



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**MEJORAMIENTO DE SUELOS ÁCIDOS CON ENMIENDAS
CALCÁREAS EN LA MICROCUENCA DEL SECTOR
YURAJMAYO – SAN JUAN DE ORO**

TESIS

PRESENTADA POR:

JHIORSHI PARI CHOQUECHAMBI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

MEJORAMIENTO DE SUELOS ÁCIDOS CON ENMIENDAS CALCÁREAS EN LA MICROCUEVA DEL SECTOR YURAJMAYO – SAN JUAN DE ORO

AUTOR

JHIORSHI PARI CHOQUECHAMBI

RECuento DE PALABRAS

23157 Words

RECuento DE CARACTERES

119027 Characters

RECuento DE PÁGINAS

139 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 4, 2024 1:50 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 4, 2024 1:55 PM GMT-5

● 18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 17% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 11 palabras)



Sandro Sardón Nina
INGENIERO AGRÓNOMO
CIP. 142025

U.B.
[Handwritten signature]
Proctor. Sub Unidad Zool. E.P.A.
Manuel A. Córdova P.

Resumen



DEDICATORIA

*A Dios por forjar e iluminar mi sendero
y ser la luz en la oscuridad, por ser mi
compañero de viaje en este emocionante
recorrido académico.*

*A M. Ch. P. por tu ayuda, fue
fundamental, lograste estar en los
momentos más difíciles; cada meta
trazada no fue fácil, pero estuviste ahí
motivándome, haciéndome ver la
sencillez de los obstáculos.*

*Con cariño a mi padre, Nestor Pari
Apaza y madre, Yeny Choquechambi
Quispe, por la paciencia, dedicación y
amor incondicional durante mi
formación profesional. Gracias por ser
los mejores padres, muchos de mis
logros se los debo a ustedes incluyendo
este. Así mismo, a mi hermana Jhandery
Pari tus palabras de aliento y tu cariño
han sido fundamental para alcanzar
este logro.*

*A mis segundos Padres, Juan
Choquechambi Apaza y Agustina
Quispe*

Jhiorshi Pari Choquechambi



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme con salud y ayudado a resolver los obstáculos que da la vida, y así podido culminar con este trabajo de investigación.

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica por haberme acogido durante cinco años de ardua formación académica.

A mi asesor de tesis M.Sc. Sandro Sardón Nina expresarle mi sincero agradecimiento por la ayuda, orientación y consejos brindados en esta investigación científica.

Al laboratorista Benito por proporcionarme su apoyo, orientación y conocimiento en los análisis de laboratorio.

A los miembros de Jurado de Tesis conformado por: D. Sc. Evaristo Mamani Mamani, D. Sc. Audberto Millones Chafloque y, M. Sc. Valeriano Condori Apaza por el apoyo brindado en el transcurso de la realización de la Investigación Científica.

Agradezco a mis colegas investigadores Paul Brayan Condori Yucra y Dennis Fernando Huayta Laura por el apoyo y ánimo, a lo largo de este proceso, gracias por ser un faro de esperanza y amistad en mi vida académica y personal.

Finalmente, quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra manera, me han brindado su respaldo durante la ejecución de este proyecto de Investigación. Su apoyo ha sido esencial para alcanzar los logros que hoy presento en este trabajo

Jhiorshi Pari Choquechambi



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	21
2.2. MARCO TEÓRICO	27
2.2.1. Clasificación Taxonómica	27
2.2.2. El pH del suelo.....	28
2.2.3. Naturaleza de la acidez del suelo.....	29
2.2.4. Causas de la acidez del suelo	30
2.2.5. Origen del aluminio en el suelo	31
2.2.6. Fitotoxicidad por aluminio.....	32



2.2.7. Manejo de la acidez y exceso de aluminio del suelo	32
2.2.8. Suelos sulfato-ácidos	33
2.2.9. Enmiendas calcáreas	33
2.2.10. Encalamiento	34
2.2.11. Productos para encalar	36
2.2.11.1. Cal hidratada	36
2.2.11.2. Dolomita.....	36
2.2.11.3. Roca fosfórica	37
2.2.12. Solubilidad de las cales	37
2.2.13. Determinación de los requerimientos de cal	38
2.2.14. Cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.)	40
2.2.14.1. Principales factores de climatológicos	41
2.2.14.2. Condiciones edáficas.....	41
2.2.14.3. Propiedades físicas del suelo.....	41

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO	42
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	44
3.4.1. Materiales y Equipos de Campo	44
3.4.2. Materiales de Laboratorio	44
3.4.3. Equipos	45
3.4.4. Reactivos.....	45
3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47



3.4.1. Clasificar los suelos de la microcuenca del Sector de Yurajmayo según la Soil Taxonomy	47
3.4.1.1. Etapa de Gabinete	47
3.4.1.2. Etapa de Campo	51
3.4.1.3. Etapa Laboratorio.....	53
3.4.1.4. Etapa de Gabinete	54
3.4.2. Evaluar la eficiencia de la aplicación de enmiendas calcáreas mediante el método de incubación en suelos del cultivo de café (<i>Coffea arabica</i> L.)	54
3.4.2.1. Etapa de Gabinete	54
3.4.2.2. Etapa de Campo	55
3.4.2.3. Etapa de Incubación	55
3.4.2.4. Etapa de Laboratorio	57
3.4.2.5. Etapa de Gabinete	59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CLASIFICAR LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL SECTOR DE YURAJMAYO SEGÚN LA SOIL TAXÓNOMY	60
4.1.1. Suelo Iglesia (Franco fino, Typic Dystrudepts).....	61
4.1.2. Suelo Olvea (Fino, Typic Dystrudepts)	62
4.1.3. Suelo Yurajmayo Alto (Franco grueso, Typic Humudepts).....	64
4.1.4. Suelo Rincón (Franco fino, Typic Dystrudepts).....	65
4.1.5. Suelo Alto Yuraj (Franco fino, Typic Dystrudepts)	67
4.1.6. Suelo Finca Don José (Franco fino, Dystric Eutrudepts)	68
4.1.7. Clasificación de los suelos según el Soil Taxonomy	71



4.2. EVALUAR LA EFICIENCIA DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS CALCÁREAS MEDIANTE EL MÉTODO DE INCUBACIÓN EN SUELOS DEL CULTIVO DE CAFÉ (COFFEA ARABICA L.).....	73
4.2.1. Variación de pH en el suelo	73
4.2.2. Variación de Aluminio en el suelo	79
V. CONCLUSIONES.....	85
VI. RECOMENDACIONES	87
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS.....	95

ÁREA : Ciencias Agrarias

TEMA : Manejo de suelos y conservación de los sistemas ecosistémicos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 16 de julio de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de pendiente corta	50
Tabla 2 Tratamientos experimentales en estudio	56
Tabla 3 Superficie y proporciones de las consociaciones de suelo.....	61
Tabla 4 Textura y propiedades físicas de suelo Iglesia (CAL – 1).....	61
Tabla 5 Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Iglesia (CAL - 1)	62
Tabla 6 Propiedades de sorción de suelo Iglesia (CAL – 1).....	62
Tabla 7 Textura y propiedades físicas del suelo Olvea (CAL – 2).....	63
Tabla 8 Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Olvea (CAL – 2).....	63
Tabla 9 Propiedades de sorción de suelo de la CAL – 2 (Olvea)	64
Tabla 10 Textura y propiedades físicas de suelo Yurajmayo Alto (CAL – 4).....	64
Tabla 11 Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Yurajmayo Alto (CAL - 4)	65
Tabla 12 Propiedades de sorción de suelo Yurajmayo Alto (CAL – 4)	65
Tabla 13 Textura y propiedades físicas de suelo Rincón (CAL – 5)	66
Tabla 14 Propiedades químicas y fisicoquímicas del Rincón (CAL – 5).....	66
Tabla 15 Propiedades de sorción de suelo Rincón (CAL – 5).....	67
Tabla 16 Textura y propiedades físicas de suelo Alto Yuraj (CAL – 6)	67
Tabla 17 Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Alto Yuraj (CAL – 6)	68
Tabla 18 Propiedades de sorción de suelo Alto Yuraj (CAL – 6)	68
Tabla 19 Textura y propiedades físicas de suelo Finca Don José (CAL – 7).....	69
Tabla 20 Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Finca Don José (CAL - 7)	69
Tabla 21 Propiedades de sorción de suelo Finca Don José (CAL – 7).....	70



Tabla 22	Clasificación natural de los suelos según la Soil Taxonomy	71
Tabla 23	Resultado de análisis de ph del T1	74
Tabla 24	Resultado de análisis de ph del T2.....	75
Tabla 25	Resultado de análisis de ph del T3.....	77
Tabla 26	Prueba de Tukey para factor tipo de enmienda por factor dosis de enmienda (D) sobre pH	79
Tabla 27	Resultado de análisis de Al ⁺³ del T2.....	80
Tabla 28	Resultado de análisis de Al ⁺³ del T1	81
Tabla 29	Resultado de análisis de Al ⁺³ del T3.....	82
Tabla 30	Prueba de Tukey para factor tipo de enmienda por factor dosis de enmienda (D) sobre contenido de aluminio.....	84



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Mapa de ubicación experimental.....	43
Figura 2 Mapa de Distribución de Calicatas.....	49
Figura 3 Variación del pH con Cal Hidratada	74
Figura 4 Variación del pH con Dolomita.....	76
Figura 5 Variación del pH con Roca fosfórica	78
Figura 6 Variación del Aluminio con Dolomita	80
Figura 7 Variación del Aluminio con Cal hidratada.....	82
Figura 8 Variación del Aluminio con Roca fosfórica.....	83



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Mapa de litología.....	95
ANEXO 2. Mapa Geomorfológico	96
ANEXO 3. Mapa de Suelos	97
ANEXO 4. Descripción de perfiles de suelo Iglesia.....	98
ANEXO 5. Descripción de perfiles de suelo Olvea.....	101
ANEXO 6. Descripción de perfiles de suelo Yurajmayo Alto	104
ANEXO 7. Descripción de perfiles de suelo Rincón.....	107
ANEXO 8. Descripción de perfiles de suelo Alto Yuraj	110
ANEXO 9. Descripción de perfiles de suelo Don José.....	113
ANEXO 10. Paisaje de montaña de la Microcuenca Yurajmayo	116
ANEXO 11. Materiales de campo	116
ANEXO 12. Apertura de calicatas	117
ANEXO 13. Lectura del Perfil de suelo.....	117
ANEXO 14. Muestras recolectadas de los horizontes de suelo	118
ANEXO 15. Moliendo muestra de suelo	118
ANEXO 16. Tamizado de muestra	119
ANEXO 17. Pesado de muestra	119
ANEXO 18. Determinando el Volumen	120
ANEXO 19. Mapa de Ubicación de la Parcela Representativa	120
ANEXO 20. Barreno muestreador	121
ANEXO 21. Muestreo de submuestras para la incubación.....	121
ANEXO 22. Secado de muestras	122
ANEXO 23. Moliendo muestra de suelo	122



ANEXO 24.	Pesado de suelo de Unidades Experimentales	123
ANEXO 25.	Pesado de Enmiendas Calcáreas	123
ANEXO 26.	Mezclado de suelo y la proporción destinada de enmienda calcárea	124
ANEXO 27.	Incubación de las muestras.....	124
ANEXO 28.	Termómetro ambiental	125
ANEXO 29.	Muestras del Tratamiento 1 (Aplicación de Cal Hidratada)	125
ANEXO 30.	Muestras del Tratamiento 2 (Dolomita).....	126
ANEXO 31.	Muestras del Tratamiento 3 (Aplicación de Roca Fosfórica)	126
ANEXO 32.	Secado de muestra para Determinar pH y Aluminio	127
ANEXO 33.	Muestras del Tratamiento 1 (Cal Hidratada).....	127
ANEXO 34.	Muestras del Tratamiento 2 (Dolomita).....	128
ANEXO 35.	Muestras del Tratamiento 3 (Roca Fosfórica).....	128
ANEXO 36.	Pesado de 10gr de suelo	129
ANEXO 37.	Medida de 20ml de Cloruro de potasio	129
ANEXO 38.	Agitación de las muestras de suelo	130
ANEXO 39.	Determinación del pH	130
ANEXO 40.	Pesado de muestra de suelo de 2gr.....	131
ANEXO 41.	Adición de 20ml de Cloruro de potasio	131
ANEXO 42.	Agitación de las muestras.....	132
ANEXO 43.	Filtrado de la solución agitada	132
ANEXO 44.	Adición de 3 gotas de Azul de bromotimol (Coloración amarillenta) ..	133
ANEXO 45.	Titulación con Hidróxido de sodio.....	134
ANEXO 46.	Muestras tituladas.....	134
ANEXO 47.	Resultados del ANVA de los parámetros evaluados de pH del suelo...	135
ANEXO 48.	Resultados del ANVA de los parámetros evaluados de Aluminio del suelo	136



ACRÓNIMOS

pH:	Potencial de Hidrógeno.
Al^{+3} :	Ion de Aluminio
$CaCO_3$:	Carbonato de calcio
$MgCO_3$:	Carbonato de magnesio
N:	Nitrógeno
P:	Fósforo
K:	Potasio
NH_4^+ :	Amonio
NO_3^- :	Nitrato
OH:	Hidróxidos
H^+ :	Ion hidrógeno
CO_2 :	Dióxido de Carbono
CIC:	Capacidad de Intercambio Catiónico
DBCA:	Diseño Bloque Completamente al Azar.
SSA:	Suelos sulfatados ácidos



t/ha:	Tonelada por hectárea.
EC1:	Enmienda Calcárea Cal Hidratada
EC2:	Enmienda Calcárea Dolomita
EC3:	Enmienda Calcárea Roca fosfórica
D0:	Testigo
D1:	Dosis 1 t/ha
D2:	Dosis 2 t/ha
D3:	Dosis 3 t/ha
D4:	Dosis 4 t/ha
KCl:	Cloruro de Potasio
NaOH:	Hidróxido de Sodio
INIA:	Instituto Nacional de Innovación Agraria
MIDAGRI:	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego





RESUMEN

Conocer el pH del suelo es la base para la mejora de la fertilidad del suelo, debido a que afecta directamente a la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos. La investigación se llevó a cabo en el Sector de Yurajmayo del Distrito de San Juan del Oro, Provincia de Sandía del Departamento de Puno. El estudio se planteó en dos objetivos específicos: 1) Clasificar los suelos de la microcuenca del sector de Yurajmayo según la Soil Taxonomy. 2) Evaluar la eficacia de la aplicación de enmiendas calcáreas mediante el método de incubación en suelos del cultivo de café. En el primer objetivo el análisis experimental fue no paramétrico, en el segundo objetivo se realizó un diseño experimental en bloques completos al azar con un arreglo factorial de 3x5, donde los factores fueron: a) tres enmiendas calcáreas (EC1: cal hidratada, EC2: dolomita y EC3: roca fosfórica) y b) cinco niveles de dosis (0 t/ha, 1 t/ha, 2 t/ha, 3 t/ha y 4 t/ha). Los resultados fueron: 1) Las seis consociaciones se clasificaron en el Orden Inceptisols y suborden Udeps según la Soil Taxonomy. 2) Los resultados de los análisis de suelo demostraron que, a mayor dosis y solubilidad de las enmiendas, se obtuvo mejores resultados. Con la aplicación de la enmienda de Cal hidrata en la dosis de 4t/ha se obtuvo efectos superiores estadísticamente a las demás enmiendas, mejorando a 5.04 el pH y reduciendo a 3.05 $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de Al^{+3} ; seguido de la enmienda de Dolomita en la dosis de 4t/ha, mejorando a 4.74 el pH y reduciendo a 2.82 $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de Al^{+3} . Con la enmienda de Roca fosfórica en la dosis de 4t/ha, se obtuvo resultados bajos, mejorando a 4.28 el pH y reduciendo a 4 $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de Al^{+3} .

Palabras clave: Enmienda calcárea, incubación, Inceptisols, Udeps, taxonomía de suelo.



ABSTRACT

Knowing the pH of the soil is the basis for improving soil fertility, because it directly affects the availability of nutrients for crops. The investigation was carried out in the Yurajmayo Sector of the San Juan del Oro District, Sandia Province of the Department of Puno. The study had two specific objectives: 1) Classify the soils of the micro-basin of the Yurajmayo sector according to Soil Taxonomy. 2) Evaluate the effectiveness of the application of calcareous amendments through the incubation method in coffee cultivation soils. In the first objective the experimental analysis was non-parametric, in the second objective an experimental design was carried out in complete randomized blocks with a 3x5 factorial arrangement, where the factors were: a) three calcareous amendments (EC1: hydrated lime, EC2: dolomite and EC3: phosphate rock) and b) five dose levels (0 t/ha, 1 t/ha, 2 t/ha, 3 t/ha and 4 t/ha). The results were: 1) The six consociations were classified in the Order Inceptisols and suborder Udeps according to the Soil Taxonomy. 2) The results of the soil analyzes showed that, the higher the dose and solubility of the amendments, the better results were obtained. With the application of the Cal hydrate amendment at a dose of 4t/ha, statistically superior effects were obtained than the other amendments, improving the pH to 5.04 and reducing it to 3.05 $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ of Al^{+3} ; followed by the amendment of Dolomite at a dose of 4t/ha, improving the pH to 4.74 and reducing it to 2.82 $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ of Al^{+3} . With the amendment of Phosphoric rock at a dose of 4t/ha, low results were obtained, improving the pH to 4.28 and reducing it to 4 $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ of Al^{+3} .

Keywords: Calcareous amendment, incubation, Inceptisols, Udeps, soil taxonomy.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el distrito de San Juan del Oro no se tienen a cabo investigaciones sobre la degradación de suelos ácidos, ni se han identificado casos específicos de como algunas prácticas agrícolas han acelerado los procesos de degradación como es la erosión de los suelos, lo que tiene un impacto directo en la productividad de la cuenca y del distrito. La falta de información precisa de primera mano, que no se puede obtener, es la principal causa de la falta de investigación sobre este tema.

Los fenómenos naturales relacionados con la acidificación y la disminución de la fertilidad del suelo pueden acelerarse como resultado de las prácticas agrícolas. Por lo tanto, la agricultura intensiva, que utiliza un alto nivel de extracción y combinada con el uso intensivo de fertilizantes, ha acelerado la manifestación de este fenómeno natural en el suelo. La pérdida de cationes básicos y el aumento de cationes ácidos contribuyen a la formación de suelos ácidos. Muchos suelos ácidos alteran los elementos, como el fósforo, que reacciona con el hierro por debajo de un pH de 5,8 para producir un compuesto de hierro insoluble, lo que aumenta la disponibilidad de fósforo en un pH neutro. La toxicidad del aluminio soluble, sin embargo, es el principal obstáculo para el crecimiento en estos suelos ácidos (Campillo, 2014).

Sin embargo, la experiencia en varias regiones cafetaleras tropicales ha demostrado que la aplicación de enmiendas calcáreas es necesaria para aumentar la fertilidad de los suelos ácidos y restaurar la producción de los cafetales.

La disminución de la calidad del suelo en el mundo está aumentando debido a varias razones, como cambios estructurales, compactación, niveles más bajos de materia



orgánica, pérdida de suelo por erosión, reemplazo gradual de áreas de pastoreo y la silvicultura en áreas puramente agrícolas o su fertilidad está agotada.

Los factores naturales (suelo, clima y organismos) y humanos contribuyen al proceso dinámico de acidificación del suelo. Al aumentar las áreas de cultivo y el mal manejo del suelo, las prácticas agrícolas pueden acelerar este proceso. La lixiviación de nitratos y la eliminación de cationes por parte de las plantas causan una reacción ácida, lo que aumenta la acidez del suelo. Alternativamente, se pueden implementar técnicas agrícolas que contribuyan a disminuir la tasa de acidificación del suelo (Campillo, 2014).

El uso de enmiendas calcáreas como carbonatos de calcio y/o magnesio, o encalado, es la forma más común de corregir el pH de un suelo ácido. El ejercicio del encalado del café (*Coffea arabica* L.) promueve el desarrollo del cultivo tanto en la fase de crecimiento inicial, como en la fase productiva (Correa et al., 2007).

Cuando hay suelos degradados, el uso de enmiendas calcáreas es muy beneficioso porque reduce la cantidad de aluminio disponible en los suelos, lo que a menudo intoxica a la vegetación que crece allí. Para reducir el aluminio, se pueden utilizar prácticas de encalado, pero no existe una dosificación generalizada debido a los diversos factores del suelo (Campillo, 2014). Dado que los elementos como el calcio, el nitrógeno, el fósforo y el molibdeno estarán disponibles, una aplicación adecuada y una dosis adecuada de encalado permitirá el crecimiento de las plantas, mientras que, en caso contrario, el aluminio y el manganeso serán más tóxicos en el suelo. (Sias, 2020 cita a Espinosa y Molina 1999).

La utilización de fuentes de materia orgánica en suelos degradados es crucial porque proporcionará un aporte de microorganismos y nutrientes, lo que mejorará la calidad del suelo (Figuroa, 2004). Además, se iniciarán actividades adicionales para



proporcionar nutrientes a las plantas, lo que aumentará su desarrollo y vitalidad (Sias, 2020).

El objetivo general de la investigación es comprender cómo las enmiendas calcáreas, que cambian algunas propiedades físicas y bioquímicas del suelo, pueden mejorar los suelos ácidos mediante el uso de diferentes dosis de cal hidratada, dolomita y roca fosfórica. Tratando así de entender el efecto de estas mejoras en el suelo y los cultivos de café.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Clasificar y mejorar los suelos ácidos con la aplicación de enmiendas calcáreas en la microcuenca del sector de Yurajmayo del Distrito de San Juan del Oro.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar los suelos de la microcuenca del Sector de Yurajmayo según la Soil Taxonomy.
- Evaluar la eficiencia de la aplicación de enmiendas calcáreas mediante el método de incubación en suelos del cultivo de café (*Coffea arabica* L.).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Ibarra (2022), en su investigación tuvo como objetivo estudiar agrológica y taxonómicamente los suelos del transecto Cruzpampa – Sincos del valle del río Mantaro, región Junín. Realizó un muestreo transversal de una longitud de 7.70 km, evaluando 2,390 hectáreas y distribuyendo así 10 calicatas, en seguida se tuvo la inspección de los perfiles del epipedón y endopedón para generar la clasificación taxonómica con los criterios de la Soil Survey Manual, Keys to Soil Taxonomy y el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor del Perú. Los suelos de Paccha y Ulampampa se catalogan en tierras aptas para cultivos en limpio; Yanapuquio, Utushcuyo, Isquilpuquio, Lulinmayo y Yarincocha son suelos aptos para pastos con calidad agrológica baja por fertilidad, erosión y mal drenaje; y el suelo Huaychahuasi tiene un suelo con cualidades para la plantación de forestales de calidad agrológica baja por erosión y fertilidad.

Sardon (2023), en su trabajo de investigación planteo el objetivo de ubicar la clasificación de los suelos CE Tambopata. El estudio se realizó en el Centro Experimental Tambopata de la UNA Puno, ubicado en el Distrito de San Juan del Oro de la provincia de Sandia del Departamento de Puno. Concluyendo que el suelo de la selva se tiene un Epipedón Ócrico y un Endopedón Cámbico y se clasificó como Sub-Grupo Typic Dystrudepts por la formación de Horizonte B perteneciente al Orden Inceptisols.

Tasilla (2021), en su investigación tuvo el objetivo de analizar la variación de la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría. Los tamaños de



partículas considerados son: 2mm - 1mm, 1mm – 0.5mm, 0.5mm – 0.3mm y < 0.3mm. El estudio se realizó en la provincia de Cajamarca en el Caserío de Rodacocha del distrito de La Encañada. En cuanto a la cantidad de cal, en cada tratamiento se aplicaron 1t y 2t del mismo tamaño de partícula, y se observó la respuesta del suelo a la finura y cantidad de la cal. Las evaluaciones se realizaron con intervalos de 15 días, con un total de 04 evaluaciones. Los resultados logrados con la aplicación de cal con distinta granulometría tuvieron un efecto eficiente en la corrección del pH, el tamaño de partícula de < 0.3 mm, fue la de mejor resultados a comparación de los otros tratamientos.

García (2020), en su investigación planteó el objetivo de evaluar el efecto de la materia orgánica, yeso y dolomita en la concentración de aluminio (Al^{+3}) en suelos con cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en suelos degradados, donde empleó yeso y dolomita como material de encalando combinadas en fuentes de materia orgánica como estiércol de vacuno y gallinaza. El estudio se realizó en el Centro de Investigación y Producción - Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Ubicado en el departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito José Crespo y Castillo, sector Tulumayo. Donde se tuvo varias interacciones de los materiales encalantes como yeso y dolomita con estiércol de vacuno, gallinaza y Fertilizante inorgánico (N-157 P₂O₅-K₂O). Como resultado se obtuvo que a los 60 días de evaluación el tratamiento de dolomita más gallinaza fue superior al resto de los tratamientos con 55.20cm de altura del cultivo de frijol.

Sias (2020), realizó una investigación con el objetivo de evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas e inorgánicas en la recuperación de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos degradados a través del cultivo de frijol, consideró como factores en estudio a las fuentes de materia orgánica (Testigo, gallinaza y estiércol de vacuno) y a las fuentes de material encalante (Testigo, 2t/ha de roca fosfórica, 4t/ha de roca fosfórica,



2t/ha de dolomita y 4t/ha de dolomita) que generaron 15 tratamientos y fueron distribuidos en tres bloques, a las plantas de frijol Chaucha se les midió las características morfométricas y se determinó las propiedades del suelo. La presente investigación se ejecutó en el distrito de Rupa Rupa de la provincia de Leoncio Prado en la región Huánuco. Como resultado se halló que la gallinaza influye en las características morfológicas (49.89cm en altura, 6.23mm en diámetro y 30.08g en biomasa) y el rendimiento de producción (158.94g/planta) en las plantas de frijol.

Ricse (2018), en la investigación titulada “Efecto de enmiendas en un suelo ácido con 175 cultivo de *Phaseolus vulgaris* L., variedad norteño - Satipo”, donde manipuló enmiendas encalantes (yeso agrícola, dolomita, cal agrícola y magnocal) con la finalidad de optimizar las propiedades de un suelo ácido y a la vez evaluar el rendimiento del frijol. Los resultados destacados muestran que cuando se manipularon la dolomita y el magnocal redujo el nivel de materia orgánica, la acidez cambiante y la saturación de aluminio cambiante, por otro lado, mejoró la capacidad de intercambio catiónico, disponibilidad de calcio, magnesio cambiante y la optimizó la actividad microbiana a la evaluación inicial.

Calva y Espinoza (2017), en su investigación propuso evaluar el efecto de cuatro materiales encalantes en el control del pH ácido del suelo de Loreto, Orellana. Hallándose que, el pH logró incrementar, mientras que el aluminio se redujo; no obstante, las dosis altas (2t/ha, 3t/ha, 4t/ha y 6t/ha) no tuvieron efecto deseado. Los tratamientos con dosis entre 1t/ha y 1.5t/ha de dolomita y carbonato de calcio tuvieron mejores resultados en la acumulación de biomasa, sin embargo, una interacción con aluminio detecta mejor el rango de las dosis adecuadas.



Nazar (2015), en su investigación titulada “Efecto del encalado en el crecimiento de la valeriana pilosa en Huánuco, Cajamarca”; los resultados indican que la dosis de mayor influencia en la evaluación de altura de la planta, número de hojas, longitud de raíces y materia seca de la valeriana, lo obtuvo el tratamiento de 4t de óxido de calcio aplicado en el suelo; debido al efecto del material encalante ya que permitió mayor disponibilidad de absorción de nutrientes, incrementando las propiedades químicas del suelo como pH, potasio, fósforo, cationes cambiabiles (calcio y magnesio) y al mismo tiempo ha disminuido la acidez cambiabiles de 66.06% a 6.32 % para el tratamiento 4.

Vega (2014), en el experimento realizado evaluó el efecto de la materia orgánica y encalado del suelo en cebada (*Hordeum vulgare* L.) Variedad UNA 96, cultivado en invernadero – Lima, exteriorizó que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que con o sin la aplicación de encalado se consigan resultados desiguales en el pH del suelo al término de la campaña tanto si no se usa ninguna de las fuentes orgánicas estudiadas, estiércol de cuy y compost. El pH de inicio fue de 4.30 del suelo, luego es pasado a 6.89 por el proceso de encalado haciendo significativa la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3).

Méndez (2011), planteó la investigación con los objetivos de determinar el efecto de la aplicación de cal y dolomita agrícola en diferentes dosis sobre las propiedades químicas de un suelo ácido dedicado al cultivo de *Coffea arabica* L. Variedad Caturra roja y determinar el efecto de la aplicación de cal y dolomita agrícola en diferentes dosis sobre el desarrollo vegetativo de *Coffea arabica* L. Variedad Caturra roja luego de una poda de rehabilitación. La presente investigación se realizó en el centro poblado Sanibeni, Distrito de Satipo, Provincia de Satipo, Departamento de Junín. Así mismo concluyó que aplicando la cal es más eficiente a comparación de la dolomita, con 1t/ha de enmienda se disminuyó la acidez de 4,43 a 4,82 y también se bajó de 0,84% a 0,77% de materia



orgánica; con 2t/ha de enmienda la disponibilidad de potasio se incrementó notablemente de 96.6 a 164mg/kg.

Marroquín (2003), investigó el efecto de dos materiales encalantes y orgánicos en el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en siembra directa en un suelo ácido, donde instauró una parcela experimental en un suelo degradado de Santa Rosa de Shapajilla donde empleó material encalante y orgánico para conseguir efectos en las propiedades del suelo y la producción de maíz. La investigación se realizó en el sector de Santa Rosa de Shapajilla, Distrito Padre Felipe Luyando, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco. Se manipuló la caliza y la dolomita en dosis de 1t/ha sumado a ellos 4t/ha de material orgánico (gallinaza y estiércol de vacuno); ultimó que los mejores resultados fueron con dolomita mezclada con gallinaza.

Morillo et al. (2007), en su investigación titulada Roca fosfórica acidulada como fuente de fósforo en un suelo ácido con o sin encalado, en este experimento, se hubo que muestrear un suelo ácido (pH 3.3 a 3.7), con carencia de fósforo y luego transportarlos al invernadero. El suelo usado para los experimentos, fue colectado en la localidad de Villanueva, estado Lara, Venezuela. Donde se valuó la efectividad de la roca fosfórica tratada con ácido sulfúrico y/o tiosulfato de amonio, se evaluaron los parámetros luego de aplicarse los tratamientos, luego del crecimiento del frijol en 35 días; se consiguió la eficiencia utilizando como indicador la materia seca del frijol y el fósforo absorbido, en donde el fosfato diamónico fue más eficiente y menor eficiencia se reportó en roca fosfórica sin acidular. Concluyeron que, se puede utilizar por su efectividad y la economía a la roca fosfórica acidulada con 30.0% de tiosulfato de amonio más 70.0% de ácido sulfúrico en cultivos de corta duración.



Sadeghian-Khalajabadi y Díaz-Marín (2020), realizaron una investigación que se desarrolló en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), ubicado en el Municipio de Manizales, Departamento de Caldas, donde el objetivo fue evaluar el efecto de la corrección de la acidez del suelo en el crecimiento inicial de café, en cinco suelos representativos de la zona cafetera de Colombia y con valores de $\text{pH} < 5.2$; se evaluó el efecto de dosis de cal en la biomasa seca total de plantas, en un periodo de 6 meses. En tres tipos de suelos se tuvo resultados óptimos, la cual se relacionó con el acrecentamiento del pH y la neutralización del Al^{3+} . El mayor crecimiento de las plantas se relacionó con los rangos de las propiedades e indicadores del suelo: pH entre 4.9 – 5.7, Ca^{+2} entre 5.1 – 11.2 meq/100g, Mg^{+2} entre 0,9-2,1 meq/100g, saturación de bases entre 21% - 45%, Ca:Mg 4.4:1 - 7.4:1, Ca:K 7:1 - 37:1, Mg:K 1.4:1 - 4.8:1, $\text{Al}^{3+} < 1.1$ meq/100g¹.

Samudio (2020), en su investigación tuvo el objetivo de evaluar los efectos de la aplicación de diferentes enmiendas calcáreas sobre las propiedades químicas y biológicas de dos suelos incubados. El estudio se desarrolló en el País de Paraguay, en la Región Oriental del Paraguay, Departamento de Alto Paraná. Se establecieron experimentos de eclosión con tres repeticiones por tratamiento, ordenados por factorial, donde el factor fue la fuente de la enmienda calcárea (dolomita, alga calcárea, alga calcárea con 1/3 de la dosis recomendada y 2 experimentales), inóculo combinado, textura del suelo y tiempo de incubación que fueron 30, 60 y 90 días. Las dosis de enmiendas calcáreas utilizadas neutralizaron la acidez en suelos arenosos, pero se redujo la dosis de calcáreo marino, mientras que en suelos arcillosos ningún tratamiento fue efectivo para neutralizar la acidez. Además de reducir el aluminio en los suelos cultivados, estas enmiendas también aumentan la suma de calcio, magnesio y azufre. La reducción efectiva de aluminio no fue posible con dosis más bajas de enmiendas de algas. El aumento del pH no condujo a un aumento del número de Bradyrhizobia en los suelos cultivados.



Ortiz (2013), en su investigación evaluó el efecto de las enmiendas calcáreas, las cuales se aplicaron en diferentes dosis y tratamientos, se aplicó el carbonato de calcio en dosis de 2 t/ha, 4 t/ha, 6 t/ha y 8 t/ha, dolomita en una dosis de 2 ton/ha, la mezcla de dolomita y yeso en una dosis de 0,75 ton/ha y la mezcla de yeso, dolomita y óxidos de Ca y Mg en una dosis de 0,75 ton/ha todo esto en el cultivo de piña (*Ananas Comosus L. Merr*) híbrido MD-2. La investigación se desarrolló en la comunidad de Pital, en el cantón de San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Se tuvo la evaluación de la acidez intercambiable, la fertilidad del suelo, el estado nutritivo de las plantas, número de hojas, peso de la parte aérea, peso de raíces, ancho, peso y largo de la hoja, y diámetro de tallos. Evaluándolos a los 3.5 meses y a los 6.5 meses después de la siembra. Concluyendo que con la utilización de enmiendas calcarías podemos neutralizar el pH de los suelos ácidos todo esto en función a la dosis y a la fuente utilizada. Así mismo, con las dosis 6 t/ha y 8 t/ha de dolomita y yeso presentaron mejores resultados, con el carbonato de calcio se tuvo efectos ascendentes en cuanto a las dosis aplicadas.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Clasificación Taxonómica

La clase taxonómica del suelo se determina por medio de las claves, así mismo por el color del suelo (Value y Chroma) que es muy importante para muchos criterios de determinación en el uso de las claves. Entonces la clasificación según la Soil Taxonomy presenta 6 categorías: Orden, Suborden, Gran grupo, Subgrupo, Familia y Serie de suelos (Soil Survery Staff, 2022;1999)

- Orden: Se cuenta con 12 órdenes de suelo, los cuales son: Alfisols, Andisols, Aridisols, Entisols, Spodosols, Gelisols, Histosols, Inceptisols, Mollisols, Oxisols, Ultisols y Vertisols.



- Suborden: Se cuenta con 63 subordenes dentro de los 12 órdenes, agrupados según las características de régimen de temperatura, régimen de humedad, material parental, clase textural y color
- Gran grupo: Se tiene 319 Grandes grupos, agrupados según las características del horizonte, regímenes, saturación de base y propiedades físico químicas del suelo.
- Subgrupo: Se tiene 2484 subgrupos definidos en una serie de claves, como características físicas, biológicas, morfológicas del perfil, el epipedón y los regímenes de humedad y temperatura.
- Familia y serie: con más de 5 000 familias cada una estable diferentes características diagnósticas y serie de claves.

2.2.2. El pH del suelo

El potencial de hidrógeno y la concentración de hidrógeno en la solución del suelo se indican por el pH. Este se mide en una escala de 1 a 14, donde la mitad, siete, indica un pH neutro. El contenido de iones de hidrógeno (H^+) en la solución de suelo es igual al contenido de iones hidróxidos (OH^-) cuando el pH es neutro. El suelo es ácido cuando su pH está por debajo de siete, y a medida que disminuye el pH, el suelo se vuelve aún más ácido. El suelo es alcalino o básico cuando el pH es superior a siete. El suelo se volverá más alcalino a medida que aumenta el pH (Toledo, 2016).

El pH es un índice crucial para determinar el estado de disponibilidad de nutrientes para las plantas. Se acepta que, en general, las plantas tendrán mayor disponibilidad de nutrientes a pH del suelo entre 6.0 y 7.0, aunque las especies de plantas cultivadas varían en el pH en el que se desarrollan mejor. (Toledo, 2016)



2.2.3. Naturaleza de la acidez del suelo

Varios procesos edáficos que promueven la reducción del pH ocurren naturalmente en el suelo, incluidos los siguientes:

La fase de intercambio de un suelo con pH neutro está saturada con cationes básicos (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^+). La acidificación comienza con la pérdida de estos cationes, que se debe en parte a la absorción de las raíces. Al absorber cationes, la planta libera iones de hidrógeno (H^+) para mantener el equilibrio en su interior, lo que contribuye a la reducción del pH del suelo (Samudio, 2020, cita a Espinosa y Molina 1999).

La acidez del suelo proviene de una variedad de factores, desde la génesis del suelo hasta el manejo de este. La alta temperatura y la precipitación son una de las principales causas de la acidez del suelo en muchas regiones tropicales de clima húmedo, y estos factores aceleran la meteorización y la acidificación del suelo, lo que tiene un impacto significativo en la productividad del suelo. La lixiviación de bases, la remoción de cationes por las plantas y la aplicación de fertilizantes con efecto residual ácido hacen que el suelo se acidifique (Molina, 2014).

Los iones ácidos que se liberan de la descomposición de la materia orgánica también pueden causar la acidez del suelo. Los compuestos ácidos se producen como resultado de la descomposición de los desechos de plantas y animales depositados en el suelo. El manejo humano también puede hacer que los suelos se vuelvan ácidos. El cultivo intensivo del suelo provoca la remoción de nutrientes como calcio, magnesio y potasio a través de la cosecha (Molina, 2014).



La presencia de iones de aluminio (Al^{+3}) en solución es ampliamente reconocido como uno de los principales factores que contribuyen al desarrollo de la acidez del suelo. Los complejos monoméricos y poliméricos hidroxialumínicos se forman cuando los iones Al^{+3} intercambiables de los minerales arcillosos son reemplazados por otros cationes. Las reacciones de hidrólisis de Al^{+3} son similares a las de un ácido fuerte como el ácido acético, que libera iones H^+ . La liberación de iones H^+ aumenta la acidez del suelo y fomenta la presencia de más Al^{+3} intercambiable listo para reaccionar (Samudio, 2020, cita a Espinosa y Molina 1999).

2.2.4. Causas de la acidez del suelo

La lluvia es uno de los principales factores que causan la acidez en el suelo. La capa de agua que cae debido a la alta precipitación pluvial, hace que atraviese el suelo hasta estratos profundos. Esta capa de agua arrastra nutrientes del suelo, en particular nutrientes catiónicos como el potasio, el magnesio y el calcio. El ion hidrógeno (que también tiene carga positiva, H^+), que proviene principalmente del agua o de reacciones químicas que ocurren en el suelo (como cuando el dióxido de carbono reacciona con el agua libera iones de hidrógeno), ocupa estos espacios dejados por los nutrientes. El suelo se vuelve ácido gradualmente debido a este ion de hidrógeno que queda. Por lo tanto, al tener muchos iones de hidrógeno, estos entran en la parte sólida de las arcillas, donde se desplazan y reemplazan al aluminio. Todo el aluminio reemplazado termina en el agua del suelo, donde las plantas lo absorben. Mientras tanto, otra parte se pega en los espacios con carga negativa de los coloides (el aluminio tiene una carga positiva, Al^{+3}), dejados por los nutrientes catiónicos que se expulsan con el agua. En la medida en que esto ocurre, el suelo se acidifica más, lo que fomenta la liberación de iones de aluminio,



que llega a ser tan alto que es tóxico para las plantas. Además, los iones de H^+ y Al^{+3} ocupan los espacios negativos de los coloides, expulsando los nutrientes catiónicos y perdiéndose al ser arrastrados por el agua (Toledo, 2016).

Otro de los factores es la utilización de fertilizantes nitrogenados que contienen forma de amonio, aumenta la acidificación del suelo porque se liberan iones H^+ durante el proceso de nitrificación del NH_4^+ del fertilizante a NO_3 (Samudio, 2020, cita a Espinosa y Molina 1999).

La fuente de Nitrógeno utilizada determina el grado de acidez que induce la fertilización. La urea, el nitrato de amonio y el sulfato de amonio son fertilizantes nitrogenados que se utilizan con mayor frecuencia; a medida que se transforma en el suelo, la reacción produce la misma cantidad de Nitrógeno que las tres fuentes, pero el sulfato de amonio libera más protones. Por lo tanto, se liberan 4 moles de H^+ por cada mol de sulfato de amonio, mientras que solo se liberan 2 moles de H^+ por cada mol de nitrato de amonio y urea (Chien et al., 2001).

2.2.5. Origen del aluminio en el suelo

La acidificación comenzó en la última era glacial en suelos tropicales expuestos a la atmósfera, donde los factores de formación (clima, organismos, relieve, material parental y tiempo) causaron suelos ácidos. Los procesos de meteorización física, química y biológica son más rápidos en los trópicos húmedos con altas temperaturas y precipitaciones por tal razón los suelos son ácidos.

Por lo tanto, la acidez del suelo es el resultado de procesos antropogénicos o genéticos naturales. El primero implica la adición directa de protones y el segundo implica un cambio permanente en las condiciones de redox,



la acidez del suelo. La alta precipitación hace que los cationes solubles del suelo se lixivien, dejando cationes insolubles, como los iones de H^+ y Al^{+3} , que son la principal causa de los suelos ácidos.(Walter, 2014).

2.2.6. Fitotoxicidad por aluminio

Los cultivos pueden verse afectados por la toxicidad de aluminio, manganeso o hierro en suelos con un pH debajo de 5.5. Por ende, un exceso de cualquiera de estos elementos dañara los cultivos, cuando el pH caiga por debajo de 4.0 los cultivos además serán dañados por los iones de H^+ (Rout, 2001).

Las plantas intoxicadas no desarrollan bien sus raíces, especialmente con toxicidad por el aluminio intercambiable, y se ven afectados los procesos metabólicos cruciales para el desarrollo y la producción de la planta, como la reducción de la replicación del ácido desoxirribonucleico, la reducción de la respiración de las raíces, la interferencia en la absorción, el transporte y el uso de nutrientes esenciales como el nitrato, el calcio, el magnesio y el fósforo. Después de esto, las plantas se vuelven extremadamente débiles y sensibles a las plagas y enfermedades (Rout, 2001).

2.2.7. Manejo de la acidez y exceso de aluminio del suelo

Una de las soluciones para el problema de la toxicidad y la acidez excesiva del suelo es el encalado. El encalado permite elevar el pH del suelo porque el calcio presente en la cal (carbonato de calcio: $CaCO_3$) desplaza el aluminio y el hidrógeno presentes en los coloides. Una vez que se desplazan a la solución del suelo, estos coloides reaccionan con el carbonato para formar compuestos que se lixivian fácilmente y no son perjudiciales para las plantas (Toledo, 2016).



2.2.8. Suelos sulfato-ácidos

Los suelos Sulfato ácidos están en rangos menores de pH a 4.0, clasificados como extremadamente ácido y ultra ácido. Este suelo es característico por presentar principalmente ácidos libres (H_2SO_4), formados por la oxidación microbial de azufre y sulfuros en suelos saturados de agua y sedimentos, esto se presenta en suelos con presencia de: sedimentos marinos, estuarios de los ríos, ciénagas y suelos inundados. Cuando estos suelos pierden la humedad en este suelo ya sea naturalmente o artificialmente sucede la oxidación de los compuestos azufrados por algunas bacterias que obtienen energía y generan la producción del ácido sulfúrico.

Al ser extremadamente ácidos o ultra ácidos generan la desintegración y meteorización rápida del suelo, así mismo, encontraremos problemas de sal y toxicidad de estos suelos. (Walter, 2014)

2.2.9. Enmiendas calcáreas

La palabra cal deriva del latín calx el cual significa diversas formas de óxido de calcio, el uso y acción fundamental es para el mejoramiento de suelos particularmente ácidos. Así mismo es considerado como el material para restaurar o prevenir la acidez.

Es considerado de manera principal como carbonato de calcio, proveniente de las rocas calizas o dolomita. La enmienda calcárea es un material fundamental en la agricultura para corregir la acidez del suelo y mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Restaurando así los suelos para obtener rangos de pH de 5.5 a 6.3, que se considera adecuado para el desarrollo de los cultivos. El principal beneficio proporcionado por el encalado es la elevación del pH del suelo,



lo que significa una disminución de la concentración de iones H^+ presentes en la solución (Samudio, 2020, cita a Alcarde et al. 1991).

Cuando un material encalante entra en contacto con el agua del suelo, los óxidos reaccionan inmediatamente con el agua del suelo para convertirse en hidróxidos y neutralizar la acidez a través del hidróxido OH^- (base fuerte) (Díaz, 2016). Los mecanismos de reacción de los materiales de encalado permiten que los iones H^+ en la solución del suelo sean neutralizados por los iones hidroxilos OH^- producidos.

Cuando se corrigen los suelos ácidos, se observa un aumento en la actividad microbiana, una mejor fijación simbiótica de nitrógeno por parte de las leguminosas y una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esto se debe a que el Aluminio intercambiable neutraliza la acción fitotóxica y aumenta la cantidad de materia orgánica en el suelo, lo que mejora el aspecto fisicoquímico del suelo (Samudio, 2020, cita a Ribeiro et al., 1999).

El pH del suelo por encalado puede aumentar, lo que aumenta la capacidad de absorción de potasio y reduce las pérdidas de lixiviación; sin embargo, una dosis excesiva de enmienda calcárea puede causar desequilibrios en la fertilización potásica (Rosseto et al., 2004).

2.2.10. Encalamiento

El encalado implica agregar al suelo cualquier compuesto de calcio o de calcio y magnesio, que debe ser capaz de reducir el aluminio intercambiable e incrementar el pH. El objetivo principal de las modificaciones calcáreas es trasladar el aluminio intercambiable en las partículas del suelo y neutralizar el aluminio libre en la solución del suelo (Campillo, 2014).



Al ponerse en contacto la cal con el agua del suelo, los mecanismos de reacción de los materiales encalantes permiten la neutralización de la acidez. Por esta razón, la cal solo funciona cuando hay humedad en el suelo. Además, el efecto correctivo de la cal solo se verá en el área donde se aplicó. Este nutriente se acumula en la superficie de las partículas del suelo y luego se utilizará como nutriente para las plantas. Los iones hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{+3}) se liberan a la solución de suelo a través de un intercambio con Ca. Estos iones reaccionan con los iones (HCO_3^-) producidos por la hidrólisis de la cal, lo que produce agua y precipita el aluminio. Además, el dióxido de carbono (CO_2) se libera como gas. De esta manera, el aluminio intercambiable presente en la solución de suelo se neutraliza y se convierte en una sustancia químicamente inerte (Campillo, 2014).

El uso de enmiendas de reacción básicas, particularmente carbonatos de calcio y/o magnesio, es la alternativa más común para la corrección de la acidez. Esta práctica se conoce como encalado o encalamiento. El ejercicio del encalado en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) promueve el desarrollo del cultivo tanto en la fase de crecimiento inicial (Rodrigues et al., 2006) como en la fase productiva (Correa et al., 2007).

El contenido de calcio y/o magnesio de un material y su finura determinan su capacidad para corregir la acidez del suelo. De hecho, un material encalante se considera de buena calidad si tiene un contenido equivalente de carbonato de calcio del 80% en adelante. Los materiales con óxido e hidróxido de calcio y magnesio son más capaces de neutralizar la acidez. Además, su reacción en el suelo será más rápida si es más fino y con más calcio y magnesio. La calcita (carbonato de calcio), la dolomita y el silicato de calcio son los materiales que tienen la menor velocidad de reacción de todos los mencionados anteriormente.



No obstante, es aconsejable utilizar dolomita en los suelos de las zonas altas, debido a su eficacia en la neutralización del aluminio (en menos de un mes), además de proporcionar calcio y magnesio, ambos nutrientes que son deficientes en esos suelos (Toledo, 2016).

2.2.11. Productos para encalar (cal hidratada, dolomita y roca fosfórica)

2.2.11.1. Cal hidratada

La cal hidratada es el resultado de la hidratación con agua de la cal viva calcinada a altas temperaturas. Así mismo, conocida también como hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), tiene una alta solubilidad por tanto, su velocidad de reacción en la corrección de la acidez es muy rápida. Por lo general, contiene un 95 % de óxido de calcio (CaO). (Toledo, 2016).

2.2.11.2. Dolomita

La dolomita es un material que contiene calcio y magnesio, su composición es de carbonato de calcio (CaCO_3) en un 30,4%, carbonato de magnesio (MgCO_3) en un 21,7% y dióxido de carbono (CO_2) en un 47,9%. Por lo tanto, se dice que se considera a una cal como dolomita cuando por lo menos tenga un 15% de carbonato de magnesio (MgCO_3) (Walter, 2014).

El carbonato de calcio tiene una velocidad de reacción mayor. Sin embargo, tiene la ventaja de proporcionar magnesio, lo cual es beneficioso si se usa en los suelos de la zona alta, donde la mayoría de los suelos también tienen deficiencias de magnesio (Walter, 2014).



2.2.11.3. Roca fosfórica

La roca fosfórica por lo mismo de su nombre es un fertilizante fosfórico, derivado del ácido ortofosfórico (materiales apatitos). Es un encalante poco soluble, por lo tanto, la efectividad en la reducción de la acidez es mínima a corto plazo, es más usada como materia prima para la síntesis de fertilizantes más solubles.

Entonces, para lograr aumentar la solubilidad de este fertilizante fosfórico se consideran métodos como: acidulación química con ácidos sulfúricos y fosfórico, así mismo como acidulación con microorganismos solubilizadores de fosfato.

El pH de la roca fosfórica es alto, y al incorporarse a suelos ácidos se producirá la ruptura de la molécula estructural. A menor valor de pH (debajo de 5.0) será mayor la ruptura, liberándose el fósforo en forma de PO_4^{2-} y Ca^{++} , poniéndose disponible para la planta (IICA, 1995).

2.2.12. Solubilidad de las cales

La solubilidad dependerá de varios aspectos como son:

- Grado de acidez
- Actividad de cationes y aniones
- Contenido de Humedad
- Aireación
- Actividad microbiana
- Producción de CO_2
- Absorción de nutrientes por la planta



Es fundamental comprender cómo se comporta la solubilidad, primero en el agua debido a las reacciones del suelo con las que se dan en la fase acuosa. La solubilidad máxima de la cal se alcanza a 25 °C, lo que crea un ambiente alcalino con un pH de 12.4.

Por lo tanto, las cales presentan diferentes solubilidades en donde la cal hidratada es más soluble, y siendo menos solubles la roca fosfórica. Sin embargo, para el mejoramiento del pH y Aluminio no es tanto la importancia de la solubilidad sino la reacción de estas en el suelo. Por lo tanto, los carbonatos serán imprescindibles en la reacción como receptores de electrones. Entonces el carbonato de calcio tendrá diferentes reacciones de disociación y neutralización.

Por ende, la importancia de conocer el grado de neutralización de las enmiendas es para determinar la cantidad de acuerdo a la saturación de la acides que tolera el cultivo. Entonces la cantidad de agua tendrá un efecto en la reactividad de la cal.

2.2.13. Determinación de los requerimientos de cal

Para la determinación del requerimiento de cal se tiene un concepto generalizado para la aplicación de las enmiendas calcáreas, en donde mencionan que para neutralizar 1cmolkg^{-1} de aluminio se requiere aplicar 1000 kg/ha de cal hidratada o en caso para subir 0.1 grado de pH se requerirá la misma dosis. Pero esta regla no aplica en el campo practico ya que se tiene diferencias en texturas, propiedades químicas, fisicoquímicas y de sorción de los suelos, a su vez los diferentes ordenes de suelo.



Por tanto, un análisis de suelo será la mejor herramienta para determinar el requerimiento de enmiendas calcáreas y su uso eficiente. Para determinar las necesidades se deberá tomar 4 factores:

- Tolerancia de la planta a la acidez
- El contenido de la acidez del suelo
- La cantidad de producto del encalante a utilizar
- Aspecto de manejo del producto (Voleo, en banda, entre otros)

El requerimiento de cal de un suelo ácido se define como la cantidad de cal necesaria para neutralizar el aluminio intercambiable presente en el suelo o para aumentar el pH a un valor deseado, según el anuncio de Van Lierop (1990). Sin embargo, sugirió que una cantidad adecuada de cal para suelos minerales lixiviados es aquella que reduce el aluminio intercambiable a niveles no tóxicos para las plantas cultivadas. Este criterio es mejor que elevar el pH del suelo a un valor específico. Núñez et al. (1994) sugiere que los suelos de zonas templadas suelen ser encalados a valores de pH cercanos a la neutralidad. Sin embargo, en suelos tropicales, se recomienda agregar solo la cantidad de cal necesaria para neutralizar el pH.

De acuerdo con Alvarado y Cajuste (1992), es importante tener en cuenta la cantidad de cal a aplicar dentro de un programa de encalado del suelo. La cantidad de cal que se requiere depende de la naturaleza del suelo o del cultivo a sembrar, por lo que debe determinarse para cada suelo. Además, según Tisdale y Nelson (1991), la cal es uno de los principales componentes de producción del sistema agrícola. Su impacto en la disponibilidad de microelementos, fosfato,



nitrificación, fijación de nitrógeno y estructura del suelo tiene una variedad de efectos sobre la producción de los cultivos.

Sin embargo, Etchevers (1994) explica que el exceso de cal puede causar deficiencias en ciertos elementos, por lo que es necesario contar con metodologías adecuadas para medir el grado de resistencia química de los suelos. Por lo tanto, el grado de intemperización, el tipo de material parental, el contenido de arcilla, el contenido de materia orgánica, las formas de acidez presentes, el pH inicial, el método empleado y el tiempo de reacción son factores que afectan la cantidad de cal requerida para cada suelo (Castillo, 1999).

Algunos autores desarrollaron algoritmos y ecuaciones para calcular la dosis eficiente para la aplicación de cal, pero estas aproximaciones cambian con el tiempo y son específicas para cada sitio de estudio.

2.2.14. Cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

En el siglo XVIII, los franceses introdujeron el café en América y los holandeses lo expandieron a Sudamérica. En el siglo XIX, se fabricaba café en Moyobamba, Jaén, Huánuco y Cusco en Perú para su consumo propio y otra parte se exportaba a Chile. Los colonos europeos que llegaron al valle de Chanchamayo comenzaron a cultivar diversos productos además del café, la coca, el tabaco, el cacao y la caña de azúcar. En 1850, la producción aumentó significativamente y fue difundida por los jesuitas, lo que llevó a una mayor producción desde 1880. En 1887, el Perú se convirtió en exportador de café, enviando embarques a Alemania, Inglaterra y Chile. En 1930, el valle de Chanchamayo es consolidado por capitales inglesas como zona de producción de café (Ruiz, 2015).



2.2.14.1.Principales factores de clima

- Temperatura: 15° a 24°C
- Altitud: 800 a 2000 m.s.n.m.
- Precipitación: De 1500 a 2500 mm, anuales bien distribuidos.
- Brillo Solar: menos de 13 horas de sol por día.

2.2.14.2.Condiciones edáficas

El entorno donde crece y se desarrolla el sistema radicular de la planta de café debe tener las siguientes características ideales: 45% de materias sólidas, 5% de materia orgánica, 25% de aire, 25% de agua, profundidad efectiva de 1,5 metros, textura franca, estructura granular, alto contenido de nutrientes, pH de 5 a 5.5 y otras características ideales (Castañeda, 2000).

2.2.14.3.Propiedades físicas del suelo

- La textura: Estas son las concentraciones porcentuales de arena, limo y arcilla. Los suelos con textura franco son el suelo ideal para cultivar café.
- Permeabilidad y porosidad: Al formar terrones los granos o partículas del suelo se agrupan, quedan entre ellos espacios de tamaño variable llamados poros, que son ocupados por agua y aire. La permeabilidad es la rapidez con la que el agua y el aire se mueven o circulan a través de los poros del suelo. El suelo franco con permeabilidad moderada es el mejor para el cultivo de café.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en dos ensayos. En el primer ensayo se clasificaron los suelos de la microcuenca del Sector de Yurajmayo según la Soil Taxonomy. En el segundo ensayo se evaluaron la eficiencia de la aplicación de enmiendas calcáreas mediante el método de incubación en suelos del cultivo de café (*Coffea arabica* L).

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona estudio se ubica en el sector de Yurajmayo en el Distrito de San Juan del Oro, Provincia de Sandia del Departamento de Puno, en la región Sur del país. Se encuentra en las coordenadas:

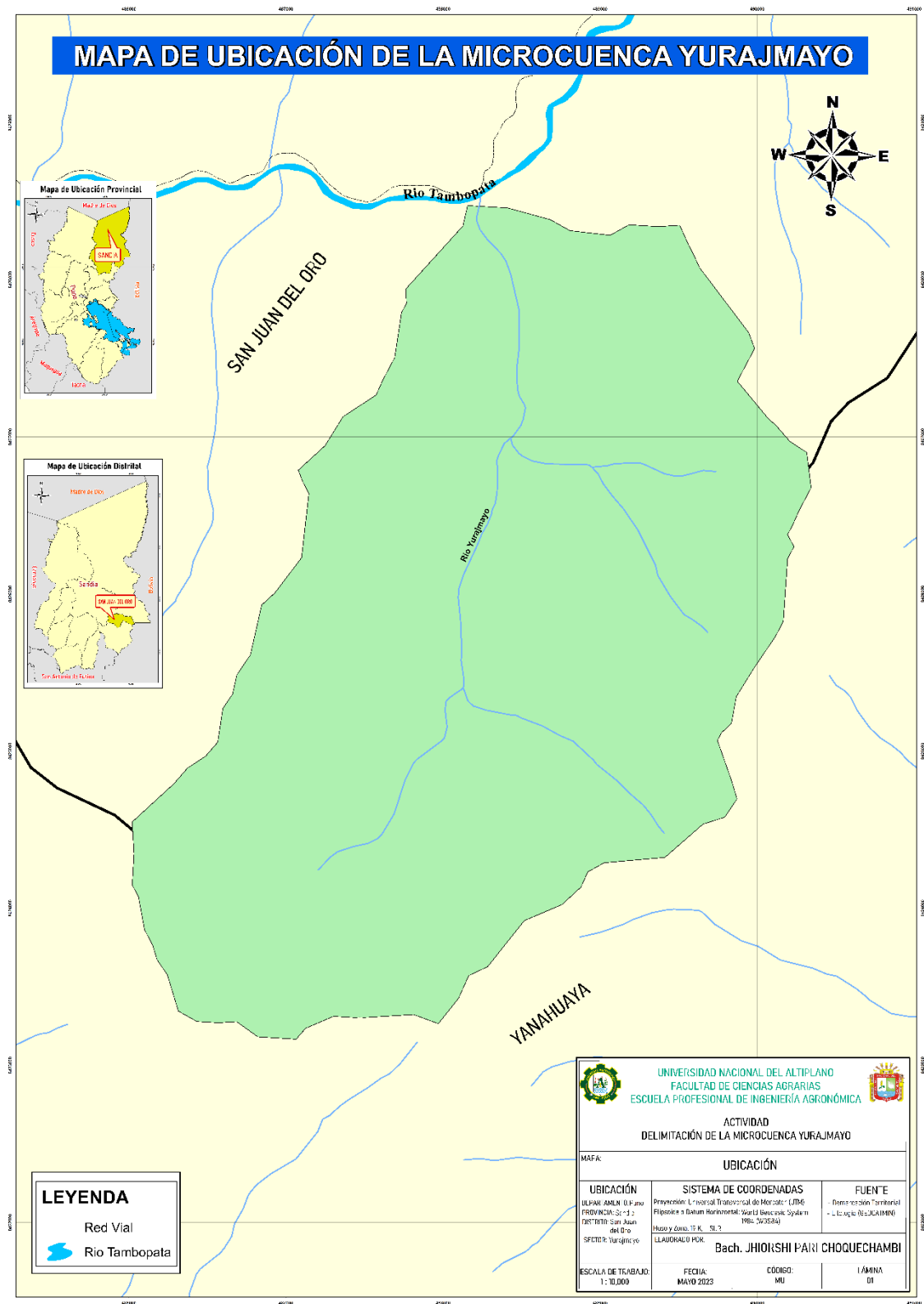
- Altitud: 1610 msnm
- Latitud: 14° 14' 23.9" S
- Longitud: 69° 6' 31.7" O

Para el segundo objetivo específico, la fase experimental se realizó en el Invernadero del laboratorio de Suelos y Aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano, durante un período de incubación de cuatro meses, que fue desde el 18 de septiembre de 2023 hasta el 18 de enero de 2024.

- Altitud: 3843 msnm
- Latitud: 15° 48' 58.4" S
- Longitud: 70° 1' 8.8" O

Figura 1

Mapa de ubicación experimental.



Fuente: Elaboración propia



3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.4.1. Materiales y Equipos de Campo

- Pico
- Pala
- Barreta
- Cuchillo de suelero
- Cinta métrica
- Picota
- Plumón indeleble
- Plumón acrílico
- Pizarra
- Ficha de descripción del perfil de suelo
- Tablero de campo
- Bolsas Ziploc de polipropileno de 1kg
- Mochila
- Mapa de distribución de calicatas y
- Guías para la descripción de suelo.
- Tabla Munsell
- Cámara
- Sistema de Posicionamiento Global

3.4.2. Materiales de Laboratorio

- Probeta
- Piseta



- Erlenmeyer
- Embudos
- Matraz
- Papel filtro
- Bagueta de agitación
- Bureta
- Espátula
- Papel aluminio

3.4.3. Equipos

- Cámara digital
- Balanza analítica de Precisión
- pH-metro
- Conductímetro
- Estufa
- Agitador electrónico

3.4.4. Reactivos

- Hidróxido de Sodio (NaOH 0.01N)
- Cloruro de Potasio (KCl 1N)
- Azul de bromotimol
- Agua destilada



3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el primer objetivo específico, se utilizó un enfoque no experimental. Esto significa que las variables independientes ocurren y no se pueden controlar debido a que no se han manipulado deliberadamente. En tal sentido este enfoque fue de tipo descriptivo como transversal.

Para el segundo objetivo específico el diseño experimental fue en Bloque Completos al Azar con arreglo factorial de 3x5, donde los factores fueron: a) tres Enmiendas calcáreas, EC1: Cal hidratada, EC2: Dolomita y EC3: Roca fosfórica; y b) cinco niveles de dosis, comprendidos (0, 1t/ha, 2t/ha, 3t/ha y 4t/ha). Un test de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad del conjunto de datos y la prueba de Bartlett para homogeneidad de varianza fueron utilizados para comprobar la veracidad del modelo. Para realizar la separación de medias se realizó la prueba de Tukey, $p < 0.05$. Las pruebas estadísticas correspondientes fueron procesadas utilizando el software estadístico Infostat/L versión 2020.

Modelo aditivo lineal expandido:

$$Y_{ijk} = u + P_i + A_j + (P * A)_{ij} + B_k + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Es la respuesta obtenida con el i-ésimo enmienda, j-ésimo dosis

U : Es la media general;

P_i : Es el efecto del i-ésimo tratamiento de Enmienda;

A_j : Es el efecto del j-ésimo dosis;

$(P*A)_{ij}$: Es la interacción entre el i-ésimo enmienda por j-ésimo dosis



B_k : Es el efecto obtenido con el k-esimo bloque

e_{ijk} : Es el error experimental.

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en 2 etapas:

3.4.1. Clasificar los suelos de la microcuenca del Sector de Yurajmayo según la Soil Taxonomy

Para la clasificación de suelos de la microcuenca del Sector de Yurajmayo según la Soil Taxonomy se efectuaron las siguientes etapas: 1) Gabinete, 2) Campo 3) Laboratorio y 4) Gabinete (Interpretación de la Clasificación de Suelos).

3.4.1.1. Etapa de Gabinete

Se ejecutó en cuatro fases:

- a) **Material Cartográfico:** En esta fase se descargó los límites Departamentales, Provinciales y Distritales del Departamento de Puno, además, se descargó el Modelo Digital de Elevación (MDE) para georreferenciar y delimitar la microcuenca del Sector de Yurajmayo.
- b) **Delimitación de la microcuenca y procesamiento de imágenes satelitales:** Con el límite distrital se ubicó el área de estudio en el MDE, luego se determinó la dirección de flujo para en seguida delimitar la microcuenca Hidrográfica. En seguida el procesamiento de imágenes Satelitales se inició con la descarga del geo-servidor CBERS 4A, posteriormente se combinó las 4 bandas



multiespectrales (rojo, verde, azul e infrarrojo), para la mejora de la imagen satelital se combinó con la imagen pancromática que tiene una resolución de 2m. Así mismo, con esta imagen se corroboró el paisaje, forma, y pendiente del suelo para la realización del mapa geomorfológico.

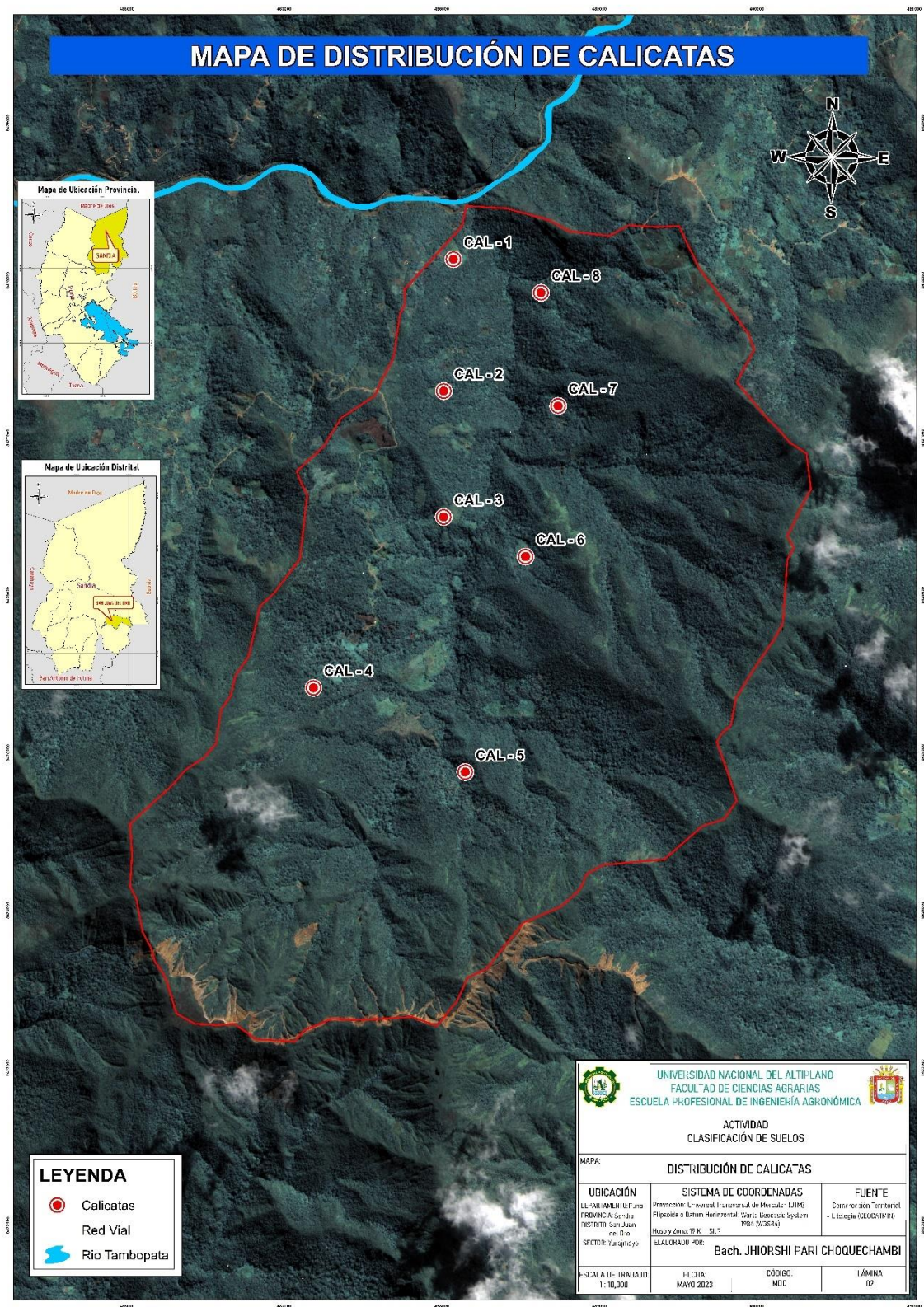
c) Elaboración de mapa Geomorfológico:

Mapa de ubicación

Se utilizó los límites del Sector Yurajmayo y del Distrito de San Juan del Oro, así mismo, la delimitación del área de Estudio de la Microcuenca, también, se agregó la imagen satelital georreferenciada con el fin de trazar la accesibilidad hacia los puntos para la realización de las calicatas. El mapa cuenta con la ubicación departamental y ubicación provincial y distrital.

Figura 2

Mapa de Distribución Calicatas



Nota: Elaboración propia



Mapa de Pendiente

Para la realización del mapa de pendientes se hizo la descarga del MDE (Modelo Digital de Elevación) del área de Estudio. Una vez tenido el polígono de las pendientes se hizo la eliminación de polígonos menores a 1 ha y una corroboración con la imagen satelital, para luego en campo verificar y corregir el mapa de pendientes. La pendiente se clasificó según el Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI que aprueba el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor:

Tabla 1

Clasificación de pendiente corta

SIMBOLO	PENDIENTE (%)	DENOMINACIÓN
A	0 – 4	Plana a ligeramente inclinada
B	4 – 8	Moderadamente inclinada
C	8 – 15	Fuertemente inclinada
D	15 – 25	Moderadamente empinada
E	25 – 50	Empinada
F	50 – 75	Muy empinada
G	> 75	Extremadamente Empinada

Nota: D.S. N° 005-2022-MIDAGRI

Mapa geológico

Para el mapa geológico se hizo la descarga de la litología del geo-servidor GEOCATMIN, posterior a ello, se realizó un corte con la microcuenca delimitada. El mapa nos permitió saber el tipo de litología que cuenta nuestra área de estudio que son: Cuarcitas y pizarras en la



formación Sandía y pizarras grises carbonosas en la Formación Purunpata.

Mapa geomorfológico

Para concluir con el mapa geomorfológico, se tomó en cuenta el tipo de paisaje, forma, pendiente y litología. La microcuenca del área de estudio cuenta con un paisaje de montaña, forma de ladera y pendientes que van desde el rango 8% hasta un 50%, en la litología contamos con las Formaciones Sandía y Purunpata. Para la simbología se tomó en ese orden y según el símbolo que pertenece a cada uno.

d) Distribución de calicatas: Para la distribución de calicatas se tomó en cuenta el Decreto Supremo N° 013-2010-AG del Capítulo IV, Artículo 16, en donde se especifica los 5 tipos de niveles de levantamiento. En este contexto se optó por el nivel de levantamiento semidetallado o de tercer orden, en donde indica que se utiliza como mínimo el 30% de la superficie total que represente la variabilidad edáfica del área de estudios, donde se deben realizar 2 calicatas por cada 100 hectáreas. Según nuestra cuenca delimitada tiene 1426.1 hectáreas, por lo tanto, el 30% vendría a ser 427.8 hectáreas. Por esta razón, se realizó 8 calicatas. Posteriormente, para la ubicación de las 8 calicatas se realizó en base a la litología y pendiente, no se tomó en cuenta el paisaje ni la forma debido a que son similares en toda la microcuenca.

3.4.1.2. Etapa de Campo



La etapa de campo se subdividió en 4 Fases: a) Preparación de materiales y equipos, b) Apertura de calicatas, c) Lectura de perfil de suelo y d) Muestreo de suelo del Perfil.

a) Preparación de materiales y equipos: En esta fase se realizó la preparación tanto de materiales como equipos para la salida a campo. En la apertura y lectura de las calicatas se requirió: Pico, pala, barretas, bolsas Ziploc de polipropileno de 1kg, plumón acrílico, tablero, cuchillo, tabla Munsell y otros.

b) Apertura de calicatas: Para la apertura de la calicata se ejecutó en base a la dirección de los puntos cardinales (por donde sale el sol), para que el perfil se verifique con mayor notoriedad, las medidas para las calicatas son de 1.50 m de largo por 1.00 m de ancho por 1.60 m de profundidad, teniendo una forma rectangular la parte superficial.

c) Lectura de perfil de suelo: Para realizar la lectura del perfil de suelo se requiere del manual y la ficha de campo, la tarjeta de descripción de perfiles de suelos está dividida en dos partes: Primero, consta la información general (características ecogeofisiográficas o geomorfológicas) como son las coordenadas geográficas (UTM), altitudes, paisaje, forma y pendiente del terreno, uso actual, material parental y la cobertura vegetal del lugar. Segundo, las características Físicas, biológicas y morfológicas del Perfil. Las cuales comprenden el Horizonte genético, profundidad del horizonte, color tanto en húmedo como en seco, moteaduras, clase textural, porcentaje y tamaño de gravas, forma y proporción de guijarros, estructura,



consistencia, porcentaje y tamaño de raíces y el límite del horizonte (ANEXO 4, 5, 6, 7, 8, 9). Finalmente corroboramos y modificamos el mapa geomorfológico de la microcuenca con la ayuda visual en campo.

d) Muestreo de suelo del Perfil: El muestreo de suelo del perfil consistió en la recolección de muestras de cada horizonte Genético en las bolsas ziploc, codificadas con el nombre de la calicata, numeración de la calicata ya hecha y con el orden de número del Horizonte Genético; siendo 01 el Horizonte A y bajando descendientemente hasta el último horizonte lecturado. Para la recolección se realizó en forma ascendente, empezando del horizonte más profundo para no contaminar las demás muestras de otros horizontes.

3.4.1.3. Etapa Laboratorio

Las muestras de los horizontes fueron enviados al laboratorio de Suelos del INIA Salcedo, donde se realizó el análisis de caracterización. Se determinó las propiedades físicas del suelo, como es el porcentaje de la clase textural (arena, arcilla y limo). Así mismo, se determinó las propiedades químicas y fisicoquímicas como el pH, Conductividad Eléctrica (CE), Carbonatos (CaCO_3), Materia orgánica, potasio y fosforo disponible. Además, se determinó las propiedades de sorción que consta de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Cationes cambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} y H^+) y Saturación de bases.



3.4.1.4. Etapa de Gabinete

En esta etapa se realizó el procesamiento e interpretación de datos obtenidas en la etapa de campo para la clasificación de suelos de la microcuenca, en donde se identificaron de acuerdo a las fichas de descripción de perfiles de suelo, las unidades edáficas y la clasificación taxonómica.

3.4.2. Evaluar la eficiencia de la aplicación de enmiendas calcáreas mediante el método de incubación en suelos del cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Para la evaluación de la eficiencia de la aplicación de las enmiendas calcáreas se efectuaron en seis etapas: 1) Gabinete (Ubicación de la parcela Representativa), 2) Campo (Muestreo de suelo para la Incubación), 3) Laboratorio (Determinación de DA, pH y Aluminio intercambiable), 4) Incubación, 5) Laboratorio y 6) Gabinete (Interpretación de Datos de pH y Aluminio intercambiable)

3.4.2.1. Etapa de Gabinete

En esta etapa se realizó la ubicación de la parcela representativa, se realizó con la ayuda de la delimitación de la microcuenca y de la imagen satelital. Por consiguiente, se logró situar la ubicación de la parcela del cultivo de café. La parcela representativa se ubicó en una zona de producción del cultivo de café en la microcuenca con problemas de acidez y que el agricultor no haya usado los años anteriores enmiendas calcáreas específicas como Cal hidratada, Dolomita y Roca Fosfórica. Con el fin de realizar el submuestreo para la incubación con enmiendas calcáreas.



3.4.2.2. Etapa de Campo

Esta etapa se Subdividió en 2 fases: a) Preparación de materiales y equipos y b) Muestreo de suelo.

a) Preparación de materiales y equipos: En esta fase se realizó la preparación tanto de materiales como equipos para la salida a campo. Para el muestreo se requirió del barreno muestreador, GPS y sacos de 30kg de capacidad.

b) Muestreo de suelo: Se ubicó la parcela representativa con el GPS y se tomaron submuestras en toda el área cultivada, al inicio se limpió el área en donde se introduciría el barreno, las muestras fueron tomadas a 30cm de profundidad en un área total de una Hectárea. Se tomo 30 submuestras, cada una de un kilo por el método de zigzag, al finalizar se unió las submuestras formando una muestra compuesta.

3.4.2.3. Etapa de Incubación

Esta etapa se subdividió en dos fases: a) Secado y tamizado de la muestra compuesta y b) Aplicación de enmiendas calcáreas en el suelo.

a) Secado y tamizado de la muestra compuesta: La muestra compuesta recolectada de la parcela representativa fue traída al laboratorio de Aguas y Suelo de la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. En donde se secaron a temperatura ambiente por 24 horas a aire libre, después de que la muestra perdió humedad, se pasó al mortero para que enseguida fuera más fácil el tamizado.

Se ocupó 60 recipientes que se llenaron con 0.5 kg de suelo, que luego fueron codificados según el tratamiento y repetición de cada unidad experimental.

b) Aplicación de enmiendas calcáreas en el suelo: Para la aplicación de las enmiendas calcáreas en cada tratamiento primero se determinó el peso del suelo que es igual a la multiplicación del área de estudio ($10\,000\text{ m}^2$) por la profundidad (0.3 m) y la Densidad aparente (DA) (800 kg/m^3), que nos da como resultado dos millones cuatrocientos mil kilogramos de suelo por hectárea. Con una regla de tres simples se determinó la aplicación de las enmiendas Calcáreas en 0.5kg de suelo. Fueron aplicados 15 tratamientos resultantes de la combinación factorial de: a) Tres enmiendas calcáreas, EC1: Cal hidratada, EC2: Dolomita y EC3: Roca fosfórica; y b) cinco niveles de dosis, comprendidos (0 t/ha, 1 t/ha, 2 t/ha, 3t/ha y 4 t/ha) y con cuatro repeticiones.

Tabla 2

Tratamientos experimentales en estudio

Tratamientos	Enmiendas Calcáreas	Dosis(t/ha)	Dosis (g/0.5 kg de suelo)
T-1	Cal hidratada	D0 = 0	D0 = 0.000
T-2		D1 = 1	D1 = 0.128
T-3		D2 = 2	D2 = 0.256
T-4		D3 = 3	D3 = 0.385
T-5		D4 = 4	D4 = 0.513
T-6	Dolomita	D0 = 0	D0 = 0.000
T-7		D1 = 1	D1 = 0.128
T-8		D2 = 2	D2 = 0.256
T-9		D3 = 3	D3 = 0.385
T-10		D4 = 4	D4 = 0.513
T-11	Roca fosfórica	D0 = 0	D0 = 0.000
T-12		D1 = 1	D1 = 0.128
T-13		D2 = 2	D2 = 0.256



T-14	D3 = 3	D3 = 0.385
T-15	D4 = 4	D4 = 0.513

Nota: Elaboración propia

Finalmente, se mezcló la enmienda calcárea con el suelo comprendida en cada unidad experimental y se llevó al Invernadero. Se le adicionó agua destilada a capacidad de campo por unidad experimental al suelo en un primer riego, posteriormente se agregó agua destilada 2 veces por semana a capacidad campo por un periodo de 4 meses.

3.4.2.4. Etapa de Laboratorio

Una vez culminado el periodo de incubación se pasó al secado de las muestras para la determinación del pH y aluminio de cada unidad experimental. Primero se determinó el pH con Cloruro de Potasio 1N en relación 1:1 en 10 gr de suelo. Seguidamente con la determinación del Aluminio Intercambiable en 2gr de suelo, titulado con Hidróxido de sodio, todo esto se realizó en las 60 unidades experimentales.

a) Determinación del pH:

El pH se determinó con cloruro de potasio, siguiendo los pasos:

- Se tomó una porción de 10g de suelo, luego se adiciono 10 ml de KCl 1N equivalente al doble del peso de la muestra que mantiene una relación de 1:1 (peso: volumen).
- Se agitó la suspensión con el equipo de agitación eléctrica por un periodo de 30 min, luego se puso en reposo para la determinación.



- Enseguida se introdujo el electrodo con una previa agitación, asegurándose que electrodo quede inmerso dentro del suelo.
- Se leyó el pH introduciendo el electrodo y se tomó nota con una cifra decimal.

b) Determinación del Aluminio:

A pH inferiores de 5.5 se realiza el análisis de acidez intercambiable y a pH mayores esta metodología extrae Al de formas no intercambiables que no tiene significado agronómico.

Para la determinación del Al^{+3} se siguió los siguientes pasos:

- Se peso 2g de suelo seco, tamizado a 2mm y se vertió el suelo en un matraz de Erlenmeyer.
- Se adiciono con una pipeta, 20ml de solución de KCl 1N.
- Luego se recubrió la boquilla del matraz con un plástico film.
- En seguida se pasó al equipo de agitación eléctrica por 15 min.
- Posteriormente a los 15 minutos se filtró la suspensión con un papel filtro en un matraz de Erlenmeyer.
- Se adiciono 3 gotas de azul de metilo y se pasó a agitar.
- Finalmente se pasó a la titulación con Hidróxido de Sodio (NaOH 0.01N) hasta que se note el cambio de color de la solución a un color azul, para concluir se anotó los ml (Volumen de gasto) en base al gasto en la titulación.



3.4.2.5. Etapa de Gabinete

Así mismo los resultados obtenidos de las 60 unidades experimentales de pH y Aluminio se realizó la interpretación de cual enmienda es más eficiente en la mejora del pH y Aluminio intercambiable en rangos óptimos para el cultivo de café.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CLASIFICAR LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL SECTOR DE YURAJMAYO SEGÚN LA SOIL TAXÓNOMY

En la clasificación de suelos de la Microcuenca del área de estudio se tomó en cuenta el análisis de caracterización de los perfiles modales, así lograr identificar las características de propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y propiedades de sorción del suelo. De las 8 calicatas realizadas, se tomaron solo 6 calicatas como perfiles modales y 2 calicatas como chequeo; las calicatas N° 3 y N°8 son iguales en las características físicas, biológicas y morfológicas a las calicatas N°2 y N°7 respectivamente, por las que se denominaron calicatas de chequeo, por lo cual no se realizó el análisis de caracterización.

En la Tabla 3 se proporciona la descripción e identificación de las unidades cartográficas en el área de estudio, compuesta por seis consociaciones delimitadas en el mapa de suelos. Cada unidad consta de un símbolo, área total aproximada en hectáreas y porcentaje. La Consociación Yurajmayo Alto es el área más grande, representado un 36.9% del área de estudio, clasificado según la Soil Taxonomy como *Franco Grueso, Typic Humudepts*, a su vez la consociación Iglesia es la más pequeña representando un 2.3% del área de estudio, clasificado según la Soil Taxonomy como *Franco Fino, Typic Dystrudepts*.

Tabla 3*Superficie y proporciones de las consociaciones de suelo*

Consociación	Símbolo	Porcentaje (%)	Superficie	
			Área Ha	% Área
Iglesia	Ig	100	32.7	2.3
Olvea	Ol	100	344.9	24.2
Yurajmayo Alto	Ya	100	525.9	36.9
Rincón	Ri	100	220.6	15.5
Alto Yuraj	Ay	100	177.2	12.4
Finca Don José	Fdj	100	124.9	8.8
Total			1426.2	100

Nota: Elaboración Propia

4.1.1. Suelo Iglesia (Franco fino, Typic Dystrudepts)

El suelo denominado Iglesia (Franco fino, Typic Dystrudepts), cuya textura es Franco arcilloso hasta los 15cm (Tabla 4), este suelo se desarrolló a partir de materiales intemperizado de cuarcitas y pizarras, se ubica en una montaña con una forma de terreno de ladera con una pendiente empinada (25 a 50%), de perfil Ap/Bw1/Bw2/C, identificado un epipedón ócrico, los colores de suelo en el perfil son variables, de color rojo amarillento en el epipedón y pardo fuerte en el endopedón.

Tabla 4*Textura y propiedades físicas de suelo Iglesia (CAL – 1)*

Horizonte	Profundidad [cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural
		Gravas	Arena	Limo	Arcilla	
		>2.0	2.0-0,05	0.05-0.002	<0.002	
Ap	0-20	40	36.88	38.56	24.56	Fr.
Bw1	20-58	40	30.88	44.56	24.56	Fr.
Bw2	58-80	25	16.88	40.56	42.56	Ar.L.
C	80-150	75	28.88	26.56	34.56	Fr.Ar.

Nota: Elaboración Propia

Las propiedades químicas y fisicoquímica (Tabla 5), presenta un pH entre extremadamente ácido a muy fuertemente ácido, no se tiene presencia de sales ni carbonatos de calcio en el perfil de suelo. En el primer Horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (1.67%), el contenido de fósforo disponible es bajo (1.30mg.kg^{-1}) y el contenido de potasio disponible es medio (234.6mg.kg^{-1}), por lo tanto, según los parámetros se tiene una fertilidad baja.

Tabla 5

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Iglesia (CAL - 1)

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P		K
						Disponible	disponible	
						[mg.kg ⁻¹]		
Ap	0-20	4.8	0.048	0.00	1.67	1.30	234.60	
Bw1	20-58	4.0	0.037	0.00	0.71	0.15	195.49	
Bw2	58-80	4.1	0.019	0.00	0.60	0.15	58.64	
C	80-150	4.1	0.021	0.00	0.32	0.15	97.74	

Nota: Elaboración Propia

Las propiedades de sorción (tabla 6) en suelo del primer horizonte, presenta una CIC de $12\text{Cmol}(+). \text{Kg}^{-1}$, clasificado como medio y además con una saturación de base de 39%, de igual modo clasificado como medio.

Tabla 6

Propiedades de sorción de suelo Iglesia (CAL - 1)

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
						Cmol(+). Kg ⁻¹		
Ap	0-20	12.00	4.00	0.20	0.53	0.00	6.30	39
Bw1	20-58	15.00	0.50	0.30	0.47	0.00	13.65	08
Bw2	58-80	16.00	0.80	0.90	0.52	0.00	12.70	14
C	80-150	15.20	1.10	0.50	0.69	0.00	12.55	15

Nota: Elaboración Propia

4.1.2. Suelo Olvea (Fino, Typic Dystrudepts)

El suelo denominado Olvea (Fino, Typic Dystrudepts), cuya textura es franco hasta los 28cm (Tabla 7), este suelo se desarrolló a partir de materiales

intemperizados de cuarcitas y pizarras, se ubica en una montaña con una forma de terreno de ladera con una pendiente empinada (25 a 50%), de perfil Ap/Bw1/Bw2, identificado un epipedón ócrico, los colores de suelo en el perfil son variables desde, color pardo fuerte en el epipedón y rojo amarillento en el endopedón.

Tabla 7*Textura y propiedades físicas del suelo Olvea (CAL – 2)*

Horizonte	Profundidad [cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0,05	Limo 0.05-0.002	Arcilla <0.002	
Ap	0-28	1	38.88	36.56	24.56	Fr.
Bw1	28-54	1	22.88	38.56	38.56	Fr.Ar.
Bw2	54-105	30	28.88	34.56	36.56	Fr.Ar.

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímica (Tabla 8), presenta un pH extremadamente ácido, no se tiene presencia de sales ni carbonatos de calcio en el perfil de suelo. En el primer Horizonte el contenido de materia orgánica es bajo (1.18%), el contenido de fósforo disponible es bajo (0.15mg.kg^{-1}) y el contenido de potasio disponible es medio (156.39mg.kg^{-1}), por lo tanto, según los parámetros se tiene una fertilidad baja.

Tabla 8*Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Olvea (CAL – 2)*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
Ap	0-28	3.9	0.037	0.00	1.18	0.15	156.39
Bw1	28-54	3.8	0.026	0.00	0.76	0.15	0.00
Bw2	54-105	3.9	0.016	0.00	0.35	0.35	0.00

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (tabla 9) en suelo del primer horizonte, presenta una CIC de 24.6 Cmol(+). Kg⁻¹, clasificado como alto y además con una saturación de base de 11%, clasificado como bajo.

Tabla 9

Propiedades de sorción de suelo de la CAL – 2 (Olvea)

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
Ap	0-28	24.60	1.10	1.10	0.52	0.00	27.40	11
Bw1	28-54	22.80	1.00	1.40	0.59	0.00	22.55	13
Bw2	54-105	26.10	0.80	0.80	0.50	0.00	22.40	8

Nota: Elaboración propia

4.1.3. Suelo Yurajmayo Alto (Franco grueso, Typic Humudepts)

El suelo denominado Yurajmayo Alto (Franco grueso, Typic Humudepts), cuya textura es franco arcilloso hasta los 18cm (Tabla 10), este suelo se desarrolló a partir de materiales intemperizados de cuarcitas y pizarras, se ubica en una montaña con una forma de terreno de ladera con una pendiente empinada (25 a 50%), de perfil Ap/Bw/C1/C2, identificado un epipedón Úmbrico, los colores de suelo en el perfil son variables desde, color pardo muy oscuro en el epipedón y color pardo oscuro amarillento en el endopedón.

Tabla 10

Textura y propiedades físicas de suelo Yurajmayo Alto (CAL – 4)

Horizonte	Profundidad [cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0,05	Limo 0.05-0.002	Arcilla <0.002	
Ap	0-18	1	60.48	36.56	2.56	Fr.A.
Bw	18-45	70	48.88	40.56	10.56	Fr.
C1	45-70	60	44.88	36.56	18.56	Fr.
C2	70-120	50	38.88	40.56	20.56	Fr.

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 11), presentan un pH extremadamente ácido, no se tiene presencia de sales ni carbonatos de calcio en el perfil de suelo. En el primer horizonte el contenido de materia orgánica es medio (3%), el contenido de fósforo disponible es medio (13.45 mg.kg⁻¹) y el contenido de potasio disponible es alto (351.88 mg.kg⁻¹), por lo tanto, según los parámetros se tiene una fertilidad media.

Tabla 11

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Yurajmayo Alto (CAL - 4)

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
Ap	0-18	4.9	0.146	0.00	3.00	13.45	351.88
Bw	18-45	4.9	0.075	0.00	1.61	2.65	156.39
C1	45-70	4.3	0.040	0.00	0.41	2.10	254.13
C2	70-120	4.0	0.013	0.00	0.24	0.95	97.74

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 12) en suelo del primer horizonte, presenta una CIC de 7 Cmol(+). Kg⁻¹ clasificado como bajo y edemas, con una saturación de 33% de igual modo clasificado como bajo.

Tabla 12

Propiedades de sorción de suelo Yurajmayo Alto (CAL - 4)

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
			Cmol(+). Kg ⁻¹					
Ap	0-18	7.00	1.20	0.60	0.53	0.00	4.40	33
Bw	18-45	8.20	1.50	0.50	0.23	0.00	4.95	27
C1	45-70	19.00	0.60	1.10	0.35	0.00	16.55	11
C2	70-120	16.10	1.20	0.90	0.52	0.00	19.05	16

Nota: Elaboración propia

4.1.4. Suelo Rincón (Franco fino, Typic Dystrudepts)

El suelo denominado Rincón (Franco fino, Typic Dystrudepts), cuya textura es franco arenoso hasta los 15cm (Tabla 13), este suelo se desarrolló a

partir de materiales intemperizados de pizarras grises carbonosas, se ubica en una montaña con una forma de terreno de ladera con una pendiente empinada (25 a 50%), de perfil Ap/Bw1/Bw2/C, identificado un epipedón Ócrico, los colores de suelo en el perfil son variables desde, color pardo en el epipedón y color pardo oscuro amarillento en el endopedón.

Tabla 13*Textura y propiedades físicas de suelo Rincón (CAL – 5)*

Horizonte	Profundidad [cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural
		>2.0	Arena 2.0-0,05	Limo 0.05-0.002	Arcilla <0.002	
Ap	0-15	5	58.88	32.56	8.56	Fr.A.
Bw1	15-35	15	40.88	36.56	22.56	Fr.
BW2	35-64	10	38.88	36.56	24.56	Fr.
C	64-115	45	50.88	24.56	24.56	Fr.Ar.A

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímica (Tabla 14), presenta un pH entre muy fuertemente ácido y fuertemente ácido, no se tiene presencia de sales ni carbonatos de calcio en el perfil de suelo. En el primer Horizonte el contenido de materia orgánica es medio (2.78%), el contenido de fósforo disponible es bajo (1.65mg.kg⁻¹) y el contenido de potasio disponible es medio (215.03 mg.kg⁻¹), por lo tanto, según los parámetros se tiene una fertilidad baja.

Tabla 14*Propiedades químicas y fisicoquímicas del Rincón (CAL – 5)*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
Ap	0-15	5.1	0.041	0.00	2.78	1.65	215.03
Bw1	15-35	4.6	0.027	0.00	1.59	0.05	19.50
BW2	35-64	4.6	0.020	0.00	0.87	0.05	58.64
C	64-115	4.5	0.017	0.00	0.21	1.35	0.00

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 15) en suelo del primer horizonte, presenta una CIC de 8 Cmol(+). Kg⁻¹, clasificado como bajo y además, con una saturación de 104% clasificado como alto.

Tabla 15

Propiedades de sorción de suelo Rincón (CAL – 5)

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
			Cmol(+). Kg ⁻¹					
Ap	0-15	8.00	4.30	3.70	0.30	0.00	0.55	104
Bw1	15-35	16.00	1.80	2.80	0.33	0.00	8.50	31
BW2	35-64	16.00	2.10	1.10	0.57	0.00	10.25	24
C	64-115	20.00	1.50	1.10	0.67	0.00	17.80	16

Nota: Elaboración propia

4.1.5. Suelo Alto Yuraj (Franco fino, Typic Dystrudepts)

El suelo denominado Alto Yuraj (Franco fino, Typic Dystrudepts), cuya textura es franco hasta los 15cm (Tabla 16), este suelo se desarrolló a partir de materiales intemperizados de cuarcitas y pizarras, se ubica en una montaña con una forma de terreno de ladera con una pendiente moderadamente empinada (15 a 25%), de perfil Ap/Bw/C, identificado un epipedón Ocrico, los colores de suelo en el perfil son, color pardo fuerte en el epipedón y en el endopedón.

Tabla 16

Textura y propiedades físicas de suelo Alto Yuraj (CAL – 6)

Horizonte	Profundidad [cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0,05	Limo 0.05-0.002	Arcilla <0.002	
Ap	0-15	1	50.88	40.56	8.56	Fr.
Bw	15-58	1	40.88	40.56	18.56	Fr.
C	58-155	45	30.88	40.56	22.56	Fr.

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímica (Tabla 17), presenta un pH extremadamente ácido, no se tiene presencia de sales ni carbonatos de calcio en el perfil de suelo. En el primer Horizonte el contenido de materia orgánica es medio (2.25%), el contenido de fósforo disponible es bajo (0.95mg.kg^{-1}) y el contenido de potasio disponible es bajo (97.74mg.kg^{-1}), por lo tanto, según los parámetros se tiene una fertilidad baja.

Tabla 17

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Alto Yuraj (CAL – 6)

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O [%]	P	K
						Disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
Ap	0-15	4.0	0.101	0.00	2.25	0.95	97.74
Bw	15-58	4.1	0.028	0.00	1.75	0.00	0.00
C	58-155	4.2	0.014	0.00	0.79	0.79	0.00

Nota: Elaboración propia

Las propiedades de sorción (Tabla 18) en suelo del primer horizonte, presenta una CIC de $24.6\text{Cmol}(+).\text{Kg}^{-1}$ clasificado como alto y además, una saturación de base de 15% clasificado como bajo.

Tabla 18

Propiedades de sorción de suelo Alto Yuraj (CAL – 6)

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
			Cmol(+). Kg ⁻¹					
Ap	0-15	24.60	2.00	1.30	0.43	0.00	25.55	15
Bw	15-58	26.10	1.00	23.00	0.69	0.00	23.55	95
C	58-155	28.00	1.00	5.30	0.67	0.00	25.55	25

Nota: Elaboración propia

4.1.6. Suelo Finca Don José (Franco fino, Dystric Eutrudepts)

El suelo denominado Finca Don José (Franco fino, Dystric Eutrudepts), cuya textura es franco arenoso hasta los 15cm (Tabla 19), este suelo se desarrolló

a partir de materiales intemperizados de pizarras grises carbonosas, se ubica en una montaña con una forma de terreno de ladera con una pendiente empinada (25 a 50%), de perfil Ap/Bw/C1/C2, identificado un epipedón Ócrico, los colores de suelo en el perfil son variables desde, color pardo muy oscuro en el epipedón y color pardo fuerte en el endopedón.

Tabla 19*Textura y propiedades físicas de suelo Finca Don José (CAL – 7)*

Horizonte	Profundidad [cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural
		>2.0	Arena 2.0-0,05	Limo 0.05-0.002	Arcilla <0.002	
Ap	0-15	30	68.88	28.56	2.56	Fr.A.
Bw	15-45	55	40.88	40.56	16.56	Fr.
C1	45-80	40	30.88	46.56	22.56	Fr.
C2	80-130	55	56.88	30.56	12.56	Fr.A.

Nota: Elaboración propia

Las propiedades químicas y fisicoquímica (Tabla 22), presenta un pH entre fuertemente ácido a neutro, no se tiene presencia de sales ni carbonatos de calcio en el perfil de suelo. En el primer Horizonte el contenido de materia orgánica es medio (2.94%), el contenido de fósforo disponible es bajo (4 mg.kg⁻¹) y el contenido de potasio disponible es medio (234.6 mg.kg⁻¹), por lo tanto, según los parámetros se tiene una fertilidad baja.

Tabla 20*Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Don José (CAL - 7)*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
Ap	0-15	6.6	0.147	0.00	2.94	4.00	234.60
Bw	15-45	5.5	0.021	0.00	0.93	0.50	195.49
C1	45-80	5.3	0.005	0.00	0.49	0.50	215.03
C2	80-130	5.7	0.008	0.00	0.44	0.65	215.03

Fuente: Elaboración propia



Las propiedades de sorción (Tabla 23) en suelo del primer horizonte, presenta una CIC de 20 Cmol(+). Kg⁻¹ clasificado como medio, además una saturación de base de 126% clasificado como alto.

Tabla 21

Propiedades de sorción de suelo Finca Don José (CAL – 7)

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
			Cmol(+). Kg ⁻¹					
Ap	0-15	20.00	16.10	6.80	0.36	0.00	0.50	116
Bw	15-45	10.00	2.40	5.50	0.46	0.00	0.45	84
C1	45-80	7.00	3.00	2.80	0.53	0.00	0.25	90
C2	80-130	6.10	2.00	2.40	0.58	0.00	0.60	82

Fuente: Elaboración propia

4.1.7. Clasificación de los suelos según el Soil Taxonomy

Tabla 22

Clasificación natural de los suelos según la Soil Taxonomy

SOIL TAXONOMY (2022)					
Orden	Suborden	Gran grupo	Subgrupo	Familia	Suelo
		Humudepts	Typic Humudepts	Franco Grueso, Typic Humudepts	Yurajmayo Alto
Inceptisols	Udeps	Eutrudepts	Dystric Eutrudepts	Franco Fino, Dystric Eutrudepts	Finca Don José
		Dystrudepts	Typic Dystrudepts	Fino, Typic Dystrudepts	Olvea
					Iglesia
				Franco Fino, Typic Dystrudepts	Rincón
					Alto Yuraj

Nota: Elaboración propia



Según a la Soil Taxonomy Soil Survey Staff (2022), se realizó la clasificación para los suelos de la Microcuenca del Sector de Yurajmayo, se clasificaron los seis tipos de suelos en el Orden de Inceptisols, presentan un horizonte cámbico y un epipedón Úmbrico. Debido a que los suelos no coincidían con las características de los otros cinco subórdenes, todos los suelos fueron clasificados como Udepts.

En términos de Grandes Grupos, el suelo de Yurajmayo Alto, conocido como Humudepts, tiene un epipedón Úmbrico. El suelo de Yurajmayo Finca Don José, conocido como Eutrudepts, tiene una saturación de base de 80% o más, superando un rango de 70% o más desde la superficie del suelo mineral. Al no coincidir con las características de los otros 5 grandes grupos de Udepts, los suelos de Yurajmayo - Olvea, Iglesia, Rincón y Alto Yuraj se clasificaron como Dystrudepts con características de este grande Grupo de otros Udepts.

Al no coincidir con las características de los otros subgrupos, se clasificó como Humudepts típicos en la categoría de Subgrupo al suelo Yurajmayo – Yurajmayo Alto. El suelo de la Finca Don José, conocido como Yurajmayo, se clasifica como Dystric Eutrudepts debido a la ausencia de carbonatos libres en cualquier horizonte dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral. Por lo tanto, los suelos de Yurajmayo - Olvea, Iglesia, Rincón y Alto Yuraj - fueron clasificados como Typic Dystrudepts porque sus características coincidían con las otras claves del Gran grupo de Dystrudepts.

Para uso familiar, los suelos de Yurajmayo, incluyendo el Yurajmayo alto, se clasifican como franco grueso, Typic Humudepts; los suelos de Finca Don José



y Olvea se clasifican como franco fino, Dystric Eutrudepts; y los suelos de Iglesia, Rincón y Alto Yuraj se clasifican como franco fino, Typic Dystrudepts.

Los resultados obtenidos son similares a los encontrados por Sardón, en el CE Tambopata, quien clasificó en el Orden Inceptisols, Sub orden Udeps y Gran Grupo Dystrudepts y Sub grupo Typic Dystrudepts, ubicándose en un paisaje de montaña con una pendiente empinada y un depósito coluvial (Sardón, 2023).

4.2. EVALUAR LA EFICIENCIA DE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS CALCÁREAS MEDIANTE EL MÉTODO DE INCUBACIÓN EN SUELOS DEL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

4.2.1. Variación de pH en el suelo

La variación de pH en el suelo estuvo influenciada por las enmiendas ($P < 0.0001$), donde una mejor respuesta fue obtenida con la aplicación de la enmienda cal hidratada. De igual forma las dosis de evaluación influyeron sobre la variación del pH en el suelo ($P < 0.0001$) y hubo interacción entre las enmiendas con las dosis de evaluación ($P < 0.0001$).

Con la enmienda de cal hidratada, el pH en el suelo se mantuvo en la categoría “regular a superior”, donde para la Dosis 1t/ha fue de $4.00 \pm 0.004\%$ y este valor se incrementó en las dosis siguientes de 2t/ha fue de $4.24 \pm 0.019\%$, 3t/ha fue de $4.63 \pm 0.009\%$ y 4t/ha se obtuvo un mejor resultado de $5.04 \pm 0.018\%$, en comparación con el Testigo de $3.92 \pm 0.006\%$ respectivamente.

Tabla 23

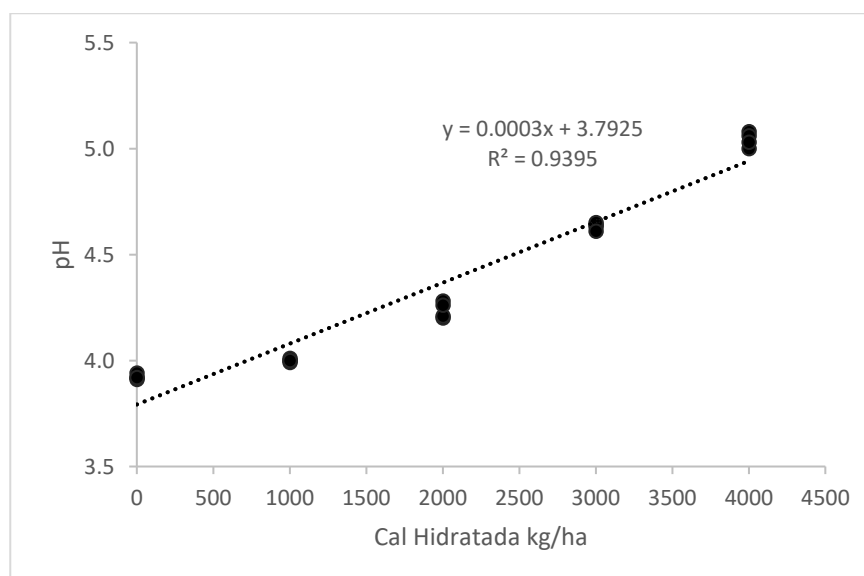
Resultado de análisis de pH del T1

TRATAMIENTO	UNIDAD EXPERIMENTAL	DOSIS (t/ha)	pH
CAL HIDRATADA (T1)	T1 DO R1	0	3.91
	T1 DO R2	0	3.92
	T1 DO R3	0	3.94
	T1 DO R4	0	3.92
	T1 D1 R1	1000	4.00
	T1 D1 R2	1000	4.01
	T1 D1 R3	1000	3.99
	T1 D1 R4	1000	4.00
	T1 D2 R1	2000	4.20
	T1 D2 R2	2000	4.28
	T1 D2 R3	2000	4.21
	T1 D2 R4	2000	4.26
	T1 D3 R1	3000	4.63
	T1 D3 R2	3000	4.64
	T1 D3 R3	3000	4.65
	T1 D3 R4	3000	4.61
	T1 D4 R1	4000	5.08
	T1 D4 R2	4000	5.06
	T1 D4 R3	4000	5.00
	T1 D4 R4	4000	5.03

Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Variación del pH con Cal Hidratada



Nota: Elaboración propia

En la enmienda con Dolomita, la variación de pH en el suelo se mantuvo en la categoría “regular”, sin embargo, hubo una tendencia hacia la mejora de este indicador con el aumento de la dosis, para la dosis 1 t/ha fue de $4.18 \pm 0.016\%$, para la dosis 2 t/ha fue de $4.36 \pm 0.007\%$, para la dosis 3 t/ha fue de $4.51 \pm 0.015\%$ y para la dosis 4 t/ha se obtuvo un mejor resultado de $4.17 \pm 0.020\%$ respecto al testigo fue de $3.92 \pm 0.004\%$ respectivamente.

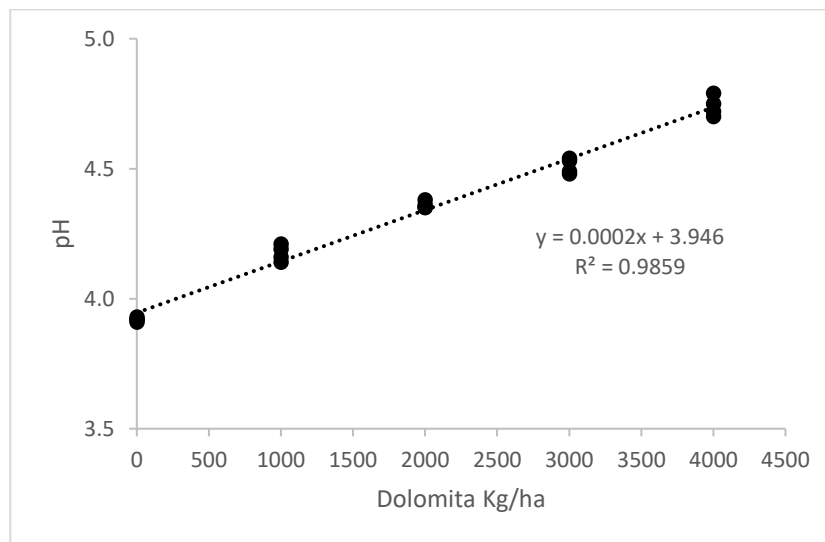
Tabla 24*Resultado de análisis de pH del T2*

TRATAMIENTO	UNIDAD EXPERIMENTAL	DOSIS (kg/ha)	pH
DOLOMITA (T2)	T2 DO R1	0	3.92
	T2 DO R2	0	3.92
	T2 DO R3	0	3.93
	T2 DO R4	0	3.91
	T2 D1 R1	1000	4.14
	T2 D1 R2	1000	4.19
	T2 D1 R3	1000	4.16
	T2 D1 R4	1000	4.21
	T2 D2 R1	2000	4.36
	T2 D2 R2	2000	4.38
	T2 D2 R3	2000	4.35
	T2 D2 R4	2000	4.35
	T2 D3 R1	3000	4.49
	T2 D3 R2	3000	4.48
	T2 D3 R3	3000	4.53
	T2 D3 R4	3000	4.54
	T2 D4 R1	4000	4.70
	T2 D4 R2	4000	4.72
	T2 D4 R3	4000	4.75
	T2 D4 R4	4000	4.79

Fuente: Elaboración propia

Figura 4

Variación del pH con Dolomita



Nota: Elaboración propia

Con la aplicación de Roca fosfórica, la variación de pH en el suelo se mantuvo en una situación “inferior”, donde se encontró un incremento ligero del valor en base al incremento de las dosis, para la dosis 1 t/ha fue de $4.11 \pm 0.006\%$, para la dosis 2 t/ha fue de $4.21 \pm 0.012\%$, para la dosis 3 t/ha fue de $4.23 \pm 0.004\%$ y para la dosis 4 t/ha fue de $4.29 \pm 0.003\%$, comparado a testigo $3.93 \pm 0.006\%$ respectivamente.

Resultó el más bajo entre las enmiendas en el suelo encalado con roca fosfórica; esto refleja su baja solubilidad a medida que aumenta el pH del suelo. Esto corrobora los hallazgos de Chien et al. (1995; citado por Morillo et al., 2007), quienes descubrieron que el aumento del pH y del contenido de calcio en el suelo resultante del encalado del suelo puede reducir la disolución de la roca fosfórica. Estos compuestos tienen una baja capacidad para corregir la acidez y los porcentajes alcanzados se deben principalmente al efecto del carbonato de calcio presente en las modificaciones (Díaz & Sadeghian, 2022). En base a los Cambios

en las fracciones de P en función del tiempo de incubación y el contenido de humedad manifiesta Lopez y Romero (2019) A medida el proceso de incubación en los suelos ensayados se presentó una redistribución del P en las diferentes fracciones, como es de esperar, el fósforo, una vez liberado de la roca puede ser rápidamente retenido (adsorbido o precipitado) por la matriz adsorbente y no mantenerse en solución (López, 2016), este proceso pudo ser afectado por el contenido de humedad del sistema ya que la tasa de disolución de la roca fosfórica es a su vez controlada por la difusión de los iones H_2PO_4^- y Ca^{2+} que se disolvieron de la roca. En un sistema de incubación, el P solubilizado de la RF también pudo unirse a los microorganismos del suelo (hongos y bacterias) a través de la inmovilización biológica. El contenido de humedad del ambiente también podría afectar este proceso (Rangel et al., 2015).

Tabla 25

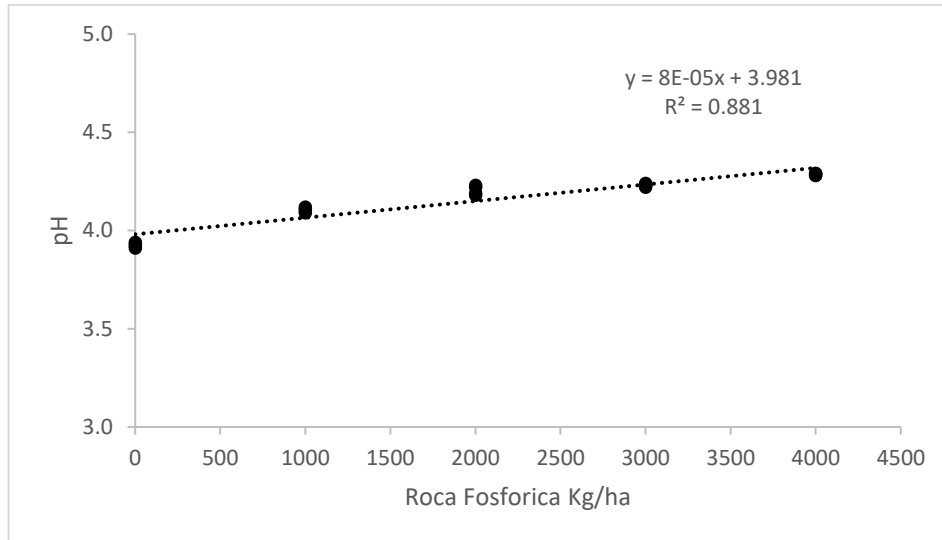
Resultado de análisis de pH del T3

TRATAMIENTO	UNIDAD EXPERIMENTAL	DOSIS (kg/ha)	pH
ROCA FOSFÓRICA (T3)	T3 DO R1	0	3.94
	T3 DO R2	0	3.93
	T3 DO R3	0	3.92
	T3 DO R4	0	3.91
	T3 D1 R1	1000	4.10
	T3 D1 R2	1000	4.09
	T3 D1 R3	1000	4.11
	T3 D1 R4	1000	4.12
	T3 D2 R1	2000	4.23
	T3 D2 R2	2000	4.19
	T3 D2 R3	2000	4.22
	T3 D2 R4	2000	4.18
	T3 D3 R1	3000	4.23
	T3 D3 R2	3000	4.23
	T3 D3 R3	3000	4.22
	T3 D3 R4	3000	4.24
	T3 D4 R1	4000	4.28
	T3 D4 R2	4000	4.29
	T3 D4 R3	4000	4.28

Nota: Elaboración propia

Figura 5

Variación del pH con Roca fosfórica



Nota: Elaboración propia

En la tabla 23, se observa la Prueba de Tukey para factor tipo de enmienda por factor dosis de enmienda (D) sobre pH, en donde la interacción conformada por la Cal Hidratada con la dosis de 4t/ha tuvo mayor pH de 5.04, siendo estadísticamente superior a las demás interacciones, seguido de la interacción conformada por Dolomita con la dosis de 4 t/ha con un pH de 4.74; mientras que la interacción conformada por Cal Hidratada con la dosis de 3 t/ha con un pH de 4.63, en último lugar se ubica las interacciones Cal Hidratada y Dolomita con la dosis testigo con un pH de 3.92 respectivamente.

Tabla 26

Prueba de Tukey para factor tipo de enmienda por factor dosis de enmienda (D) sobre pH

Orden de mérito	Enmienda	Dosis de Enmienda (t/ha)	Promedio de pH	Sig. ≤ 0.05
1	Cal Hidratada (T1)	D4=4	5.04	a
2	Dolomita (T2)	D4 =4	4.74	b
3	Cal Hidratada (T1)	D3=3	4.63	c
4	Dolomita (T2)	D3=3	4.51	d
5	Dolomita (T2)	D2=2	4.36	e
6	Roca Fosfórica (T3)	D4=4	4.29	f
7	Cal Hidratada (T1)	D2=2	4.24	f g
8	Roca Fosfórica (T3)	D3=3	4.23	f g h
9	Roca Fosfórica (T3)	D2=2	4.21	g h
10	Dolomita (T2)	D1=1	4.18	h
11	Roca Fosfórica (T3)	D1=1	4.11	i
12	Cal Hidratada (T1)	D1=1	4.00	j
13	Roca Fosfórica (T3)	D0=0	3.93	k
14	Cal Hidratada (T1)	D0=0	3.92	k
15	Dolomita (T2)	D0=0	3.92	k

Nota: Elaboración propia

4.2.2. Variación de Aluminio en el suelo

Los ajustes y los niveles de dosis tuvieron un impacto en la variación del aluminio en el suelo (Figura 6), con un valor p de 0.0001. La enmienda de Dolomita mostró una mejor respuesta. Hubo una interacción entre las enmiendas y las dosis de evaluación ($P < 0.0001$). De igual forma, la dosis de evaluación influyó en la variación del aluminio en el suelo con la aplicación de Dolomita, donde la D4 con 4t/ha tuvo un efecto mejor en la reducción del aluminio con un contenido de aluminio de 2.83 Cmol(+). kg⁻¹ este valor se incrementó en dosis siguientes de D3 con 3t/ha que fue 3.10 83 Cmol(+). kg⁻¹, D2 con 2t/ha que fue 3.35 83 Cmol(+). kg⁻¹, D1 con 1t/ha que fue 3.78 83 Cmol(+). kg⁻¹ y D0 con 0t/ha que fue de 6.05 Cmol(+). kg⁻¹ de contenido de aluminio.

Tabla 27

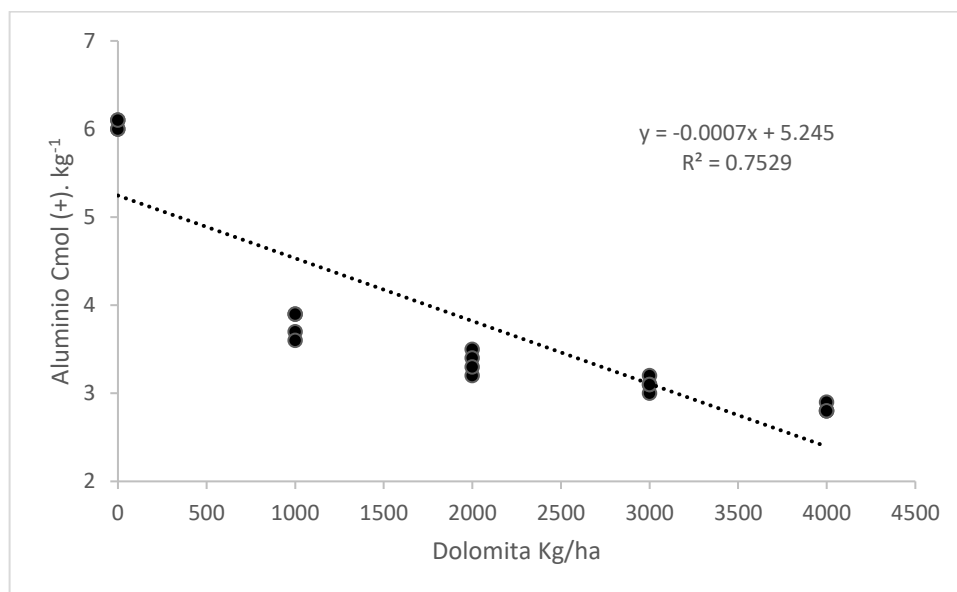
Resultado de análisis de Al^{+3} del T2

TRATAMIENTO	UNIDAD EXPERIMENTAL	DOSIS (kg/ha)	Al^{+3}
DOLOMITA (T2)	T2 DO R1	0	6.0
	T2 DO R2	0	6.1
	T2 DO R3	0	6.0
	T2 DO R4	0	6.1
	T2 D1 R1	1000	3.9
	T2 D1 R2	1000	3.9
	T2 D1 R3	1000	3.7
	T2 D1 R4	1000	3.6
	T2 D2 R1	2000	3.5
	T2 D2 R2	2000	3.2
	T2 D2 R3	2000	3.4
	T2 D2 R4	2000	3.3
	T2 D3 R1	3000	3.2
	T2 D3 R2	3000	3.0
	T2 D3 R3	3000	3.1
	T2 D3 R4	3000	3.1
	T2 D4 R1	4000	2.8
	T2 D4 R2	4000	2.8
	T2 D4 R3	4000	2.9
	T2 D4 R4	4000	2.8

Nota: Elaboración propia

Figura 6

Variación del Aluminio con Dolomita



Nota: Elaboración propia

La variación de aluminio intercambiable en el suelo en la enmienda con cal hidratada se mantuvo en la categoría "intermedio", pero hubo una tendencia a mejorar, y este indicador fue el más sobresaliente de los demás en base a los niveles de dosis que se incrementaron, para la D4 con 4t/ha fue de 3.05 Cmol(+). kg⁻¹, para la D3 con 3t/ha fue de 3.48 Cmol(+). kg⁻¹, para la D2 con 2t/ha fue de 4.13 Cmol(+). kg⁻¹ y para la D1 con 1/ha fue de 4.45 Cmol(+). kg⁻¹, respecto al testigo fue de 6.10 Cmol(+). kg⁻¹.

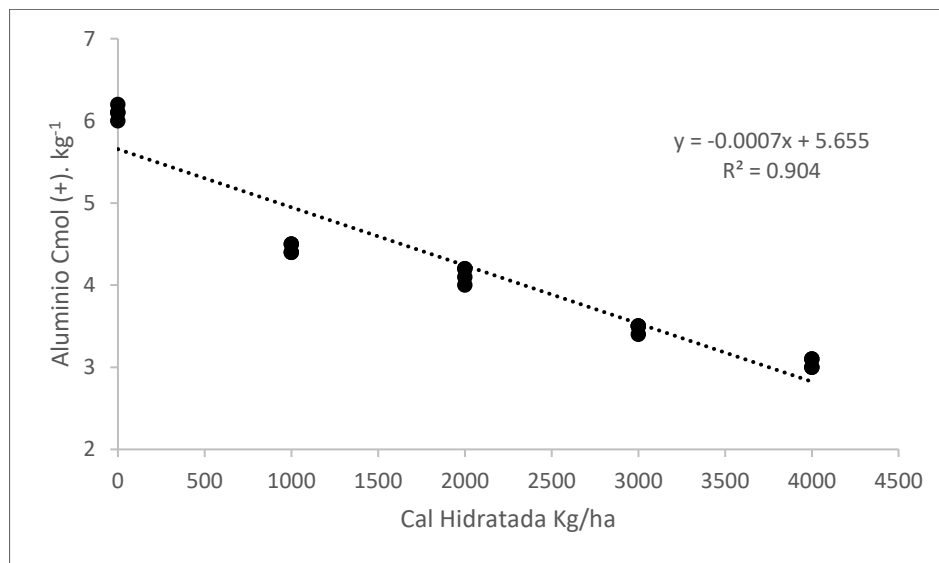
Tabla 28*Resultado de análisis de Al⁺³ del T1*

TRATAMIENTO	UNIDAD EXPERIMENTAL	DOSIS (kg/ha)	Al ⁺³
CAL HIDRATADA (T1)	T1 DO R1	0	6.0
	T1 DO R2	0	6.1
	T1 DO R3	0	6.2
	T1 DO R4	0	6.1
	T1 D1 R1	1000	4.5
	T1 D1 R2	1000	4.4
	T1 D1 R3	1000	4.4
	T1 D1 R4	1000	4.5
	T1 D2 R1	2000	4.2
	T1 D2 R2	2000	4.0
	T1 D2 R3	2000	4.2
	T1 D2 R4	2000	4.1
	T1 D3 R1	3000	3.4
	T1 D3 R2	3000	3.5
	T1 D3 R3	3000	3.5
	T1 D3 R4	3000	3.5
	T1 D4 R1	4000	3.0
	T1 D4 R2	4000	3.1
	T1 D4 R3	4000	3.0
	T1 D4 R4	4000	3.1

Nota: Elaboración propia

Figura 7

Variación del Aluminio con Cal hidratada



Nota: Elaboración propia

Con la aplicación de Roca fosfórica la variación de aluminio en el suelo se mantuvo en una situación inferior, donde se observó una disminución ligera del valor en función al incremento de las Dosis, en donde la D4 con 4t/ha fue de 4.05 Cmol(+). kg⁻¹, D3 con 3t/ha fue de 4.23 Cmol(+). kg⁻¹, D2 con 2t/ha fue de 4.45 Cmol(+). kg⁻¹ y con la D1 con 1t/ha fue de 4.83 Cmol(+). kg⁻¹ en comparación del testigo que fue de 6.03 Cmol(+). kg⁻¹ contenido de aluminio.

Tabla 29

Resultado de análisis de Al⁺³ del T3

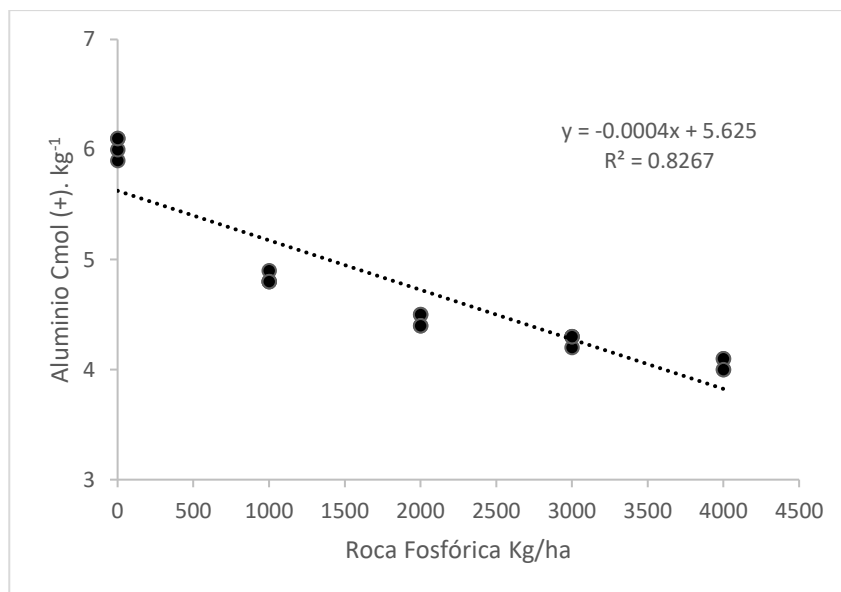
TRATAMIENTO	UNIDAD EXPERIMENTAL	DOSIS (kg/ha)	Al ⁺³
ROCA FOSFÓRICA (T3)	T3 DO R1	0	5.9
	T3 DO R2	0	6.0
	T3 DO R3	0	6.1
	T3 DO R4	0	6.1
	T3 D1 R1	1000	4.8
	T3 D1 R2	1000	4.9
	T3 D1 R3	1000	4.8
	T3 D1 R4	1000	4.8
	T3 D2 R1	2000	4.5

TRATAMIENTO	UNIDAD EXPERIMENTAL	DOSIS (kg/ha)	Al ⁺ ₃
	T3 D2 R2	2000	4.5
	T3 D2 R3	2000	4.4
	T3 D2 R4	2000	4.4
	T3 D3 R1	3000	4.3
	T3 D3 R2	3000	4.2
	T3 D3 R3	3000	4.3
	T3 D3 R4	3000	4.3
	T3 D4 R1	4000	4.1
	T3 D4 R2	4000	4.0
	T3 D4 R3	4000	4.1
	T3 D4 R4	4000	4.0

Nota: Elaboración propia

Figura 8

Variación del Aluminio con Roca fosfórica



Nota: Elaboración propia

En la tabla 24, se observa la Prueba de Tukey para factor tipo de enmienda por factor dosis de enmienda (D) sobre el Aluminio, en donde la interacción conformada por la Dolomita con dosis de 4t/ha, Cal Hidratada con la dosis de 4 t/ha y Dolomita con dosis de 3 t/ha tuvieron menor contenido de Aluminio de 2.83 Cmol(+). kg⁻¹, 3.05 Cmol(+). kg⁻¹ y 3.10 Cmol(+). kg⁻¹ respectivamente, siendo estadísticamente superior a las demás interacciones, seguido de la interacción

conformada por Dolomita con la dosis de 2 t/ha con un contenido de aluminio de 3.35 Cmol(+). kg⁻¹. En último lugar se ubica la interacción de Roca fosfórica con la dosis de 1 t/ha con un contenido de aluminio de 4.83 Cmol(+). kg⁻¹ que no disminuyo a comparación del Testigo con un contenido de aluminio de 6.3 Cmol(+). kg⁻¹.

Tabla 30

Prueba de Tukey para factor tipo de enmienda por factor dosis de enmienda (D) sobre contenido de aluminio

Orden de mérito	Enmienda	Dosis de Enmienda (t/ha)	Promedio de pH	Sig. ≤ 0.05
1	Cal Hidratada(T1)	D0=0	6.10	a
2	Dolomita (T2)	D0=0	6.05	b
3	Roca Fosfórica (T3)	D0=0	6.03	c
4	Roca Fosfórica (T3)	D1=1	4.83	d
5	Roca Fosfórica (T3)	D2=2	4.45	e
6	Cal Hidratada (T1)	D1=1	4.45	f
7	Roca Fosfórica (T3)	D3=3	4.28	f g
8	Cal Hidratada (T1)	D2=2	4.13	f g h
9	Roca Fosfórica (T3)	D4 =4	4.05	g h
10	Dolomita (T2)	D1=1	3.78	h
11	Cal Hidratada (T1)	D3=3	3.48	i
12	Dolomita (T2)	D2=2	3.35	j
13	Dolomita (T2)	D3=3	3.10	k
14	Cal Hidratada (T1)	D4 =4	3.05	k
15	Dolomita (T2)	D4 =4	2.83	k

Nota: Elaboración propia



V. CONCLUSIONES

- La caracterización de los suelos de la Microcuenca de Yurajmayo muestran una semejanza en cuanto a sus características físicas, químicas y taxonómicas, clasificándose según el Soil Taxonomy en el Orden Inceptisols y a nivel Familia en: Fino, Typic Dystrudepts; Franco grueso, Typic Humudepts y cuatro suelos como Franco fino, Typic Dystrudepts; teniendo un epipedón ócrico y úmbrico, según la relación del contenido de materia orgánica, fósforo y potasio de la capa superficial el suelo, el suelo Yurajmayo alto se clasificó con una fertilidad media, los demás suelos cuentan con una fertilidad baja, un pH entre extremadamente ácido a muy fuertemente ácido.
- Los resultados de los análisis de suelo para evaluar el efecto de las dosis de las enmiendas en el comportamiento del pH y Al^{+3} , demostraron que a medida que se incrementan las dosis y mayor solubilidad de las enmiendas, se obtuvo mejores resultados. En la aplicación de la enmienda de Cal hidrata se obtuvo resultados superiores estadísticamente a las demás enmiendas aplicadas, el testigo tuvo un pH de 3.92 y 6.10 $cmol(+). kg^{-1}$ de Al^{+3} , con la aplicación de la dosis de 1t/ha se mejoró el pH a 4.00 y se redujo el Al^{+3} a 4.45 $cmol(+). kg^{-1}$, en la siguiente dosis de 2t/ha el pH aumento a 4.24 y el Al^{+3} se redujo a 4.12 $cmol(+). kg^{-1}$, en la dosis siguiente de 3t/ha el pH se incrementó a 4.63 y el Al^{+3} se redujo a 3.47 $cmol(+).kg^{-1}$, con la dosis más alta de 4t/ha se obtuvo efectos superiores estadísticamente a las demás dosis, mejorando a 5.04 el pH y reduciendo a 3.05 $cmol(+). kg^{-1}$ de Al^{+3} ; seguido de la enmienda de Dolomita, el testigo tuvo un pH de 3.92 y 6.05 $cmol(+). kg^{-1}$ de Al^{+3} , con la aplicación de la dosis de 1t/ha se mejoró el pH a 4.17 y se redujo el Al^{+3} a 3.77 $cmol(+). kg^{-1}$, en la siguiente dosis de 2t/ha el pH aumento a 4.36 y el Al^{+3} se redujo



a $3.35 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$, en la dosis siguiente de 3 t/ha el pH se incrementó a 4.51 y el Al^{+3} se redujo a $3.10 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$, con la dosis más alta de 4 t/ha se obtuvo efectos superiores estadísticamente a las demás dosis, mejorando a 4.74 el pH y reduciendo a $2.82 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de Al^{+3} . Con la aplicación de enmienda de Roca fosfórica, el testigo tuvo un pH de 3.92 y $6.02 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de Al^{+3} , con la aplicación de la dosis de 1 t/ha se mejoró el pH a 4.10 y se redujo el Al^{+3} a $4.82 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$, en la siguiente dosis de 2 t/ha el pH aumento a 4.20 y el Al^{+3} se redujo a $4.45 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$, en la dosis siguiente de 3 t/ha el pH se incrementó a 4.23 y el Al^{+3} se redujo a $4.27 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$, con la dosis más alta de 4 t/ha se obtuvo efectos superiores estadísticamente a las demás dosis, mejorando a 4.28 el pH y reduciendo a $4.05 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ de Al^{+3} .



VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la influencia de la clasificación de suelos según el Soil Taxonomy sobre las propiedades físicas, químicas, biológicas y fertilidad de los suelos a fin de definir cuál sería la mejor estrategia de manejo de suelos para maximizar los beneficios ecológicos y económicos de los sistemas de manejo según tipo y clases de suelos.
- Realizar ensayos similares con la aplicación de enmiendas combinadas, que si bien mejora la acidez de los suelos por generar iones OH^- y disminuir los iones H_3O^+ en la solución suelo producto de la mezcla de materiales encalantes de diferente origen, composición y reactividad, debería ser evaluada tanto en áreas productivas como de conservación, hacen más efectivo el proceso del mejoramiento químico de suelos ácidos y consecuentemente ayudará su estabilidad en mejorar íntegramente la fertilidad de los suelos productivos.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, G. & Castellanos, M. (2009). Manual de Fertilizantes y Enmiendas. consultado 2016 sep. 25.
- Bardgett, RD. (2005). The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach. Oxford University Press, New York. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198525035.001.0001>.
- Carvajal, K. G., & Gómez, C. A. (2016). Efecto de la aplicación de cal dolomita sobre el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño en suelos de uso agrícola, Zamorano, Honduras (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2016.). Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/91690727-b306-49ee-9d27-25d>
- Campillo, R. (2014). Estrategias de corrección de suelos acidificados mediante enmiendas calcáreas. INIA. Chile. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7687/NR39298.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Campillo, R. (2014). Corrección de suelos acidificados mediante enmiendas calcáreas en la región de la Araucanía. INIA. Disponible en: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/2016/03/INFORMATIVO-TRIGO-68.pdf>
- Calva, C. & Espinosa J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito – Ecuador.
- Castro, H; Guerrero, J. (2018). Evaluación de materiales de encalado mediante pruebas de incubación en un oxisol de la altillanura colombiana. (en línea). Revista de Ciencias Agrícolas. 34(2): 14-26. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n2/2256-2273-rcia-35-02-00014.pdf>
- Castro, J. C. (2010). Efecto de diferentes dosis de dolomita en la neutralización del aluminio intercambiable en un suelo muy ácido de supte san jorge. Disponible



en: <https://repositorio.unas.edu.pe/items/39cbe6af-9988-4081-a11d-a15574d67191>

Carrizo, ME; Alesso, CA; Billoud, H; Pilatti, MA. (2014). Comparación del poder de neutralización de enmiendas calcáreo-magnésicas en suelos de la Pampa llana santafesina. (en línea). FCA UNCUYO. 46(2): 73-82. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/07e4/ea6ddcf7eaf24aad7edd7.pdf>

Corrêa, J.B., Reis, T.H., Pozza, A., Guimarães, P.T., & Carvalho, J. (2007). Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros Catuaí vermelho (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, 2(2), 159-167. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/552a/13ccca2a5a05a36e5f83a9ff4f2ed1ff1a44610.pdf>

Chien, SH; Gearhart, MM; Collamer, DJ. (2001). Los fertilizantes nitrogenados y la acidificación del suelo. (en línea). Reporte de International Fertilizer Development Center (IFDC). Disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Los%20Fertilizantes%20Nitrogenados%20y%20la%20Acidificacion%20del%20Suelo.asp>

Chien, S.H.; Menon, R.G. Taylor, R.W. y Sistan, K.R. (1995). Evaluation of agronomic effectiveness of phosphate rocks for aluminum tolerant soybean cultivar. *Commun. Soil sci. Plant Anal.* 26 (19-20): 3133- 3144.

Díaz, J.A. (2016). Determinación del efecto de la aplicación de nueve materiales de encalado en muestras de cinco suelos ecuatorianos de diferente material parental. (en línea) Tesis Ing. Agr. Universidad Central del Ecuador. Quito, EC. 71p. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8225/1/T-UCE-0004-51.pdf>

Díaz-Poveda, V. C. & Sadeghian, S. (2022). Eficiencia de enmiendas utilizadas como correctivos de la acidez del suelo en el cultivo del café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73103-e73103. Disponible en: <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/cenicafe/article/view/199>



- Dent, D.; Dawson, B. (2000). The acid test. An expert system for acid sulphate soils. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, The Netherlands. 128p.
- Espinosa, J. & Molina, E. (1999). Acidez y encalado de suelos. International Plant Nutrition Institute IPNI.
- FAO. (2014). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia.
- Figueroa, D. (2004). Estrategias para la recuperación de suelos degradados. Artículo de Horticultura. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/318200-Tierras-Agricultura-Prodeleco-abordan-cambios-afectan-sector-patata-conservacion-Espana.html>
- García, J.J. (2020). Efecto de la materia orgánica, yeso y dolomita en la concentración de aluminio (AL+3) en suelos con cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables mención en Conservación de suelos y agua. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 48 p.: Disponible en: http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1697/TS_JJGR_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hirzel, J; Lecanneller, R; Cuevas, E; Rodríguez, F. (2017). Efectividad de cales granuladas en el manejo de dos suelos ácidos. (en línea). Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica-IAH. P 21-30. Disponible en: <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/840F7E795894050C0325815D.pdf>
- Huisa, D. (2020). La calidad del suelo en campos de agricultura intensiva de café (*Coffea arabica*) VAR. CATIMOR en el anexo Alto Pitocuna del distrito de Río Negro. Satipo. 2018. Tesis de grado. Universidad Continental. Huancayo. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8447/4/IV_FIN_107_TE_Huisa_Altamirano_2020.pdf



- Ibarra, M.A. (2022). Estudio agrológico y taxonómico de los suelos en el transecto Cruzpampa - Sincos del Valle del Río Mantaro, Región Junín. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Perú.
- INTAGRI. (2017). Clasificación del Suelo: WRB y Soil Taxonomy. Serie Suelos. Núm. 28. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- IICA. (1995). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba. Pág. 398.
- López, D., & Romero, G. (2019). Adición de roca fosfórica y cambios en las fracciones de P en suelos con diferente humedad y períodos de incubación. *Bioagro*, 31(1), 13-22. Disponible en: <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2608/1608>
- López, D. (2016). Soils with hardened laterites are they really high P - sorbing. *Ciencia* 24: 178-186.
- Marroquín, LH. (2003). Efecto de dos materiales encalantes y orgánicos en el rendimiento del maíz (*Zea mays* L) en siembra directa en un suelo ácido. Tesis Ing. Agrónomo. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/511/AGR-459.pdf?sequence=1&isAllowed=y> 472
- Méndez, M.J. (2011). Estudio comparativo de la aplicación de dos enmiendas calcáreas sobre un suelo ácido y el desarrollo vegetativo de cafetales con poda de rehabilitación (*Coffea arabica* L.) Var. Caturra Roja, en la Provincia de Satipo. Tesis de grado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Satipo. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1903>
- Molina, E. (2014). Acidez de suelos y uso de enmiendas. Serie de notas técnicas Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. San José, CR. Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota%20t%C3%20suelos%20y%20uso%20de%20enmiendas.pdf>



- Morillo, A; Sequera, O; Ramírez, R. (2007). Roca fosfórica acidulada como fuente de fósforo en un suelo ácido con o sin encalado. *Bioagro* 19(3):161-168. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/857/85719306.pdf> 480
- Nazar, J. (2015). Efecto del encalado en el crecimiento de la valeriana pilosa r&p en huanico, Cajamarca. Tesis Mg. Sc. Cajamarca, Perú. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1555/Tesis%20Javier%20Nazar%20pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ortiz, R.I. (2013). Evaluación de dosis y fuentes de enmiendas calcáreas en la fertilidad 485 del suelo y el crecimiento de piña en finca Tres Amigos, Pital, San Carlos. Trabajo final de graduación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2238/3323>
- Ortiz-Araya, E. F. (2008). Evaluación del efecto de la cal dolomita sobre algunas características químicas del suelo y la absorción de nutrientes en el cultivo de piña (*Ananas comosus*)(L) Merr. híbrido MD-2 en finca ganadera la Flor SA en Río Cuarto, Grecia, Costa Rica.
- PALACIOS, V. (1997). Informe sobre composición de la roca bayóvar. Superintendencia General. UP. Bayóvar-Minero Perú. Piura. Pág. 1487.
- Porta, J.; López, M.; Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ª Edición. Ed. Mundi-prensa. Madrid.
- Rangel, L., D. Zarin, F. Oliveira, S. Vasconcelos, C. Carvalho y M. Santos. 2015. Effect of water availability on soil microbial biomass in secondary forest in eastern Amazonia. *R. Bras. Ci. Solo* 39: 377 - 384
- Ricse, E.R. (2018). Efecto de enmiendas en un suelo ácido con cultivo de *Phaseolus vulgaris* L., variedad norteña – Satipo. Tesis Ing. Agrónomo. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4880/Ricse%20%20%20Gala.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodrigues, L.A., Matrines, H.E., Lima, J.C., Novais, R., & Mendonça, S. M. (2006). Respostas nutricionais de cafeeiros Catuaí e Icatu a doses de calcário em



- subsuperfície. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(6), 985-995. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000600008>
- Rosseto, R; Spironello, A; Cantarella, H; Quaggio, J.A. (2004). Calagem para a cana de açúcar e sua interação com a adubação potássica. (en línea). *Bragantia*. Campinas, BR. 63(1). Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-8705200100011
- Sadeghian-Khalajabadi, S., & Díaz-Marín, C. (2020). Corrección de la acidez del suelo: Efectos en el crecimiento inicial del café. *Revista Cenicafé*, 71(1), 21-31. Disponible en: <https://doi.org/10.38141/10778/1117>
- Sánchez, E (2011). Manual de manejo y fertilización de suelos cafetaleros en Satipo, MPS-PROYECTO FCPSPS, Primera Edición, Perú.
- Samudio, L.F. (2020). Efecto de enmiendas calcáreas sobre las propiedades químicas y biológicas en suelos incubados de alto paraná, Paraguay. Tesis de grado. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay. Disponible en: <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis-Luis%20Samudio.pdf>
- Santos, D; Gatiboni, L; Kaminski, J. (2008). Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. (en línea). *Ciencia Rural*. 38(2): 576-586. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-9&script=sci_abstract&tlng=pt
- Sardon Nina, N. A. (2023). Evaluación de soluciones extractoras de fósforo (p) disponible mediante la aplicación de una fuente fosfatada en diferentes tipos de suelos. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano.
- Sias, D.Y. (2020). Efecto de enmiendas orgánicas e inorgánicas en la recuperación de suelos degradados bajo un cultivo de frijol *Phaseolus vulgaris* en un Inceptisol. Tesis de Posgrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1881>
- Tasilla, L. (2021). Variación de la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría en la Encañada – Cajamarca. Tesis de grado. Universidad



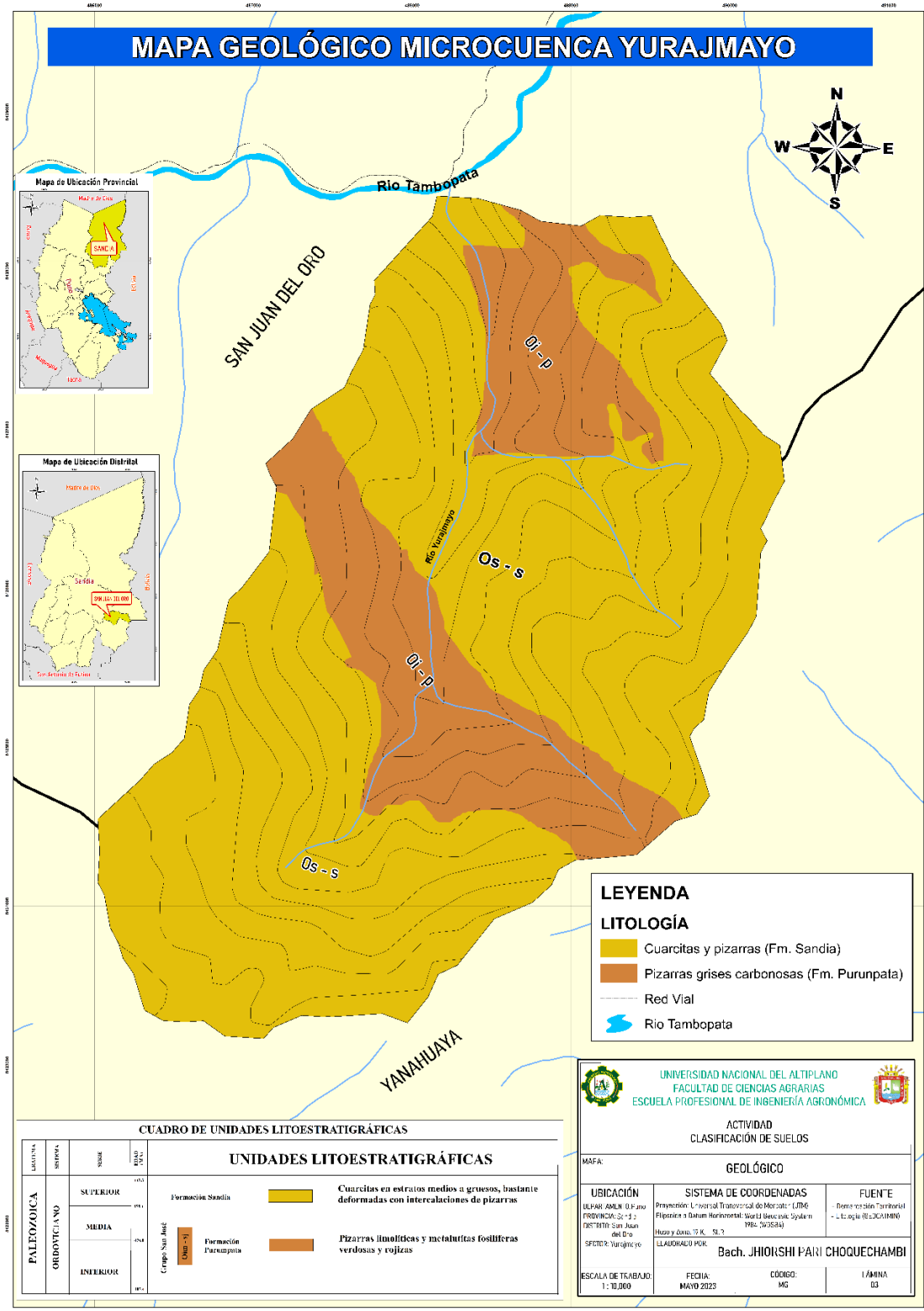
Nacional de Cajamarca. Cajamarca – Perú. Disponible en:
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/4482>

Thurow, TL. (1991). Hydrology and Erosion. In: Heitschmidt, R.K., Stuth, J.W. (Eds.),
Grazing Management: An Ecological Perspective. Timber Press, Portland, OR,
USA, pp. 141–159.

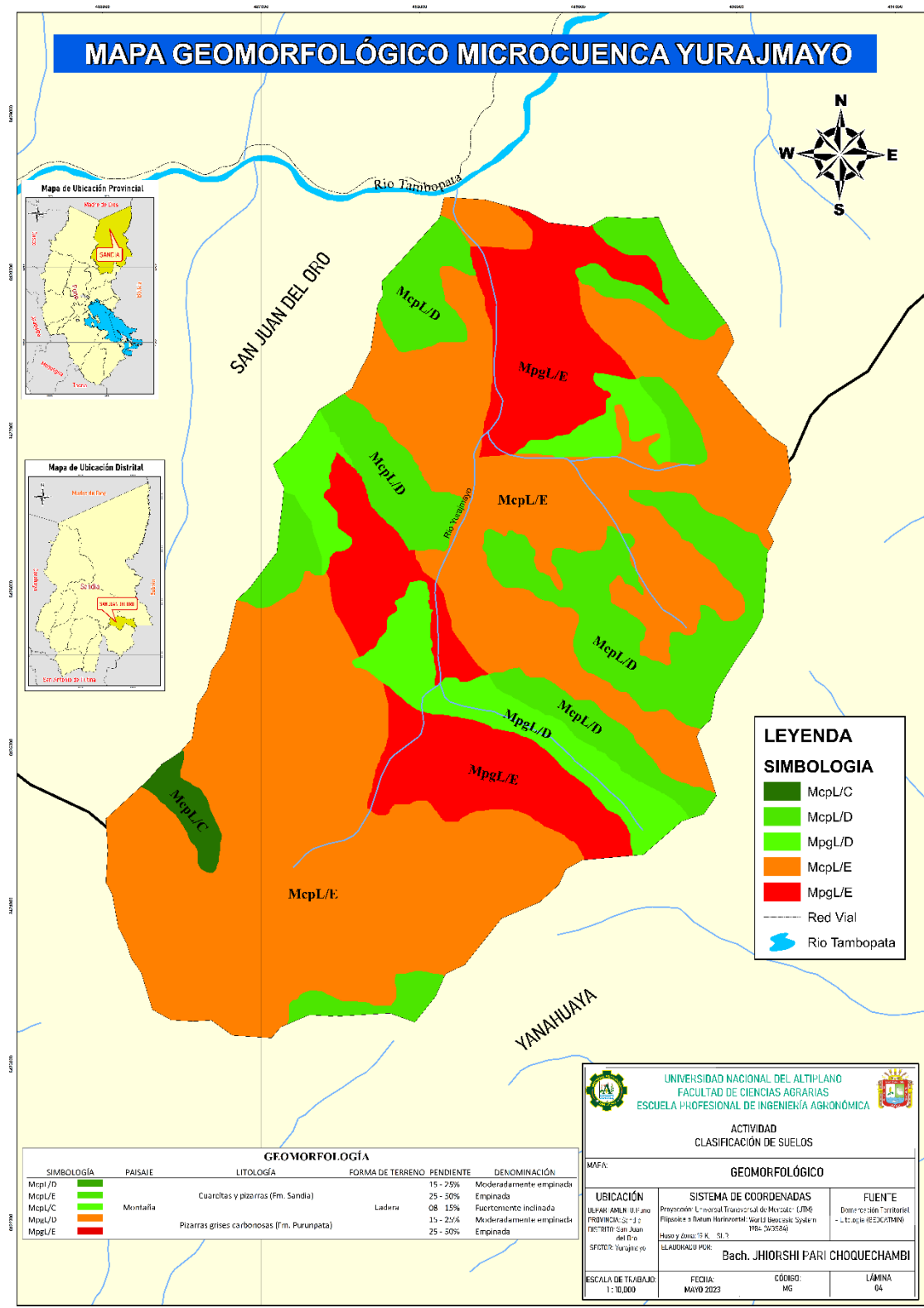
Zapata Hernández, R. D. (2004). Química de la acidez del suelo. *Facultad de Ciencias*.
Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3280>.

ANEXOS

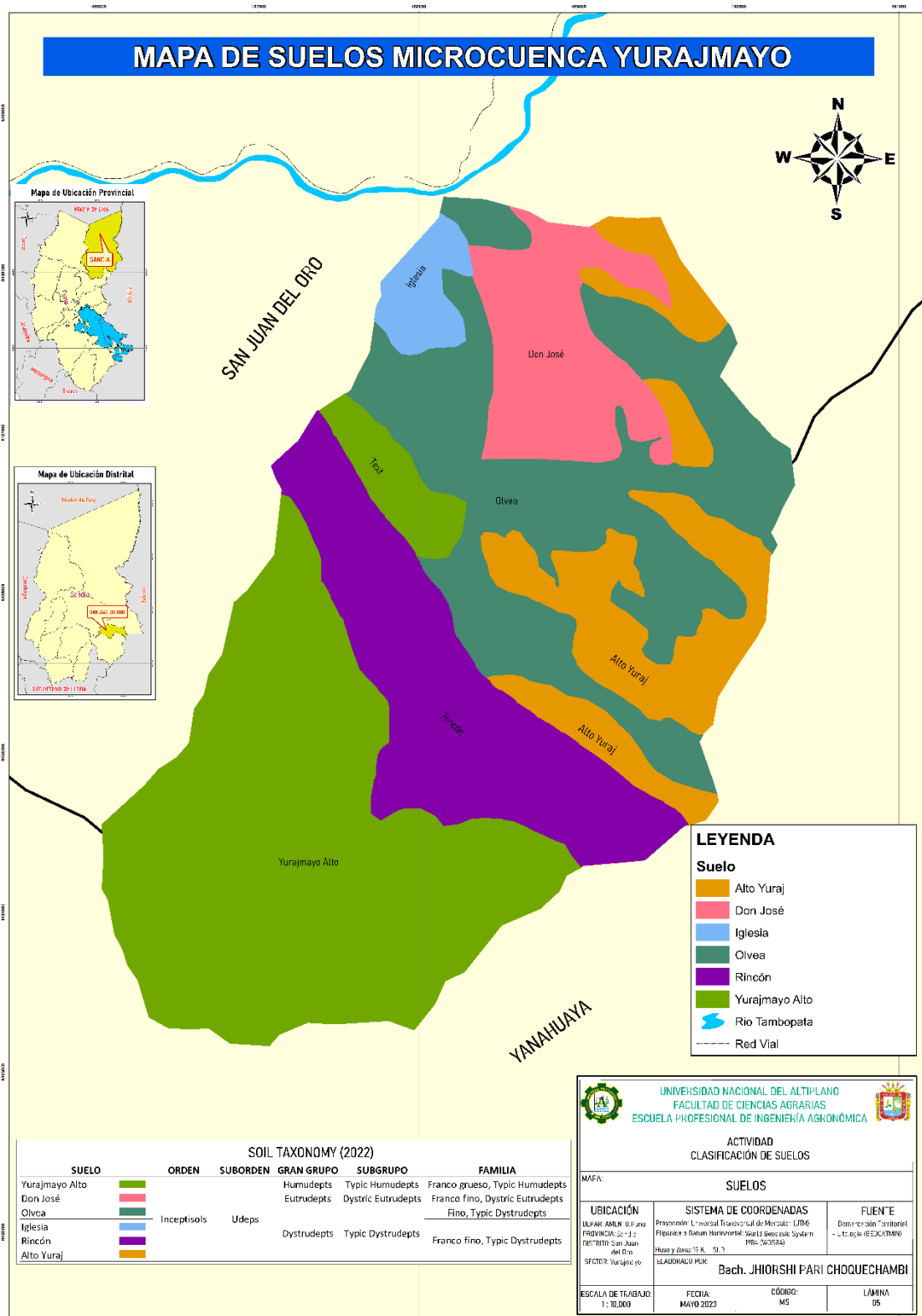
ANEXO 1. Mapa de litología



ANEXO 2. Mapa Geomorfológico



ANEXO 3. Mapa de Suelos

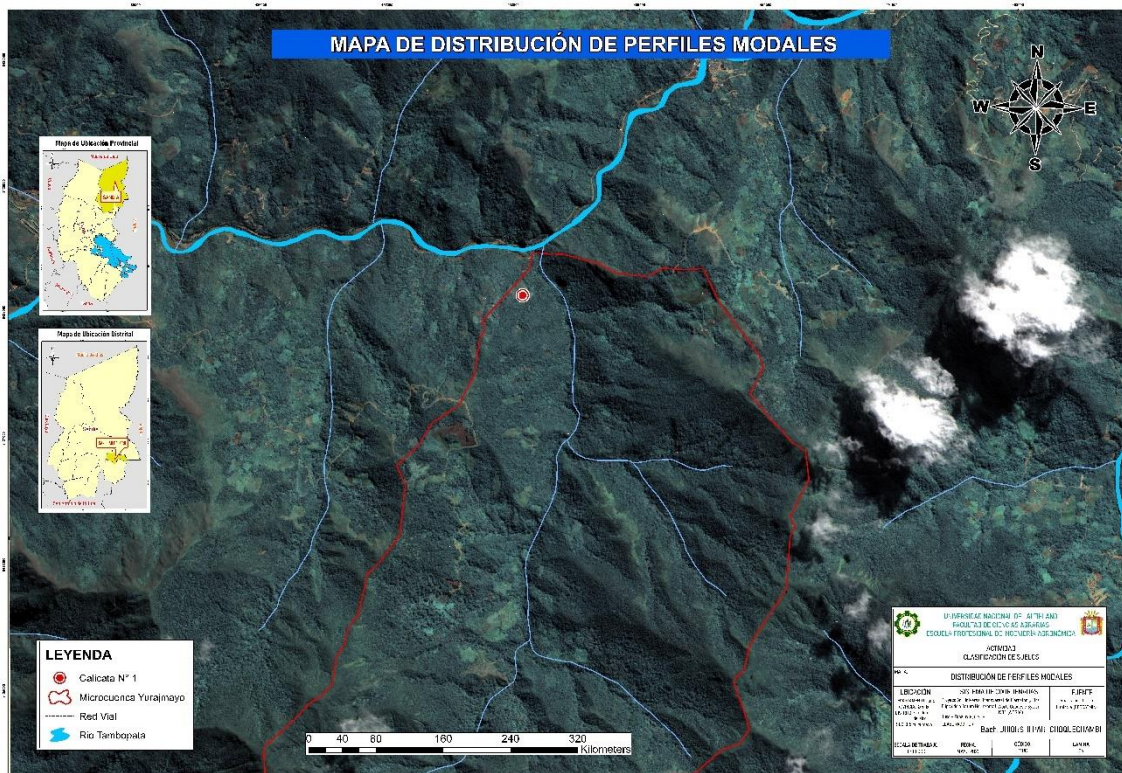


ANEXO 4. Descripción de perfiles de suelo Iglesia

DESCRIPCIÓN DE SUELO IGLESIA (CAL N° 1) CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sector Yurajmayo
Ubicación geográfica	: UTM Zona 19S, Este: 488074, Norte: 8428135
Altitud	: 1207 m.s.n.m.
Latitud	: 14° 13' 05.6" S
Longitud	: 69° 06' 37.9" O
Suelo	: Iglesia
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2022): Franco fino, Typic Dystrudepts
Material parental	: Residual
Paisaje	: Montaña
Unidad geomorfológica	: Ladera
Pendiente	: 30%
Vegetación	: Cultivo de yuca, cítricos y coca
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	:
Descrito por	: Jhiorshi Pari Choquechambi. Julio de 2023

Ubicación geográfica (Calicata N°1) del suelo Iglesia



Paisaje de montaña (Calicata 1) suelo Iglesia



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Franco; rojo amarillento (5YR 5/8), en húmedo; bloque angular medio, débil; suave; muy fuertemente ácido (pH 4.80); contenido de materia orgánica de 1.67%; raíces finas y medias, comunes; presencia de gravas angulares en un 40%; límite de horizonte difuso.
Bw1	20-58	Franco; pardo fuerte (7.5YR 5/8), en húmedo; bloque angular medio; moderado; ligeramente duro; extremadamente ácido (pH 4.0); contenido de materia orgánica de 0.71%; raíces finas, medias y gruesas, común; presencia de gravas angulares en un 40%; límite de horizonte difuso.
Bw2	58-80	Arcillo limoso; pardo amarillento (10YR 5/8), en húmedo; bloque angular medio; moderado; firme; extremadamente ácido (pH 4.1); contenido de materia orgánica de 0.6%; raíces medias y gruesas, común; presencia de gravas subangulares en un 25%; límite de horizonte gradual.
C	80-150	Franco arcilloso; rojo amarillento (5YR 4/6), en húmedo; masivo; firme; Extremadamente ácido (pH 4.1); contenido de materia orgánica de 0.32%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 50% y guijarros angulares en un 25%.

Perfil de suelo (Calicata N°1) suelo Iglesia

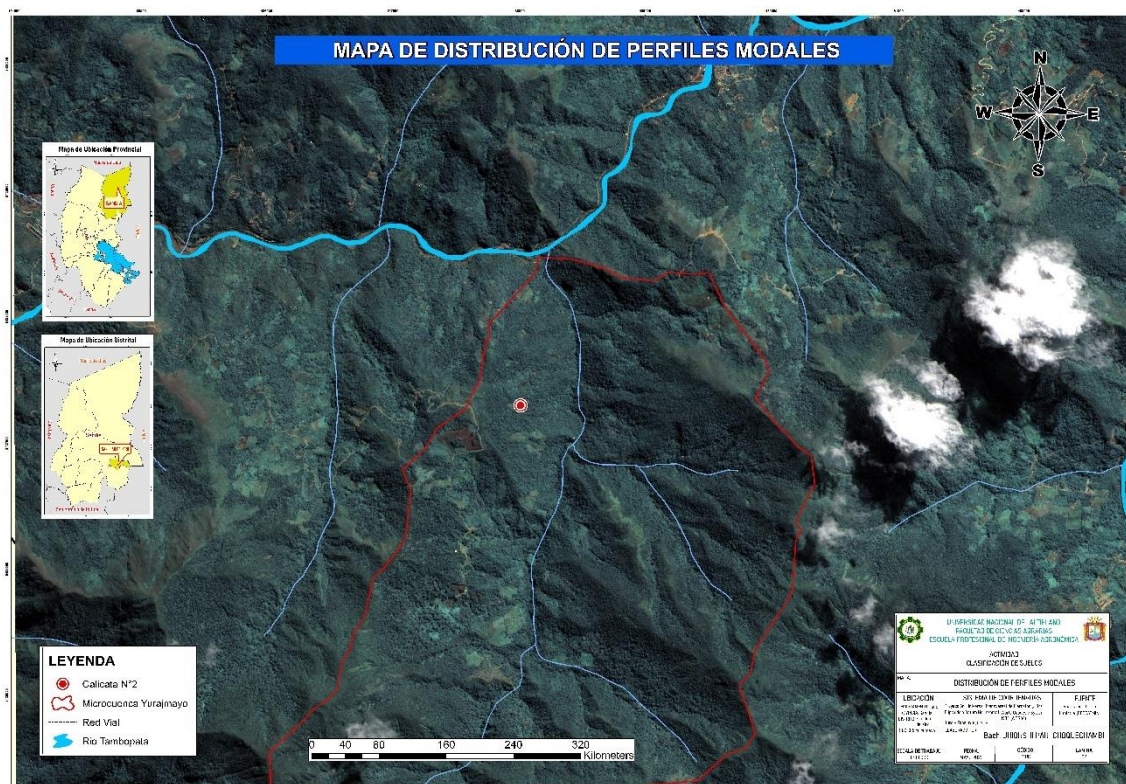


ANEXO 5. Descripción de perfiles de suelo Olvea

DESCRIPCIÓN DE SUELO OLVEA (CAL N° 2) CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sector Yurajmayo
Ubicación geográfica	: UTM Zona 19S, Este: 488000, Norte: 8427660
Altitud	: 1494 m.s.n.m.
Latitud	: 14° 13' 21.1" S
Longitud	: 69° 06' 40.4" O
Suelo	: Olvea
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2022): Fino, Typic Dystrudepts
Material parental	: Residual
Paisaje	: Montaña
Unidad geomorfológica	: Ladera
Pendiente	: 15 – 25%
Vegetación	: Cultivos Cítricos y arboles forestales
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	:
Descrito por	: Jhiorshi Pari Choquechambi. 06 de Julio de 2023

Ubicación geográfica (Calicata N°2)



Paisaje de montaña (Calicata 2)



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-28	Franco; pardo fuerte (7.5YR 5/8), en húmedo; bloque subangular medio, moderado; firme; extremadamente ácido (pH 3.9); contenido de materia orgánica de 1.18%; raíces finas y medias, comunes; presencia de gravas angulares en un 1%; límite de horizonte difuso.
Bw1	28-54	Franco arcilloso; rojo amarillento (5YR 5/8), en húmedo; bloque subangular medio; moderado; muy firme; extremadamente ácido (pH 3.8); contenido de materia orgánica de 0.76%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 1%; límite de horizonte claro con una topografía quebrada.
Bw2	54-105	Franco arcilloso; rojo amarillento (5YR 5/8), en húmedo; bloque subangular medio; moderado; muy firme; extremadamente ácido (pH 3.9); contenido de materia orgánica de 0.35%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 30%.



Perfil de suelo (Calicata N°2)

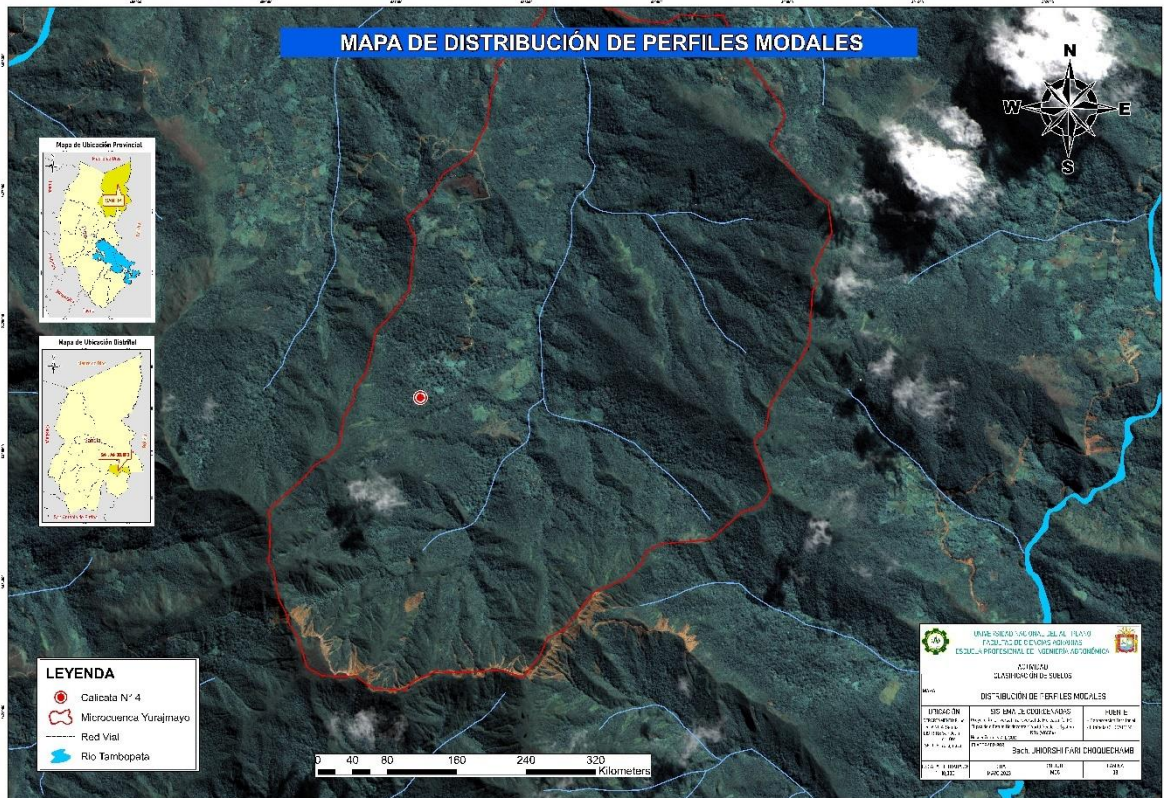


ANEXO 6. Descripción de perfiles de suelo Yurajmayo Alto

DESCRIPCIÓN DE SUELO YURAJMAYO ALTO (CAL N° 4) CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sector Yurajmayo
Ubicación geográfica	: UTM Zona 19S, Este: 487523, Norte: 8425813
Altitud	: 1696 m.s.n.m.
Latitud	: 14° 14' 21.2" S
Longitud	: 69° 06' 56.4" O
Suelo	: Yurajmayo Alto
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2022) : Franco grueso, Typic Humudepts
Material parental	: Residual
Paisaje	: Montaña
Unidad geomorfológica	: Ladera
Pendiente	: 90%
Vegetación	: Cultivo de Plátano, yuca, rocoto y pitahaya
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	:
Descrito por	: Jhiorshi Pari Choquechambi. Julio de 2023

Ubicación geográfica (Calicata N°4)



Paisaje de montaña (Calicata 4)



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-18	Franco arenoso; pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/2), en húmedo; granular fina, débil; muy friable; muy fuertemente ácida (pH 4.9); contenido de materia orgánica de 3%; raíces finas y medias, abundantes; presencia de gravas angulares en un 1%; límite de horizonte claro.
Bw1	18-45	Franco; pardo oscuro amarillento (10YR 3/6), en húmedo; bloque angular, medio; friable; muy fuertemente ácida (pH 4.9); contenido de materia orgánica de 1.61; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 40% y guijarros en un 30%; límite de horizonte abrupto.
C1	45-70	Franco; pardo fuerte (7.5YR 5/8), en húmedo; masivo; muy friable; extremadamente ácida (pH 4.3); contenido de materia orgánica de 0.41%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 40% y guijarros piedra en un 10%; límite de horizonte claro.
C2	70-120	Franco; amarillo parduzco (10YR 6/6), en húmedo; masivo; friable; extremadamente ácida (pH 4), contenido de materia orgánica 0.24%; presencia de gravas angulares en un 50%.

Perfil de suelo (Calicata N°4)



Paisaje de montaña (Calicata 5)



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-15	Franco arenoso; pardo (7.5YR 4/3), en húmedo; granular media, moderado; suave; fuertemente ácida (pH 5.1); contenido de materia orgánica 2.78%; raíces finas y medias, comunes; presencia de gravas angulares en un 5%; límite de horizonte difuso al
Bw1	15-35	Franco; pardo oscuro amarillento (10YR 3/4), en húmedo; bloque subangular medio, moderado; firme; muy fuertemente ácida (pH 4.6); contenido de materia orgánica 1.59%, raíces finas y medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 5% y guijarros angulares en un 10%; límite de horizonte difuso al
Bw2	35-64	Franco; pardo oscuro amarillento (10 YR 3/6), en húmedo; bloque subangular medio, moderado; firme; muy fuertemente ácida (pH 4.6), contenido de materia orgánica 0.87%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 10%; límite de horizonte claro al
C	64-115	Franco arcillo arenoso; pardo fuerte (7.5YR 5/8) en húmedo; masivo; friable; muy fuertemente ácida (pH 4.5); contenido de materia orgánica 0.21%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 35% y guijarros angulares en un 10%.

Perfil de suelo (Calicata N°5)

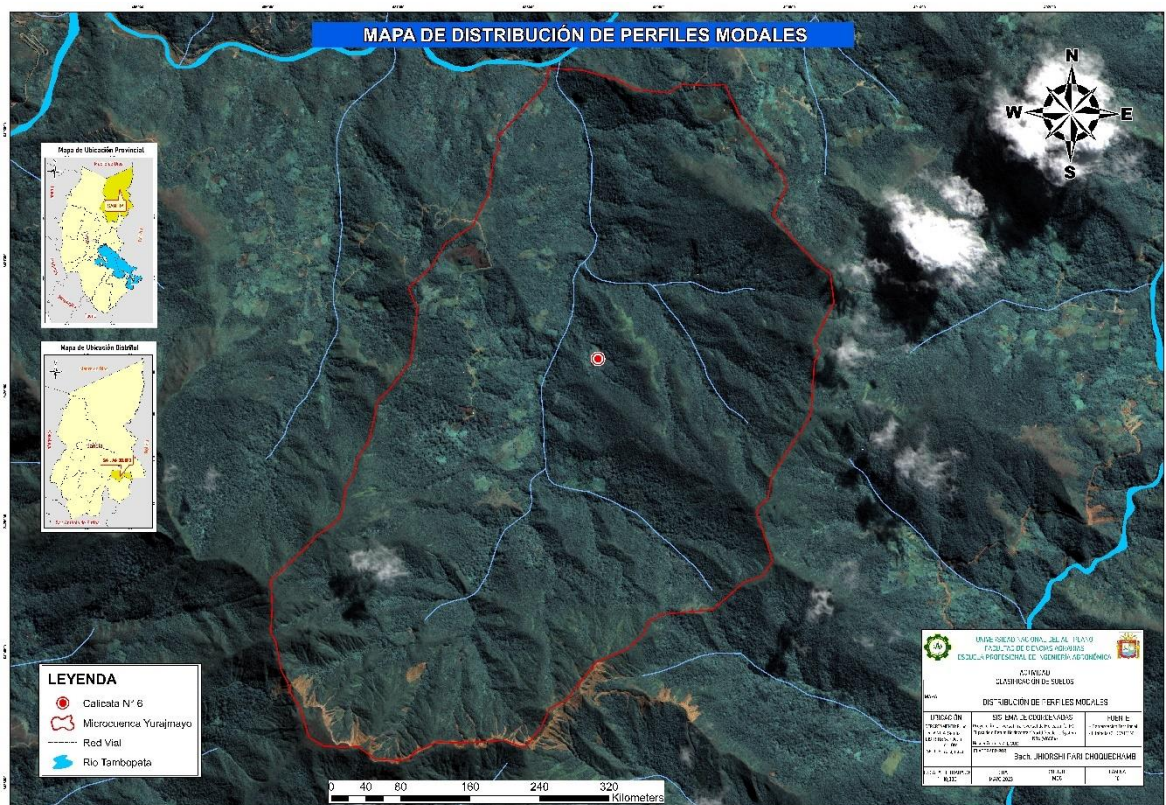


ANEXO 8. Descripción de perfiles de suelo Alto Yuraj

DESCRIPCIÓN DE SUELO ALTO YURAJ (CAL N° 6) CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sector Yurajmayo
Ubicación geográfica	: UTM Zona 19S, Este: 488469, Norte: 8426396
Altitud	: 1565 m.s.n.m.
Latitud	: 14° 14' 02.2" S
Longitud	: 69° 06' 24.8" O
Suelo	: Alto Yuraj
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2022): Franco fino, Typic Dystrudepts
Material parental	: Residual
Paisaje	: Montaña
Unidad geomorfológica	: Ladera
Pendiente	: 25%
Vegetación	: Cultivo de café
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	:
Descrito por	: Jhiorshi Pari Choquechambi. 06 de Julio de 2023

Ubicación geográfica (Calicata N°6)

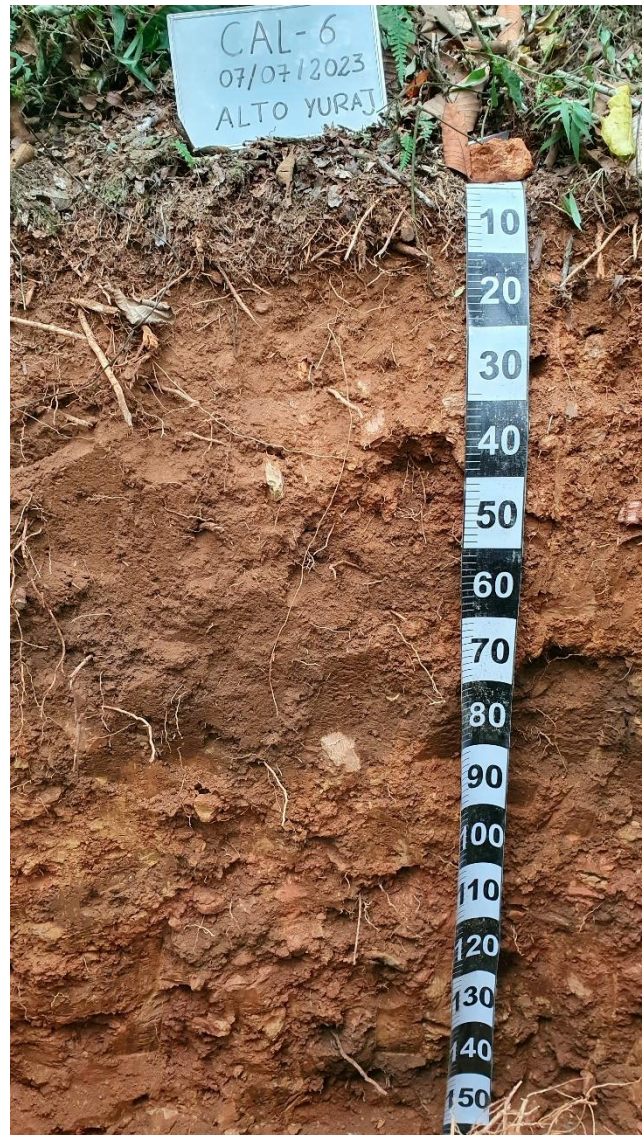


Paisaje de montaña (Calicata N°6)



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-15	Franco; pardo fuerte (7.5YR 4/6), en húmedo; granular medio, débil; suave; extremadamente acida (pH 4.0); contenido de materia orgánica 2.25%; raíces finas, medias y gruesas, abundantes; presencia de gravas angulares en un 1%; límite de horizonte difuso al
Bw1	15-58	Franco; pardo fuerte (7.5YR 4/6), en húmedo; bloque subangular medio, débil; friable; extremadamente acida (pH 4.1); contenido de materia orgánica 1.75%; raíces finas y medias, comunes; presencia de gravas angulares en un 1%; límite de horizonte claro al
Bw2	58-155	Franco; rojo (10R 4/8), en húmedo; masivo; firme; extremadamente acida (pH 4.2); contenido de materia orgánica 0.79%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares de un 45%.

Perfil de suelo (Calicata N°6)

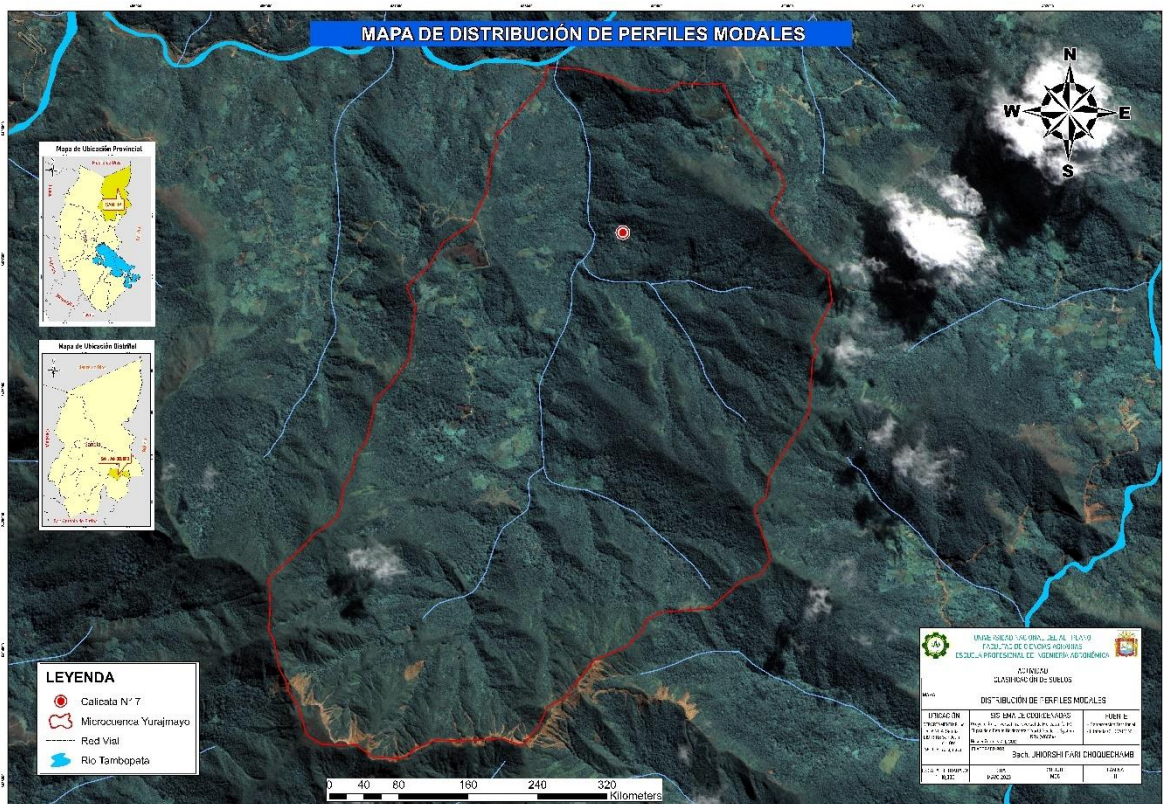


ANEXO 9. Descripción de perfiles de suelo Don José

DESCRIPCIÓN DE SUELO DON JOSÉ (CAL N° 7) CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sector Yurajmayo
Ubicación geográfica	: UTM Zona 19S, Este: 488738, Norte: 8427203
Altitud	: 1442 m.s.n.m.
Suelo	: Don Jose
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2022): Franco fino, Dystric Eutrudepts
Material parental	: Residual
Paisaje	: Montaña
Unidad geomorfológica	: Ladera
Pendiente	: 70%
Vegetación	: Cítricos, plátano
Pedregosidad superficial	: 5% de pedregosidad
Zona de vida	:
Descrito por	: Jhiorshi Pari Choquechambi. 07 de Julio de 2023

Ubicación geográfica (Calicata N°7)



Paisaje de montaña (Calicata N°7)



Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-15	Franco arenoso; pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2), en húmedo; granular medio, débil; muy friable; neutra (pH 6.6), contenido de materia orgánica 2.94%; raíces finas y medias, comunes; presencia de gravas angulares en un 30%; límite de horizonte claro al
Bw	15-45	Franco; pardo fuerte (7.5 YR 4/6), en húmedo; bloque subangular medio, moderado; friable; fuertemente ácida (pH 5.5); contenido de materia orgánica 0.93%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 35% y guijarros angulares en un 20%; límite de horizonte difuso al
C1	45-80	Franco; rojo amarillento (5YR 4/6), en húmedo; masivo suave; friable; fuertemente ácida (pH 5.3); contenido de materia orgánica 0.49%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulosas en un 40%; límite de horizonte difuso al
C2	80-130	Franco arenoso; pardo amarillento (10YR 5/6), en húmedo; masivo suave; muy friable; moderadamente ácida (pH 5.7); contenido de materia orgánica 0.44%; presencia de gravas angulosas en un 55%.

Perfil de suelo (Calicata N°7)



ANEXO 10. Paisaje de montaña de la Microcuenca Yurajmayo



ANEXO 11. Materiales de campo



ANEXO 12. Apertura de calicatas



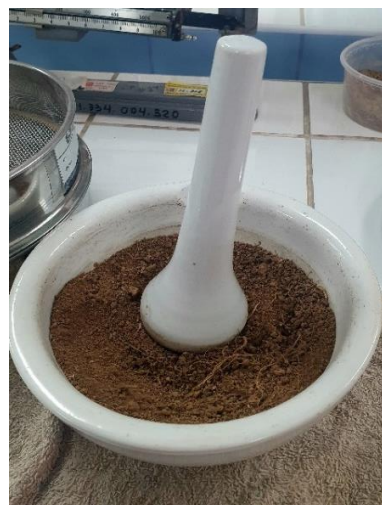
ANEXO 13. Lectura del Perfil de suelo



ANEXO 14. Muestras recolectadas de los horizontes de suelo



ANEXO 15. Moliendo muestra de suelo



ANEXO 16. Tamizado de muestra



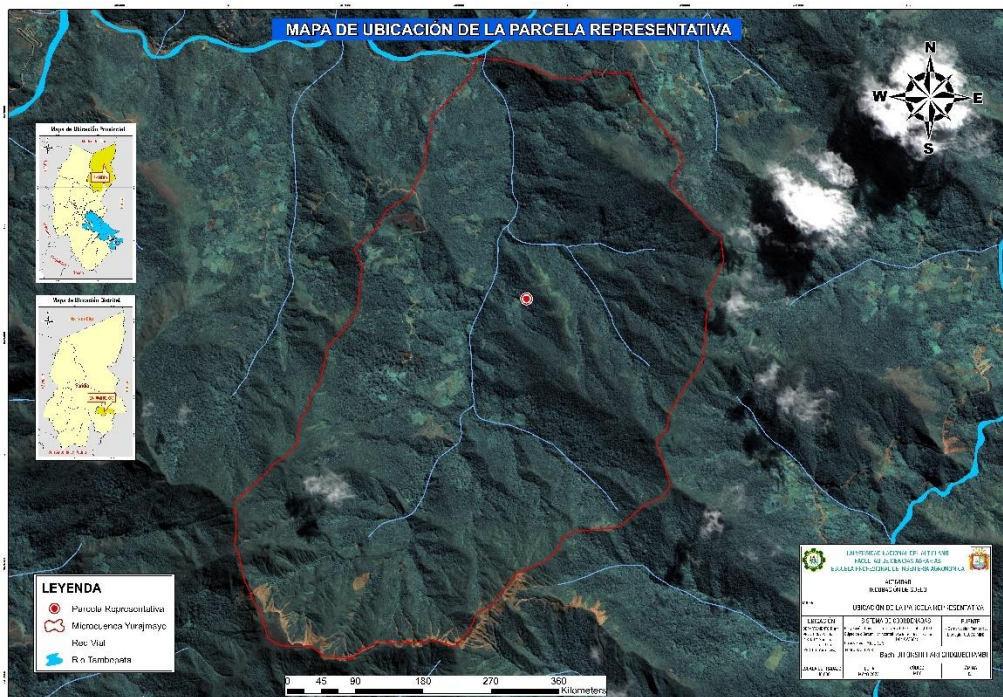
ANEXO 17. Pesado de muestra



ANEXO 18. Determinando el Volumen



ANEXO 19. Mapa de Ubicación de la Parcela Representativa



ANEXO 20. Barreno muestreador



ANEXO 21. Muestreo de submuestras para la incubación



Anexo 22. Secado de muestras



ANEXO 23. Moliendo muestra de suelo



ANEXO 24. Pesado de suelo de Unidades Experimentales



ANEXO 25. Pesado de Enmiendas Calcáreas



ANEXO 26. Mezclado de suelo y la proporción destinada de enmienda calcárea



ANEXO 27. Incubación de las muestras



ANEXO 28. Termómetro ambiental



ANEXO 29. Muestras del Tratamiento 1 (Aplicación de Cal Hidratada)



ANEXO 30. Muestras del Tratamiento 2 (Dolomita)



ANEXO 31. Muestras del Tratamiento 3 (Aplicación de Roca Fosfórica)



ANEXO 32. Secado de muestra para Determinar pH y Aluminio



ANEXO 33. Muestras del Tratamiento 1 (Cal Hidratada)



ANEXO 34. Muestras del Tratamiento 2 (Dolomita)



ANEXO 35. Muestras del Tratamiento 3 (Roca Fosfórica)



ANEXO 36. Pesado de 10gr de suelo



ANEXO 37. Medida de 20ml de Cloruro de potasio



ANEXO 38. Agitación de las muestras de suelo



ANEXO 39. Determinación del pH



ANEXO 40. Pesado de muestra de suelo de 2gr.



ANEXO 41. Adición de 20ml de Cloruro de potasio



ANEXO 42. Agitación de las muestras



ANEXO 43. Filtrado de la solución agitada

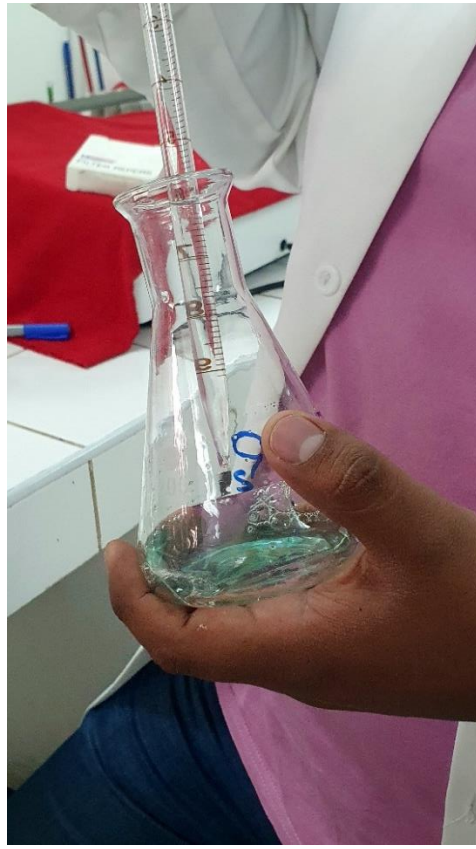




ANEXO 44. Adición de 3 gotas de Azul de bromotimol (Coloración amarillenta)



ANEXO 45. Titulación con Hidróxido de sodio



ANEXO 46. Muestras tituladas





ANEXO 47. Resultados del ANVA de los parámetros evaluados de pH del suelo

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Significancia
Enmienda	2	0.56164	0.28082	520.04	<.0001	**
Dosis	4	4.33860667	1.08465167	2008.61	<.0001	**
Enmienda*Dosis	8	1.05759333	0.13219917	244.81	<.0001	**
Bloque	3	0.00092	0.00030667	0.57	0.6392	ns
Error	42	0.02268	0.00054			
Total corregido	59	5.98144				

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PH Media
0.996208	0.542182	0.023238	4.286000

Comparación de medias para factor enmienda calcárea

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.			
Tukey Agrupamiento	Media	N	ENMIENDA
A	4.3670	20	CAL HIDRATADA
A			
A	4.3410	20	DOLOMITA
A			
A	4.1500	20	ROCA FOSFÓRICA

Comparación de medias para factor Dosis

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.				
Tukey Agrupamiento	Media	N	DOSIS	
A	4.6892	12	D4	
A				
B	4.4575	12	D3	
B				
B	4.2675	12	D2	
B				
B	4.0933	12	D1	
B				



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	DOSIS
C	3.9225	12	D0

ANEXO 48. Resultados del ANVA de los parámetros evaluados de Al^{+3} del suelo

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Significancia
Enmienda	2	8.20433333	4.10216667	606.66	<.0001	**
Dosis	4	55.7143333	13.9285833	2059.86	<.0001	**
Enmienda*Dosis	8	2.91066667	0.36383333	53.81	<.0001	**
Bloque	3	0.0085	0.00283333	0.42	0.7403	ns
Error	42	0.284	0.0067619			
Total corregido	59	67.1218333				

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	AL	Media
0.995769	1.929546	0.082231	4.261667	

Comparación de medias para factor enmienda calcárea

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	E
A	4.7250	20	ROCA FOSFÓRICA
A			
B	4.2400	20	CAL HIDRATADA
B			
B	3.8200	20	DOLOMITA



Comparación de medias para factor Dosis

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento		Media	N	DOSIS
	A	6.058	12	D0
	B	4.350	12	D1
	B			
C	B	3.975	12	D2
C				
C	D	3.617	12	D3
	D			
	D	3.308	12	D4



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JHIORSHI PARI CHOQUECHAMBI,
identificado con DNI 76827012 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" MEJORAMIENTO DE SUELOS ÁCIDOS CON ENMIENDAS CALCÁREAS EN LA
MICROCUCENCA DEL SECTOR DE YURAJMAYO - SAN JUAN DEL ORO
"

Es un tema original.

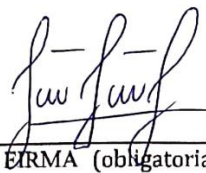
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 04 de Julio del 2024



FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JHIORSHI PARI CHOQUECHAMBI,
identificado con DNI 76827012 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ MEJORAMIENTO DE SUELOS ÁCIDOS CON ENMIENDAS CALCAREAS EN LA
MICROCUCENCA DEL SECTOR DE YURAJMAYO - SAN JUAN DEL ORO ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

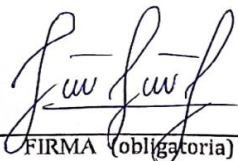
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 04 de Julio del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella