



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**CLASIFICACIÓN Y CORRECCIÓN DE SUELOS ÁCIDOS  
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DOLOMITA EN  
PLANTACIONES DE CAFÉ Y PLÁTANO EN LA MICROCUENCA  
SAN ROMÁN**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**PAUL BRAYAN CONDORI YUCRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



# PAUL BRAYAN CONDORI YUCRA

## CLASIFICACIÓN Y CORRECCIÓN DE SUELOS ÁCIDOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DOLOMITA EN PLANTACIONE...

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::8254:416627142

98 Páginas

Fecha de entrega  
16 dic 2024, 1:38 p.m. GMT-5

16,538 Palabras

Fecha de descarga  
16 dic 2024, 1:46 p.m. GMT-5

84,974 Caracteres

Nombre de archivo  
borrador de tesis para subir pilar pdf.pdf

Tamaño de archivo  
5.2 MB

  
SANDRO SARDON NINA

  
Dr. Manuel Alfredo Callohuanca P.  
Cod. 82081 CIP: 24042





## 13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**  
49 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

SANDRO SARDON NINA

Dr. Manuel Alfredo Callotizaca P.  
Cod. 82081 CIP: 24042





## DEDICATORIA

*A Dios por orientar mi camino y darme  
el valor suficiente para afrontar los  
diversos problemas.*

*Con muchísimo aprecio, a mis padres  
Maxima Yucra y Leonardo Herrera,  
quienes siempre me han mostrado su  
amor y apoyo incondicional, además de  
velar día tras día por mi seguridad y  
bienestar.*

*Con mucho cariño y especial énfasis a  
mis hermanos Lizbeth Yaqueline  
Condori Yucra y Johann Leo Herrera  
Yucra, quienes muy a pesar del  
parentesco son los mayores pilares de  
mi vida.*

*Con el más grande aprecio hacia la  
eternidad a mi abuelo Dionisio Yucra  
Condori, quien me hizo amar la  
agricultura.*

***Paul B. Condori Yucra***



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por ser guía y concederme el valor suficiente para no rendirme ante las adversidades.*

*Agradezco a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Altiplano por haberme otorgado una preparación firme en conocimientos y valores.*

*Con mucho respeto y gran admiración, agradezco al asesor de la presente tesis, M.Sc. Sardon Nina Sandro, por haber mostrado un apoyo incondicional hacia mi persona.*

*Expreso mi gratitud a los integrantes del tribunal de tesis, compuesto por D.Sc. Evaristo Mamani Mamani, M.Sc. Julio Cesar Sosa Choque y D.Sc. Mario Flores Aroni por el valioso respaldo proporcionado a lo largo de esta fase.*

*Mostrar mi gratitud al laboratorista de suelos y aguas; Sr. Benito por haber proporcionado conocimientos y orientación en el análisis de las muestras.*

*Agradezco la participación de mis colegas en las distintas etapas de la investigación; Franklin Aduviri, Richard Moya, Jhiorshi Pari, Marilyn Choque, Dennis Huayta, Aldo Sucapuca y Deysy Lupaca.*

*Por último, manifiesto mi reconocimiento a aquellas personas que me han mostrado un apoyo ya sea de manera directa o indirecta en la ejecución del presente trabajo de investigación.*

**Paul B. Condori Yucra**



# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL: .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>24</b>
2.2.1. Clasificación Taxonómica de suelos.....	24
2.2.1.1. Clasificación de suelos según Soil Taxonomy .....	25
2.2.1.2. Jerarquías taxonómicas y reglas nomenclaturales de Soil Taxonomy.....	25
2.2.2. Acidez del suelo .....	28
2.2.2.1. Naturaleza de la acidez del suelo .....	28



2.2.2.2. Causas de la acidez del suelo.....	28
2.2.2.3. Diagnóstico de la acidez del suelo .....	29
2.2.2.4. Manejo de la acidez del suelo.....	29
2.2.2.5. Enmiendas calcáreas .....	30
2.2.2.6. Dolomita.....	31
2.2.3. Cultivo de café ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	31
2.2.3.1. Clasificación taxonómica .....	32
2.2.3.2. Condiciones agroecológicas del café .....	32
2.2.3.3. Condiciones edáficas para el cultivo de café.....	33
2.2.4. Cultivo de plátano ( <i>Musa</i> sp.).....	33
2.2.4.1. Clasificación taxonómica .....	33
2.2.4.2. Características morfológicas.....	34

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. LUGAR DE ESTUDIO.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y RECURSOS TECNOLÓGICOS.....</b>	<b>38</b>
3.2.1. Materiales y recursos tecnológicos para la etapa de campo.....	38
3.2.2. Materiales y recursos tecnológicos para la etapa de laboratorio.....	39
<b>3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>41</b>
3.4.1. Etapa 1: procesamiento de material cartográfico y distribución de calicatas.....	41
3.4.2. Etapa 2: apertura de calicatas, lectura de perfiles de suelo, muestreo de suelos e incubación de muestras.....	43



3.4.3. Etapa 3: análisis de muestra para la caracterización del suelo y determinación de la variabilidad del pH y aluminio.....	46
3.4.4. Etapa 4: análisis e interpretación de base de datos.....	48

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA SAN ROMAN .....</b>	<b>49</b>
4.1.1. Suelo Nueva Esperanza .....	49
4.1.2. Suelo San Román .....	51
4.1.3. Suelo San Martín.....	53
4.1.4. Suelo La Arboleda .....	55
4.1.5. Suelo Las Nubes.....	57
4.1.6. Clasificación de suelos de la microcuenca San Román según la Soil Taxonomy.....	59
<b>4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE ENMIENDA DOLOMITA SOBRE LOS SUELOS ÁCIDOS EN CULTIVO DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) Y PLÁTANO (<i>Musa sp.</i>).....</b>	<b>61</b>
4.2.1. Variación temporal de pH en el suelo .....	61
4.2.2. Variación temporal de aluminio en el suelo .....	62
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>





**AREA** : Ciencias Agrarias

**TEMA** : Manejo de y conservación de recursos de agua y suelo

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 20 de diciembre del 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Regla nomenclatural de Soil Taxonomy .....	27
<b>Tabla 2</b> Distribución de los tratamientos del estudio .....	45
<b>Tabla 3</b> Textura y propiedades físicas del suelo Nueva Esperanza (Cal-1).....	50
<b>Tabla 4</b> Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Nueva Esperanza (Cal-1) .....	50
<b>Tabla 5</b> Propiedades de sorción del suelo Nueva Esperanza (Cal-1) .....	51
<b>Tabla 6</b> Textura y propiedades físicas del suelo San Román (Cal-3).....	52
<b>Tabla 7</b> Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo San Román (Cal-3).....	52
<b>Tabla 8</b> Propiedades de sorción del suelo San Román (Cal-3) .....	53
<b>Tabla 9</b> Textura y propiedades físicas del suelo San Martín (Cal-4) .....	54
<b>Tabla 10</b> Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo San Martín (Cal-4).....	54
<b>Tabla 11</b> Propiedades de sorción del suelo San Martín (Cal-4).....	55
<b>Tabla 12</b> Textura y propiedades físicas del suelo La Arboleda (Cal-6) .....	56
<b>Tabla 13</b> Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo La Arboleda (Cal-6) .....	56
<b>Tabla 14</b> Propiedades de sorción del suelo La Arboleda (Cal-6).....	57
<b>Tabla 15</b> Textura y propiedades físicas del suelo Las Nubes (Cal-7) .....	57
<b>Tabla 16</b> Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Las Nubes (Cal-7) .....	58
<b>Tabla 17</b> Propiedades de sorción del suelo Las Nubes (Cal-7).....	58
<b>Tabla 18</b> Clasificación de suelos de la microcuenca San Román .....	59



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Mapa de área experimental .....	38
<b>Figura 2</b> Croquis de la distribución de tratamientos experimentales .....	46
<b>Figura 3</b> Variación del pH con dosis de dolomita sobre el suelo del cultivo de café	61
<b>Figura 4</b> Variación del pH con dolomita sobre el cultivo de plátano.....	62
<b>Figura 5</b> Variación del aluminio con dolomita en cultivo de café .....	63
<b>Figura 6</b> Variación del aluminio con dolomita en cultivo de plátano .....	64



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Base de datos del experimento .....	73
<b>ANEXO 2</b> Análisis de varianza para pH del suelo .....	74
<b>ANEXO 3</b> Análisis de varianza para aluminio.....	75
<b>ANEXO 4</b> Análisis de suelo para la investigación .....	76
<b>ANEXO 5</b> Mapa geomorfológico de la microcuenca San Román .....	79
<b>ANEXO 6</b> Mapa de suelos de la microcuenca San Román.....	80
<b>ANEXO 7</b> Descripción de perfil modal de suelo Nueva Esperanza.....	81
<b>ANEXO 8</b> Paisaje (calicata N° 1) suelo Nueva Esperanza .....	82
<b>ANEXO 9</b> Perfil del suelo (calicata N° 1) suelo Nueva Esperanza.....	82
<b>ANEXO 10</b> Descripción de perfil modal de suelo San Román.....	83
<b>ANEXO 11</b> Paisaje de montaña (calicata N° 3) suelo San Román .....	84
<b>ANEXO 12</b> Perfil del suelo (calicata N° 3) suelo San Román.....	84
<b>ANEXO 13</b> Descripción de perfil modal de suelo San Martín .....	85
<b>ANEXO 14</b> Paisaje de montaña (calicata N° 4) suelo San Martín.....	86
<b>ANEXO 15</b> Perfil del suelo (calicata N° 4) suelo San Martín .....	86
<b>ANEXO 16</b> Descripción de perfil modal de suelo La Arboleda .....	87
<b>ANEXO 17</b> Paisaje de montaña (calicata N° 6) suelo La Arboleda.....	88
<b>ANEXO 18</b> Perfil del suelo (calicata N° 6) suelo La Arboleda .....	88
<b>ANEXO 19</b> Descripción de perfil modal de suelo Las Nubes .....	89
<b>ANEXO 20</b> Paisaje de montaña (calicata N° 7) suelo Las Nubes.....	90
<b>ANEXO 21</b> Perfil del suelo (calicata N° 7) suelo Las Nubes .....	90
<b>ANEXO 22</b> Muestras obtenidas que representan a horizontes del suelo.....	91
<b>ANEXO 23</b> Pesado de muestras del suelo .....	91



<b>ANEXO 24</b>	Secado de muestras del suelo .....	92
<b>ANEXO 25</b>	Incubación de las muestras de suelo .....	92
<b>ANEXO 26</b>	Secado de muestra para determinar pH y aluminio .....	93
<b>ANEXO 27</b>	Muestras del tratamiento (dolomita).....	93
<b>ANEXO 28</b>	Agitación de las muestras de suelo .....	94
<b>ANEXO 29</b>	Muestras de suelo del cultivo de café .....	94
<b>ANEXO 30</b>	Muestras de suelo del cultivo de plátano .....	95
<b>ANEXO 31</b>	Análisis de Aluminio en muestras de suelo del cultivo de plátano .....	95
<b>ANEXO 32</b>	Análisis de aluminio en muestras de suelo del cultivo de café .....	96
<b>ANEXO 33</b>	Incubación de los tratamientos experimentales.....	96



## ACRÓNIMOS

pH:	Potencial de hidrógeno
CE:	Conductividad eléctrica
CaCO <sub>3</sub> :	Carbonato de Calcio
M.O.:	Materia orgánica
P:	Fósforo disponible
K:	Potasio disponible
CIC:	Capacidad de intercambio catiónico
Ca:	Calcio
SB:	Saturación de Bases
Mg:	Magnesio
Al <sup>+3</sup> :	Aluminio
NaOH:	Hidróxido de Sodio
Ap:	Horizonte disturbado por el hombre
Bw1:	Horizonte con desarrollo de estructura o color
Bw2:	Horizonte con desarrollo de estructura o color
C:	Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos
Cmol (+). Kg <sup>-1</sup> :	Centimol por Kilogramo
ds.m <sup>-1</sup> :	Decisiemens por metro
t/ha:	Toneladas por hectárea
mg.kg <sup>-1</sup> :	Miligramos por kilogramo



## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue clasificar y corregir los suelos ácidos mediante la aplicación de dolomita en suelos de plantaciones de café y plátano en la microcuenca San Román del Distrito de San Pedro de Putina Punco de la Región Puno. El estudio tuvo dos objetivos específicos: 1) Clasificar los suelos según la Soil Taxonomy, en el cual el análisis experimental fue no paramétrico, donde se clasificaron dos tipos de suelo, Entisol (San Martín) e Inceptisol (Nueva Esperanza, La arboleda, San Román, Las Nubes), del orden Inceptisol se tomó muestras para la incubación de suelos de café y del orden Entisol para suelos de plátano. 2) Evaluar el efecto de dosis crecientes de dolomita a través del método de incubación en los suelos del cultivo de café *Coffea arabica* L. y plátano *Musa* sp. El experimento consistió en un diseño de parcelas divididas con arreglo factorial de 2x5, donde las parcelas estaban representadas por el Factor A; Dos especies (E1: Café, E2: plátano) y las subparcelas estaban representadas por el Factor B; Cinco niveles de dosis (0 t/ha, 1.5 t/ha, 3 t/ha, 4.5 t/ha y 6 t/ha) y la separación de medias con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Los resultados fueron favorables a medida que se incrementaba la dosis, en suelos de café con dosis más alta de 6 t/ha de dolomita se incrementó el pH de 4.490 a 4.876 y el aluminio disminuyó de 8.380 a 0.090  $\text{Cmol (+). Kg}^{-1}$  respecto al testigo. En cuanto al suelo de plátano hubo un incremento de pH con dosis más elevada de 6 t/ha donde se incrementó de 5.938 a 6.462 pero el aluminio se mantuvo estable en referencia al testigo.

**Palabras clave:** Dolomita, Incubación, Suelos ácidos, Taxonomía.



## ABSTRACT

The objective of the research was to classify and correct acid soils through the application of dolomite in coffee and banana plantation soils in the San Roman micro-watershed of the San Pedro de Putina Punco District in the Puno Region. The study had two specific objectives: 1) To classify the soils according to the Soil Taxonomy. In which the experimental analysis was non-parametric, where two types of soil were classified, Entisol (San Martín) and Inceptisol (Nueva Esperanza, La arboleda, San Román, Las Nubes), samples were taken from the Inceptisol order for the incubation of coffee soils and from the Entisol order for banana soils. 2) To evaluate the effect of increasing doses of dolomite through the incubation method on the soils of coffee *Coffea arabica* L. and banana *Musa* sp. The experiment consisted of a split-plot design with 2x5 factorial arrangement, where the plots were represented by Factor A; Two species (E1: coffee, E2: plantain) and the sub-plots were represented by Factor B; Five dose levels (0 t/ha, 1.5 t/ha, 3 t/ha, 4.5 t/ha and 6 t/ha) and the separation of means with Tukey's test ( $p < 0.05$ ). The results were favorable as the dose increased, in coffee soils with the highest dose of 6 t/ha of dolomite, pH increased from 4.490 to 4.876 and aluminum decreased from 8.380 to 0.090 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup> with respect to the control. As for the banana soil, there was an increase in pH with a higher dose of 6 t/ha where it increased from 5.938 to 6.462 but aluminum remained stable with respect to the control.

**Keywords:** Dolomite, Incubation, Acid soils, Taxonomy.





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los suelos tropicales en su mayoría son ácidos, además de ser un medio complejo y difícil en el cual trabajar para el agricultor, donde la disponibilidad y retención de nutrientes está fuertemente ligada al pH, el tipo y la cantidad de arcilla (Osorio, 2014). En ese escenario, es una obligación para los que se dedican a la agricultura en esas zonas, conocer acerca de este recurso desde un punto de vista físico-químico, en adición a esta premisa, en el distrito de San Pedro de Putina Punco, específicamente en la microcuenca San Román, no se han realizado investigaciones de esta índole.

Aunado a lo anterior Guerrero et al. (2017), menciona que los suelos de las zonas tropicales y subtropicales, son naturalmente ácidos debido a las intensas precipitaciones pluviales que son muy comunes en estas áreas. Con el tiempo, sufre la degradación física de las partículas de arcilla y limo (aniones y cationes), que son esenciales para el desarrollo y el crecimiento de los cultivos.

La acidificación del suelo afecta a algunos macronutrientes primarios como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, así como a micronutrientes como el boro, el cobre y el molibdeno. Esto disminuye el crecimiento de las plantas, así como la permeabilidad, la porosidad y las características físicas del suelo. Esta toxicidad tiene un impacto significativo en la producción agrícola. El aluminio, por ejemplo, no solo impide la absorción y el traslado del magnesio y el calcio hacia la parte aérea de la planta, sino que también daña el sistema radicular de las plantas al obstaculizar la división celular (Villalba et al., 2020)



En las regiones subtropicales y tropicales, la disponibilidad de macro y micro nutrientes minerales para las plantas, depende del nivel de acidez del suelo (pH) convirtiéndose en una de las variables edáficas que limitan el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales. Bajo esas condiciones el  $Al^{+3}$  intercambiable alcanza niveles tóxicos, afectando no solo a las plantas, sino también a los microorganismos que cohabitan junto a sus raíces. Esto impacta negativamente en las funciones ambientales del suelo, siendo necesaria iniciar con su restauración (Guerrero et al., 2017).

La adición de elementos calcáreos surge como la principal opción para combatir la acidez, ya que neutraliza parcial o totalmente las especies iónicas del aluminio, aumenta el pH y mejoran la solubilización de algunos nutrientes, además de, contribuir en la actividad microbial del suelo (Osorio, 2014).

Para mejorar la fertilidad de los suelos y sus condiciones químicas y físicas, se crea un ambiente propicio donde las plantas puedan producir mejor, lo cual permitiría a las familias productoras de café y plátano obtener mejores ingresos y aumentar el rendimiento (Sanchez & Jimenez, 2020).

El propósito general de la investigación es entender en que tipo o como están clasificados los suelos de la microcuenca San Román, así mismo, evaluar cómo actúa la dolomita en los suelos de las plantaciones de café y plátano.

### **1.1. OBJETIVO GENERAL:**

Efectuar la clasificación y corrección de los suelos ácidos mediante la aplicación de dolomita en plantaciones de café y plátano en la microcuenca San Román.



## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Clasificar los suelos de la microcuenca San Román según el Soil Taxonomy.
- Evaluar el efecto de dosis crecientes de dolomita a través del método de incubación en los suelos del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) y plátano (*Musa sp.*).



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

En la microcuenca del sector de Yurajmayo, el propósito general del presente estudio fue clasificar y mejorar los suelos ácidos mediante la implementación de enmiendas calcáreas. En el Distrito de San Juan del Oro de la Región Puno. El estudio se realizó en dos ensayos. El primer ensayo tenía como objetivo clasificar los suelos de la microcuenca del sector de Yurajmayo según la Soil Taxonomy, donde los seis suelos se clasificaron en el orden Inceptisol. El segundo ensayo tenía como objetivo evaluar la eficacia de la aplicación de enmiendas calcáreas mediante el método de incubación en los suelos del cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Con un arreglo factorial de 3x5, el diseño experimental incluyó bloques completos al azar; los factores fueron: a) tres enmiendas calcáreas (EC1: cal hidratada; EC2: dolomita; EC3: roca fosfórica); y b) cinco niveles de dosis (0 t/ha, 1 t/ha, 3 t/ha, 4 t/ha). Los hallazgos mostraron una relación entre los niveles de dosis en evaluación y las enmiendas calcáreas ( $P < 0.0001$ ). La categoría de pH del suelo con cal hidratada era "regular a superior". El valor inicial de la Dosis 0.208 fue de  $4.00 + 0.004\%$ , en comparación con el Testigo. La variación de aluminio intercambiable fue más afectada por la enmienda "Cal hidratada" que por cualquier otro indicador (Pari, 2024).

Mamani (2023), efectuó la realización de monolitos, así como la clasificación taxonómica de suelos en las estaciones experimentales del INIA-Sede Puno mostrando que según el Soil Taxonomy las estaciones de Illpa y Salcedo cuentan con suelos del orden Mollisol e Inceptisol y en la estación experimental de San Gabán se cuenta con



suelos del orden Inceptisol, este último representa a los suelos que mayormente pueden ser encontrados en la selva puneña.

Ibarra (2022), realizó una investigación con el objetivo de conocer taxonómicamente la clasificación de suelos del transecto Cruzpampa - Sincos del valle del río Mantaro, la zona de estudio tiene un área de 2930 hectáreas en las cuales se realizó 10 calicatas, resultando según el Soil Taxonomy en Mollisoles, Entisoles e Inceptisoles.

García (2020), realizó una investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la materia orgánica, además de materiales encalantes como yeso y dolomita en la concentración de aluminio ( $Al^{+3}$ ) en suelos con cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), los tratamientos constaron de un testigo además de; yeso agrícola, dolomita, estiércol de vacuno, gallinaza, yeso + estiércol de vacuno, yeso + gallinaza, dolomita + estiércol de vacuno, dolomita + gallinaza y un fertilizante inorgánico con formulación 160-150-110. En el análisis se determinó que la combinación de yeso + gallinaza, dolomita + bosta de vacuno y dolomita + gallinaza mejoraron la calidad del suelo en cuanto a sus propiedades químicas.

Sias (2020), realizó una investigación con el objetivo de estudiar el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas. En el estudio se usó gallinaza en 10 y 20 tn/ha para otros tratamientos se adiciono roca fosfórica y dolomita en dosis de 4 y 2 t/ha en Inceptisoles con presencia del cultivo de frijol, resultando que la gallinaza 10 t/ha + dolomita 4 tn/ha reduce significativamente la presencia de aluminio en el suelo.

Para evaluar el impacto de la dolomita en las propiedades químicas del suelo del cultivo y del café (*Coffea arabica* L.), se utilizaron tres dosis de cal dolomita (tratamientos) en la comunidad Villa Victoria Segundo, Tercer Bando del cantón



Taipiplaya del municipio de Caranavi. Se emplearon bloques al azar (DBA), con tres repeticiones. Antes de aplicar dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), se llevó a cabo un análisis preliminar del suelo, donde se obtuvo un pH de 4.75 y una saturación de  $\text{Al}^{+3}$  intercambiable del 35.74% calificada como alta. En términos de cal dolomita, los tratamientos fueron T1 (testigo), T2 (100 g/planta) y T3 (120 g/planta), respectivamente. La investigación encontró que el encalado tiene un impacto significativo en las propiedades químicas del suelo a los 180 días. Se demostró que a mayor dosis mejores resultados en pH y aluminio, como efecto el T3 de cal dolomita (528 kg/ha) fue el tratamiento más adecuado, lo que permitió elevar el pH a 6.24 en comparación con el valor inicial, también logró disminuir la acidez intercambiable ( $\text{A}^{+3}$ ) a 0.53 meq/100gS, con una saturación de  $\text{Al}^{+3}$  intercambiable del 3.45% (Asturizaga, 2024).

Molina (2024), investigó acerca del efecto tampón del suelo en la estación experimental Oromo - Región los Lagos en Chile, en el cual realizó una incubación de suelos con la adición de fuentes encalantes, los resultados obtenidos demostraron que los suelos no presentan una resistencia al cambio de pH y el efecto tampón del suelo es nulo, sin embargo, demostró que los materiales encalantes si tienen un efecto positivo en aumentar el pH e inhibir los iones de hidrogeno.

Cerda et al. (2022), realizaron una investigación donde el objetivo fue emplear dos fuentes mejoradoras de enmiendas para mejorar el suelo: una que solubilizara el aluminio y otra que elevase los niveles de pH. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas en bloques completamente al azar, teniendo en cuenta 8 tratamientos y 4 repeticiones. El tratamiento con cal dolomita y yeso resulto ser el más conveniente para la solubilización de aluminio e incremento de pH. En contraste, el testigo relativo con



exclusivamente solo yeso, mostró una reducción del aluminio. Por otro lado, el testigo absoluto, sin yeso, no presento cambios en las propiedades químicas del suelo.

Díaz-Poveda & Sadeghian (2022), investigaron acerca de la eficiencia de diversas enmiendas para corregir la acidez del suelo, encontrándose así que las cales agrícolas, dolomíticas y apagadas tienen un poder relativo de neutralización total del 62 al 115%, demostrándose ser muy eficientes al aumentar el pH del suelo y así inhibir los iones de hidrogeno y aluminio.

Marcelo (2022), planteó en su investigación que la dolomita en dosis de 400 y 200 g incrementa positivamente el diámetro, el follaje y el área de las hojas en las plantas de café, todo esto debido a que la dolomita contiene Ca y Mg. Por otro lado, menciona que las dosis de 300 g son económicamente viables en relación al beneficio-costos.

En un ensayo de investigación se evaluó el efecto de tres dosis crecientes de dolomita y magnocal en la dinámica del suelo degradado y el crecimiento vegetativo del cultivo de cacao en la zona de Neshuya, donde se evaluó después de 180 días, los cambios del pH, saturación de Al, contenido de P y de bases cambiables, así como la diferenciación de altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas por planta y área foliar. En los resultados se observó que el pH moderadamente ácido (5.5-6.0) se obtuvo con las dosis de 20 y 40 g de dolomita, logrando así pH con un valor de 6.4 para ambos tratamientos, en el caso de magnocal la dosis de 40 g alcanzó pH de 6.3. Por otro lado, el incremento de fósforo (P) disponible fue directamente afectado por la aplicación de enmiendas, ya que la dosis de 40, 60, 80 g de magnocal y 30 g de dolomita lograron cantidades de 98.94, 98.08, 89.81 y 84.36 ppm de P correlativamente. Respecto al porcentaje de acidez cambiante, el tratamiento de dolomita de 20 g redujo a un 0.0% la saturación de aluminio (Rosas, 2021).



Sadeghian & Díaz (2020), determinó el efecto de dosis crecientes de material encalante para la corrección de suelos en el crecimiento inicial del cultivo de café, en cuanto a los resultados se demostró que el aplicar dosis crecientes mejora los niveles de pH además de disminuir el aluminio e incrementar el magnesio en el suelo.

Según Ricse (2018), en su investigación menciona que la dolomita tiene un efecto positivo en cuanto a la acidez cambiante y disminución de la saturación de aluminio, además de, mejorar la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la disponibilidad de calcio (Ca) y el magnesio cambiante (Mg), asimismo aumenta la actividad microbiana. Sin embargo, tiene un ligero efecto adverso en la cantidad de materia orgánica.

Trujillo-González et al. (2022), realizaron una investigación con el objetivo de clasificar y conocer macromorfológicamente los suelos con pendiente pronunciada y con características húmedas en la selva colombiana, encontrándose suelos con baja fertilidad y ácidos, producto de la lixiviación y clasificándose como Entisoles, Inceptisoles y Oxisoles.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Clasificación Taxonómica de suelos**

La clasificación de suelos consta de jerarquizar y distribuir en clases o categorías los suelos existentes en el planeta. El sistema de clasificación de suelo usa conceptos y propiedades únicas de cada tipo de suelo para poder clasificar desde jerarquías más generales, donde los suelos agrupados comparten propiedades más generalizadas a jerarquías menores donde se connota propiedades más únicas de cada unidad de suelo (Sánchez, 2015).





En la actualidad el interés de la clasificación de suelos reside en que actúa como un medio para la investigación y el camino adecuado para la transferencia de conocimientos y tecnología en una zona geográfica (Porta et al., 2008).

### **2.2.1.1. Clasificación de suelos según Soil Taxonomy**

La Soil Taxonomy permite clasificar los suelos bajo criterios específicos, los cuales son:

- Suelos minerales y suelos orgánicos.
- Horizontes y características de diagnóstico.
- Régimen de humedad del suelo.
- Régimen de temperatura.

Por otro lado, la importancia de la Soil Taxonomy a diferencia de otros sistemas de clasificación, radica en que los taxones quedan definidos de tal forma que son excluyentes entre ellos, además de, solo clasificar suelos y no los procesos formadores, ya que pone énfasis en sus propiedades y características propias de un suelo (Porta et al., 2003).

### **2.2.1.2. Jerarquías taxonómicas y reglas nomenclaturales de Soil**

#### **Taxonomy**

Las categorías o jerarquías de la Soil Taxonomy comprenden: Ordenes, sub ordenes, Grupo, Sub grupo, Familia, serie.

Orden: Los nombres de las doce órdenes de Soil Taxonomy se componen con: Raíz + i/o + sol.



Las raíces fueron elegidas para que su significado estuviera relacionado con algún rasgo importante para el uso del suelo.

Ordenes características principales:

- **Entisol:** Se pueden desarrollar en áreas con erosión: llanuras aluviales, áreas arenosas y con exceso de agua, con epipedón ócrico y sin endopedones.
- **Inceptisol:** Con epipedón ócrico y endopedón cámbico, cálcico, petrocálcio o gípsico, componentes en un estadio de meteorización bajo.
- **Aridisol:** Tiene un estadio de meteorización bajo, con epipedón ócrico y endopedones cámbico y cálcico; tiene un régimen de humedad arídico.
- **Vertisol:** Las raíces de las plantas y la ingeniería civil se ven afectadas por el alto contenido de arcillas.
- **Mollisol:** Epipedón oscura y de gran espesor, característica de los terrenos con pastos de gramíneas. Muy eficientes.
- **Alfisol:** Endopedón de acumulación de arcilla iluviada: se encuentra en regiones mediterráneas y es argílico, muy productivo.
- **Ultisol:** Para su uso agrícola, necesita corregir la acidez y la falta de nutrientes; se encuentra en las zonas intertropicales y templadas húmedas. Tiene pocos perfiles.



- **Espodosol:** El epipedón úmbrico y el endopedón spódico de acumulación de humus y óxidos se encuentran en áreas frías, húmedas y templadas.
- **Oxisol:** Existe en zonas tropicales, con suelos ácidos y muy meteorizados y una fertilidad natural muy baja.
- **Histosol:** Formado en condiciones de exceso de agua, Turbera es un epipedón hístico de suelo orgánico de espesor considerable y de color muy oscuro.
- **Andisol:** Con propiedades ándicas, tienen una alta capacidad de intercambio aniónico y se componen principalmente de cenizas, que se encuentran en zonas húmedas.
- **Gelisol:** En regiones polares y en las montañas altas se encuentra un suelo con hielo permanente. Criogénesis (Porta et al., 2008).

Por otro lado, para la definición de los de los demás taxones es necesaria las reglas nomenclaturales.

**Tabla 1**

*Regla nomenclatural de Soil Taxonomy*

<b>Categoría</b>	<b>Regla nomeclatural</b>
Orden	Raíz + i/o + sol
Suborden	Prefijo + EFO (elemento formador del orden)
Grupo	Prefijo + Nombre del suborden
Subgrupo	Nombre del grupo + calificativo
Familia	Nombre del subgrupo + descriptores
Serie	Nombre local

Nota: (Porta et al., 2008).



## 2.2.2. Acidez del suelo

### 2.2.2.1. Naturaleza de la acidez del suelo

La acidez del suelo está directamente relacionada con el pH del suelo, esta propiedad química cuantifica la cantidad de iones libres de  $H^+$  en una suspensión de suelo: agua en proporción de 1: 1 o 1:2 y se define que el suelo está ácido cuando el pH es menor a 7 (Sadeghian, 2016).

### 2.2.2.2. Causas de la acidez del suelo

Una de las principales causas de la acidez del suelo son las excesivas precipitaciones pluviales que causan el fenómeno de lixiviación o el lavado de las bases intercambiables (Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio), ya que estos no están fuertemente ligados a los coloides del suelo (arcillas y/o materiales húmicos), por otro lado, el Aluminio e Hidrógeno tienen mayor fuerza iónica, lo que conlleva que se mantengan más adheridos a los coloides del suelo y no sean tan afectados por la lixiviación (Bernier & Alfaro, 2006).

La adición de fertilizantes es otra causal de la acidificación del suelo. Fertilizantes nitrogenados y que contienen amonio como el nitrato de amonio o sulfato de amonio generan iones de Hidrógeno que llevan a una mayor acidificación, en ese mismo contexto algunos agroquímicos como: insecticidas, fungicidas, herbicidas, etc., dejan rastros residuales de algunos elementos que por naturaleza acidifican el suelo (Toledo, 2016).

Otra de las causas de la acidificación es la descomposición microbiana de la materia orgánica en la cual se liberan ácidos orgánicos y



CO<sub>2</sub> y que luego formara ácido carbónico (H<sub>3</sub>CO<sub>3</sub>), además de liberar iones de H<sup>+</sup> (Osorio, 2014).

### **2.2.2.3. Diagnóstico de la acidez del suelo**

Para determinar el grado de acidez del suelo se debe estimar dos causales que determinan su comportamiento, intensidad y cantidad, La intensidad o acidez activa, está determinada por la cantidad de hidrogeniones en la suspensión del suelo y el factor cantidad está determinado por acidez intercambiable o también llamada acidez potencial que es la sumatoria de hidrogeniones y de las especies iónicas del aluminio (Osorio, 2014).

El pH es muy importante no solo para determinar la acidez del suelo, sino también la disponibilidad de nutrientes y está expresado como el logaritmo negativo de la actividad del hidrogenión en una solución acuosa  $\text{pH} = -\log \text{H}^+$  (Sales et al., 2024).

Por otro lado, otro factor importante es la acidez cambiante y está determinada por la sumatoria de los protones de hidrógeno y las especies iónicas de aluminio, retenidas por fuerzas electrostáticas de los coloides del suelo (Bernier & Alfaro, 2006).

### **2.2.2.4. Manejo de la acidez del suelo**

La corrección de suelos no se debería enfocar en el aumento de pH sino en la precipitación o neutralización de aluminio y esto se logra aplicando materiales encalantes (Mira & Sanchez, 2012).



León (2021), menciona que, una de las claves para el manejo de suelos ácidos son la adición de materiales encalantes ya que:

- Envían energía a los microorganismos.
- Liberan CO<sub>2</sub>.
- Forman y mantienen la estructura del suelo.
- Reducen los efectos de compactación y costras superficiales.
- Mejoran la retención de agua en el suelo, son una reserva y a la vez una fuente de N, P, S y micronutrientes para las plantas.
- Amortiguan los cambios de pH y salinidad en el suelo.
- Mantienen los nutrimentos debido a sus características de intercambio catiónico.

Por otro lado, la corrección de suelos ácidos no se debería enfocar en el aumento de pH sino en la precipitación o neutralización de aluminio y esto se logra aplicando materiales encalantes (Mira & Sanchez, 2012).

#### **2.2.2.5. Enmiendas calcáreas**

El encalado viene directamente de carbonatos, hidróxidos, óxidos y silicatos de calcio y/o magnesio, tienen la tarea de aumentar el pH y neutralizar los iones de aluminio. La calidad de los de los materiales encalantes o su efecto, estará determinada por el poder relativo de neutralización, tamaño de partícula, la pureza del material, etc. (Bernier & Alfaro, 2006).



#### **2.2.2.6. Dolomita**

La dolomita tiene un carbonato de calcio (CaO) del 30.4%, carbonato de magnesio (MgO) del 21.7% y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del 47.9% en un material que contiene calcio y magnesio. Por lo tanto, se dice que se considera a una cal como dolomita cuando por lo menos tenga un 15% de carbonato de magnesio (MgO) (Gálvez, 2003).

La reacción del carbonato de calcio es más rápida, pero si se emplea en los suelos de la zona alta, donde la mayoría también tienen deficiencias de magnesio, tiene la ventaja de proporcionar este elemento (Toledo, 2016).

#### **2.2.3. Cultivo de café (*Coffea arabica* L.)**

El café es uno de los principales productos exportados del Perú y es cultivado en aproximadamente 15 regiones, donde representa un cultivo de vital importancia para el pequeño productor. Los cafés cultivados en Perú son 100% arábigos y los principales compradores de este producto son de origen norteamericano y europeo (Diaz & Carmen, 2017).

En el departamento de Puno, el café está ligado a un manejo de carácter orgánico, pero cabe resaltar que no siguen las normas establecidas por el reglamento técnico de producción orgánica (RTPO) volviéndolo un cultivo de carácter convencional.



### 2.2.3.1. Clasificación taxonómica

Según Solano (2015), el cultivo de café se encuentra en la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Género: Coffea

Nombre Científico: (*Coffea arabica* L.)

### 2.2.3.2. Condiciones agroecológicas del café

Según Heredia (2011), la calidad del café está determinada por una serie de factores que condicionan el puntaje en taza y dentro de los principales factores se encuentran:

- Altitud: La altitud ideal para el cultivo de café esta entre los 700 y 1700 m.s.n.m.
- Precipitación: si bien no está determinado con exactitud, se sabe que esta entre 1000 a 3000mm anuales.
- Temperatura: La temperatura ideal para el cultivo de cafeto esta entre 17 a 23 °C.
- Humedad relativa: menos de 85%
- Viento: Terrenos con pendientes moderadas o barreras.





### **2.2.3.3. Condiciones edáficas para el cultivo de café**

Según Loli (2012), las condiciones edáficas ideales para el cultivo de café son:

- Textura: La mejor textura para el cultivo de café es Franco, o sus combinaciones.
- Estructura: Tipo Granular.
- Permeabilidad: Moderada.
- pH: Ideal entre 5.0 y 5.5.

### **2.2.4. Cultivo de plátano (*Musa sp.*)**

El plátano es un cultivo ampliamente distribuido en el Perú en departamentos como; Loreto, San Martín, Ucayali, Cuzco, Junín, Cajamarca y otros. Este cultivo supone uno de los mayores productos exportables del país y el departamento de Puno no es ajeno a cultivar este producto, ya que en provincias como Sandía o Carabaya está ampliamente distribuido debido a las condiciones ambientales favorables para su crecimiento y producción (Vela & Vidal, 2007).

#### **2.2.4.1. Clasificación taxonómica**

Según Solano (2015), el cultivo de plátano se encuentra en la siguiente clasificación taxonómica:



Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Zingiberales

Familia: Musáceas

Género: Musa

Nombre Científico: (*Musa* sp.)

#### **2.2.4.2. Características morfológicas**

Según Mozombite (2019), en cuanto a su tamaño y apariencia, la planta de plátano es una planta herbácea perenne gigante que puede alcanzar una altura de 3.5 a 7.5 metros. Las principales partes de su clasificación morfológica son:

##### **a) Raíz**

El sistema radicular es superficial, se extiende en una capa de 30 a 40 cm. En el estado tierno, las raíces son duras, amarillentas y de color blanco. Su diámetro varía de 5 a 8 mm y su longitud puede alcanzar los 2.5 a 3 metros en crecimiento lateral y 1.5 metros en profundidad.

##### **b) Pseudotallo**

El pseudotallo es de color verde y contiene el 80% de agua; además, brinda sostén a las hojas y a la inflorescencia terminal; además, los nutrimentos del pseudotallo se pueden utilizar de inmediato para las yemas laterales; y es un reservorio de carbohidratos y agua.



### **c) Hojas**

Una lámina delgada, muy verde en la parte superior e inferior del rostro es la lámina foliar o limbo. Las venas forman una nervadura estriada que la rodea. Se extiende de la margen perpendicular al eje hasta la vena media. La superficie del haz presenta menos estomas que la del envés.

### **d) Bellota**

La inflorescencia se compone de grupos de flores o glomérulos florales que se insertan en los abultamientos del raquis, también conocidos como coronas (manos). El número de manos y dedos en un racimo depende de las condiciones fisiológicas y ambientales que predominan durante la diferenciación floral, que ocurre entre 90 y 100 días antes de la inflorescencia o bellota.

### **e) Racimo**

El raquis forma el racimo; Además, tiene dedos que se agrupan y se denominan manos. El raquis, que comprende desde el primer dedo hasta la yema masculina, es el tallo de la inflorescencia. Suele estar desnudo o vestido por brácteas prolongadas.

### **f) Fruto**

El fruto tiene una forma de cereza con un pericarpio. Las flores postiladas tienen ovarios en su fruto. La variedad determina la forma y el color del fruto (listados de amarillo y verde o rojo bronceado). El



engrosamiento de las paredes del ovario que se convierte en una masa parenquimatosa llena de almidón y azúcar es la parte comestible.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

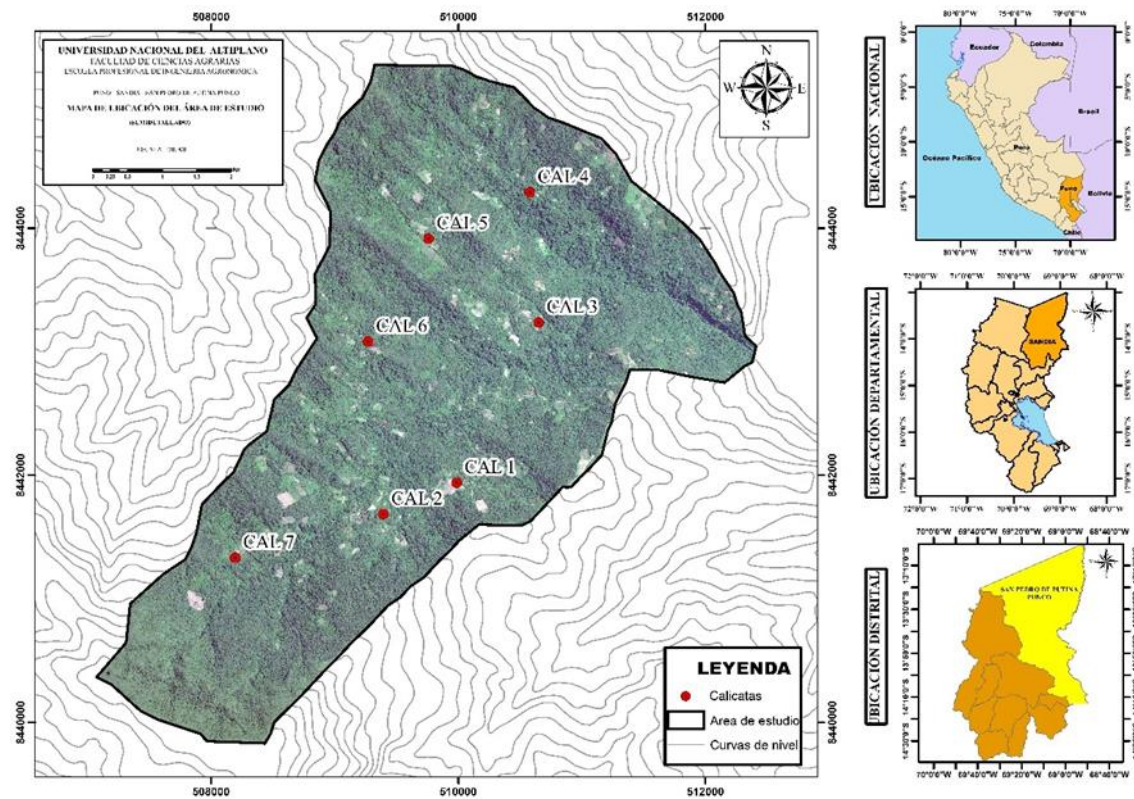
La investigación se llevó a cabo en dos ensayos. El primer ensayo examinó la clasificación de los suelos en la microcuenca San Román, según el Soil Taxonomy. El segundo ensayo examinó cómo la enmienda calcárea (dolomita) influyó en los cambios de suelo ácido en el cultivo de café (*Coffea arabica* L) y plátano (*Musa* sp.). Para lograr los objetivos, los ensayos se llevaron a cabo en la zona microcuenca de San Roman (San Pedro de Putina Punco) y en la ciudad de Juliaca el período de 2023 a 2024.

#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El estudio actual se llevó a cabo en el área denominada microcuenca San Román que consta de 1548 hectáreas, esta microcuenca comprende los Sectores San Román Y Nueva Esperanza y se ubica en el Distrito de San Pedro de Putina Punco, Provincia de Sandía del Departamento de Puno, en la región Sur del país. Se encuentra en las coordenadas extremo inferior derecho de Latitud 14° 5' 28.970" S y Longitud 68° 53' 47.651" O y las coordenadas superiores izquierdo de Latitud 14° 4' 41.372" S y Longitud 68° 55' 5.197" O a una altitud variable de 1300 m.s.n.m., la ubicación exacta de las calicatas, así como su descripción están explicados en los anexos 7, 10, 13, 16 y 19. El área de estudio solo pertenece a la zona de vida bosque húmedo subtropical (bh-S). El cultivo de café a una escala intermedia y la conservación de los recursos genéticos de frutales y forestación son las principales actividades agrícolas en la en el área de estudio.

**Figura 1**

*Mapa de área experimental*



Para la incubación de suelos, la ubicación experimental fue en la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román, Departamento de Puno, con coordenadas:

- Latitud: 15° 32' 9.36" S
- Longitud: 70° 6' 16.58" O
- Altitud: 3827 m.s.n.m.

### **3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y RECURSOS TECNOLÓGICOS**

#### **3.2.1. Materiales y recursos tecnológicos para la etapa de campo**

- Fichas para la descripción de perfiles de suelo
- Etiquetas para la identificación de muestras de suelos
- Bolsas de polietileno de 1 kg de capacidad para las muestras



- Guía para la descripción para los perfiles de suelo
- Cuaderno de notas
- Alfileres
- Mochila de buena capacidad
- Plumones y/o marcadores
- Pala, picota
- Cuchillo
- GPS
- Brújula
- Lupa
- Ácido clorhídrico
- Tabla Munsell (color)
- Aspersor con agua
- Cámara fotográfica
- Software QGIS
- Software AUTOCAD

### **3.2.2. Materiales y recursos tecnológicos para la etapa de laboratorio**

- Probeta
- Piseta
- Erlenmeyer
- Embudos
- Matraz
- Papel filtro
- Bagueta de agitación



- Bureta
- Espátula
- Papel aluminio
- Cámara digital
- Balanza analítica de Precisión
- pH-metro
- Conductímetro
- Estufa
- Agitador electrónico
- 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, se utilizó un enfoque no paramétrico. 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 se utilizó el diseño de parcelas divididas con arreglo factorial 2x5, donde el Factor A representa a parcelas: a) Dos especies vegetales, Parcela EV1: Café, EV2: Plátano; y el Factor B representa a sub parcelas: b) cinco niveles de dosis de dolomita, comprendidos (0, 0.385 g, 0.769 g, 1.154 g y 1538 g todos por Kg de suelo) conducido bajo 4 réplicas, lo cual conformó un total de 40 unidades experimentales. Se utilizó test de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad del conjunto



de datos y la prueba de Bartlett para homogeneidad de varianza. Para el análisis de varianza se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4 y la separación de medias con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Modelo aditivo lineal:

$$y_{ijk} = u + E_i + \beta_j + (E\beta)_{ij} + D_k + (ED)_{ik} + e_{ijk}$$

Donde:  $i = 1, 2, \dots, a$ ;  $j = 1, 2, \dots, b$ ;  $k = 1, 2, \dots, r$  = repeticiones

$y_{ijk}$  : Es la respuesta obtenida con el  $i$ -ésimo especie vegetal,  $j$ -ésimo dosis de dolomita

$u$  : Es la media general

$E_i$  : Es el efecto del  $i$ -ésimo especie vegetal (Parcela)

$\beta_j$  : Es el efecto del  $j$ -ésimo repeticiones

$(E\beta)_{ij}$  : Es el efecto del primer error

$D_k$  : Es el efecto del  $j$ -ésimo dosis de dolomita (Sub parcela)

$(ED)_{ik}$  : Es la interacción entre el  $i$ -ésimo especie vegetal por  $j$ -ésimo dosis de dolomita (Parcela x Sub parcela)

$e_{ijk}$ : Error experimental.

### 3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en cuatro etapas:

#### 3.4.1. Etapa 1: procesamiento de material cartográfico y distribución de calicatas

En esta etapa se realizó un mapeo de carácter geomorfológico del área de estudio con información ya preexistente, se insertaron parámetros como:



- Forma de terreno
- Litología
- Tipo de paisaje
- Pendiente

Para lo cual se hizo la delimitación del área de estudio, descargando el modelo digital de elevación para identificar la red hídrica y las curvas a nivel, posteriormente se descargó la imagen satelital usando el geo-servidor CBERS 4A para realizar un mapa de pendientes y contrastar la forma del terreno y tipo de paisaje.

En lo que respecta al parámetro de litología, se descargó las unidades litológicas del geo-servidor GEOCATMIN, donde se encontró que el área de interés está compuesta por tres formaciones; formación Sandia, formación Ananea y depósitos coluviales.

Una vez realizado el mapa geomorfológico se hizo la distribución de calicatas en las posibles unidades de suelo, para el número de calicatas se tomó en cuenta el Decreto Supremo N° 013-2010-AG de Ejecución de Levantamiento de suelos, en donde el Artículo 19° especifica que para los estudios semidetallados se debe tomar en cuenta el 30% del área total, que para este caso fueron 1548 hectáreas donde el 30% es 464.4 hectáreas; sin embargo menciona que de este porcentaje se deben hacer 2 calicatas por cada 100 hectáreas, resultando para esta investigación un total de 7 calicatas.



### **3.4.2. Etapa 2: apertura de calicatas, lectura de perfiles de suelo, muestreo de suelos e incubación de muestras**

En esta etapa se hizo la excavación de calicatas tomando en cuenta las medidas de 1.50 m de largo por 1 m de ancho y una profundidad de 2 m, sin embargo, la profundidad estuvo limitada por contacto lítico y por ende solo se llegó a menores profundidades.

Una vez realizada la apertura de calicatas se procedió a lectura los perfiles de suelo tomando en cuenta características ecofisiográficas:

- Nombre del suelo
- Ubicación
- Coordenadas
- Altitud
- Paisaje
- Vegetación
- Forma de terreno
- Uso de tierra
- Zona de vida
- Material Parental
- Pendiente

Así mismo, se tomó en cuenta las características morfológicas de un perfil de suelo, las cuales son:

- Horizontes o capas
- Color



- Límite de Horizontes
- Estructura de las partículas del suelo
- Consistencia
- Fragmentos rocosos
- Raíces

Posteriormente, se usó bolsas ziploc etiquetadas en las cuales se recolectó muestras de suelo de los horizontes para llevarlos a laboratorio y analizarlos con la finalidad de caracterizar estos suelos, por otro lado, también se recolectaron muestras de suelo para la incubación, donde se escogió parcelas representativas de café y plátano en las cuales se tomó submuestras por el método zigzag, respetando una profundidad de 30 cm.

Para la incubación, se construyó un ambiente controlado de 3x4 m simulando las características del área de estudio (temperatura, precipitación, etc.), en el cual se puso recipientes con 0.750 g de suelo (secado y tamizado) adicionando dosis crecientes de dolomita (0, 0.385, 0.769, 1.154, 1.538 g/0.75kg de suelo), siendo estos las unidades experimentales (Tabla 2) y regando 2 veces por semana con agua destilada.

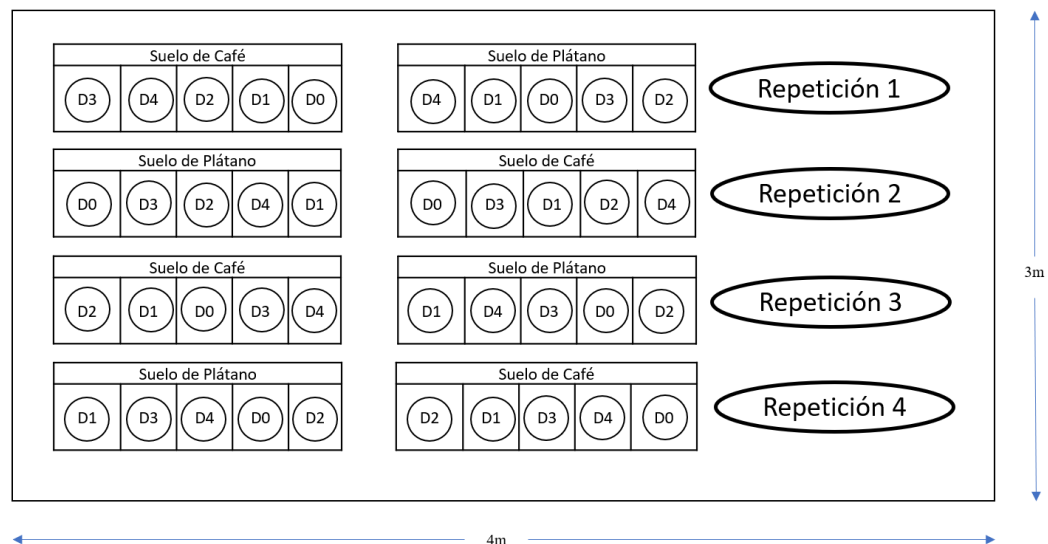
**Tabla 2***Distribución de los tratamientos del estudio*

N° Trat.	Código	Especificaciones	Parcelas	
			Factor A Especie vegetal	Factor B Dosis de Dolomita (g/0.75 kg de suelo)
<b>T1</b>	CaD0	Café + Dosis (Control)	Café	D0 = 0.000
<b>T2</b>	CaD1	Café + Dosis (1)		D1 = 0.385
<b>T3</b>	CaD2	Café + Dosis (2)		D2 = 0.769
<b>T4</b>	CaD3	Café + Dosis (3)		D3 = 1.154
<b>T5</b>	CaD4	Café + Dosis (4)		D4 = 1.538
<b>T6</b>	PID0	Plátano + Dosis (Control)	Plátano	D0 = 0.000
<b>T7</b>	PID1	Plátano + Dosis (1)		D1 = 0.385
<b>T8</b>	PID2	Plátano + Dosis (2)		D2 = 0.769
<b>T9</b>	PID3	Plátano + Dosis (3)		D3 = 1.154
<b>T10</b>	PID4	Plátano + Dosis (4)		D4 = 1.538

La distribución de los Diez tratamientos experimentales del estudio consistió en combinación de parcelas (especie vegetal) y sub parcelas (Dosis dolomita) (CaD0, CaD1, CaD2, CaD3, CaD4, PID0, PID1, PID2, PID3 y PID4), las réplicas se realizaron de forma aleatoria los cuales consistió en 40 unidades experimentales, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 2**

*Croquis de la distribución de tratamientos experimentales*



### 3.4.3. Etapa 3: análisis de muestra para la caracterización del suelo y determinación de la variabilidad del pH y aluminio

Está dividida en dos sub-etapas:

Para la caracterización de suelos: las muestras recolectadas de los horizontes fueron llevados al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) sede Salcedo-Puno, en el cual se realizó un análisis de caracterización donde los parámetros requeridos fueron; Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Textura, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Materia orgánica (MO), Carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), pH y Cationes Cambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ); sin embargo, para mayor veracidad de la investigación algunos de estos parámetros fueron evaluados en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, con el objetivo de contrastar los resultados dados por el INIA.



Para la Corrección de suelos ácidos: una vez terminado el proceso de incubación, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, en el cual se determinó los parámetros de pH y Aluminio intercámbiale.

El método del Potenciómetro fue usado para la determinación de pH, y constó de los siguientes pasos:

- De cada una de las unidades experimentales se extrajo 10 gr de suelo, estos fueron introducidos en matraces Erlenmeyer añadiendo 20 ml de cloruro de potasio (KCl), resultando en una relación (1:2).
- Luego los matraces se cubrieron con plástico film y se agitaron por 30 min.
- Finalmente se introdujo el electrodo (calibrado en buffer pH 7) en la solución heterogénea y se procedió a lecturar.

En lo que respecta a la determinación de Aluminio se usó el método de titulación con Hidróxido de Sodio (NaOH):

- En un matraz Erlenmeyer se puso 2 gr de suelo y se añadió 20 ml de KCl 1N.
- Luego los matraces se cubrieron con plástico film, se agitaron por 30 min y se filtraron en papel filtro Whattman.
- A la solución resultante se añadió 3 gotas de azul de bromotimol, lo cual produjo un cambio en el color, del transparente al amarillo.



- Finalmente, se tituló con Hidróxido de Sodio (NaOH 0.001N), donde se calculó el volumen de gasto hasta que la solución cambie a un tono azulado.

#### **3.4.4. Etapa 4: análisis e interpretación de base de datos**

En esta etapa se corrigió el mapa geomorfológico con los datos obtenidos en campo y se discriminó los perfiles modales, resultando en solo 5 unidades de suelo, las cuales fueron tomados para generar el mapa de suelos.

Por otro lado, se interpretaron los datos obtenidos concernientes a pH y Aluminio de la incubación de muestras de suelo.





## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA SAN ROMAN

Los suelos en estudio solo fueron 5 de las 7 calicatas que se hicieron, la calicata 2 comparte similitud en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas con el suelo Nueva Esperanza (Cal-1), en cuanto a la calicata 5 comparte similitud con el suelo San Martín (Cal-4) y por ende estos fueron descartados, los suelos estudiados se describen a continuación:

##### 4.1.1. Suelo Nueva Esperanza

El suelo Nueva Esperanza, establecida en una ladera de montaña, con una pendiente de 25-50%, la cual se formó a partir de un material parental residual (Lecho de rocas formadas “in situ”). Presenta un ligero desarrollo génico con horizontes Ap/Bw1/Bw2/C, donde la clase textural predominante es de tipo arcillosa en los 150 cm de profundidad (Tabla 3).

Este suelo presenta un epipedón ócrico de color pardo oscuro y tiene un endopedón cámbico de color pardo rojizo oscuro.

**Tabla 3**

*Textura y propiedades físicas del suelo Nueva Esperanza (Cal-1)*

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	0	22.88	35.84	41.28	Ar.
Bw1	15-45	20	18.72	30.00	51.28	Ar.
Bw2	45-95	10	20.72	28.00	51.28	Ar.
C	95-150	0	16.72	26.00	57.28	Ar.

Nota: Ap = Horizonte disturbado, Bw1 y Bw2 = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos, Ar = Arcilloso.

En lo que se refiere a propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 4), el suelo Nueva Esperanza comprende un pH desde moderada y fuertemente ácida en horizontes superiores hasta extremadamente ácida en horizontes inferiores, por otra parte, se denota la inexistencia de carbonatos, así como niveles bajos de conductividad eléctrica que indican que el suelo no presenta sales. Así mismo, el porcentaje de materia orgánica de 1.34% en el primer horizonte en contraste a las cantidades de 0.40 mg.kg<sup>-1</sup> de fósforo disponible y 156.39 mg.kg<sup>-1</sup> de potasio disponible, indican una fertilidad baja en el suelo.

**Tabla 4**

*Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Nueva Esperanza (Cal-1)*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m <sup>-1</sup> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible [mg.kg <sup>-1</sup> ]	Disponible
Ap	0-15	5.6	0.020	0.00	1.34	0.40	156.39
Bw1	15-45	5.1	0.017	0.00	0.35	0.00	449.62
Bw2	45-95	4.4	0.017	0.00	0.38	0.60	58.64
C	95-150	4.5	0.018	0.00	0.24	0.20	175.94

Nota: Ap = Horizonte disturbado, Bw1 y Bw2 = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

Las propiedades de sorción (tabla 5) en el horizonte Ap y Bw1 presentan una CIC con valores de 7 y 10 Cmol (+).kg<sup>-1</sup> respectivamente, los cuales se interpretan como un suelo pobre, por otro lado, la saturación de bases se encuentra en un rango medio con porcentajes de 75 y 68% respectivamente.

En los horizontes Bw2 y C la CIC se encuentra en un nivel medio, sin embargo, la saturación de bases es baja, con valores 35 y 28% respectivamente indican un suelo ácido, esto es corroborado por los datos de pH (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Propiedades de sorción del suelo Nueva Esperanza (Ca1-1)*

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes Cambiables					SB [%]
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	
Ap	0-15	7.00	1.20	3.75	0.30	0.00	0.25	75
Bw1	15-45	10.00	6.00	0.30	0.49	0.00	1.25	68
Bw2	45-90	14.00	2.60	1.80	0.47	0.00	9.10	35
C	90-150	16.00	1.70	2.50	0.31	0.00	9.60	28

Nota: Ap = Horizonte disturbado, Bw1 y Bw2 = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos, SB = Saturación de Bases.

#### 4.1.2. Suelo San Román

El suelo San Román, establecida en una ladera de montaña, con una profundidad efectiva de 140 cm y una pendiente moderadamente empinada de 15-25%, este suelo es producto de un material parental residual. Presenta un ligero desarrollo génico con Horizontes Ap/Bw1/Bw2/C, donde la clase textural es franca arcillo limosa en los primeros 25 cm y arcillosa hasta los 100 cm de profundidad (Tabla 6). Este suelo presenta un epipedón ócrico de color rojo amarillento y tiene un endopedón cámbico de color rojo.

**Tabla 6**

*Textura y propiedades físicas del suelo San Román (Cal-3)*

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	0-25	30	16.72	46.00	41.28	Fr.Ar.Li.
Bw1	25-60	35	14.72	32.00	51.28	Ar.
Bw2	60-100	15	14.72	32.00	51.28	Ar.
C	100-140	40	26.72	36.00	57.28	Fr.Ar.

Nota: Fr. Ar. = Franco arcilloso, Ar = Arcilloso, Fr. Ar. Li. = Franco arcillo limoso, Ap = Horizonte disturbado, Bw1 y Bw2 = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

En cuanto a las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 7) del suelo San Román, se encontró niveles de acidez, desde muy fuertemente ácido (pH 4.2-4.6) en los horizontes Ap y C1 hasta extremadamente ácido en los Horizontes Bw y C2. Respecto a la Materia Orgánica, en los primeros 25 cm dio como resultado 1.25% calificado como bajo, esto en combinación con los valores de 0.40 mg.kg<sup>-1</sup> de fósforo disponible y la ausencia de potasio disponible refleja la baja fertilidad del suelo.

**Tabla 7**

*Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo San Román (Cal-3)*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m <sup>-1</sup> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible [mg.kg <sup>-1</sup> ]	Disponible
Ap	0-25	4.6	0.023	0.00	1.26	0.40	0.00
Bw1	25-60	4.2	0.034	0.00	0.38	0.35	0.00
Bw2	60-100	4.5	0.017	0.00	0.32	0.30	0.00
C	100-140	4.4	0.017	0.00	0.30	2.35	0.00

Nota: Ap = Horizonte disturbado, Bw1 y Bw2 = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

Las propiedades de sorción del suelo (Tabla 8) muestra una CIC de nivel medio en los primeros tres horizontes con valores de; 21,21 y 20 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup>

respectivamente, sin embargo, se obtuvo una baja saturación de bases con valores de: 14,10 y 13% respectivamente.

**Tabla 8**

*Propiedades de sorción del suelo San Román (Cal-3)*

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes Cambiables					SB [%]
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	
			Cmol (+). Kg <sup>-1</sup>					
Ap	0-25	21.00	1.40	1.00	0.52	0.00	17.75	14
Bw1	25-60	21.00	1.20	0.40	0.49	0.00	38.75	10
Bw2	60-100	20.10	0.80	1.20	0.65	0.00	28.60	13
C	100-140	10.00	0.90	3.00	0.54	0.00	25.50	44

Nota: Ap = Horizonte disturbado, Bw1 y Bw2 = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos, SB = Saturación de Bases.

#### 4.1.3. Suelo San Martin

El suelo San Martin, asentado en una ladera de montaña, con una profundidad efectiva de 120 cm y una pendiente moderadamente empinada de 15-25%, el suelo es producto de material coluvial. Presenta un pobre desarrollo génico con solo dos Horizontes Ap/C, donde la clase textural hasta los 18 cm es franco arcilloso y de los 18 cm hasta los 120 cm de profundidad es una textura de tipo arcillosa (Tabla 9). Este suelo presenta un epipedón ócrico de color amarillo pardo rojizo oscuro y no tiene endopedón lo cual denota que es un suelo joven.

**Tabla 9**

*Textura y propiedades físicas del suelo San Martín (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	40	28.72	42.00	29.28	Fr.Ar.
C	18-120	50	30.72	20.00	49.28	Ar.

Nota: Fr. Ar. = Franco arcilloso, Ar. = Arcilloso, Ap = Horizonte disturbado, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

Respecto a las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 10) del suelo San Martín, se clasificó la acidez como muy fuertemente ácido en el primer horizonte con un valor de 4.6 y extremadamente ácido en el segundo horizonte con un valor de 4.1.

En cuanto a la Materia Orgánica, se encontró valores de 0.87% y 0.43% calificados como bajos, esto en adición con los valores de 7.15 mg.kg<sup>-1</sup> de fósforo disponible en el primer horizonte y la ausencia de potasio disponible repercute en una baja fertilidad del suelo.

**Tabla 10**

*Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo San Martín (Cal-4)*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m <sup>-1</sup> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible [mg.kg <sup>-1</sup> ]	Disponible
Ap	0-18	4.6	0.044	0.00	0.87	7.15	0.00
C	18-120	4.1	0.046	0.00	0.43	0.2	0.00

Nota: Ap = Horizonte disturbado, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

Las propiedades de sorción del suelo (Tabla 11). Muestra una CIC de nivel bajo en ambos horizontes con valores de 9 y 12.6 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup>. En cuanto a la

saturación de Bases, se obtuvo un valor alto en primer horizonte con un valor de 84%, sin embargo, el segundo horizonte presento un nivel bajo con cifra de 12%.

**Tabla 11**

*Propiedades de sorción del suelo San Martín (Cal-4)*

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes Cambiables					SB [%]
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	
Ap	0-18	9.00	6.20	0.90	0.47	0.00	6.20	84
C	18-120	12.60	0.80	0.20	0.52	0.00	19.25	12

Nota: Ap = Horizonte disturbado, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos, SB= Saturación de Bases.

#### 4.1.4. Suelo La Arboleda

El suelo La Arboleda, asentado en una ladera de montaña, con una profundidad efectiva de 120 cm y una pendiente moderadamente empinada (25-50%), el suelo es producto de un material parental residual (Lecho de rocas formadas “in situ”). Presenta un moderado desarrollo génico con Horizontes Ap/Bw/C, donde la clase textural desde los 0 a 60 cm es arcillosa y de los 60 cm hasta los 120 cm de profundidad es una textura de tipo Franco arcillo arenoso (Tabla 12). Este suelo presenta un epipedón ócrico de color pardoso y tiene un endopedón cámbico de color pardo amarillento.

**Tabla 12**

*Textura y propiedades físicas del suelo La Arboleda (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	0-35	20	26.72	30.00	43.28	Ar.
Bw	35-60	25	24.72	24.00	51.28	Ar.
C	60-120	30	54.72	18.00	27.28	Fr.Ar.A.

Nota: Ar = arcilloso, Fr. Ar. A. = Franco Arcillo Arenoso, Ap = Horizonte disturbado por el hombre, Bw = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 13) del suelo San Román, sugieren una clasificación extremadamente ácida en el primer y segundo horizonte. Por otra parte, la Materia Orgánica es baja en el primer horizonte con un valor de 1.07%, esto en adición con los valores de 0.15 mg.kg<sup>-1</sup> de fósforo disponible y la ausencia de potasio disponible repercute en una baja fertilidad del suelo.

**Tabla 13**

*Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo La Arboleda (Cal-6)*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m <sup>-1</sup> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible	Disponible
						[mg.kg <sup>-1</sup> ]	
Ap	0-35	4.2	0.033	0.00	1.07	0.15	0.00
Bw	35-60	4.5	0.012	0.00	0.41	0.30	0.00
C	60-120	4.3	0.023	0.00	0.32	0.15	0.00

Nota: Ap = Horizonte disturbado, Bw = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

Las propiedades de sorción del suelo (Tabla 14). Muestran una CIC de nivel bajo en el primer horizonte con un valor de 13.80 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup>. En cuanto a la saturación de Bases, se obtuvo un valor medio con una cifra de 41%.



**Tabla 14**

*Propiedades de sorción del suelo La Arboleda (Cal-6)*

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes Cambiables					SB [%]
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	
Ap	0-35	13.80	0.90	4.30	0.48	0.00	33.30	41
Bw	35-60	10.40	0.70	4.30	0.62	0.00	35.85	54
C	60-120	13.30	0.60	5.40	0.49	0.00	47.05	48

Nota: Ap = Horizonte disturbado, Bw = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos, SB = Saturación de Bases.

#### 4.1.5. Suelo Las Nubes

El suelo Las Nubes, asentado en una ladera de montaña, con una profundidad efectiva de 120 cm y una pendiente moderadamente empinada (15-25%), el suelo es producto de un material parental residual, presenta un moderado desarrollo génico con Horizontes Ap/Bw/C, donde la clase textural desde los 0 a 35 cm es franco arcillo limosa y de los 35 cm hasta los 120 cm de profundidad es una textura de tipo arcillosa (Tabla 15). Este suelo presenta un epipedón ócrico de color pardo y tiene un endopedón cámbico de color pardo amarillento.

**Tabla 15**

*Textura y propiedades físicas del suelo Las Nubes (Cal-7)*

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	0-35	0	10.72	60.00	29.28	Fr.Ar.Li.
Bw	35-68	50	10.72	30.00	59.28	Ar.
C	68-120	30	28.72	28.00	43.28	Ar.

Nota: Fr. Ar. Li. = Franco arcillo limoso, Ar = Arcilloso, Ap = Horizonte disturbado, Bw = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 16) del suelo San Román, sugieren una clasificación extremadamente ácida en el primer horizonte y fuertemente ácida en los horizontes subyacentes. Por otra parte, el porcentaje de Materia Orgánica es baja en el primer horizonte con un valor de 1.40%, esto en adición con los valores de 0.15 mg.kg<sup>-1</sup> de fósforo disponible y la ausencia de potasio disponible repercute en una baja fertilidad del suelo.

**Tabla 16**

*Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo Las Nubes (Cal-7)*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m <sup>-1</sup> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	M.O. [%]	P	K
						Disponible [mg.kg <sup>-1</sup> ]	Disponible
Ap	0-35	4.1	0.052	0.00	1.40	0.15	0.00
Bw	35-68	4.5	0.014	0.00	0.71	0.10	0.00
C	68-120	4.5	0.016	0.00	0.27	0.05	0.00

Nota: Ap = Horizonte disturbado por el hombre, Bw = Horizonte con presencia de estructura de bloques, C = Horizonte sin estructura.

Las propiedades de sorción del suelo (Tabla 17). Muestran una CIC de nivel bajo en el primer horizonte con un valor de 5.00 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup>. En cuanto a la Saturación de Bases, se obtuvo un valor bajo con una cifra de 30%.

**Tabla 17**

*Propiedades de sorción del suelo Las Nubes (Cal-7)*

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes Cambiables					SB [%]
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	
Ap	0-35	5.00	0.80	0.20	0.66	0.00	2.55	33
Bw	35-68	4.10	1.00	0.10	0.68	0.00	1.45	43
C	68-120	4.20	0.90	0.30	0.66	0.00	1.30	44

Nota: Ap = Horizonte disturbado, Bw = Horizonte con desarrollo de estructura o color, C = Capa mineral que han sido ligeramente afectados por procesos pedogenéticos.

#### 4.1.6. Clasificación de suelos de la microcuenca San Román según la Soil

##### Taxonomy

**Tabla 18**

*Clasificación de suelos de la microcuenca San Román*

Orden	Sub orden	Gran grupo	Sub grupo	Familia	Suelo
Inceptisol	Udepts	Dystrudepts	Typic Dystrudepts	Fina - Typic Dystrudepts	Nueva Esperanza
					La Arboleda
					San Román
					Las Nubes
Entisol	Orthents	Udorthents	Typic Udorthents	Fina - Typic Udorthents	San Martín

Usando el Soil Taxonomy, se clasificó los suelos de Nueva Esperanza, La Arboleda, San Román y Las Nubes dentro del Orden Inceptisol en el cual los suelos comparten un epipedón ócrico y en un endopedón cámbico, además estos suelos pertenecen al sub orden Udepts y coinciden en Gran grupo como Dystrudepts, también forman parte del sub grupo Typic dystrudepts, en el cual se denota que estos son muy jóvenes y carecen de una mayor formación. Respecto a la Familia, estos suelos coincidieron en una textura arcillosa en la gran mayoría de los perfiles estudiados y se clasificarían como Fina-Typic Dystrudepts.

En cuanto al suelo San Martín, al no poseer un endopedón se clasificó dentro del orden Entisol, que connota la poca formación del suelo, además el sub orden al que pertenece es Orthents y Udorthents como Gran grupo, la textura coincidió con los demás suelos siendo también arcillosa y por ende clasificándose como Fina - Typic Udorthents.



Mamani (2023), realizó una calicata en la estación experimental INIA – San Gaban donde según el Soil Taxonomy se clasificó en el orden Inceptisol al igual que los suelos encontrados en la microcuenca San Román, además concuerdan con el sub orden con Udepts y en gran grupo como Dystrudepts, son diferentes en sub grupo y familia debido a las condiciones de material parental, pendiente y textura.

Pari (2024), realizó un estudio semidetallado de la microcuenca Yurajmayo – San Juan del Oro en el cual según el Soil Taxonomy clasificó gran parte de los suelos en el orden Inceptisol, donde el suelo Olvea concuerda con gran parte de las propiedades fisicoquímicas de los suelos Nueva Esperanza, La Arboleda, San Román, Las Nubes.

Ibarra (2022), efectuó un estudio sobre la clasificación Taxonómica de suelos en el Distrito de Sincos en el Departamento de Junín, donde según la Soil Taxonomy, los suelos de aquella localidad corresponden a los órdenes Mollisol, Entisol e Inceptisol, también hace mención sobre las propiedades fisicoquímicas y en cuanto a los órdenes Entisol e Inceptisol, concuerdan en una baja fertilidad con los suelos encontrados en la presente investigación, que es característico de los órdenes mencionados.

Trujillo-González et al. (2022), hicieron un estudio en Colombia sobre la clasificación de suelos visto desde un punto macromorfológico, en el cual la mayoría de los suelos se clasificaron en los órdenes Entisol, Inceptisol y Oxisol. En cuanto al contraste con los suelos encontrados en la microcuenca San Román, hay una similitud enorme, ya que coinciden en sus propiedades fisicoquímicas como el pH, conductividad eléctrica, inexistencia de carbonatos, etc.

## 4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE ENMIENDA DOLOMITA SOBRE LOS SUELOS ÁCIDOS EN CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) Y PLÁTANO (*Musa sp.*)

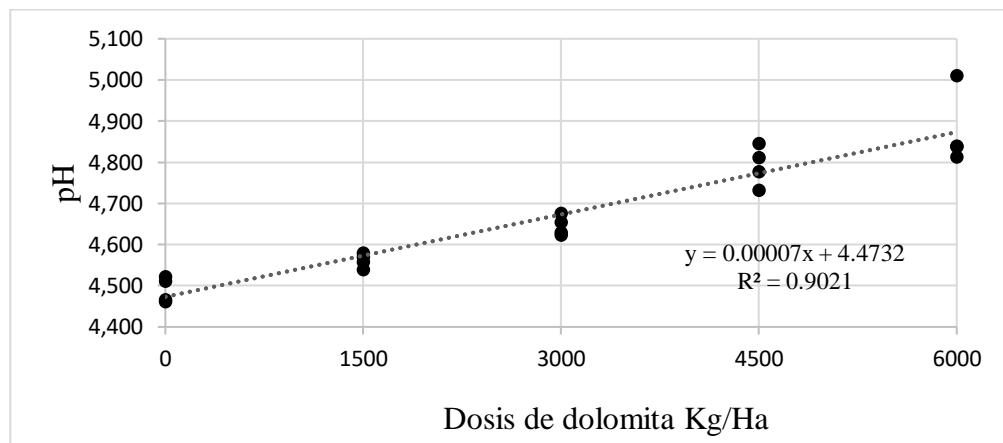
### 4.2.1. Variación temporal de pH en el suelo

La variación de pH en el suelo estuvo influenciada por las especies ( $P < 0.0001$ ), donde una mejor respuesta fue obtenida con la aplicación de la especie plátano (Anexo 2). Así mismo, las dosis de dolomita influyeron sobre la variación del pH en el suelo ( $P < 0.0001$ ); de igual forma, hubo interacción entre las especies con las dosis de dolomita de evaluación ( $P < 0.0011$ ).

Con la enmienda de dolomita, el pH en el suelo en cultivo de café (*Coffea arabica* L.) (Figura 3). se mantuvo en la categoría “regular”, con un promedio de  $4.673 \pm 0.034\%$ , sin embargo, en factor de Dosis 1.5 t/ha fue de  $4.562 \pm 0.009\%$  y este valor se incrementó en las Dosis siguientes de 3 t/ha ( $4.646 \pm 0.012\%$ ), 4.5 t/ha ( $4.792 \pm 0.024\%$ ) y 6 t/ha ( $4.876 \pm 0.045\%$ ) en comparación con el Testigo ( $4.490 \pm 0.015\%$ ) respectivamente.

### Figura 3

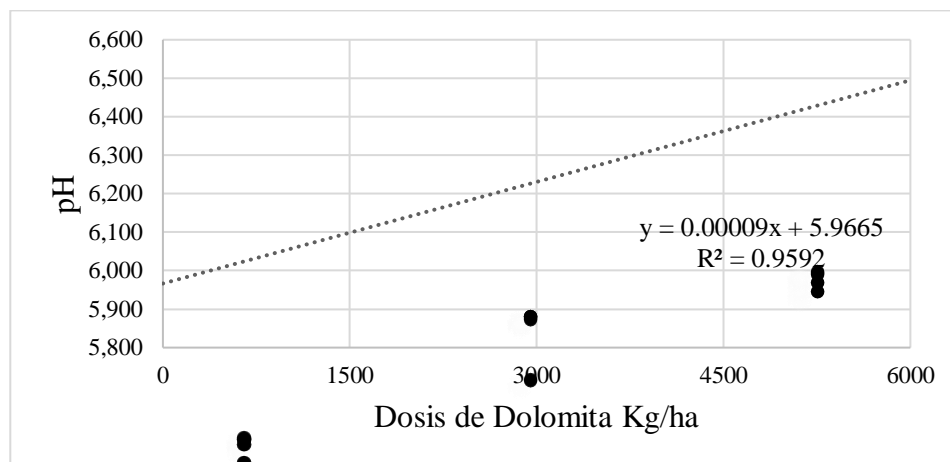
*Variación del pH con dosis de dolomita sobre el suelo del cultivo de café*



La variación de pH (Figura 4) en el suelo del cultivo de plátano (*Musa sp.*) se mantuvo en la categoría “regular a superior”, con un promedio de  $6.231 \pm 0.044\%$ ; sin embargo, hubo una tendencia hacia la mejora de este indicador con el aumento de la dosis, para la dosis 1.5 t/ha fue de  $6.131 \pm 0.027\%$ , para la dosis 3 t/ha fue de  $6.220 \pm 0.008\%$ , para la dosis 4.5 t/ha fue de  $6.402 \pm 0.008\%$  y para la dosis 6 t/ha fue de  $6.463 \pm 0.007\%$  respecto al testigo fue de  $5.938 \pm 0.009\%$  respectivamente.

#### Figura 4

*Variación del pH con dolomita sobre el cultivo de plátano*



Si bien las modificaciones tuvieron un impacto en las variaciones del pH del suelo, hubo variaciones en los parámetros relacionados con el aumento del pH del suelo. La dolomita se ha relacionado con numerosos efectos, incluida una mayor dosis y un aumento del pH del suelo. Además, su velocidad de reacción es mucho mayor según el incremento en dosis.

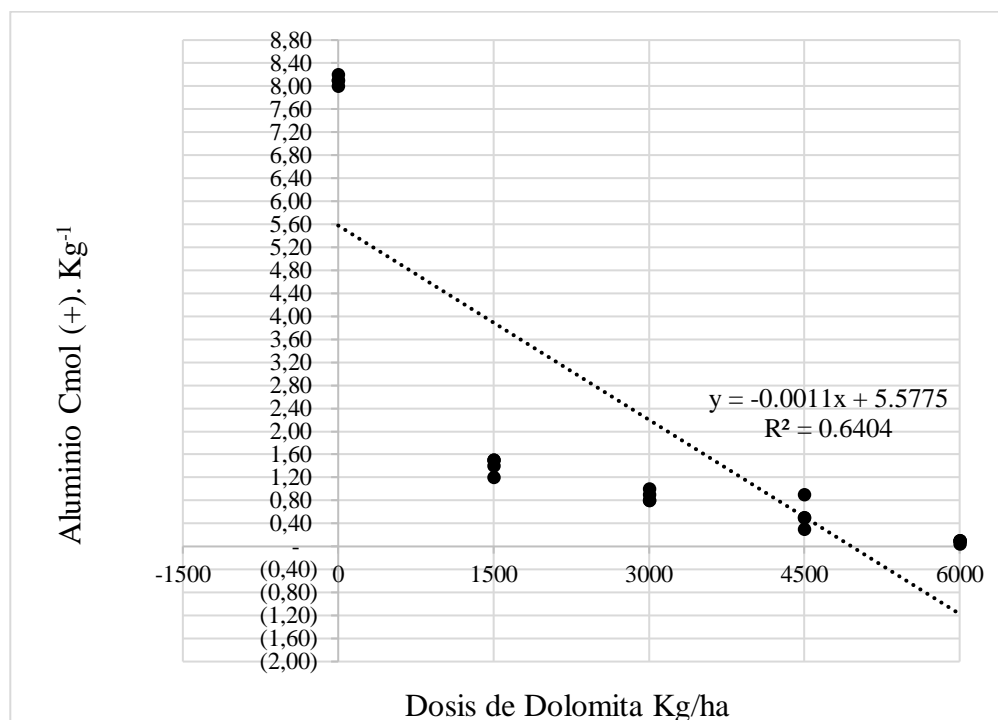
#### 4.2.2. Variación temporal de aluminio en el suelo

En la base a los análisis de varianza los resultados para los factores especie y dosis fueron altamente significativos ( $p < 0.0001$ ), de igual forma en la

interacción mostraron alta significancia ( $p < 0.0001$ ) (Anexo 3). La especie café (*Coffea arabica* L.) mostró una mejor respuesta, numéricamente mostró variaciones según el incremento de dosis de dolomita (Figura 5), así como la D4 de 6 t/ha tuvo un efecto mejor en la reducción del aluminio con un contenido promedio de aluminio de  $0.090 \text{ Cmol (+). Kg}^{-1} + 0.013\%$  y este valor se incrementó en dosis siguientes de D3 con 4.5 t/ha que fue  $0.550 \text{ Cmol (+). Kg}^{-1} + 0.126\%$ , D2 con 3 t/ha que fue  $0.880 \text{ Cmol (+). Kg}^{-1} + 0.048\%$ , D1 con 1.5 t/ha que fue  $1.400 \text{ Cmol (+). Kg}^{-1} + 0.071\%$  y D0 con 0 t/ha que fue de  $8.380 \text{ Cmol (+). Kg}^{-1} + 0.048\%$  de contenido de aluminio.

**Figura 5**

*Variación del aluminio con dolomita en cultivo de café*

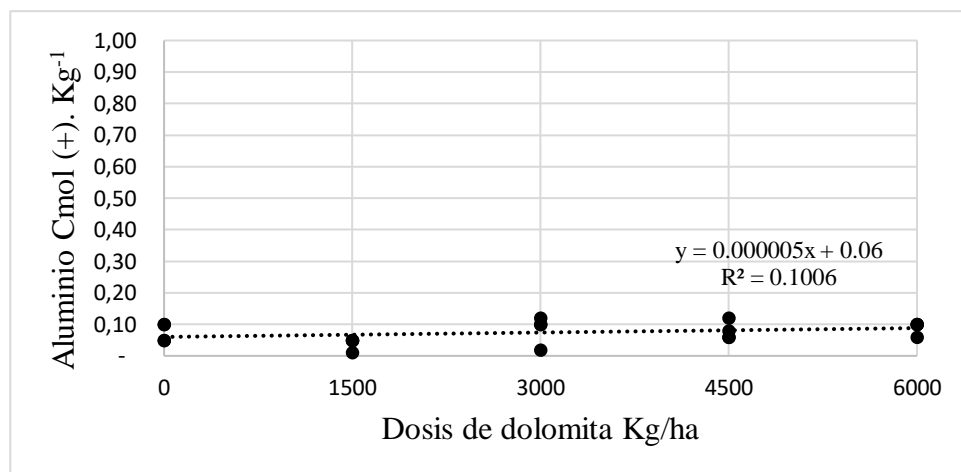


La variación de aluminio intercambiable (Figura 6), en el suelo del cultivo de plátano (*Musa sp.*) con la enmienda Dolomita se mantuvo en la categoría "bajo", pero hubo una tendencia a mantenerse en cuanto a sus valores y se

mostraron numéricamente de la siguiente manera; para la D4 con 6 t/ha fue de 0.090 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup> ± 0.010%, para la D3 con 4.5 t/ha fue de 0.080 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup> ± 0.014%, para la D2 con 3 t/ha fue de 0.090 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup> ± 0.022% y para la D1 con 1.5 t/ha fue de 0.040 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup> ± 0.010%, respecto al testigo fue de 0.080 Cmol (+). Kg<sup>-1</sup> ± 0.08% respectivamente.

### Figura 6

*Variación del aluminio con dolomita en cultivo de plátano*



Sias (2020), menciona que con dosis de 2 y 4 tn/ha de dolomita más gallinasa es posible incrementar los niveles de pH y corregir la acidez en suelos de clasificación Inceptisol, teniendo una correlación con los resultados siendo un gran precedente para la aplicación en campo y así mejorar la productividad en los suelos tropicales. Referente al efecto de dolomita Rosas (2021), menciona que, además de un incremento en el pH y disminución de la acidez del suelo, también tiene la capacidad de mejorar el contenido de calcio, magnesio, zinc y cobre y una disminución del hierro y manganeso a nivel del suelo, por lo tanto, genera un efecto lineal positivo de las aplicaciones de cal dolomita sobre los contenidos de los minerales en el suelo .





Austirizaga (2024), demostró que aplicación de dolomita en el cultivo de café tiene un efecto positivo en la disminución de aluminio y aumento de pH a medida que se incrementan las dosis, habiendo similitud con los resultados obtenidos en la incubación de suelos.

Pari (2024), afirma lo mismo, ya que en su investigación con dosis de 4 tn/ha logró incrementar el pH de 4.32 frente al valor de 3.92 del testigo y disminuyó el aluminio de 2.83 Cmol (+). kg-1 frente a 6.05 Cmol (+). kg-1 del testigo.

Aunado a lo anterior Marcelo (2022), plantea que la dolomita en dosis de 400 y 200 g por planta, incrementa positivamente el diámetro, el follaje y el área de las hojas en las plantas de café, todo esto debido a que la dolomita contiene Ca y Mg. A esto se suma Sadeghian & Díaz (2020), quienes mencionan que la aplicación de dolomita tienen un efecto positivo en el crecimiento inicial del café, demostrándose así que los planes para encalar en suelos con problemas de acidez deberían hacerse antes de la época de siembra. También Díaz-Poveda & Sadeghian (2022), mencionan que las cales agrícolas como la dolomita tienen el poder de neutralización del 62 al 115 %, lo cual lo hace una buena opción para corregir los suelos ácidos.



## V. CONCLUSIONES

- Según el Soil Taxonomy, los suelos de la microcuenca San Román pertenecen en su gran mayoría al orden Inceptisol (Nueva Esperanza, San Román, Las Nubes y La Arboleda), cabe resaltar que se tomaron muestras para incubación de suelos para el cultivo de café al cubrir mayor terreno. Por otra parte, una pequeña área de la microcuenca pertenece al orden Entisol (San Martín) de donde se tomaron muestras de suelo del cultivo de plátano para la incubación, sin embargo, estos dos ordenes comparten similitud en cuanto a sus propiedades físicas y químicas, donde se denota la poca fertilidad de suelos y el constante lavado de sus nutrientes, donde en consecuencia hay problemas de acidez.
- La aplicación de dolomita mediante el método de incubación en suelos ácidos, mostró una variación favorable en los niveles de pH y aluminio a nivel de especies vegetales, para el suelo del cultivo de café el testigo tuvo un pH de 4.490 y 8.380  $\text{Cmol (+). Kg}^{-1}$  de aluminio intercambiable, con la aplicación de 1.5 t/ha de dolomita se aumentó el pH a 4.562 y se redujo el contenido de  $\text{Al}^{+3}$  a 1.400  $\text{Cmol (+). Kg}^{-1}$ , en la dosis próxima de 3 t/ha se incrementó el valor de pH a 4.646 y el  $\text{Al}^{+3}$  se redujo a 0.880  $\text{Cmol (+). Kg}^{-1}$ , en la siguiente dosis de 4.5 t/ha se incrementó el pH a 4.792 y el  $\text{Al}^{+3}$  se redujo a 0.550  $\text{Cmol (+). Kg}^{-1}$ , respecto a la dosis más elevada de 6 t/ha se incrementó el valor del pH a 4.876 y se redujo drásticamente el nivel de  $\text{Al}^{+3}$  a 0.090  $\text{Cmol (+). Kg}^{-1}$ . Por otro lado, el suelo del cultivo de plátano mostro una mejoría en el nivel de pH, sin embargo, ya no es posible reducir más los niveles de  $\text{Al}^{+3}$  y esto debido a que el testigo presentó un valor de 5.938 de pH y 0.080  $\text{Cmol (+). Kg}^{-1}$  de  $\text{Al}^{+3}$ , en la dosis de 1.5 t/ha se aumentó el pH a 6.131 y el  $\text{Al}^{+3}$  se mantuvo estable con un valor de 0.040  $\text{Cmol (+). Kg}^{-1}$ .



(+).  $\text{Kg}^{-1}$ , lo mismo sucede con la dosis de 3 t/ha donde se incrementó el pH a 6.220 y se mantuvo el  $\text{Al}^{+3}$  en  $0.090 \text{ Cmol (+). Kg}^{-1}$ , en la dosis siguiente de 4.5 t/ha se aumentó el valor del pH a 6.402 y el  $\text{Al}^{+3}$  se mantuvo en  $0.080 \text{ Cmol (+). Kg}^{-1}$ , con la dosis más alta de 6 t/ha el valor del pH siguió incrementando llegando a un valor de 6.463, pero el  $\text{Al}^{+3}$  al igual que en dosis anteriores se mantuvo en trazas con valor de  $0.090 \text{ Cmol (+). Kg}^{-1}$ .



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios sobre la planificación de la actividad agrícola en la microcuenca San Román en base a la cartografía y la clasificación de suelos descritas en la presente investigación, tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas de cada tipo de suelo.
- Realizar ensayos similares con la adición de enmiendas más complejas o que tengan algún aditivo, que sirvan no solo para corregir el pH y disminuir el aluminio, sino también aumentar la fertilidad de los suelos encontrados.
- Realizar un estudio de costo – beneficio acerca de la aplicación de dolomita en una campaña agrícola para las especies de café y plátano.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asturizaga, M. A. (2024). Evaluacion del efecto de la dolomita sobre las propiedades quimicas del café (*Coffea arabica*) en la comunidad Villa Victoria Segundo, Tercer Bando Cantón Taipiplaya del municipio Caranavi [Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/35520>
- Bernier, R., & Alfaro, M. (2006). Acidez de suelos y efectos del Encalado. En Instituto de investigacion agropecuario, INIA (Número 151). <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33824.pdf>
- Cerda, M. G., Salgado, M. guadalupe, Esquinca, R. H., & Gomez, V. A. I. (2022). Manejo agronómico de la acidez y aluminio en suelos de plantaciones de café , *coffea arabica* en berriozabal , motozintla. 6, 147-164. [https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i4.2525](https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2525)
- 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. <https://doi.org/10.38141/10778/73103>
- Diaz, C., & Carmen, M. (2017). Línea de Base del Sector Café en el Perú. En Pnud (Vol. 1). <https://www.midagri.gob.pe/portal/pncafe-publicaciones/20118-linea-de-base-del-sector-cafe-en-el-peru#:~:text=Línea de Base del Sector,y presenta los principales indicadores.>
- Gálvez, H. (2003). Evaluación del comportamiento de la piedra caliza con diferente contenido de carbonato de magnesio ( $MgCO_3$ ) a través del proceso de calcinación a 850 °C y 640 mm Hg en la obtención de cal viva mediante la determinación de la densidad aparente (ASTM 188-95). 7-16. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3992/>
- García, J. J. (2020). Efecto de la materia organica, yeso y dolomita en la concentración de aluminio ( $AL+3$ ) en suelos con cultivo de frijol(*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Guerrero, A., de la Cruz, A., & Velasco, J. (2017). Interpretación Del Análisis De Suelos Cañeros Basado En Las Relaciones Entre Propiedades Y Elementos. 10(11), 87-92. <https://core.ac.uk/download/pdf/249319947.pdf>



- Heredia, B. (2011). Centro de Investigaciones en Café CICAPE Guía Técnica para el Cultivo del Café.
- Ibarra, M. A. (2022). Estudio Agrológico y taxonomico de los suelos en el transecto cruzpampa - Sincos del valle del rio Mantaro, Región Junín [Universidad Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1507>
- León, J. O. (2021). Influencia de los ácidos húmicos y fúlvicos como alternativa para el manejo en suelos afectados por acidez en el cultivo de maíz, en el Ecuador. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9287/E-UTB-FACIAG-ING-AGROP-000128.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Loli, O. (2012). Analisis de suelos y fertilizacion en el cultivo de café. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/011-c-cafe.pdf>
- Mamani, D. J. (2023). Caracterización, clasificación y elaboración de monolitos de suelos en la estación experimental agraria Illpa - INIA, Región Puno [Universidad Nacional del Altiplano]. En Tesis. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mamani\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Marcelo, C. (2022). Enmienda con dolomita en la instalación del cultivo de Coffea arábica L. variedad Catuai, en Satipo. *Prospectiva Universitaria*, 12(1), 21-26. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2015.12.450>
- Mira, J., & Sanchez, J. (2012). Acidez del suelo y su manejo. 236. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19667>
- Molina, D. O. (2024). Estudio de la capacidad tampón del pH del suelo de la estacion experimental Oromo - Región de los lagos [Universidad de Chile]. <https://doi.org/10.38141/10778/73103>
- Mozombite, L. A. (2019). Caracterización botánica preliminar del rendimiento en tres ecotipos de Musa paradisiaca L. En Universidad Nacional de San Martín. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Osorio, N. W. (2014). Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico.
- Pari, J. (2024). Mejoramiento de suelos ácidos con enmiendas calcáreas en la



- microcuenca del sector Yurajmayo-San Juan del oro [Universidad Nacional del Altiplano]. En Tesis.  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mamani\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Porta, J., Lopez-Acevedo, M., & Poch, R. (2008). Introducción a la edafología: uso y protección del suelo.
- Porta, J., Lopez-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente (Mundi-Prensa (ed.); 3ra Edició).
- Ricse, E. R. (2018). Efecto de enmiendas en un suelo ácido con cultivo de *Phaseolus vulgaris* L., variedad norteño - Satipo. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Rosas, J. L. (2021). Efecto de la aplicacion de dolomita y magnocal en la dinámica del suelo y crecimiento vegetativo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Neshuya-Padre abad. Universidad Nacional de Ucayali.
- Sadeghian, S. (2016). La Acidez del Suelo. Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia.  
[https://www.researchgate.net/publication/317705228\\_La\\_contribucion\\_de\\_la\\_Estadistica\\_en\\_la\\_formacion\\_del\\_profesional\\_agropecuario\\_agroindustrial\\_y\\_forestal](https://www.researchgate.net/publication/317705228_La_contribucion_de_la_Estadistica_en_la_formacion_del_profesional_agropecuario_agroindustrial_y_forestal)
- Sadeghian, S., & Díaz, C. (2020). Corrección de la acidez del suelo: efectos en el crecimiento inicial del café. 71(1), 31. <https://doi.org/10.38141/10778/1117>
- Sales, B., Samaniego, T., Durand, K., & Norabuena, A. (2024). Manual Para El Análisis de Suelos Agrícolas y Agua para Riego.
- Sanchez, A. M., & Jimenez, P. A. (2020). Análisis de la produccion, exportacion y políticas gubernamentales de cultivos permanentes en Colombia: casos de los cultivos de café, platano, caña de azúcar y yuca (Número 75) [Universidad Agustiniiana de Bogotá].  
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125798>  
<https://doi.org/10.1016/j.smr.2020.02.002>  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/810049>  
<http://doi.wiley.com/10.1002/anie.197505391>  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090409500205>
- Sánchez, P. (2015). Suelos del trópico: Características y manejo (2da Edición).



- 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 [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. En Universidad Nacional Agraria de la Selva.  
[http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1881/TS\\_DYSB\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1881/TS_DYSB_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Solano, M. Á. (2015). Taxonomía vegetal. Universidad Nacional del Altiplano.
- Toledo, M. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras. En Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras conceptos y métodos (Vol. 1).  
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/3108>
- Trujillo-González, J. M., Torres-Mora, M. A., García-Navarro, F., & Jiménez-Ballesta, R. (2022). A Pedological Catenal Characterization along Steeply Sloped and Perhumid Regions: The Case Study of Piedemonte Llanero, Colombia. *Agriculture (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/agriculture12030401>
- Vela, C. R., & Vidal, J. (2007). Manejo integrado del cultivo del plátano.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/18640>
- Villalba Martínez, C. J., Merino García, A., & Etchevers Barra, J. (2020). Diagnosis of the chemical fertility of soils (Rhodic Paleudult) in agricultural and forest systems of the Eastern region of Paraguay. *Investigación Agraria*, 22, 92-99.  
<http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.diciembre.2202658>





## ANEXOS

### ANEXO 1. Base de datos del experimento

Tratamientos	Replicas	Factor (Especie vegetal)	Factor Dolomita (Dosis)	Variable (pH)	Variable (Aluminio)
1	R1	CAFÉ	D0	4.462	8.50
1	R2	CAFÉ	D0	4.522	8.30
1	R3	CAFÉ	D0	4.466	8.40
1	R4	CAFÉ	D0	4.511	8.30
2	R1	CAFÉ	D1	4.580	1.20
2	R2	CAFÉ	D1	4.559	1.40
2	R3	CAFÉ	D1	4.571	0.50
2	R4	CAFÉ	D1	4.539	1.50
3	R1	CAFÉ	D2	4.654	1.00
3	R2	CAFÉ	D2	4.677	0.80
3	R3	CAFÉ	D2	4.630	0.90
3	R4	CAFÉ	D2	4.624	0.80
4	R1	CAFÉ	D3	4.846	0.50
4	R2	CAFÉ	D3	4.812	0.90
4	R3	CAFÉ	D3	4.777	0.30
4	R4	CAFÉ	D3	4.732	0.50
5	R1	CAFÉ	D4	5.011	0.10
5	R2	CAFÉ	D4	4.840	0.05
5	R3	CAFÉ	D4	4.814	0.10
5	R4	CAFÉ	D4	4.838	0.10
6	R1	PLÁTANO	D0	5.949	0.05
6	R2	PLÁTANO	D0	5.911	0.10
6	R3	PLÁTANO	D0	5.952	0.10
6	R4	PLÁTANO	D0	5.940	0.05
7	R1	PLÁTANO	D1	6.159	0.05
7	R2	PLÁTANO	D1	6.051	0.05
7	R3	PLÁTANO	D1	6.159	0.01
7	R4	PLÁTANO	D1	6.153	0.05
8	R1	PLÁTANO	D2	6.230	0.10
8	R2	PLÁTANO	D2	6.201	0.02
8	R3	PLÁTANO	D2	6.215	0.12
8	R4	PLÁTANO	D2	6.234	0.10
9	R1	PLÁTANO	D3	6.406	0.06
9	R2	PLÁTANO	D3	6.381	0.06
9	R3	PLÁTANO	D3	6.401	0.08
9	R4	PLÁTANO	D3	6.420	0.12
10	R1	PLÁTANO	D4	6.482	0.10
10	R2	PLÁTANO	D4	6.451	0.06
10	R3	PLÁTANO	D4	6.461	0.10
10	R4	PLATANO	D4	6.456	0.10



## ANEXO 2. Análisis de varianza para pH del suelo

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Sig.
Especie vegetal (E)	1	24.25339022	24.25339022	7007.44	<.0001	**
Replica (r)	3	0.00911088	0.00303696	0.88	0.5415	ns
E*r	3	0.01038328	0.00346109	2.81	0.0607	
Dosis (D)	4	1.08983540	0.27245885	221.59	<.0001	**
E*D	4	0.03212540	0.00803135	6.53	0.0011	*
Error	24	0.02950960	0.00122957			
Total corregido	39	25.42435478				

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	pH Media
0.998839	0.643171	0.035065	5.451925

**Medias con la misma letra  
no son significativamente  
diferentes.**

Tukey Agrupamiento	Media	N	Esp
A	6.23060	20	PLÁT
B	4.67325	20	CAFÉ

**Medias con la misma letra  
no son significativamente  
diferentes.**

Tukey Agrupamiento	Media	N	Dosis
A	5.66913	8	D4
B	5.59688	8	D3
C	5.43313	8	D2
D	5.34637	8	D1
E	5.21412	8	D0



### ANEXO 3. Análisis de varianza para aluminio

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F	Sig.
Especie vegetal (E)	1	47.67672250	47.67672250	15139.5	<.0001	**
Replica (r)	3	0.00104750	0.00034917	0.11	0.9481	ns
E*r	3	0.00944750	0.00314917	0.24	0.8647	
Dosis (D)	4	95.29329000	23.82332250	1846.89	<.0001	**
E*D	4	95.49249000	23.87312250	1850.75	<.0001	**
Error	24	0.3095800	0.0128992			
Total corregido	39	238.7825775				

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	pH Media
0.998704	9.742612	0.113574	1.165750

Medias con la misma letra  
no son significativamente  
diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Esp
A	2.258	20	CAFÉ
B	0.074	20	PLAT

Medias con la misma letra  
no son significativamente  
diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Dosis
A	4.22500	8	D0
B	0.72000	8	D1
C	0.48000	8	D2
C	0.31500	8	D3
D	0.08875	8	D4



## ANEXO 4. Análisis de suelo para la investigación



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 200



### INFORME DE ENSAYO N° 08254-23/SU/ LABSAF - ILLPA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : EEA-ILLPA/PP0089.  
 Propietario / Productor : Reservado por el cliente.  
 Dirección del cliente : Salcedo la Rinconada S/N.  
 Solicitado por : Paul Brayan Condori Yuca.  
 Muestreado por : Cliente.  
 Número de muestra(s) : 18 muestras.  
 Producto declarado : Suelo Agrícola.  
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico.  
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente.  
 Procedencia de muestra(s) : Putina Puncu / Sandía / Puno.  
 Fecha(s) de muestreo\* : 2023-07-07 al 2023-07-10  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-08-22  
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliáres - LABSAF Illpa.  
 Fecha(s) de análisis : 2023-08-22  
 Colización del servicio : 254-23-ILL  
 Fecha de emisión : 2023-09-06



#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU3217-ILL-23	SU3218-ILL-23	SU3219-ILL-23	SU3220-ILL-23	SU3221-ILL-23	SU3222-ILL-23		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo*	2023-07-07	2023-07-07	2023-07-07	2023-07-07	2023-07-07	2023-07-07		
Hora de Inicio de Muestreo (h)*	9:30	9:30	9:30	9:30	10:45	10:45		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL1(1)	CAL1(2)	CAL1(3)	CAL1(4)	CAL3(1)	CAL3(2)		
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>					
pH	unid. pH	0,1	5,6	5,1	4,4	4,5	4,6	4,2
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	2,0	1,7	1,7	1,8	2,3	3,4
Materia Orgánica (**)	%	0,2	1,34	0,35	0,38	0,24	1,26	0,38
Nitrógeno (**)	%	—	0,05	0,02	0,01	0,008	0,06	0,02
Fósforo (**)	mg/kg	0,1	0,40	0,00	0,60	0,20	0,40	0,35
Potasio Disponible (**)	ppm	—	156,39	449,62	58,64	175,94	0,00	0,00
<b>Bases Intercambiables(**)</b>								
Calcio <sup>2+</sup> (**)	C mol(+)/Kg	—	1,20	6,00	2,60	1,70	1,40	1,20
Magnesio <sup>2+</sup> (**)	C mol(+)/Kg	—	3,75	0,30	1,80	2,50	1,00	0,40
Potasio (**)	C mol(+)/Kg	—	0,3	0,49	0,47	0,31	0,52	0,49
Sodio (**)	C mol(+)/Kg	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0,1	0,25	1,25	9,10	9,60	17,75	38,75
Suma de Catones (**)	C mol(+)/Kg	—	5,48	8,04	13,97	14,11	20,67	40,84
Capacidad de Intercambio (**)	C mol(+)/Kg	—	7,00	10,00	14,00	16,00	21,00	21,00
<b>Análisis de Textura (**)</b>								
Arena (**)	%	—	22,88	18,72	20,72	16,72	16,72	14,72
Arcilla (**)	%	—	41,28	51,28	51,28	57,28	37,28	53,28
Limo (**)	%	—	35,84	30,00	28,00	26,00	48,00	32,00
Clase Textural (**)	—	—	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso	Franco Arcillo Limoso	Arcilloso



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliáres  
Acreditado con la Norma  
NTP-ISO/IEC 17025:2017  
Dirección: Anexo Rinconada Salcedo S/N, Puno - Puno

Página 1 de 3  
F-48 / Ver. 03  
www.inia.gob.pe

INFORME DE ENSAYO  
N° 08254-23/SU/ LABSAF - ILLPA



ITEM	7	8	9	10	11	12	
Código de Laboratorio	SU3223-ILL-23	SU3224-ILL-23	SU3225-ILL-23	SU3226-ILL-23	SU3227-ILL-23	SU3228-ILL-23	
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	
Fecha de Muestreo*	2023-07-07	2023-07-07	2023-07-07	2023-07-07	2023-07-08	2023-07-08	
Hora de Inicio de Muestreo (h)*	10:45	10:45	14:00	14:00	09:45	09:45	
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL3(3)	CAL3(4)	CAL4(1)	CAL4(2)	CAL6(1)	CAL6(2)	
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>				
pH	unid. pH	0,1	4,5	4,4	4,6	4,2	4,5
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	1,7	1,7	4,4	4,6	3,3
Materia Orgánica (**)	%	0,2	0,32	0,30	0,87	0,43	1,07
Nitrógeno (**)	%	—	0,01	0,01	0,04	0,02	0,04
Fósforo (**)	mg/kg	0,1	0,30	2,35	7,15	0,20	0,15
Potasio Disponible (**)	ppm	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Bases Intercambiables(**)</b>							
Calcio <sup>2+</sup> (**)	C mol(+)/Kg	—	0,80	0,90	6,20	0,80	0,90
Magnesio <sup>2+</sup> (**)	C mol(+)/Kg	—	1,20	3,00	0,90	0,20	4,30
Potasio (**)	C mol(+)/Kg	—	0,65	0,54	0,47	0,52	0,48
Sodio (**)	C mol(+)/Kg	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0,1	28,60	25,50	8,20	19,25	33,30
Suma de Cationes (**)	C mol(+)/Kg	—	31,25	29,94	8,97	20,77	38,98
Capacidad de Intercambio (**)	C mol(+)/Kg	—	20,10	10,00	9,00	12,60	13,80
<b>Análisis de Textura (**)</b>							
Arena (**)	%	—	14,72	26,72	28,72	30,72	26,72
Arcilla (**)	%	—	53,28	37,28	29,28	49,28	43,28
Limo (**)	%	—	32,00	36,00	42,00	20,00	30,00
Clase Textural (**)	—	—	Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Arcilloso	Arcilloso
<b>ITEM</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	
Código de Laboratorio	SU3229-ILL-23	SU3230-ILL-23	SU3231-ILL-23	SU3232-ILL-23	SU3233-ILL-23	SU3234-ILL-23	
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	
Fecha de Muestreo*	2023-07-08	2023-07-10	2023-07-10	2023-07-10	2023-07-10	2023-07-07	
Hora de Inicio de Muestreo (h)*	09:45	10:15	10:15	10:15	15:00	10:20	
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL6(3)	CAL7(1)	CAL7(2)	CAL7(3)	Suelos de Plátano	Suelo café	
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>				
pH	unid. pH	0,1	4,3	4,1	4,5	4,5	6,1
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	2,3	5,2	1,4	1,6	5,9
Materia Orgánica (**)	%	0,2	0,32	1,40	0,71	0,27	1,59
Nitrógeno (**)	%	—	0,01	0,05	0,04	0,01	0,07
Fósforo (**)	mg/kg	0,1	0,15	0,15	0,10	0,05	2,20
Potasio Disponible (**)	ppm	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Bases Intercambiables(**)</b>							
Calcio <sup>2+</sup> (**)	C mol(+)/Kg	—	0,60	0,80	1,00	0,90	6,50
Magnesio <sup>2+</sup> (**)	C mol(+)/Kg	—	18,40	0,20	0,10	0,30	5,20
Potasio (**)	C mol(+)/Kg	—	0,49	0,66	0,68	0,66	0,34
Sodio (**)	C mol(+)/Kg	—	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio Intercambiable (**)	C mol(+)/Kg	0,1	47,05	2,55	1,45	1,30	0,25
Suma de Cationes (**)	C mol(+)/Kg	—	66,54	4,21	3,23	3,16	12,39
Capacidad de Intercambio (**)	C mol(+)/Kg	—	26,08	5,00	4,10	4,20	14,00
<b>Análisis de Textura (**)</b>							
Arena (**)	%	—	54,72	10,72	10,72	28,72	26,72
Arcilla (**)	%	—	27,28	29,28	59,28	43,28	19,28
Limo (**)	%	—	18,00	60,00	30,00	28,00	54,00
Clase Textural (**)	—	—	Franco Arcilloso Arenoso	Franco Arcilloso Limoso	Arcilloso	Arcilloso	Franco Limoso

INFORME DE ENSAYO  
N° 08254-23/SU/ LABSAF - ILLPA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994/Cor.1 1996. Soil quality- Determination of the Specific Electrical Conductivity-Technical Corrigendum 1.
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9 AS-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Nitrógeno	ISO 11261_1995. First edition. Soil quality-Determination of total nitrogen-Modified Kjeldahl method.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10 AS-10. 2000. Determinación de fósforo por el método de Olsen y colaboradores.
Potasio Disponible	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA, Ed. 1era 2017, ítem 4.9.1, Pag.62. Potasio Disponible.
Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.17 AS-33. Determinación de la acidez y el aluminio intercambiable de cloruro de potasio.
Carbonatos de calcio equivalente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.25 AS-29.2000. Determinación de Carbonato de calcio por el método de Neutralización Ácida.
Bases Intercambiables	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7. 1.12 AS-12.2000. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Intercambiables de suelo con acetato de amonio.

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras. Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
  - Medición de pH realizada a 25 °C
  - Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.  
(\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.  
(\*\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

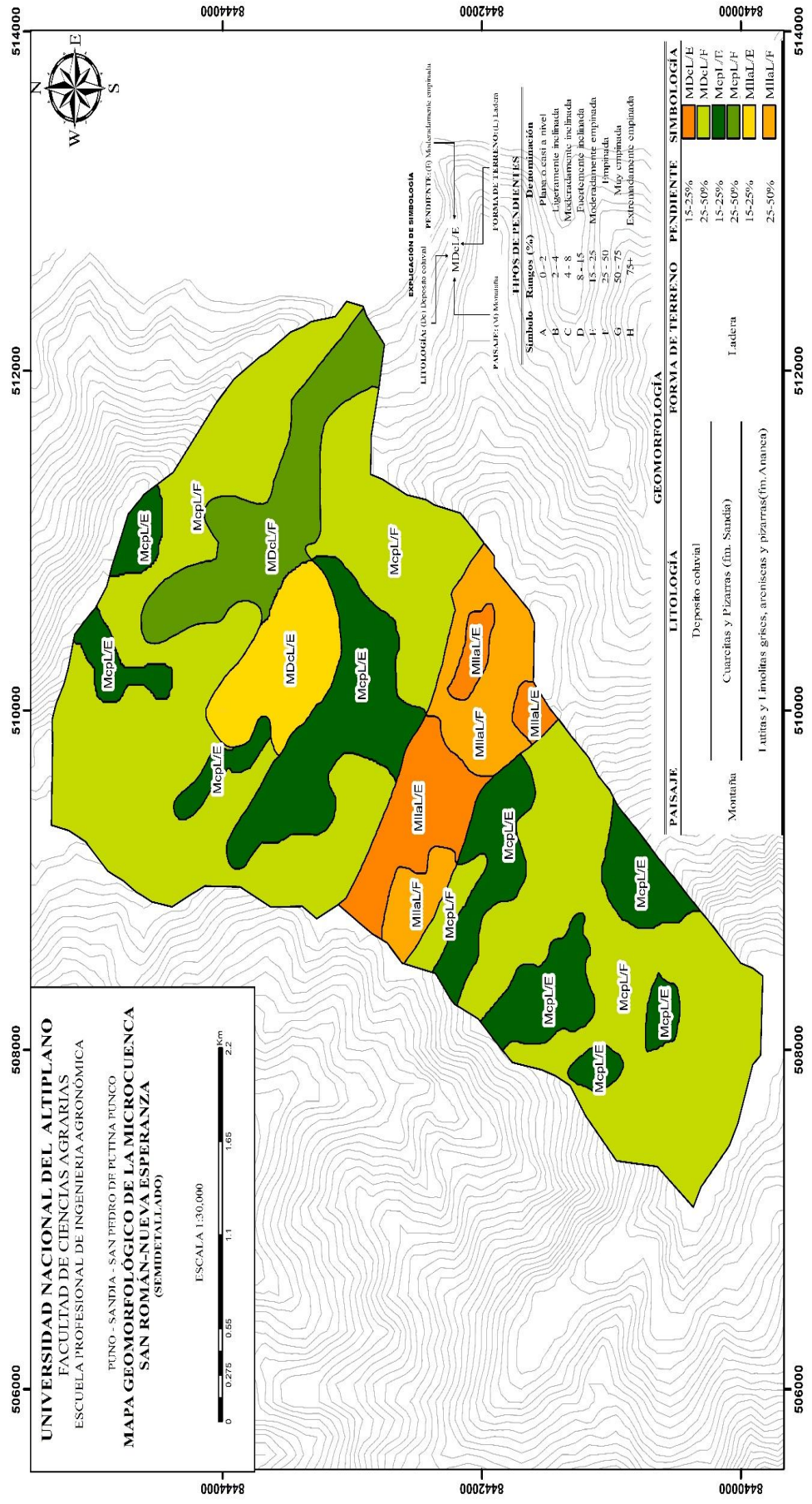
- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Jorge Canihua - Responsable del laboratorio del LABSAF Illpa.



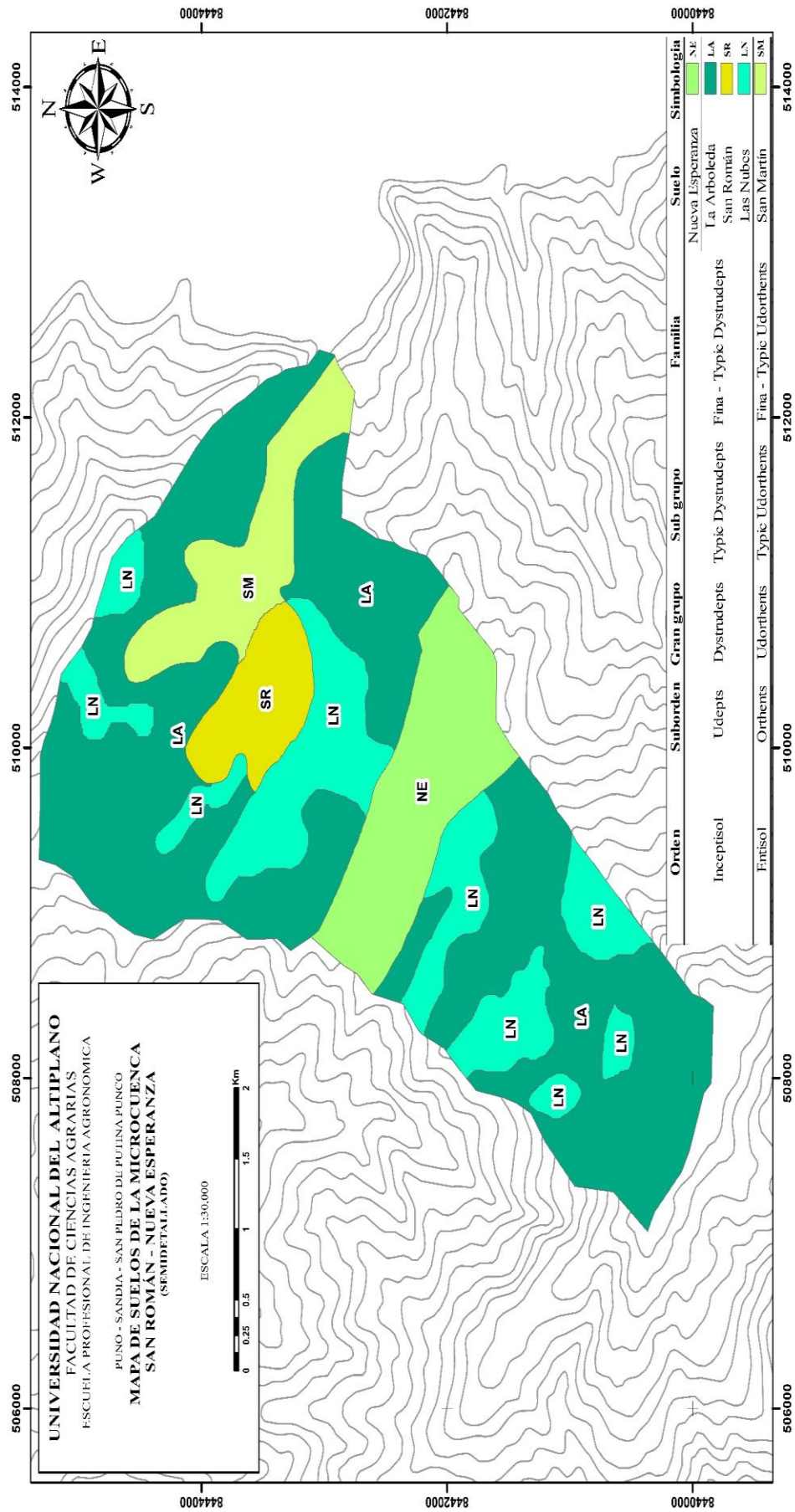
Firma  
Jorge Canihua Rojas  
Responsable de Laboratorio LABSAF Illpa

FIN DE INFORME DE ENSAYO

ANEXO 5. Mapa geomorfológico de la microcuenca San Román



ANEXO 6. Mapa de suelos de la microcuenca San Román





## ANEXO 7. Descripción de perfil modal de suelo Nueva Esperanza

Descripción de perfil modal de la Cal-1		
Características Generales		
<b>Lugar</b>	: Sector Nueva Esperanza, Dist. de San Pedro de Putina Punco, Prov. Sandia y departamento de Puno	
<b>Coordenadas Geográficas</b>	: 14° 5' 36.276" Latitud sur, 68° 54' 26.937" Longitud oeste	
<b>Coordenadas UTM</b>	: UTM Zona 19S, Este: 509987, Norte: 8441941	
<b>Altitud</b>	: 1370 m.s.n.m.	
<b>Suelo</b>	: Nueva Esperanza	
<b>Clasificación Natural</b>	: Soil Taxonomy (2022): Fina - Typic Dystrudepts	
<b>Material Parental</b>	: Residual	
<b>Paisaje</b>	: Montaña	
<b>Unidad geomorfológica</b>	: Ladera	
<b>Pendiente</b>	: 25 - 50%	
<b>Vegetación</b>	: Chilca ( <i>Baccharis Latifolia</i> ), Cise, Raqui ( <i>Blechnum serrulatum</i> )	
<b>Pedregosidad superficial</b>	: Libre	
<b>Zona de vida</b>	: Bosque Húmedo Subtropical	
<b>Descrito y elaborado por</b>	: Paul Brayan Condori Yucra. Diciembre de 2023	
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-15	Arcilloso; pardo oscuro (7.5YR 3/4), en húmedo; granular fino, moderado; firme; moderadamente ácido (pH 5.60); contenido de materia orgánica de 1.34%; raíces medias y finas, comunes; Límite de horizonte gradual al
Bw1	15-45	Arcilloso; pardo rojizo oscuro (5YR 3/4), en húmedo; bloques angulares gruesos, moderado; muy friable; fuertemente ácido (pH 5.1); contenido de materia orgánica de 0.35%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares 20%, guijarros en un 30%; Límite de horizonte difuso al
Bw2	45-95	Arcilloso; pardo rojizo oscuro (5YR 3/4), en húmedo; bloques angulares medios, moderado; friable; extremadamente ácido (pH 4.4); contenido de materia orgánica de 0.38%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 10%; Límite de horizonte gradual al
C	95-150	Arcilloso; rojo (2.5 YR 4/6), en húmedo; masivo; muy friable; muy fuertemente ácida (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.24%; presencia de piedras angulosas en 25%.

### ANEXO 8. Paisaje (calicata N° 1) suelo Nueva Esperanza



### ANEXO 9. Perfil del suelo (calicata N° 1) suelo Nueva Esperanza



## ANEXO 10. Descripción de perfil modal de suelo San Román

Descripción de perfil modal de la Cal-3		
Características Generales		
<b>Lugar</b>	: Sector San Román, Dist. de San Pedro de Putina Punco, Prov. Sandía y departamento de Puno	
<b>Coordenadas Geográficas</b>	: 14° 4' 54.049" Latitud sur, 68° 54' 4.811" Longitud oeste	
<b>Coordenadas UTM</b>	: UTM Zona 19S, Este: 510651, Norte: 8443238	
<b>Altitud</b>	: 1132 m.s.n.m.	
<b>Suelo</b>	: San Román	
<b>Clasificación Natural</b>	: Soil Taxonomy (2022): Fina - Typic Dystrudepts	
<b>Material Parental</b>	: Residual	
<b>Paisaje</b>	: Montaña	
<b>Unidad geomorfológica</b>	: Ladera	
<b>Pendiente</b>	: 15 - 25%	
<b>Vegetación</b>	: Matico ( <i>Buddleja globosa</i> ), Bambú, Café ( <i>Coffea arabica</i> )	
<b>Pedregosidad superficial</b>	: Libre	
<b>Zona de vida</b>	: Bosque Húmedo Subtropical	
<b>Descrito y elaborado por</b>	: Paul Brayan Condori Yucra. Diciembre de 2023	
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-25	Franco arcillo limoso; rojo amarillento (5YR 4/6), en húmedo; bloques angulares medios, moderado; firme; muy fuertemente ácida (pH 4.60); contenido de materia orgánica de 1.26%; raíces medias y finas, comunes; presencia de gravas angulares en un 30 %, guijarros angulares 50 %; Límite de horizonte claro al
Bw1	25-60	Arcilloso; rojo (2.5YR 4/8), en húmedo; bloques angulares medios, moderado; muy friable; extremadamente ácido (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.38%; raíces finas y medias, pocas; presencia de gravas angulares 35%; Límite de horizonte gradual al
Bw2	60-100	Arcilloso; rojo (2.5YR 5/8), en húmedo; Bloques subangulares finos, moderado; muy friable; muy fuertemente ácido (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.32%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares en un 15%; Límite de horizonte difuso al
C	100-140	Franco Arcilloso; rojo (2.5YR 4/8), en húmedo; masivo; muy friable; extremadamente ácido (pH 4.4); contenido de materia orgánica de 0.24%; presencia de piedras angulosas en 25%.

### ANEXO 11. Paisaje de montaña (calicata N° 3) suelo San Román



### ANEXO 12. Perfil del suelo (calicata N° 3) suelo San Román





### ANEXO 13. Descripción de perfil modal de suelo San Martín

Descripción de perfil modal de la Cal-4		
Características Generales		
<b>Lugar</b>	: Sector San Román, Dist. de San Pedro de Putina Punco, Prov. Sandia y departamento de Puno	
<b>Coordenadas Geográficas</b>	: 14° 4' 19.774" Latitud sur, 68° 54' 7.260" Longitud oeste	
<b>Coordenadas UTM</b>	: UTM Zona 19S, Este: 510578, Norte: 8444291	
<b>Altitud</b>	: 1227 m.s.n.m.	
<b>Suelo</b>	: San Martín	
<b>Clasificación Natural</b>	: Soil Taxonomy (2022): Fina - Typic Udorthents	
<b>Material Parental</b>	: Deposito coluvial	
<b>Paisaje</b>	: Montaña	
<b>Unidad geomorfológica</b>	: Ladera	
<b>Pendiente</b>	: 15 - 25%	
<b>Vegetación</b>	: Palta ( <i>Persea americana</i> ), Tocado, Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> )	
<b>Pedregosidad superficial</b>	: Libre	
<b>Zona de vida</b>	: Bosque Húmedo Subtropical	
<b>Descrito y elaborado por</b>	: Paul Brayan Condori Yucra. Diciembre de 2023	
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-18	Franco arcilloso; pardo rojizo oscuro (5YR 3/4), en húmedo; granular fino y débil en un 50%, bloques angulares medios finos en un 50%; muy friable; muy fuertemente ácido (pH 4.60); contenido de materia orgánica de 0.87%; raíces medias y finas, comunes; presencia de gravas angulosas en un 40%, guijarros angulosos en un 40%; Límite de horizonte gradual al
C	18-120	Arcilloso; rojo amarillento (5YR 4/6), en húmedo; masivo; muy friable; fuertemente ácido (pH 4.1); contenido de materia orgánica de 0.43%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares 50%, guijarros en un 40% y piedras angulosas en un 5%.

#### ANEXO 14. Paisaje de montaña (calicata N° 4) suelo San Martín



#### ANEXO 15. Perfil del suelo (calicata N° 4) suelo San Martín





## ANEXO 16. Descripción de perfil modal de suelo La Arboleda

Descripción de perfil modal de la Cal-6		
Características Generales		
<b>Lugar</b>	: Sector San Román, Dist. de San Pedro de Putina Punco, Prov. Sandía y departamento de Puno	
<b>Coordenadas Geográficas</b>	: 14° 4' 59.112" S" Latitud sur, 68° 54' 50.862" W" Longitud oeste	
<b>Coordenadas UTM</b>	: UTM Zona 19S, Este: 509270, Norte: 8443083	
<b>Altitud</b>	: 1422 m.s.n.m.	
<b>Suelo</b>	: La Arboleda	
<b>Clasificación Natural</b>	: Soil Taxonomy (2022): Fina - Typic Dystrudepts	
<b>Material Parental</b>	: Residual	
<b>Paisaje</b>	: Montaña	
<b>Unidad geomorfológica</b>	: Ladera	
<b>Pendiente</b>	: 25 - 50%	
<b>Vegetación</b>	: Matico ( <i>Buddleja globosa</i> ), Bambú, Café ( <i>Coffea arabica</i> )	
<b>Pedregosidad superficial</b>	: Libre	
<b>Zona de vida</b>	: Bosque Húmedo Subtropical	
<b>Descrito y elaborado por</b>	: Paul Brayan Condori Yucra. Diciembre de 2023	
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-35	Arcilloso; pardo (7.5YR 4/4), en húmedo; bloques angulares medios, moderado; firme; extremadamente ácida (pH 4.20); contenido de materia orgánica de 1.07%; raíces medias y finas, pocas; presencia de gravas angulares en un 26%; Límite de horizonte claro.
Bw	35-60	Arcilloso; pardo amarillento (10YR 5/6), en húmedo; bloques angulares medios, moderado; muy friable; extremadamente ácido (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.41%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares 25%, guijarros angulosos en un 10%; Límite de horizonte difuso.
C	60-120	Franco arcillo arenoso; rojo (10R 4/8), en húmedo; masivo; friable; muy fuertemente ácido (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.32%; presencia de guijarros angulares en un 15%.

### ANEXO 17. Paisaje de montaña (calicata N° 6) suelo La Arboleda



### ANEXO 18. Perfil del suelo (calicata N° 6) suelo La Arboleda





## ANEXO 19. Descripción de perfil modal de suelo Las Nubes

Descripción de perfil modal de la Cal-7		
Características Generales		
<b>Lugar</b>	: Sector Nueva Esperanza, Dist. de San Pedro de Putina Punco, Prov. Sandía y departamento de Puno	
<b>Coordenadas Geográficas</b>	: 14° 5' 56.023" Latitud sur, 68° 55' 26.693" Longitud oeste	
<b>Coordenadas UTM</b>	: UTM Zona 19S, Este: 508195, Norte: 8441335	
<b>Altitud</b>	: 1555 m.s.n.m.	
<b>Suelo</b>	: Las Nubes	
<b>Clasificación Natural</b>	: Soil Taxonomy (2022): Fina - Typic Dystrudepts	
<b>Material Parental</b>	: Residual	
<b>Paisaje</b>	: Montaña	
<b>Unidad geomorfológica</b>	: Ladera	
<b>Pendiente</b>	: 15 - 25%	
<b>Vegetación</b>	: Limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ), Café ( <i>Coffea arabica</i> )	
<b>Pedregosidad superficial</b>	: Libre	
<b>Zona de vida</b>	: Bosque Húmedo Subtropical	
<b>Descrito y elaborado por</b>	: Paul Brayan Condori Yucra. Diciembre de 2023	
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-35	Franco arcillo limoso; pardo (7.5YR 4/4), en húmedo; bloques angulares medios, moderado; firme; moderadamente ácido (pH 4.10); contenido de materia orgánica de 1.40%; raíces medias y finas, pocas; Límite de horizonte gradual al
Bw	35-68	Arcilloso; pardo amarillento (10YR 5/6), en húmedo; bloques angulares medios, moderado; firme; extremadamente ácido (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.71%; raíces medias, pocas; presencia de gravas angulares 50%, Límite de horizonte difuso al
C	68-120	Arcilloso; amarillo pardoso (10YR 5/8), en húmedo; masivo; firme; extremadamente ácida (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.27%; presencia de gravas angulosas en 30%, guijarros angulosos en un 10%

**ANEXO 20.** Paisaje de montaña (calicata N° 7) suelo Las Nubes



**ANEXO 21.** Perfil del suelo (calicata N° 7) suelo Las Nubes



## ANEXO 22. Muestras obtenidas que representan a horizontes del suelo



## ANEXO 23. Pesado de muestras del suelo



## ANEXO 24. Secado de muestras del suelo



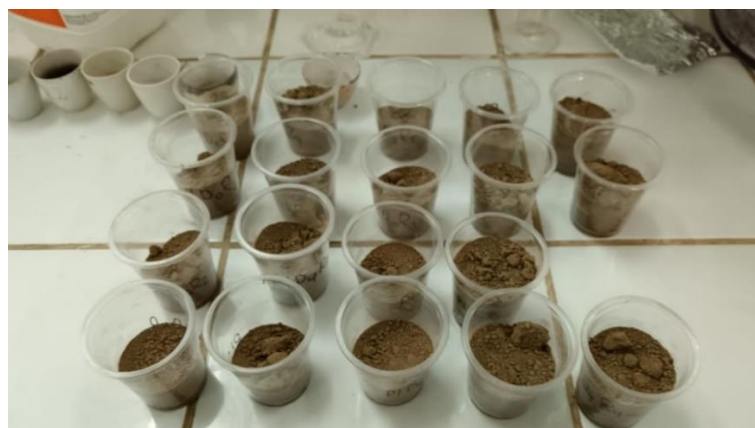
## ANEXO 25. Incubación de las muestras de suelo



### ANEXO 26. Secado de muestra para determinar pH y aluminio



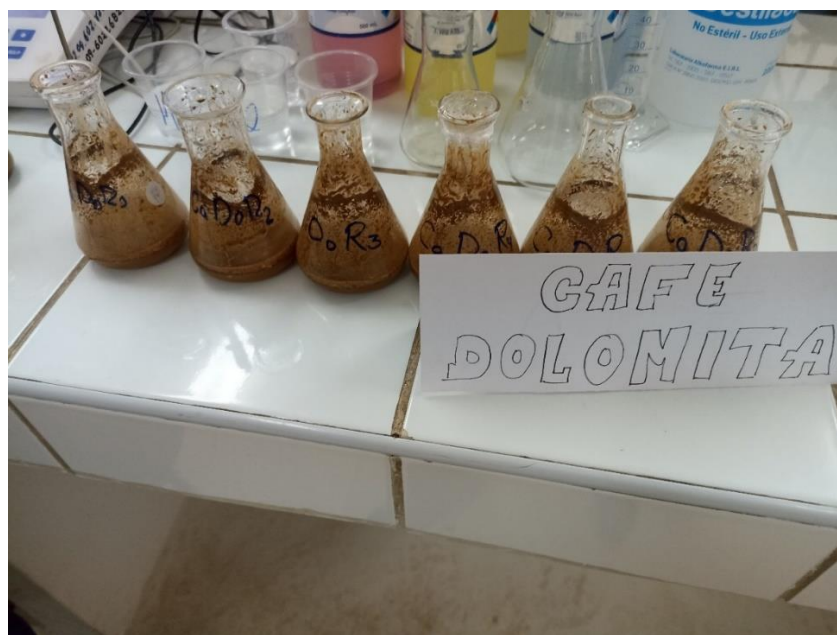
### ANEXO 27. Muestras del tratamiento (dolomita)



### ANEXO 28. Agitación de las muestras de suelo



### ANEXO 29. Muestras de suelo del cultivo de café



### ANEXO 30. Muestras de suelo del cultivo de plátano



### ANEXO 31. Análisis de Aluminio en muestras de suelo del cultivo de plátano



### ANEXO 32. Análisis de aluminio en muestras de suelo del cultivo de café



### ANEXO 33. Incubación de los tratamientos experimentales







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

Por el presente documento, Yo Paul Brayan Condori Yucra identificado con DNI 77081209 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:

“ Clasificación y corrección de suelos ácidos mediante la aplicación de dolomita en plantaciones de café y plátano en la microcuenca San Román ”

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 17 de diciembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Paul Brayon Condori Yucra  
identificado con DNI 77081209 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:  
" Clasificación y corrección de suelos ácidos mediante  
la aplicación de dolomita en plantaciones de  
café y plátano en la microcuenca San Román "

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 17 de diciembre del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella