicado en Salache y un CIC mínimo de 0,83 meq/100g en un sistema degradado ubicado en la misma zona, lo que indica que el suelo tiene una capacidad limitada para retener y liberar cationes positivos que estén disponibles para la absorción de las plantas.
- Los resultados cualitativos de la capacidad de intercambio catiónico obtenidas con las dos metodologías Azul de Metileno e INIAP tiene similitud a los rangos de medición de la CIC establecidos bibliográficamente, con una capacidad de intercambio catiónico total que rondan entre 0-15 meq/100g categorizándole en un nivel bajo; es decir, suelos pobres.
- La correlación de Pearson de las cuatro metodologías evidencias correlaciones positivas medias entre materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico; y correlaciones medias negativas entre estabilidad agregados y la capacidad de intercambio catiónico lo

que indica que aún hay relación, pero no es lo suficientemente fuerte para hacer predicciones basadas en este tipo de capacidad.

12.2 Recomendaciones

- Se sugiere que, para corregir un suelo con baja capacidad de intercambio catiónico, implementando prácticas que aumenten la presencia de materia orgánica y mejoren la estructura del suelo para facilitar el intercambio de nutrientes tomando en cuenta estrategias como; rotación de cultivos y cultivos de cobertura como leguminosas, uso de abonos verdes, enmiendas minerales, prácticas de conservación del suelo y evitar el exceso de labranza.
- Se recomienda realizar una comparación consistente cuando exista parámetros o métodos simultáneos en una investigación, la cual ayudara a mantener la coherencia en los resultados obtenidos en todas las etapas de la investigación.
- Se promueve el uso de aplicaciones innovadoras como Slakes y LandPKS para medir y conocer en otro sentido tecnológico los indicadores de la salud del suelo, son plataformas de fácil acceso, intuitivo y gratuito con bases de datos y sistemas de información rápida.

13. REFERENCIAS

Bibliografía:

Agraria. (28 de Marzo de 2023). *Solo el 2% de los agricultores han realizado análisis de suelos en Perú*. Obtenido de Agraria.pe: <https://agraria.pe/noticias/solo-el-2-de-los-agricultores-han-realizado-analisis-de-suel-31302>

Aranda Saltos, S. E. (2017). EVALUACIÓN DE LOS CATIONES DE INTERCAMBIO EN UN TRANSECTO DE SUELO DERIVADO DE MATERIALES VOLCÁNICOS Y SU RELACIÓN CON LA ACIDEZ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Arévalo, G. E., & Gauggel, C. A. (2019). *Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal*.

Tegucigalpa : Litocom.

Barbosa, C., & Romero, S. (2017). DETERMINACIÓN-DE-LA-SUPERFICIE-ESPECÍFICA-EN-SUELOS-CAOLINÍTICOS-Y-BENTÓNICOS-MEDIANTE-LA-APLICAC.pdf.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/83288e9f-b8bc-4650-b200-141a6d65082d/content>

Barrezueta-Unda, S., Cervantes-Alava, A., Ullauri-Espinoza, M., Barrera-Leon, J., & Condoy-Gorotiza, A. (2020). EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE IGNICIÓN PARA DETERMINAR MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA PROVINCIA EL ORO-ECUADOR. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 19(2), 25-36.

<https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.9747>

Bueno, R., & Fernández, J. (2019). *La capacidad de intercambio catiónico del suelo_ una bóveda de nutrición clave en la producción de alimentos*. Universidad de La Salle.

Cabello, J. A., & Navarro, C. (s. f.). DEFINICIÓN DEL ECOSISTEMAS DE REFERENCIA EN EL TIPO FORESTAL SIEMPREVERDE. UNA APLICACIÓN METODOLÓGICA EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS.

Chaves Cordoba, B. (2020). *Indicadores de calidad del suelo*. Natural Resources Conservation Service (USDA). https://s3-us-west-2.amazonaws.com/treefruit.wsu.edu/wp-content/uploads/2020/03/Ind-Cal-Suelo-Quimicos_02-17-20.pdf

Caicedo, J. (2020). *Adaptabilidad en el sistema de producción agrícola: Una mirada desde los productos alternativos sostenibles/ Adaptability in the agricultural production system: A look from sustainable alternative products*. *Revista de Ciencias Sociales*, 308-327. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i4.34665>

- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). *Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. Orinoquia*, 22(2), 141-157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Calvo, A. (14 de Enero de 2022). *Importancia del color del suelo agrícola en los cultivos*. Obtenido de Agroptima Blog: <https://www.agroptima.com/es/blog/importancia-del-color-del-suelo-agricola-en-los-cultivos/>
- Certis Belchim. . (26 de Julio de 2022). *Agricultura tradicional: Características y diferencias con la intensiva*. Obtenido de Certis Belchim. : <https://certisbelchim.es/agricultura-tradicional-caracteristicas-y-diferencias-con-la-intensiva/>
- Coronel, T. (2019). *Los sistemas de producción agroecológica y su resiliencia frente al cambio climático en la parroquia San Lucas, provincia de Loja. Universidad Andina Simón Bolívar*.
- Catálisis. (30 de Abril de 2023). *Una mirada a la Agroecología en Ecuador*. Obtenido de <https://www.catalisise.com/post/agroecologia-ecuador>
- Cuadras Berrelleza, A. A., Peinado Guevara, V. M., Peinado Guevara, H. J., López López, J. D. J., & Barrientos, J. H. (2021). *Agricultura intensiva y calidad de suelos: Retos para el desarrollo sustentable en Sinaloa*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(8), 1401-1414. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2704>
- Eiza, M. (06 de Enero de 2020). *La degradación de los suelos y sus consecuencias*. Obtenido de Infocampo digital media S.A: <https://www.infocampo.com.ar/la-degradacion-de-los-suelos-y-sus-consecuencias/>
- El Universo. (6 de Septiembre de 2018). *Pequeños productores piden apoyo para análisis de suelos*. Obtenido de El Universio.com:

<https://www.eluniverso.com/noticias/2014/09/06/nota/3732026/pequenos-productores-piden-apoyo-analisis-suelos/>

Ellenbeck, S. (10 de Febrero de 2023). *La salud del suelo es crucial para la producción de alimentos: Así se puede evitar su degradación*. Obtenido de Weforum.org:

<https://es.weforum.org/agenda/2023/02/la-salud-del-suelo-es-crucial-para-la-produccion-de-alimentos-asi-es-como-protegerlo-mejor/>

Escobar, H. (2017). ESTUDIO COMPARATIVO Y MANEJO DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN: CONVENCIONAL Y LIMPIO EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*). Universidad Técnica de Ambato.

Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, H., & Etchevers, J. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Scielo*, Scielo México.

FAO. (2024). *¿Por qué están en peligro, hoy en día, los sistemas agrícolas y alimentarios?* Obtenido de FAO.org.

Fertilab. (2021). *El Color del Suelo como Indicador de su Fertilidad*.

<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El%20Color%20del%20Suelo%20como%20Indicador%20de%20su%20Fertilidad.pdf>

Gallardo, Á., & Salinas, S. (2023). Validación de métodos analíticos para la determinación de Nitrógeno Total, y Potasio en suelos. Universidad de Cuenca.

Guardado, A. (18 de Enero de 2022). *POR QUÉ LA AGRICULTURA TRADICIONAL NO ES UNA TÉCNICA DE CULTIVO RECOMENDADA*. Obtenido de Lamastore. blog :

<https://www.lamastore.es/blog/agricultura-tradicional/#:~:text=La%20agricultura%20tradicional%20se%20caracteriza,no%20suele%20ser%20muy%20com%20C3%BAAn.>

INIAP. (2020). PRECIOS-LABORATORIO-SUELOS-AGUAS-Y-PLANTAS.pdf.

<https://www.gob.ec/iniap/tramites/analisis-laboratorio-muestras-suelos-determinacion-componentes-quimicos-fisicos>

ISRIC. (2021). *Sistema de conocimiento del potencial de la tierra (LandPKS) 2.0:*

implementación de la gestión sostenible de la tierra a escala. Obtenido de ISRIC

World Soil Information: <https://www.isric.org/projects/land-potential-knowledge-system-landpks-20-implementing-sustainable-land-management-scale>

Izquierdo Bautista, J., & Arévalo Hernández, J. J. (2021). *Determinación del carbono*

orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, 26, 20-28.

<https://doi.org/10.25054/22161325.2527>

Jacto. (14 de Junio de 2023). *Los tipos de sistemas de producción agrícola.* Obtenido de Jacto

: <https://bloglatam.jacto.com/sistemas-de-produccion-agricola/>

Jacto. (1 de Febrero de 2022). *¿Cómo recuperar los suelos degradados?* Obtenido de

Jacto.com: <https://bloglatam.jacto.com/suelos-degradados/>

Jones, S., Tuller, M., Sagedi , M., Arthur , E., & Babaiean , E. (2018). *Propiedades físicas y*

procesos del suelo. Handbook of environmental engineering.

Lalinde, J. D. H., Castro, F. E., & Rodríguez, J. E. (2018). *Sobre el uso adecuado del*

coeficiente de correlación de Pearson: Definición, propiedades y suposiciones. 37.

León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). PASTOS Y FORRAJES DEL ECUADOR

2021.pdf. Universidad Abya-Yala.

Lifider . (28 de Agosto de 2019). *Azul de metileno: características, preparación, usos.* .

Obtenido de Lifider : <https://www.lifeder.com/azul-de-metileno/>

Mamani, E. B. M. (2022). EVALUACIÓN DE TECNICAS DE MEDICIÓN PARA LA

DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE) Y LA RELACION

DEL SUELO (pH) EN PASTA SATURADA MEDIANTE ECUACIONES DE
EDAFOTRANSFERENCIA.

Molina, E. (2017). *Análisis de suelos*. Amino Grow.

Montatixe Sánchez, C. I., & Eche Enríquez, M. D. (2021). *Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro*. Siembra, 8(1). <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>

Moro Gonzáles, A. (26 de Noviembre de 2018). *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. Obtenido de AQM Laboratorios :

<https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>

Nostoc Biotech. (2023). *Los nutrientes del suelo y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)*. Obtenido de Nostoc Biotech. : <https://www.nostoc.es/nutrientes-suelo-y-capacidad-intercambio-cationico-cic/>

ONU. (9 de Mayo de 2022). *La regeneración del suelo puede ser un gran negocio*. Obtenido de Noticias ONU: <https://news.un.org/es/tags/degradacion-del-suelo>

Osorio, M. (2022). *Suelos* . Obtenido de <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>

Perfect Daily Grind . (29 de Agosto de 2023). *¿Por qué la salud del suelo es crucial para la agricultura regenerativa en la producción de café?* Obtenido de Perfect Daily Grind: <https://perfectdailygrind.com/es/2023/08/29/salud-suelo-crucial-agricultura-regenerativa-produccion-cafe/>

Palacios, I., Ushiña, D., & Carrera, D. (2018). *Identificación de Cangahuas para su recuperación mediante estudio multicriterio y constatación in situ en comunas del volcán Ilaló*. Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 13(1).

<https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.649>

- Pinos, D. (2022). Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21860/1/UPS-CT009562.pdf>
- Porras Velázquez , A. (s.f.). *Tipos de muestreo* . México : Centro Geo .
- Paredes, R., & Quinde, C. (2019). "APLICABILIDAD DE AZUL DE METILENO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE MATERIAL DE FRACCION FINCA POTENCIAL DAÑONO EN LOS AGREGADOS UTILIZADOS PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO?"
<https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/2078/1/ULEAM-IC-0039.pdf>
- Prócel, D. (2018). *La dependencia de los pequeños productores agroalimentarios frente a las cadenas de valor y sus efectos sobre la vulnerabilidad climática*. Universidad Andina Simón Bolívar.
- Quispe, C., & Luis, J. (2021). *Efecto de la aplicación de enmiendas cálcicas en las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos ácidos en Satipo*.
- Rayo, I., José, J., & Suárez, A. (2017). INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO PARA EVALUAR SU FERTILIDAD.
- Ruales, P. F. (2019). *Determinación de la capacidad de intercambio cationico del suelo y correlacion con el contenido de cationes intercambiables de las plantas del género Siparuna*. https://dspace.utpl.edu.ec/visorHub/?handle=20.500.11962_24597
- Sacoto, Y. L. (2022). CONOCIMIENTO TRADICIONAL AGRÍCOLA DE LOS CULTIVOS DE BANANO, CACAO Y CAÑA DE AZÚCAR COMO BASE PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA PARROQUIA RURAL MARISCAL SUCRE.
- Soil Health Intitute . (2024). *Slakes metodo para cuantificar la estabilidad de agregados*. Fundación Wells Fargo . Obtenido de Soil Heat Institute.

Santos, L. (2022). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Cotopaxi 2021—2025*.

Suarez, C., & Ortega, U. (2019). *Desarrollo de sistemas de producción agroecológica: Dimensiones e indicadores para su estudio*. *Revista de Ciencias Sociales*, 3.

Tecnal . (2023). *Determinación de la estabilidad de los agregados del suelo*. Obtenido de Tecnal.com:

https://tecnal.com.br/es/blog/308_determinacion_de_la_estabilidad_de_los_agregados_del_suelo#:~:text=La%20estabilidad%20de%20los%20agregados%20se%20refiere%20a%20la%20resistencia,fuerzas%20de%20desagregaci%C3%B3n%20sobre%20%C3%A9stos.

Tequima S.L . (2023). *Azul de metileno* . Obtenido de Tequima S.L :

<http://www.tequima.es/products/azul-de-metileno/>

Valdivia, R., Pilarte, F., & Espinoza, A. (2019). *Evaluación Visual de Suelos*. ASA.

Zebrowsky, C., & Gonzáles, M. (9 de Diciembre de 2019). *LOS SUELOS CON CANGAHUA EN EL ECUADOR*. Obtenido de Construccionesuce.wordpress.com:

<https://construccionesuce.wordpress.com/2019/12/09/los-suelos-con-cangahua-en-el-ecuador/>