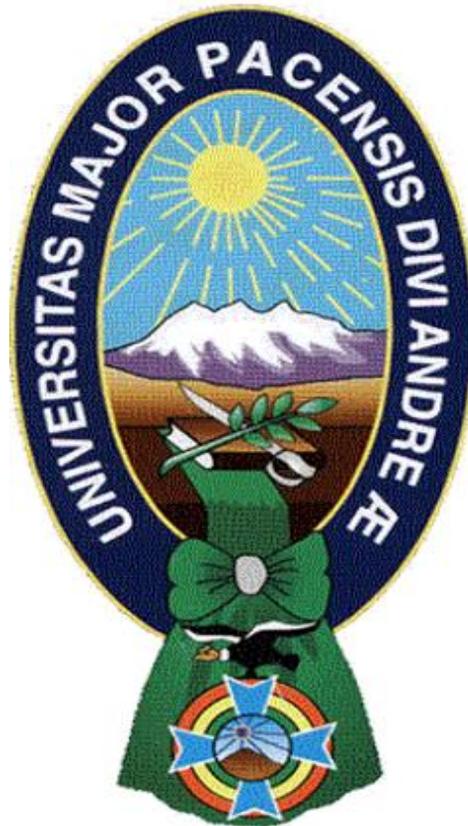


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACION DEL EFECTO DE DOS NIVELES DE ENCALADO DEL SUELO CON
DOLOMITA EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*) EN EL CANTON
TAIPIPLAYA DEL MUNICIPIO DE CARANAVI**

TATIANA MARINA QUILLA MERCADO

La paz – Bolivia

2024

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE AGRONOMIA

CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA

EVALUACION DEL EFECTO DE DOS NIVELES DE ENCALADO DEL SUELO CON DOLOMITA EN EL CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*) EN EL CANTON TAIPIPLAYA DEL MUNICIPIO DE CARANAVI

Tesis de grado presentado
como requisito parcial para
obtener el título académico
de ingeniera

Presentado por:

TATIANA MARINA QUILLA MERCADO

ASESOR:

Ing. Ph.D. Vladimir Orsag Céspedes

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. M.Sc. Carlos Eduardo Choque Tarqui

Ing. Ph.D. Roberto Miranda Casas

Ing. Casto Maldonado Fuentes

Aprobado

Presidente Tribunal Examinador

La Paz – Bolivia

2024



DEDICATORIA

A mis padres: Fermin Luis Quilla Huallpa y Filomena Mercado Palacios, quienes están siempre a mi lado en cada etapa de mi vida impulsándome a salir adelante en cada uno de mis objetivos.

A mis hermanos que me han apoyado durante los años de carrera.

A mis sobrinos Fernando, especialmente mi sobrina Belen quien ha sido un apoyo moral muy importante para mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por permitirme sobrellevar todas las situaciones durante este camino, por haberme otorgado una familia maravillosa que fue, es y será gran ejemplo a seguir tanto en el ámbito laboral como personal.

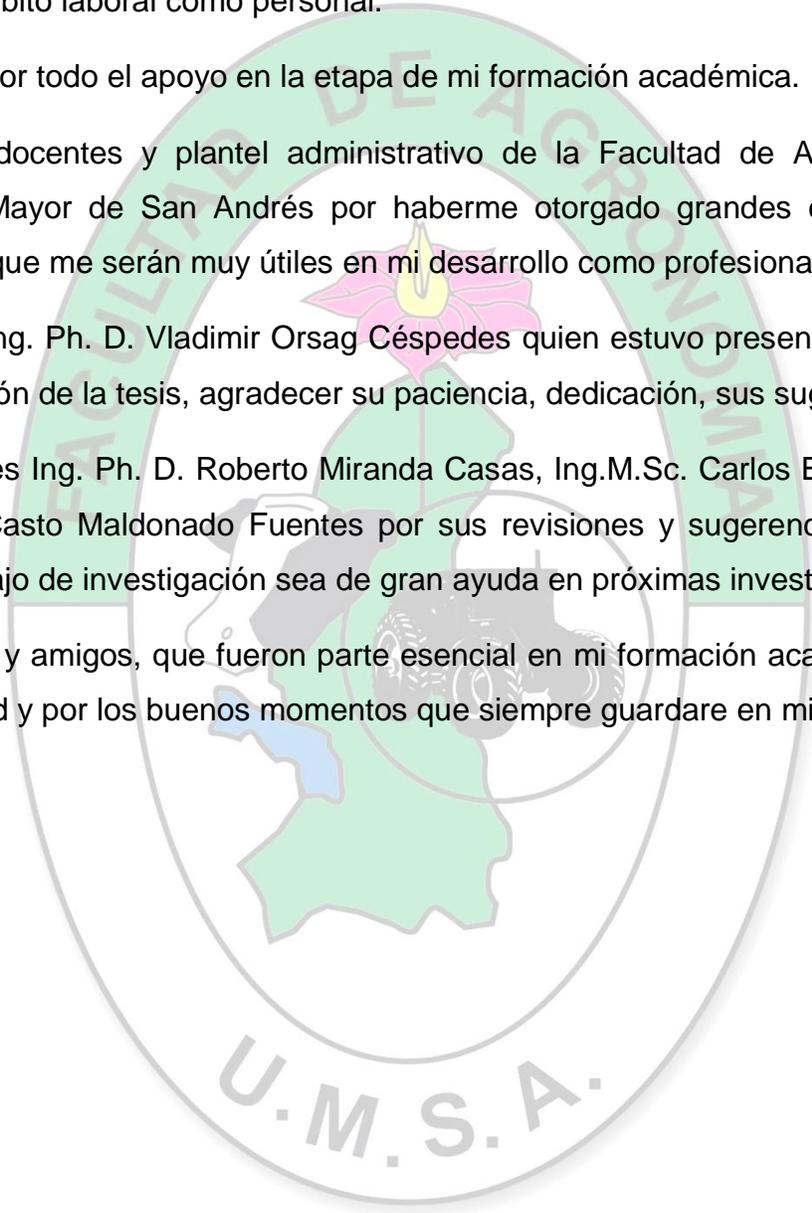
A mi familia, por todo el apoyo en la etapa de mi formación académica.

A todos los docentes y plantel administrativo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés por haberme otorgado grandes conocimientos y experiencias que me serán muy útiles en mi desarrollo como profesional.

A mi asesor Ing. Ph. D. Vladimir Orsag Céspedes quien estuvo presente en cada paso de la realización de la tesis, agradecer su paciencia, dedicación, sus sugerencias.

A los tribunales Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas, Ing.M.Sc. Carlos Eduardo Choque Tarqui, Ing. Casto Maldonado Fuentes por sus revisiones y sugerencias para que el presente trabajo de investigación sea de gran ayuda en próximas investigaciones.

A mis amigas y amigos, que fueron parte esencial en mi formación académica, gracias por su amistad y por los buenos momentos que siempre guardare en mi corazón.



INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Justificación	2
1.3. OBJETIVO	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
2.1 El suelo y sus Características Nutricionales	5
2.1.1 Suelo.....	5
2.1.2 Fertilidad del suelo	6
2.1.2.3 Propiedades biológicas del suelo.....	15
2.2.1 Acidez del Suelo.....	15
2.2.1 Causas de la acidez	16
2.2.2 Factores que provocan la acidez en el suelo	17
2.3 Degradación del suelo	17
2.4 Encalado	18
2.4.1 Criterio de encalado	18
2.4.2 Calidad de material encalante	19
2.4.3 Beneficios del encalado	19
2.5. Dolomita.....	20
2.5.1 Aplicación de dolomita	21
2.6 Restauración del suelo acido	21
2.7 Cultivo de café	22
2.7.1 Origen.....	22
2.7.2 Clasificación taxonómica del café.....	22
2.7.3 Morfología general del café	22
2.7.4 Café a Nivel Nacional.....	26
3. LOCALIZACION.....	27
3.1 Ubicación del Área de Estudio	27
3.2 Condiciones climáticas	28
3.3 Suelos	28

3.4 Topografía	28
3.5 Flora	29
3.6 Fauna.....	30
4. MATERIALES Y METODOS	31
4.1 Materiales	31
4.1.1 Materiales de campo.....	31
4.1.2 Materiales de gabinete.....	31
4.1.3 Insumos	31
4.1.4 Material biológico	31
4.2 Métodos	32
4.2.1 Fase de gabinete	32
4.2.2 Fase de campo I.....	32
4.2.3 Fase de campo II.....	33
4.2.4 Fase de laboratorio.....	34
4.2.5 Fase de campo III.....	36
4.3 Análisis Estadístico	36
4.3.1 Diseño experimental	36
4.3.2 Factores y tratamientos de estudio.....	37
4.3.3 Croquis del campo experimental.....	38
4.3.4 Descripción del campo experimental	38
4.4 Variables de respuesta	39
4.4.1 Variables edáficas.....	39
4.4.2 Variables agronómicas	39
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	40
5.1 Comportamiento climático durante el periodo de estudio	40
5.1.1 Precipitación.....	40
5.1.2 Temperatura	41
5.1.3 Humedad Relativa	42
5.2 Características iniciales de suelos del área de estudio	43
5.2.1 Propiedades físicas	43
5.2.2 Propiedades químicas	43
5.3 Efecto de la aplicación de dolomita sobre las propiedades del suelo.....	45
5.3.1 Efecto de la dolomita sobre la acidez del suelo (pH)	45

5.3.2 Efecto de la dolomita sobre el calcio intercambiable	47
5.3.3 Efecto de la dolomita sobre Magnesio intercambiable	49
5.3.4 Efecto de la dolomita sobre la saturación de bases	51
5.3.5 Efecto de la dolomita sobre Acidez intercambiable (Al+H).....	53
5.3.6 Efecto de la dolomita sobre la Materia Orgánica	56
5.3.7 Efecto de la dolomita sobre el Fosforo disponible	58
5.4 Efecto de la aplicación de dolomita sobre las variables del cultivo de café.....	59
5.4.1 Altura de planta.....	59
5.4.2 Diámetro de planta	61
6. CONCLUSIONES	63
7. RECOMENDACIONES.....	64
8. BIBLIOGRAFIA.....	65
9. ANEXOS.....	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación de acidez del suelo</i>	9
Tabla 2. <i>Distribución de producción de café en Bolivia</i>	26
Tabla 3. <i>Vegetación existente en la región</i>	29
Tabla 4. <i>Especies cultivadas en la región</i>	30
Tabla 5. <i>Identificación del área de estudio</i>	32
Tabla 6. <i>Características del sistema de producción del cultivo de café (Coffea arábica)</i>	33
Tabla 7. <i>Descripción de área de investigación</i>	38
Tabla 8. <i>Composición granulométrica del área de estudio</i>	43
Tabla 9. <i>Parámetros químicos inicial del suelo</i>	45
Tabla 10. <i>Análisis de varianza del pH final del suelo</i>	47
Tabla 11. <i>Análisis de varianza del Calcio Intercambiable</i>	48
Tabla 12. <i>Análisis de varianza de Magnesio intercambiable</i>	50
Tabla 13. <i>Análisis de varianza de la Materia Orgánica</i>	57
Tabla 14. <i>Análisis de varianza del Fosforo disponible</i>	59
Tabla 15. <i>Análisis de varianza de la altura de planta</i>	60
Tabla 16. <i>Comparación de medias para la variable altura de planta</i>	61
Tabla 17. <i>Análisis de varianza del diámetro de la planta</i>	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ubicación geográfica de la zona de estudio Caranavi – canton Taypiplaya</i>	27
Figura 2. <i>Comparación de la precipitación durante el tiempo de estudio y durante la gestión 2010 a 2020</i>	40
Figura 3. Comportamiento de la temperatura máximas y mínimas durante el tiempo en estudio	41
Figura 4. <i>Comportamiento de la Humedad relativa máximas y mínimas durante el tiempo en estudio</i>	42
Figura 5. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en el pH</i>	46
Figura 6. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en el Calcio intercambiable</i>	48
Figura 7. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en el Magnesio intercambiable</i>	50
Figura 8. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en la Saturación de bases</i>	53
Figura 9. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en la acidez intercambiable (Al+H)</i>	54
Figura 10. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en el porcentaje de saturación de acidez intercambiable</i>	56
Figura 11. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en la Materia Orgánica (M.O.)</i>	57
Figura 12. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en el fosforo disponible (P)</i>	58
Figura 13. <i>Efecto de la incorporación de dolomita en la altura de planta (Coffea arábica)</i>	60
Figura 14. Efecto de la incorporación de dolomita, en el diámetro de la planta (Coffea arábica)	61

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la comunidad Ingavi II, en el cantón de Taypiplaya del municipio de Caranavi, con el objetivo de: Evaluar el efecto de dos niveles de encalado del suelo con dolomita en el cultivo del café (*Coffea arabica*), mediante la aplicación de tres tratamientos (T0=Testigo, T1=440Kg/ha y T2=520Kg/ha) y bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Para ello, se realizaron análisis del suelo, la primera previa a la incorporación de la cal dolomítica ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), y la segunda pasando 150 días de la aplicación de esta enmienda. El suelo presento inicialmente con un pH de 4,62 el cual es clasificado fuertemente ácido. Los valores de calcio intercambiable y magnesio intercambiable fueron 0,84 y 0,62 meq/100gS respectivamente. La acidez intercambiable fue de 3,13 meq/100gS catalogado como alto. En base a los análisis realizados a los 150 días después de la aplicación, el tratamiento cuyos valores incrementaron más con respecto al otro tratamiento, fue el T2 (520Kg/ha), donde el nivel de pH alcanzo a 4,97 acercándose al rango óptimo para el cultivo de café. El calcio intercambiable, magnesio intercambiable, saturación de bases, acidez intercambiable, materia orgánica y fosforo disponible obtuvieron 1,08 meq/100gS, 1,5 meq/100gS, 49,97%, 2,35 meq/100gS, 6,1%, 5,53 ppm respectivamente, sin embargo, los resultados de laboratorio en el análisis estadístico a expuesto no significativo para los parámetros pH, calcio intercambiable, magnesio intercambiable, saturación de bases, acidez intercambiable, materia orgánica y fosforo disponible. Al determinar altura y diámetro de planta los análisis estadísticos demostraron valores de significancia en los tratamientos evaluados, siendo el T2 (520Kg/ha) que mayor altura y diámetro ha alcanzado con valores de 125cm de altura y 30 mm de diámetro seguido del T1 (440Kg/ha) cuya altura fue 124 cm y diámetro de 30 mm.

SUMMARY

The present research work was carried out in the Ingavi II community, in the Taypiplaya canton of the municipality of Caranavi, with the objective of: Evaluating the effect of two levels of liming of the soil with dolomite on the cultivation of coffee (*Coffea arabica*), through the application of three treatments (T0=Control, T1=440Kg/ha and T2=520Kg/ha) and under a completely randomized block design (DBCA). For this, soil analyzes were carried out, the first prior to the incorporation of dolomitic lime ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), and the second after 150 days of the application of this amendment. The soil initially had a pH of 4.62 which is classified as strongly acidic. The values of exchangeable calcium and exchangeable magnesium were 0.84 and 0.62meq/100gS respectively. The exchangeable acidity was 3.13meq/100gS, classified as high. Based on the analyzes carried out 150 days after application, the best treatment was T2 (520Kg/ha), where the pH level reached 4.97, approaching the optimal range for coffee cultivation. Exchangeable calcium, exchangeable magnesium, base saturation, exchangeable acidity, organic matter and available phosphorus obtained 1.08 meq/100gS, 1.5 meq/100gS, 49.97%, 2.35 meq/100gS, 6.1% , 5.53 ppm respectively, however, the laboratory results in the statistical analysis were not significant for the parameters pH, exchangeable calcium, exchangeable magnesium, base saturation, exchangeable acidity, organic matter and available phosphorus. When determining plant height and diameter, the statistical analyzes demonstrated significance values in the evaluated treatments, with T2 (520Kg/ha) being the one that reached the greatest height and diameter with values of 125cm in height and 30mm in diameter followed by T1 (440Kg/ha) whose height was 124 cm and diameter of 30 mm.

1. INTRODUCCION

El suelo es un recurso natural estratégico para la humanidad, no solo por la producción de alimentos esenciales para la vida del ser humano, sino también, por las funciones ambientales, económicas, sociales y culturales que cumple. Desde que el hombre utiliza este recurso se afecta el equilibrio inicial en el que se encuentra, generando cambios físicos, químicos y biológicos, alterando en la mayoría de los casos sus diferentes funciones ecosistémicas y su capacidad productiva (Lima, 2019).

Los suelos en zonas tropicales y subtropicales tienen una tendencia a ser ácidos con pH menores a 5,5 además de presentar altos contenidos de aluminio y manganeso intercambiable, contribuyendo a la deficiencia de elementos tales como el fósforo, potasio, calcio y magnesio; que aliada a niveles tóxicos de aluminio se constituyen en las principales limitantes de la producción agrícola. Es por esta razón que muchos agricultores se ven obligados a mejorar las propiedades del suelo y mediante la aplicación de enmiendas químicas como la Dolomita, con la finalidad de reducir el exceso de aluminio, haciendo disponible los nutrientes del suelo para la planta y mejorando las condiciones para el desarrollo de las raíces que se ven afectadas en condiciones de acidez.

Al elevar el pH, se desplaza al aluminio retenido por los coloides del suelo y precipitarlos en formas poco solubles para evitar sus efectos negativos.

El encalado tiene un efecto benéfico sobre propiedades físicas del suelo, en especial en la estructura, debido que el efecto floculante de la cal mejora la agregación de partículas y en consecuencia las condiciones de aireación y movimiento de agua. Un efecto indirecto es de favorecer el incremento de la población, tamaño y actividad de las lombrices del suelo (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La acidez del suelo puede afectar el crecimiento de las plantas en forma directa, pero también indirecta ya que incide negativamente en la disponibilidad de nutrientes, los niveles de elementos fitotóxicos, la actividad microbiana y hasta en las condiciones físicas de los suelos (Vázquez, 2013)

La producción y exportación del café en nuestro país es un tema que merece atención siendo uno de los principales productos genéricos que se comercializan en el mercado mundial, cuya producción se realiza por lo general en las zonas tropicales. El 96% de la producción de café en Bolivia se concentra en las provincias de Caranavi, Nor y Sud Yungas del departamento

de La Paz, la especie que se produce es la Arábica, seguido 2 por Santa Cruz con un 3% y Cochabamba con un 1%, así lo manifiesta el MDRyT (2019).

1.1 Planteamiento del Problema

La caficultura es una de las actividades económicas más importantes para el municipio de Caranavi, sin embargo, los suelos de este sector tienden a presentar pH bajos de ácidos a extremadamente ácidos, los principales factores son las elevadas temperaturas, precipitaciones, teniendo como resultado el lavado de nutrientes, suelos que necesariamente requieren de la aplicación de enmiendas

En el municipio de Caranavi la técnica del encalado se realiza empíricamente con dosificaciones que son recomendados por comerciantes de insumos agrícolas. El agricultor con estas recomendaciones, realiza el encalado en sus parcelas sin una base técnica. Aplicando en algunos casos; cantidades innecesarias, desperdiciando el producto, afectando directamente la economía del productor; o afectando algunas propiedades del suelo como la microbiología además de la disponibilidad de nutrientes por problemas de sobrencalado; o caso contrario aplicación de bajas cantidades del producto el cual no será tan significativo.

Entonces, la pregunta que nos planteamos para la presente investigación es la siguiente:
¿qué dosis de dolomita es la adecuada para el encalado de suelos cafetaleros en el cantón de Taipiplaya municipio Caranavi?

1.2 Justificación

Los suelos ácidos en zonas de Caranavi han sido un problema a lo largo del tiempo para la producción de diversos cultivos, en los que el cultivo del café está siendo afectado.

Las condiciones de acidez ($\text{pH} < 5,5$), el exceso de aluminio afecta al crecimiento normal de las raíces; circunstancia que reduce la absorción de nutrientes y el desarrollo de la parte aérea de la planta. ocasionando bajos rendimientos.

El rendimiento en promedio de café en Bolivia es de 402,32 Kg/ha comparado con el rendimiento en promedio en Colombia 1009 Kg/ha, resulta ser muy bajo. Así también resulta tener Bolivia uno de los rendimientos más bajos a nivel mundial cuyo rendimiento en promedio es de 700 Kg/ha. Esto a causa de la baja fertilidad de suelo, topografía accidentada, pendientes pronunciadas, suelos poco profundos, manejo inadecuado.

El IPDSA (Institución Pública Descentralizada Soberanía Alimentaria.) busca recomendar la dosis de enmienda química adecuada a los productores de café en un tiempo de investigación de 120 días, con el fin de apoyar e incentivar a productores a obtener café de mejor calidad, siendo el cultivo de mayor importancia económica en el municipio de Caranavi

Por tal motivo, el presente trabajo busca determinar la dosis adecuada de encalado en el cantón de Taipiplaya municipio de Caranavi, promoviendo la producción del café con buenos rendimientos.

1.3. OBJETIVO

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de dos niveles de encalado del suelo con dolomita en el cultivo del café (*Coffea arabica*) en el cantón de Taipiplaya del municipio de Caranavi

1.3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de dos dosificaciones de dolomita en las propiedades químicas del suelo del cantón de Taipiplaya
- Cuantificar el efecto de la dolomita en el crecimiento del cultivo de café (*Coffea arabica L*) en el cantón de Taipiplaya.
- Determinar la dosis apropiada de dolomita en el cultivo de café (*Coffea arabica L*) en el cantón de Taipiplaya

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 El suelo y sus Características Nutricionales

2.1.1 Suelo

Es la capa superior de la superficie sólida del planeta, formada por meteorización de las rocas, en la que están o pueden estar enraizadas las plantas y que constituye un medio ecológico particular para cierto tipo de seres vivos. El suelo resulta de la descomposición de la roca madre, por factores climáticos y la acción de los seres vivos. La descomposición de la roca madre puede hacerse por disgregación, factores físicos y mecánicos, por alteración, o descomposición química. En este proceso se forman unos elementos muy pequeños que conforman el suelo, los coloides, iones, y por su origen el suelo tendrá determinadas características. El suelo está compuesto de partículas de distintos tamaños, sustancias de origen orgánico, aire, agua y organismos. Es esta condición de composición organomineral lo que le permite ser un sustrato de multitud de especies vegetales y animales. (Álvarez et al., 2004)

El suelo es un recurso natural no renovable, al menos en una escala de tiempo humano. Tenemos por tanto la obligación de mantenerlo y conservarlo para presentes y futuras generaciones. Esto implica la necesidad de adaptarlo a diversos usos (agricultura, bosque, suelo urbano, industria, etc.), pero siempre tendiendo hacia un manejo sostenible de dicho recurso natural, de manera ordenada y controlada, manteniendo su calidad. (García, 2013).

El suelo es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la explotación agropecuaria y forestal (Martín y Adad, 2006).

Según Konijnburg (2006) el suelo es la capa de tierra donde crecen las raíces y de donde las plantas extraen el agua y el alimento que necesitan para crecer y mantenerse sanas.

Este está formado por minerales de la Roca Madre mezclados con materiales orgánicos (restos de lo que alguna vez tuvo vida). agua. aire y organismos vivos.

El suelo tarda miles de años en formarse y en muy poco tiempo se puede perder o degradar a causa de varios factores entre los que se encuentran las prácticas inadecuadas que utiliza el hombre (sobreexplotación agrícola en suelos pobres; el sobrepastoreo en tierras frágiles; la deforestación en zonas secas y en las partes altas de las cuencas; y el uso inapropiado de las prácticas de riego, causantes de la erosión. salinización o alcalinización de los valles)

2.1.2 Fertilidad del suelo

El estudio de la fertilidad en “química”, “física” y “biológica” para su abordaje particular, pero muchas veces resulta complicado separarlas. La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos (aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo). En este sentido se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización. La “fertilidad física” está relacionada con la capacidad del suelo de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos. Aspectos como la estructura, espacio poroso, retención hídrica, densidad aparente, resistencia a la penetración, entre otras, son algunas de las variables que se analizan en estudios de fertilidad física de suelos. La “fertilidad biológica” se vincula con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos, en todas sus formas. Los organismos del suelo son imprescindibles para sostener diversos procesos del suelo. Posiblemente sea el área de conocimiento edafológico menos desarrollado, pero con algunos avances interesantes en los últimos años en lo que se refiere a estudios enzimáticos y ecología microbiana de suelos. (INIA, 2015)

✓ 2.1.2.1 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos, junto con las químicas biológicas y mineralógicas, determinan la productividad de los suelos. El conocimiento de las propiedades físicas del suelo permite conocer mejor algunas actividades agrícolas vitales, tales como el laboreo, fertilización, drenaje, irrigación, conservación de suelos y aguas. (Miranda, 2004)

Considerando al suelo desde un punto de vista físico, se le puede definir como un sistema de gran complejidad, heterogéneo, disperso y trifásico (sólido, líquido y gaseoso). El sistema suelo, así definido muestra, como característica fundamental, un dinamismo intensivo, determinado por los efectos que provocan agentes tales como la luz, temperatura, presión, agua y organismos. (Miranda, 2004).

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes.

Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de

las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles. (Rucks et al., 2004)

2.1.2.1.1 Textura

Una de las propiedades físicas de importancia es la textura, la cual expresa la distribución del tamaño de las partículas sólidas de las que está compuesto el suelo. Por medio de la textura de un suelo se pueden estimar ciertos atributos como su capacidad productiva, su comportamiento mecánico, capacidad de retención de agua, capacidad portante, velocidad de infiltración, densidad aparente, capacidad de usos contrastándola con la profundidad y pendiente, etc. (Restrepo et al., 2011).

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. (FAO & GTIS, 2015)

- **2.1.2.1.2 Estructura**

Esta propiedad nos permite conocer como están formados los agregados del suelo, es decir como se organizan las arcillas, el limo y las arenas para formar el suelo. Para determinar la estructura es necesario estudiar tres parámetros; siendo éstos: la forma, el grado de desarrollo y tamaño del agregado. (Restrepo et al., 2011).

- **2.1.2.1.3 Densidad**

Restrepo et al. (2011) distingue dos tipos de densidades de acuerdo a la densidad de sus componentes sólidos y la del conjunto del suelo, incluyendo los espacios intersticiales entre los poros de los agregados del suelo. Los tipos de densidades por lo tanto serán:

- **Densidad real:** Constituye la densidad de la fase sólida del suelo. Es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico.
- **Densidad aparente:** Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado.

- **2.1.2.1.4 Profundidad**

La profundidad de un suelo está expresada por el espesor en centímetros del suelo hasta el lecho de roca, en unos casos, o hasta el estrato u horizonte cementado, en otros. La profundidad es un factor determinante del desarrollo y productividad de los cultivos, al condicionar el desarrollo radicular y el volumen de agua disponible para las plantas. (Restrepo et al., 2011).

- ✓ **2.1.2.2 Propiedades químicas del suelo**

Desde el punto de vista general, la composición elemental de los suelos varía de acuerdo a la naturaleza de la roca madre y los cambios producidos durante la meteorización, acumulación de materia orgánica y prácticas de manejo. Un factor importante es la movilidad relativa de los distintos elementos, que determina pérdidas diferenciales durante los procesos de meteorización y formación del suelo. Así, el SiO₂ es el constituyente más abundante en las rocas ígneas y en la mayoría de los suelos, en cambio las bases, Ca, Mg, K y Na presentan porcentajes más bajos en los suelos que en las rocas ígneas debido a su remoción preferencial durante la meteorización.

Las fracciones del suelo no son uniformes en composición química, como se puede deducir de las diferencias que presentan en composición mineralógica. Debido a que el cuarzo (SiO₂) es dominante en la arena y limo, estas dos fracciones son, por lo general, inactivas químicamente. Incluso los minerales primarios que pueden contener elementos nutrientes en su composición química son, en general, tan insolubles como para hacer esencialmente nula su asimilación, o muy a largo plazo. Una excepción a esta regla general es la fracción de algunos limos que contienen minerales de potasio, tales como las micas, las cuales ya se sabe que abandonan el potasio, con suficiente rapidez para abastecer, al menos en parte las necesidades de la planta. Químicamente las arcillas son silicatos aluminicos que pueden tener F, Mg, Na, K, etc. en su estructura y tienen además capacidad de adsorber y ceder una serie de iones. (Rucks et al., 2004)

- **2.1.2.2.1 PH en el suelo**

El pH es una mediada química simple, pero de las más importantes que se le pueden hacer al suelo, no sólo indica la acidez o alcalinidad de este, sino que aporta información básica para conocer su potencial agrícola, estimar la disponibilidad de nutrientes, predecir los cationes dominantes en los coloides del suelo y la retención de plaguicidas (Quiroga y Bono, 2012).

El pH mide la acidez o basicidad del suelo, y depende de la concentración de ion H⁺ en este, cuanto más alta sea la concentración de iones H⁺ en relación a los otros cationes básicos del suelo, mayor será su acidez (Casas, 2012)

Las condiciones extremas de pH en el suelo (muy ácidos o muy alcalinos) determinan de gran manera la fertilidad de un suelo en razón de que influye sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas y por ende sobre el crecimiento de las plantas. En ese sentido, el pH del suelo afecta las siguientes propiedades físicas (dispersión floculación de las partículas del suelo y por lo tanto su estructuración, porosidad, aireación, conductividad hidráulica, régimen de humedad y de temperatura (Orsag, 2010).

Tabla 1. *Clasificación de acidez del suelo*

pH de solución del suelo	Categoría
Menor de 4	Suelo extremadamente ácido
4.5 – 5.0	Suelos muy fuertemente ácidos
5.1 – 5.5	Suelos fuertemente ácidos
5.6 – 6.0	Suelos medianamente ácidos
6.1 – 6.5	Suelos ligeramente ácidos
6.6 – 7.3	Suelos neutros
7.4 – 7.8	Suelos medianamente básicos
7.9 – 8.4	Suelos moderadamente básicos
8.5 – 9.0	Suelos fuertemente básicos
Mayor 9.1	Suelos muy fuertemente básicos

Fuente: (Restrepo et al., 2011).

- **3.1.2.2.2 Materia orgánica (MO)**

Son residuos de vegetales y animales que se encuentran sobre el suelo en proceso de descomposición. La materia orgánica (MO) suministra nutrientes al suelo y es alimento para los microorganismos y las plantas.

Efectos en las propiedades químicas:

- Incrementa la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) que permite retener nutrientes en el suelo poniéndolo a disposición de la planta.
- Aporta Macronutrientes al suelo, principalmente Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Azufre (S), así como micronutrientes como el Cobre (Cu) y el Boro (B).

La MO influye en las características del suelo, entre las características físicas más importantes tenemos la estructura, porosidad, movimiento de agua, facilidad de laboreo y prevención de procesos erosivos, en tanto que entre las características químicas están los procesos de intercambio iónico, estabilización de nutrientes y formación de complejos, dentro de las características biológicas están la formación de suelo, reserva de energía metabólica, liberación progresiva de macro y micro nutrientes, estimula e inhibe actividades enzimáticas, contiene reguladores de crecimiento y contribuye a la resiliencia del medio ambiente. (Porta et al., 2003).

Álvarez y Rimski-Korsakov (2016) manifiestan que, entre los procesos químicos más importantes en los que interviene la materia orgánica del suelo están:

- Suministro de elementos nutritivos por la mineralización N, P, S y micronutrientes disponibles para las plantas.
- Estabilización de la acidez del suelo por su poder amortiguador.
- En suelos arenosos y los que tiene arcillas con baja capacidad de cambio, favorece a la capacidad de intercambio catiónico CIC.
- La capacidad de intercambio aniónico, donde se acumulan compuestos de nitratos, sulfatos y fosfatos.
- Regula la disponibilidad de nutrientes, mediante la formación de sustancias orgánicas llamadas quelatos con cationes de valencia variable.
- La volatilización del S y N del suelo, procedentes de la misma materia orgánica que se descompone.
- Fenómenos de adsorción, como la inmovilización de plaguicidas.

Entre los procesos físicos más importantes en los que interviene la MO esta:

- Mejora la estructura, mediante la formación de agregados individuales, disminuyendo la agregación global y la plasticidad
- Mejora la infiltración del agua del suelo, se reduce la pérdida de agua por evaporación, mejora el drenaje en suelos arcillosos y favorece el desarrollo de las raíces.
- Ayuda en la retención del agua en los suelos arenosos.
- Influye en el color del suelo y regula su balance térmico, lo que favorece o dificulta la absorción de la energía solar.

- **3.1.2.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

Procesos reversibles mediante el cual las partículas sólidas del suelo (orgánicas y minerales) adsorben iones de la fase acuosa y al mismo tiempo liberan otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambas (Quiroga y Bono, 2012). Estos iones están débilmente absorbidos, lo que les permite intercambiarse con la solución del suelo, constituyendo las reservas de nutrientes para las plantas (Casas, 2012).

Estas propiedades definen la capacidad que tiene un suelo para adsorber o retener nutrientes (cationes o aniones) en forma intercambiable para las plantas. Los suelos arcillosos y con alto contenido de materia orgánica generalmente tienen una mayor CIC que los suelos arenosos o limosos y pobres contenidos orgánicos. (Orsag, 2010).

Su valor se incrementa en el suelo al aumentar el contenido de materia orgánica, debido a que la humificación incrementa el número de grupos carboxilo (-COOH) y fenólicos (-OH) que pueden disociarse, adquiriendo cargas negativas. Al incrementarse la CIC del suelo, se reducen y hasta evitan las pérdidas por lixiviación. (Jaramillo, 2002).

- **3.1.2.2.4 Conductividad eléctrica C.E.**

La C.E. es la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de la solución del suelo, es proporcional al contenido de sales ionizadas disueltas en la solución. Mediante la medición de ciertas características del suelo, como es el caso de la conductividad eléctrica, se permite establecer la factibilidad, la viabilidad y el buen desarrollo de un cultivo (Cortés-D et al., 2013).

- **3.1.2.2.5 Nitrógeno (N)**

El Nitrógeno se encuentra en distintas formas en el suelo, aunque es absorbido por las plantas y microorganismos como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). (Restrepo et al., 2011).

Aprovechado sólo como nitrito, nitrato y amonio. Constituyente básico de las proteínas, la clorofila y las enzimas. Este elemento disminuye a medida que aumenta la profundidad. La acumulación de nitrógeno en los primeros decímetros de suelo es el resultado de la actividad biológica. En efecto; por un lado, a través del proceso de la humificación se producen componentes nitrogenados que son incorporados al suelo por microorganismos y, por otro lado, las raíces finas al morir, se humidifican en el suelo e incorporan el nitrógeno. En las regiones volcánicas como las de nuestro país, se tiene un rejuvenecimiento de los suelos por las cenizas de las erupciones; la formación de complejos organominerales protege a las sustancias nitrogenadas de la mineralización. (Teuscher & Adler, 1984).

- **3.1.2.2.6 Fosforo (P)**

Los bajos niveles de P disponible en el suelo y, consecuentemente, la baja producción agrícola sufrieron un cambio a partir de 1843 con el inicio de la fabricación y comercialización de los abonos fosfatados, la utilización de estos, y posteriormente, el uso de residuos orgánicos de ganadería ha conducido al aumento del contenido en P del suelo y paralelamente al de la producción agrícola, esto ha causado en muchos casos una sobre fertilización y elevadas concentraciones de P en el suelo, a lo que se atribuye la actual eutrofización acelerada de los sistemas acuáticos, de este modo, para evitar las pérdidas de P del suelo a las aguas y gestionar agrónomica y ambientalmente la fertilización fosfatada, la identificación de “niveles críticos” de P en el suelo es fundamental, además del uso de las buenas prácticas agrícolas que disminuyan la escorrentía y la erosión (Monteiro, 2005).

La eficiencia de la fuente de fósforo varía según:

- Tipo de suelo (pH y tipo de arcillas).
- Fuente de fósforo aplicada.
- Técnica de aplicación (Voleo, circular, media luna, enterrado, sin enterrar)

En la disponibilidad del P influyen:

- pH del suelo.
- Presencia de Fe, Al, y Mn solubles.
- Presencia de minerales que contienen Fe, Al y Mn.
- Minerales de calcio y magnesio disponibles.
- Cantidad y descomposición de materia orgánica.
- Actividad de microorganismos.

El pH juega un papel importante en la variación de la disponibilidad de P en los suelos:

- En suelos con pH entre 3-4 se da mínima solubilidad.
- En suelos con pH de 5,5, el P se encuentra químicamente combinado con Fe y Al.
- Cuando el pH es de 6, el P comienza a precipitarse como fosfato cálcico.
- En suelos con pH de 6,5, se da formación de sales de calcio insolubles debido a lo cual el fósforo no se encuentra disponible para las plantas ni para microorganismos.
- En suelos con pH > 7 puede darse formación de apatita que es un compuesto muy insoluble.

En un rango de pH cercano a 6,5 en el que el fosfato se mantiene soluble, pero puede presentar cierto riesgo de lixiviación.

Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{2-} (ión fosfato monoácido) y H_2PO_4^- (ión fosfato diácido). (Restrepo et al., 2011).

- **3.1.2.2.7 Bases de cambio**

Las bases más frecuentes en el complejo de cambio son: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . En ínfimas concentraciones pueden aparecer otros, destacando entre los minoritarios el amonio por su importancia en la nutrición vegetal. En suelos ácidos puede aparecer como componente, incluso mayoritario, el aluminio en cualquiera de sus formas de hidratación. Los hidrogeniones son los encargados de ocupar las posiciones que quedan libres por ausencia de bases, de ahí que exista una gran relación entre el valor del pH y el "grado de saturación", entendiendo por tal al porcentaje de la CIC que está ocupado por las bases mayoritarias y citadas al principio.

La base más abundante es el Calcio, cuya presencia debe superar los 30 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, si bien un contenido por encima de 20 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ ya es aceptable, aunque no debería estar nunca por debajo de 3,5 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$.

Le sigue en abundancia el Magnesio, cuyo contenido óptimo estaría por encima de 7,5 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, siendo correcto que supere los 5 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. El valor crítico se sitúa en 0,6 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$.

El Sodio no tiene un papel claro en la nutrición vegetal y por ello no resulta imprescindible, si bien es el tercero en abundancia. En este caso, en lugar de fijar un valor mínimo, lo importante es que no se supere un valor máximo que podemos situar como óptimo en 1 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, aunque es aceptable que no se superen los 2 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. Existe un grave riesgo de exceso cuando se supera el valor de 4 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$.

Por último tenemos al minoritario Potasio cuyo contenido óptimo debe superar el valor de 1 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. Resultan aceptables los valores que superan los 0,75 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ y nunca debería ser inferior a 0,25 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ (Soriano, 2018)

Según Bornemiza et al. (1987) el potasio que contiene la solución del suelo donde se produce la absorción de la planta es una fracción muy pequeña del potasio total. En el suelo, el Potasio se encuentra en diferentes fracciones, las cuales presentan un equilibrio químico. Las formas en que se encuentra el potasio en el suelo son: potasio estructural; potasio en los

minerales secundarios; potasio adsorbido, quelado o acomplexado; potasio intercambiable; potasio como parte de la solución del suelo. (Citado por Álvarez et al., 2004).

- **3.1.2.2.8 ALUMINIO INTERCAMBIABLE**

Las plantas pueden crecer normalmente a pH relativamente bajo (3,5 – 4,0) si la fuente de acidez es solamente el H⁺ en la solución del suelo. Sin embargo a pH menores a 5,5 existen otros factores asociados con la acidez que realmente limitan el crecimiento de las plantas. Se ha reconocido ampliamente que uno de los principales factores asociados con el desarrollo de la acidez es la presencia de aluminio (Al³⁺) en la solución del suelo. Los iones Al³⁺ desplazados de los minerales arcillosos por otros cationes se hidrolizan (reaccionan con una molécula de agua) para formar complejos monoméricos y poliméricos hidroxialumínicos. Las reacciones de hidrólisis del Al³⁺ liberan iones H⁺ (Valencia 1998).

- **3.1.2.2.9 ABSORCIÓN DEL ALUMINIO POR LA PLANTA**

Existen dos formas principales en las que el aluminio biodisponible (Al³⁺) pueda influir negativamente sobre el crecimiento de la planta: inhibición de la absorción de la planta por los nutrimentos esenciales calcio y magnesio, ser tóxico a las raíces de las plantas, inhibición de la división celular en raíces, y acumulación en tejidos vegetales. El Ca y Mg son necesarios para el crecimiento de las plantas, y las raíces de las plantas acumulan las formas iónicas de estos nutrimentos (Ca²⁺ y Mg²⁺) a través de transportadores de iones para la absorción, provocando deficiencias de Ca y/o Mg en las plantas. Estas deficiencias no se presentan si las concentraciones de Al³⁺ fueran menores. El Al³⁺ puede causar deficiencias de Ca y/o Mg al aumentar la cantidad de Ca²⁺ y Mg²⁺ lixiviados de los suelos. Cuando el Al³⁺ se disuelve en un pH bajo, el suelo tiene una capacidad menor de retener Ca²⁺ y Mg²⁺ (el suelo tiene una capacidad menor de intercambio catiónico o CIC), de manera que los iones de estos nutrimentos tienen una mayor tendencia a lixiviarse del suelo. Cuando las concentraciones de Al³⁺ en el agua del suelo aumentan como resultado de condiciones de pH bajo, el Al³⁺ competirá con el Ca²⁺ y Mg²⁺ por sitios de unión, resultando en una mayor lixiviación de estos iones del suelo. La magnitud del problema del Al³⁺ en los suelos a menudo se expresa como la proporción de Ca²⁺ a Al³⁺ o Mg²⁺ a Al³⁺ en la solución del suelo, estas proporciones predicen el riesgo de deficiencia de Ca²⁺ o Mg²⁺ inducida por Al³⁺ que solo la concentración de Al³⁺. (Aguirre, 2001; Castellanos et al., 2000) (Citado por Lima, 2019)

- **3.1.2.2.9 Acidez intercambiable**

La acidez intercambiable de un suelo con $\text{pH} < 5,5$ es una estimación de la cantidad de hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{3+}) Intercambiables en el suelo. Thomas (1982) determinó que la acidez en los suelos con un pH mayor a 5,5 proviene del aluminio hidrolizado y no intercambiable; los suelos con un pH menor de 5,5 deben su acidez especialmente porque los iones hidrogeno que provienen de la hidrólisis del aluminio intercambiable; y los suelos con un pH menor a 4 deben su acidez a los iones de hidrogeno intercambiable. (McKean, 1993)

2.1.2.3 Propiedades biológicas del suelo

Las propiedades biológicas del suelo guardan relación con la compleja red de organismos que alberga y que pueden influir en la evolución del suelo y sus propiedades físicas y químicas, como en el caso de las lombrices que aumentan la tasa de infiltración, o el caso de la actividad microbiana que disminuye la materia orgánica del suelo debido a la mineralización, por su parte las propiedades físicas y químicas del suelo están interconectadas con las propiedades biológicas, por ejemplo la aireación, la materia orgánica del suelo o el pH , que afectan la actividad de muchos microorganismos en los suelos que a su vez realizan actividades relevantes en el ciclo del carbono y los nutrientes, por lo que los cambios en las propiedades del suelo debido al manejo pueden afectar significativamente sus propiedades biológicas (Villalobos y Fereres, 2016).

2.2.1 Acidez del Suelo

Los suelos ácidos se refieren aquellos que contienen un pH de valor inferior a 5,5 durante la mayor parte del año. Están asociados con un número de toxicidades (Aluminio) y deficiencias (Molibdeno) y otras condiciones restringentes para las plantas. Una gran parte de los suelos ácidos pertenecen a Acrisoles, Alisoles, Podzoles y sub grupos Dístricos de otros suelos. Un caso extremo de un suelo ácido es un suelo con ácido sulfato (Fluvisoles Tiónicos y Cambisoles Tiónicos). (FAO, 2)

En los suelos ácidos, el aluminio puede volverse muy soluble y tóxico, además reduce la capacidad de la planta para absorber fósforo, calcio, magnesio y nitrógeno. Especialmente en los suelos ácidos, el fósforo no está disponible para las plantas. Si el boro, el cobre y el zinc están presentes en el suelo, pueden presentar toxicidad a bajos valores de pH . El pH del suelo tiene relativamente poco efecto sobre el nitrógeno. (CIMMYT, s. f.)

La acidez del suelo se clasifica en acidez total, acidez reemplazable por sales o acidez intercambiable y acidez residual (Soil Science Society of America, 1987).

Sadzawka y Campillo (2004) afirman que la acidez total comprende el conjunto de compuestos capaces de donar protones (H^+) de la fase sólida del suelo y se determina por diferencia entre la capacidad de intercambio de cationes (CIC) y las bases de intercambio (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+).

La acidez intercambiable comprende el aluminio y el hidrógeno que pueden ser reemplazados desde un suelo ácido por una solución de cloruro de potasio (KCl). La acidez residual consiste en aquella que se neutraliza por encalado, pero que no puede ser reemplazada por una solución de KCl. La suma de la acidez intercambiable y la acidez residual es aproximadamente igual a la acidez total:

$$\text{Acidez total} = \text{CIC} - \text{bases de intercambio}$$

$$\text{Acidez intercambiable} = (\text{Al} + \text{H}) \text{ intercambiables}$$

$$\text{Acidez residual} \approx \text{acidez total} - \text{acidez intercambiable}$$

La cal aplicada al suelo causa una serie de reacciones químicas que elevan el pH y disminuyen la acidez, reduciendo las concentraciones de aluminio e hidrógeno a niveles no tóxicos para las plantas (Meléndez y Molina 2001).

Los procesos y reacciones en la cual la cal reduce la acidez del suelo son complejos. Sin embargo, un enfoque simplificado de estos procesos explica como funciona la cal. El pH del suelo es una expresión de la actividad del H^+ y la principal fuente de H^+ en la mayoría de los suelos de pH menores a 5,5 es la reacción de Al con el agua. La cal reduce la acidez del suelo al convertir parte del H^+ en agua. Cuando el pH es mayor a 5,5 el Al se precipita como $Al(OH)_3$ eliminando su acción tóxica y la principal fuente de H^+ (Agropecstar 2006).

2.2.1 Causas de la acidez

Cenicafe (2016) menciona que entre las causas generadoras de la acidez del suelo se encuentran: el lavado de bases intercambiables por la lluvia y su reemplazo por otros cationes de carácter ácido (principalmente Al^{3+}), la descomposición de la materia orgánica, la oxidación del azufre, la nitrificación del amonio- NH_4^+ y la liberación de H^+ por las raíces cuando absorben Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ (12). Adicionalmente, los aniones nitrato- NO_3^- , sulfato- SO_4^{2-} y cloruro- Cl^- , que proceden de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, se unen a las bases intercambiables

de la solución del suelo y los arrastran más allá del alcance de las raíces, utilizando como vehículo el agua.

2.2.2 Factores que provocan la acidez en el suelo

Según Encina (2016) la acidificación del suelo es un proceso químico, donde existen diferentes factores, tanto naturales como antrópicos, que condicionan la magnitud e intensidad del proceso de acidificación y, por ende, la aparición del aluminio en la solución del suelo, entre esos factores están:

- **Clima:** La lluvia es la principal causa natural de la acidificación, favoreciendo el lavado o lixiviación de los elementos básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+}), siendo reemplazados por el H^{+} y Al^{3+} .
- **Laboreo de suelos:** Es propio de una agricultura de carácter intensivo, favoreciendo considerablemente la pérdida de los elementos básicos, al dejar temporalmente el suelo sin una cubierta vegetal protectora.
- **Uso intensivo de fertilizantes:** Los fertilizantes amoniacales y amidas son de reacción ácida. La intensidad de la acidificación está regulada por la cantidad de fertilizantes aplicados y por el manejo del suelo.
- **Materia orgánica:** A pesar de ser menos peligroso, el humus contiene grupos activos que se comportan como ácidos débiles y liberan iones de hidrógeno

2.3 Degradación del suelo

La degradación de los suelos es un proceso inducido por las actividades del hombre y que disminuye la capacidad actual y/o futura de éstos, las principales causas de degradación son las actividades agrícolas e industriales, para el caso ecuatoriano en particular la degradación se da por el cultivo intensivo de flores. La agricultura se ha desarrollado gracias a diversos factores como la introducción de variedades, manejo del suelo, sistemas de riego, uso de agroquímicos, maquinaria, entre otros, esto provoca la incorporación al suelo de residuos orgánicos e inorgánicos, superar la capacidad del suelo para aceptar estos residuos significa un grave riesgo de degradación del suelo (Porta et al., 2003).

Ramírez et al. (2011) mencionan que la degradación del suelo es entendida como los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual o futura del suelo para sostener la vida humana. Para, Gibbs y Salmon (2015) es una reducción en la productividad de

la tierra o suelo debido a la actividad humana, esto incluye una serie de cambios físicos, químicos y biológicos. Además Santana y Ulloa (2013) indican que el suelo es un recurso limitado y que de su uso inapropiado e implementación de pobres prácticas de manejo, resulta la degradación que se manifiesta en erosión hídrica, eólica, compactación, deterioro de la estructura, agotamiento de nutrientes, acidificación y salinización.

2.4 Encalado

El encalado consiste en la aplicación de materiales básicos al suelo (enmiendas calcáreas) que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química los productos encalantes presentan una capacidad variable de neutralización (Bernier y Alfaro 2006).

Es una práctica por medio de la cual se busca corregir los problemas de acidez del suelo y aportar nutrientes como calcio y magnesio. Al emplear abonos orgánicos en dosis sugeridas se corrigen los problemas de acidez, por lo tanto, no será necesario encalar el suelo. Cuando no se empleen estos abonos, y mediante el análisis de suelo se tenga la certeza que existen problemas de acidez, se sugiere incorporar 1,0 kg de cal agrícola o dolomítica por cada m³ de suelo, para elevar el pH en 0,2 unidades. Por ejemplo, si un suelo tiene un pH de 4,5 será necesario mezclar 2,5 kg de cal por m³ de suelo.

Por medio de esta práctica se buscan corregir los problemas de acidez del suelo (aumentar el pH y neutralizar el aluminio intercambiable) y aportar nutrientes como calcio, magnesio, y en algunas oportunidades fósforo. (FECAFE, 2008)

Encalar es el proceso de aplicar cales o enmiendas al suelo para corregir su acidez, en este proceso se dan reacciones de neutralización, es decir, la cal atrapa Hidrógenos (H⁺) de las diferentes fuentes de acidez, aumentando el pH del suelo. (CEDICAFE, 2018)

2.4.1 Criterio de encalado

El pH, determinación rutinaria en el análisis de suelos, es un buen indicador de la acidez, sin embargo, este parámetro no determina el requerimiento o cantidad de cal necesaria para llegar al rango de pH requerido en el sistema de producción que se está utilizando. El criterio combinado es una fórmula modificada que combina los criterios prácticos de los criterios de Cochrane, Salinas y Sánchez (1980) y el criterio de Van Raij (1991). Se expresa en términos de

% de saturación de acidez y se incluye el factor f de calidad del material encalante. Es el más recomendado para realizar el cálculo de material encalante. (Rodriguez & Lema, 2006) (Citado por Calderon, 2022)

$$\text{CaCO (t ha)} = 1,5 (\text{AI} - \text{PRS})(\text{CIC}) 100 * f$$

Dónde:

AI = % de saturación del aluminio actual

PRS = % de saturación de aluminio deseado

CIC = Capacidad de Intercambio Catiónica

f = factor de calidad del material encalante. (100/PRNT)

2.4.2 Calidad de material encalante

Según Espinoza & Molina (1999) uno de los aspectos más importantes al considerar la eficiencia agronómica es la calidad de los materiales del encalado. La calidad se fundamenta en los siguientes factores: Pureza química del material: La capacidad de neutralizar la acidez del suelo depende de la composición química y pureza del material. Para determinar la pureza se utiliza el criterio del equivalente químico (EQ) que es una medida del poder de neutralización de una cal en particular. El EQ se define como la capacidad del material para neutralizar la acidez, comparado con el poder de neutralización del CaCO₃ químicamente puro, al cual se le asigna un valor de 100%. Tamaño de partícula: La fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto. Un m² de cal sólida solo tiene 6 m² de superficie. Esa misma cantidad molida y cernida en un tamiz de malla 100, tiene 60.000 m² de área superficial. Entre más superficie específica tenga el material, más rápido reacciona la cal en el suelo. Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT): Para valorar en forma conjunta la pureza química y la fineza de los materiales de encalado se utiliza el Índice de Eficiencia conocido también como PRNT. Este parámetro se obtiene multiplicando la eficiencia granulométrica por el equivalente químico y este producto se divide entre 100.

2.4.3 Beneficios del encalado

Entre los beneficios para los cultivos generados por las enmiendas de suelo o encalados están:

- Aumento en el valor del pH del suelo
- Control de la toxicidad del aluminio, hierro y manganeso
- Aumento en la disponibilidad del fósforo.
- Mayor aprovechamiento de nutrientes.
- Aumenta el contenido de calcio y magnesio.
- Mejora la actividad microbiana.
- Reduce la actividad de hongos patógenos del suelo.
- Aumenta el proceso de nitrificación y mineralización de la materia orgánica.
- Mejora la estructura del suelo, principalmente en suelos arcillosos, y la agregación del suelo.
- Aumenta la productividad de los cultivos.

El encalado mejora la respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizantes en suelos ácidos. Esto debido a las mejores condiciones físicas y químicas que el suelo adquiere después de la aplicación de la cal, produciendo un mejor ambiente para el desarrollo radicular. Una mejor exploración del suelo da lugar a que la planta absorba los nutrientes de los fertilizantes aplicados al suelo, incrementando los rendimientos del cultivo y la eficiencia de los fertilizantes. (CEDICAFE, 2018)

2.5. Dolomita

La dolomita es más que una simple variante de caliza, contiene alrededor de 70% de calcio y 21% de magnesio, en su forma más pura. Normalmente se presenta en cristales romboédricos y por lo general estos cristales son de hábito deformado, muy aplastados, curvos en forma de silla de montar o en formas masivas, compactas o bien en forma de pequeñas geodas (en dolomías). A menudo se encuentra como masas granulares. Como impurezas puede contener hierro y manganeso. Su color varía entre blanco, gris rosado, rojizo, negro, a veces con matices amarillento, parduzco o verdusco, predominando el incoloro o blanco grisáceo. Presenta un aspecto vítreo a perlado y es de transparente a translúcida. Tiene una dureza de 3.5 a 4, un peso específico de 2.9 g/cm³ y forma la roca denominada dolomita. (DGDM, 2017) (citado por Calderon, 2022).

La incorporación de limo o dolomita en la capa superior del suelo de cultivo es un método eficaz para el mejoramiento de los suelos ácidos. La granulación o aplicación en bandas de limo encima de la semilla durante la siembra también es una práctica común utilizada para desarrollar

las leguminosas de pradera en zonas templadas. El limo también se puede aplicar como un tratamiento de prevención ante la baja fertilidad del suelo y para el suministro de calcio y magnesio en suelos con deficiencia. El limo incrementa el pH del suelo ácido, por lo cual la acción de la bacteria fijadora del nitrógeno se desinhibe y la fijación del nitrógeno aumenta. Se ha documentado aumentos de la mineralización del nitrógeno en los residuos vegetales y en la materia orgánica del suelo tras la incorporación del limo en el suelo ácido. Aunque de preferencia se aplica para elevar el pH del suelo y modificar toxicidades asociadas con la acidez del suelo, también se ha incorporado para mejorar la estructura del suelo. (FAO, 20)

Según la Coordinación General de Minería (2013), citado por Espinoza, (2019), la dolomita es un carbonato doble de calcio y magnesio, su fórmula química es $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Por lo general es de reacción lenta. La dolomita es más que una simple variante de caliza, contiene el 30,41% de CaO , 21,86% de MgO y el 47,73% de CO_2 , en su forma más pura. Como impurezas puede contener Fe y Mn. Su color varía entre blanco, gris rosado, rojizo, negro, a veces con matices amarillento, parduzco o verdusco, predominando el incoloro o blanco grisáceo. En la agricultura, la dolomita al igual que la calcita, es una fuente de Mg y Ca que constituye un fertilizante indispensable al modificar el pH del suelo, logrando regular su acidez, mejorándolo e incrementando el rendimiento de los cultivos.

2.5.1 Aplicación de dolomita

Otro factor importante que determina la eficiencia de la cal es la forma de aplicación. Es importante que al aplicar la cal se tenga el máximo contacto con el suelo de la capa arable. La mayoría de los materiales de encalado son solo parcialmente solubles en agua, por lo que se debe aplicar todo el suelo para que la cal reaccione por completo. Además, es muy importante que el suelo esté húmedo para que se produzca la reacción de la cal (Osorno, 2012).

2.6 Restauración del suelo ácido

Un ecosistema es un área de tamaño variable, dinámico (sucesión ecológica) con una relación estrecha entre sus componentes abióticos y bióticos, de manera tal que al cambiar un componente, se compromete el funcionamiento normal de todo el ecosistema, el cual puede recuperarse por sí solo cuando no existen tensionantes o barreras que impidan su regeneración, proceso conocido como restauración pasiva o sucesión natural. Cuando los ecosistemas están muy degradados o destruidos, han perdido sus mecanismos de regeneración y en consecuencia es necesario asistirlos, en lo que se denomina restauración activa o asistida (sucesión dirigida),

retirando las tensionantes que impiden la regeneración y garantizar el desarrollo de procesos de recuperación (Vargas, O. 2011) (citado por Lima, 2019)

La incorporación de enmiendas calizas provoca un incremento del pH del suelo, neutraliza la toxicidad del Al^{3+} , mejora la actividad microbiológica e incrementa la - 42 - disponibilidad del nitrógeno (N) y del fósforo (P), favorece la porosidad, mejora la circulación del agua y aire, etc. También se ha descrito que las enmiendas calizas mejoran el contenido de Ca^{2+} en los suelos, mejorando así la producción de cultivos, y mejora el desarrollo radicular en el suelo y en el subsuelo debido a la neutralización del Al^{3+} (Sousa y Lobato 1996, Bernier y Alfaro 2006, Lanyon et al. 2004). Citado por Quiroga, M. (2014).

2.7 Cultivo de café

2.7.1 Origen

El café arábico se originó en las tierras altas de más de 1000 m.s.n.m. de Etiopía y Sudán, África. En los años 575 y 890, los persas lo llevaron a Arabia y Yemen, en tanto que los nativos africanos lo extendieron a Mozambique y Madagascar. De aquí los holandeses y los portugueses, entre los años 1600 y 1700, lo trasladaron a Ceilán, posteriormente a Java y a la India, así como a otras regiones de Asia y África. (Mora S.,2008)

La llegada del café a Bolivia, se dice que la planta fue traída por africanos que huían de la esclavitud en el Brasil en 1780 y que se establecieron en la región de los Yungas del departamento de La Paz (FECAFEB, 2006).

2.7.2 Clasificación taxonómica del café

Según el Desarrollo Alternativo (2005), el café pertenece al género *Coffea* de la familia de las Rubiáceas. Dos especies de este género son de importancia económica, la especie *Coffea arábica*, cuyo nombre comercial en la industria es "Arábica" y abarca más del 70% de la producción mundial; y *Coffea canephora* (o *Coffea robusta*), cuyo nombre comercial en la industria es "Robusta", y comprende alrededor del 30% de la producción mundial.

2.7.3 Morfología general del café

El cafeto pertenece a la familia de las rubiaseas y al género *coffea*, tiene las siguientes características:

- Las hojas salen en pares
- No tienen divisiones y sus bordes son lisos
- En las flores están los órganos de los dos sexos
- Generalmente cada fruto tiene dos semillas

✓ 2.7.3.1 Raíz

Es un órgano de mucha importancia; a través de ella la planta toma el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y producción. En la raíz se acumulan sustancias que más tarde van a alimentar las hojas y los frutos, y que hacen que el árbol permanezca anclado y en su sitio. El café tiene una raíz principal que penetra verticalmente en suelos sin limitaciones físicas, hasta profundidades de 50 a 60 centímetros. De esta raíz salen otras raíces gruesas que se extienden horizontalmente y sirven de soporte a las raíces delgadas o absorbentes, llamadas también raicillas. Las raíces absorbentes del cafeto son bastante superficiales y se encargan de tomar el agua y los nutrientes minerales. En los primeros 10 centímetros de profundidad del suelo se encuentran un poco más de la mitad de estas raicillas y el 86% en los primeros 30 centímetros y un radio de 2 a 2,5 metros a partir del tronco.

✓ 2.7.3.2 Tallo

El tallo o tronco y las ramas primarias forman el esqueleto del café. Los aspectos más sobresalientes de la morfología aérea de la planta del café tienen que ver con dos tipos de brotes:

- Ortotrópicos, que crecen verticalmente y comprenden el tallo principal y los chupones.
- Plagiotrópicos, que crecen horizontalmente y comprenden las ramas primarias, secundarias y terciarias.

En los nudos del tallo principal se encuentran varios tipos de yemas:

- Las que dan origen a las ramas primarias.
- Los chupones que son el potencial de brote de la tronca y permanecen mientras se conserve el cogollo del tallo principal.
- Otras yemas que forman flores.

Las ramas primarias no se pueden renovar. Al perderse una rama primaria, el cafeto pierde una zona muy importante para la producción de frutos. En el cafeto la cosecha se produce en su totalidad en las ramas nuevas, en cambio las ramas secundarias y el tronco se pueden renovar a partir de las yemas vegetativas que se encuentran en el estado latente en los nudos de las ramas principales. En la axila que forma la hoja con la rama primaria están las yemas

vegetativas. En las ramas secundarias existen yemas que dan origen a las ramas terciarias y flores, por lo tanto a mayor número de ramas nuevas, mayor será la cosecha futura.

✓ 2.7.3.3 Hoja

La hoja es un órgano fundamental en la planta porque en ella se realizan los procesos de fotosíntesis, transpiración y respiración. En las ramas, un par de hojas aparece cada 15 ó 20 días aproximadamente. Independiente de la densidad de siembra, un cafeto de un año de edad tiene 440 hojas en promedio. A partir del segundo año de edad, la densidad de siembra, al igual que la condición de sol o sombra, influyen notablemente en la cantidad de hojas por planta. Las hojas duran en un cafetal alrededor de un año. La duración de las hojas se reduce con la sequía, con las altas temperaturas y con una mala nutrición. Se puede aumentar el crecimiento de ramas y hojas con:

- Abonamiento o fertilización adecuada.
- Las podas para mantener tejido joven en la planta.
- Buenas prácticas agronómicas (limpieza).
- Manejo de la luz y sombra en el cafetal

✓ 2.7.3.4 Flor

Las flores son los órganos destinados a reproducir las plantas. Las flores dan origen a los frutos; sin flores no hay cosecha. Las flores del cafeto aparecen en los nudos de las ramas, hacia la base de las hojas, en grupos de 4 o más, sobre un tallito muy corto llamado glomérulo. En la base de cada hoja hay de 3 a 5 glomérulos. La cantidad de flores presentes en un momento determinado, depende de la cantidad de nudos formados previamente en cada rama. El proceso de formación de las flores del cafeto puede durar de cuatro a cinco meses, donde se presentan las siguientes etapas:

- Iniciación floral y diferenciación.
- Un corto periodo de latencia.
- Renovación rápida del crecimiento del botón floral.
- Apertura de yemas.

La fase final del desarrollo de la flor está condicionada por la suspensión del periodo de latencia y esto solo se da por la presencia de lluvia después de un periodo prolongado de verano, caída repentina de la temperatura o aun neblina intensa después de un periodo seco. El inicio y

crecimiento de la flor depende de la presencia de agua en el ambiente (mínimo 10 mm de lluvia) y temperatura (20 a 25°C).

La fecundación de la flor ocurre cuando un grano de polen se pone en contacto con el ovulo. Si este recibe el polen de la misma flor, se da la autofecundación que en el cafeto es un poco mayor al 90%. El reconocimiento del proceso la floración del cafeto le permite al caficultor establecer:

- La distribución de la cosecha.
- Estimar las necesidades de mano de obra para la recolección.
- Planificar las prácticas culturales al igual que el manejo de plagas.
- Estimar el flujo de ingresos.
- Identificar las épocas y el origen de los problemas que afectan la calidad de la cosecha.

✓ 2.7.3.5 Fruto

El fruto del cafeto es una drupa. Es de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada. Contiene normalmente dos semillas plano convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario. Pueden presentarse tres semillas o más en casos de ovarios tricelulares o pluricelulares o por falsa poliembrionía (cuando ovarios bicelulares presentan más de un óvulo en cada célula). A causa del aborto de un óvulo se puede originar un fruto de una sola semilla (caracolillo). El fruto es de color verde al principio, luego se torna amarillo y finalmente rojo aunque algunas variedades maduran color amarillo. El tiempo que transcurre desde la florecida hasta la maduración del grano varía según la especie.

C. arábica 6 a 8 meses

C. canephora 9 a 11 meses

C. liberica 11-14 meses

Las partes de la fruta desde el exterior al interior son:

- Epicarpio (cutícula, cáscara, pulpa) – de color rojo o amarillo en su madurez, jugoso y envuelve todas las demás partes del fruto.
- Mesocarpio (mucílago, baba) – de consistencia gelatinosa y color cremoso.
- Endocarpio (pergamino, cascarilla) – cubierta corácea de color crema a marrón que envuelve la semilla.
- Espermoderma (película plateada) – envuelve la semilla (integumento seminal)

- Endospermo – la semilla propiamente constituida
- Embrión – localizado en la superficie convexa de la semilla y representado por un hipócotilo y dos cotiledones. La semilla o cotiledón tiene un surco o hendidura en el centro del lado plano por donde se unen las dos semillas. El grano o semilla tiene un extremo que termina en forma puntiaguda donde se encuentra el embrión (Monroig, 2010)

✓ 2.7.3.6 Semilla

La semilla está constituida por el endospermo y el embrión, el primero coriáceo de color verdoso y amarillento, las células del endospermo contienen almidón, aceites, azúcares, alcaloides como cafeína y otras sustancias, en su parte basal se encuentra el embrión de 2 a 5 mm de largo, el contenido promedio de cafeína es de 1.015% de aceites y grasas de 10.55% es el factor determinante del aroma y sólidos solubles compuesto por hidratos de carbono y proteínas en un 28.6%. (Barrientos, 2000 y Coste, 1998).

2.7.4 Café a Nivel Nacional

Barrientos (2000), indica que la explotación de café en Los Yungas es difícil y de bajos rendimientos, por las condiciones de topografía muy accidentada, condiciones de fertilidad de los suelos y el sistema de manejo por parte de los agricultores, situaciones que han impedido el desarrollo de una caficultura más rentable y tecnificada como la que se tiene en otros países productores.

Tabla 2. *Distribución de producción de café en Bolivia*

Departamento	Producción	Provincias	Localidad
La Paz	91,05%	Caranavi, Nor Yungas, Sud Yungas, Inquisivi, Franz Tamayo, Larecaja, Iturralde.	Alto Beni, Coroico, Caranavi, Taipiplaya, Irupana, Palos Blancos, Apolo Guanay, Cajuata.
Santa Cruz	6,24%	San Ignacio de Velasco e Ichilo	San Ignacio y Buena Vista
Cochabamba	2,02%	Chapare, Carrasco y Ayopaya.	Culumi, Chimore, Ayopaya
Tarija	0,50%	Arce	Bermejo
Beni	0,61%	José Ballivian, Vaca Díez, Ilnes, Moxos	San Borja, Guayaramerin, Riberalta
Pando	0,30%	Nicolas Suarez	Santa Cruz, Costa Rica

3. LOCALIZACION

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el municipio de Caranavi, Primera Sección de la Provincia Caranavi del Departamento de La Paz, ubicado al Noreste del departamento entre los valles sub andinos en la región de la Amazonía sector conocido como la faja de los Yungas Alto en el Departamento, localizado a 168 [km] de distancia respecto de la ciudad de La Paz (Yana, 2019).

3.1 Ubicación del Área de Estudio

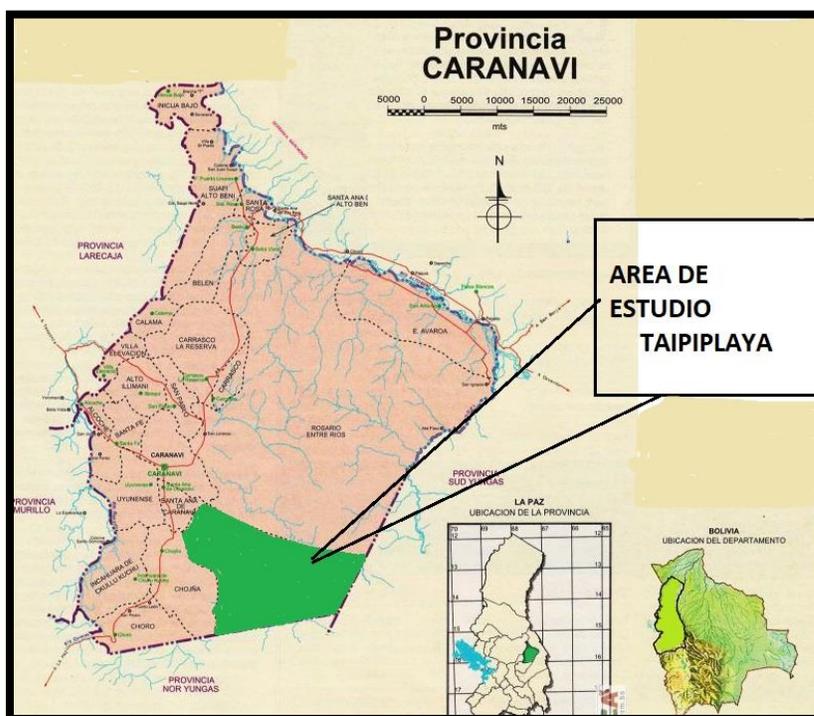
El área de estudio esta ubicado en el cantón de Taipiplaya en la comunidad Ingavi II, ubicada a 45 minutos de la localidad de Caranavi, con una superficie de 340 km². El área de estudio se sitúa en las coordenadas:

Latitud: 15°38'15"

Longitud: 67°36'18"

Altura: 1200 msnm

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio Caranavi – canton Taipiplaya



3.2 Condiciones climáticas

Según la estación climatológica de Caranavi situado latitud 15°38'15" y longitud 67°36'18" a 600 m.s.n.m. La precipitación en la zona en promedio es de 1148 mm, con una frecuencia media anual de 90 días lluviosos, concentrándose las mayores aportaciones entre meses de diciembre, enero y febrero.

El clima del área es predominante cálido, con una temperatura media anual de 25,9°C, siendo los meses más cálidos de septiembre a noviembre, alcanzando una máxima absoluta de 39,5°C en el mes de noviembre. Asimismo, la temperatura mínima media anual es de 19,6°C, siendo los meses fríos julio y agosto, registrándose una mínima absoluta de 8,5°C en julio.

Por su parte los datos de evapotranspiración reflejan una media anual de 107,7 (mm), siendo la más alta en el mes de noviembre. La velocidad media del viento es de 9,0 (Km/hora) en dirección Nor Este, registrándose la mayor velocidad máxima en marzo del 2003 con 51,9 (Km/hora) en dirección SurEste, cuyas corrientes producen daños a nivel de la infraestructura, plantaciones de frutales y generación de partículas en suspensión (PTDI - GAMC, 2020).

3.3 Suelos

Los suelos del área por la topografía accidentada son poco profundos a profundos, conformada por suelos arcillosos de color rojizo, generalmente de reacción ácida y pobre a moderadamente fértiles, corresponden a los subgrupos: Typic Dystropept, Typic Eutropept, Litic y Tytic Ustorthent, Typic y Aquic Udifluent. (Limachi, 2019).

Por su característica montañosa del área, presenta limitaciones para una agricultura sostenible, por las pendientes que incrementan los riesgos de erosiones y deslizamientos. La baja capacidad de almacenamiento de agua y la presencia de fragmentos rocosos, material poco sólido a poca profundidad y el rápido drenaje, contribuyen a la diferenciación y definición de las zonas agroecológicas por la condicionante geografía existente.

Los suelos del municipio de Caranavi son ácidos lo que limitan a la disponibilidad de nutrientes para los cultivos de la región.

3.4 Topografía

El Municipio de Caranavi presenta topografía accidentada debido a las elevaciones empinadas, montañas, serranías con depresiones pronunciadas y planicies onduladas irregulares que forman parte de la Cordillera Oriental.

La cadena conformada por las cordilleras del Municipio que forma parte de la Cordillera Oriental, van disminuyendo de altitud y pendiente a medida que se acercan hacia el territorio del Beni.

3.5 Flora

Presenta una flora heterogénea y mixta, con especies de árboles y arbustos que se mantienen siempre verdes, donde se han determinado dos zonas boscosas: bosque húmedo montano, bosque nublado perhumedo (GAMC, 2015).

Tabla 3. Vegetación existente en la región

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	CARACTERÍSTICAS
Ambaybo	<i>Cecropia peltata</i>	Planta arbórea, se utiliza en construcción para el armado y vaciado de loseta, es medicinal la parte apical se usa para curar el puchichi.
Andres Huaylla	<i>Cestrum parquii</i>	Arbustiva, medicinal conocido como penicilina natural.
Cañahueca nativa	<i>Phragmites communis (australis)</i>	Especie herbácea propia del bosque y curichales uso medicinal para controlar la fiebre.
Ch'iji	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Maleza rastrera que atacan a cultivos anuales y suelos en barbecho.
Cocotero	<i>Cocos nucifera</i>	Palmera, el fruto de color verde café contiene líquido equivalente al suero, la almendra se procesa refrescos.
Itapallo	<i>Urtica urens</i>	Arbustiva, medicinal para la fiebre se utiliza como infusión.
Lengua de vaca o waca lajra	<i>Rumex acetosella</i>	Especie rastrera, maleza de cultivos anuales sirve de alimentación para los cávidos y lepóridos con posibilidades comerciales.
Matico	<i>Piper angustifolia</i>	Arbustiva, medicinal para reumatismo se usa en forma de parche.
Motacu	<i>Shelea princeps</i>	Palmera, fruto comestible también se procesa aceite de motacu, las hojas para el techado de viviendas rústicas, nervaduras principales para las escobas.
Pacay	<i>Inga edulis</i>	Arbórea nativa propio de los barbechos con poca existencia dentro los cafetales.
Palo de balsa	<i>Ochroma lagopus</i>	Árbol propio del bosque su tronco es utilizado para fabricar balsa para navegar en río.
Palo santo	<i>Triplaris caracasana</i>	Árbol propio del bosque, las hojas son medicinales para controlar la fiebre, crecen en simbiosis con hormigas grandes color café claro y hormigas pequeñas color café oscuro estas curan el reumatismo.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	CARACTERÍSTICAS
Pega	<i>Desmodium sp</i>	Especie herbácea, maleza de cultivos anuales, apeteído por los cabidos y lepóridos.
Sensitiva	<i>Mimosa púdica</i>	Planta herbácea espinosa propio de terrenos arenosos, uso medicinal para el estrés.
Siquili	<i>Inga luschnatiana</i>	Arbórea nativa asociada con cultivos de café proporciona semisombra, aporta materia orgánica y proporciona nitrógeno.
Tacuara	<i>Guadua angustifolia</i>	Planta nativa propio del bosque de la familia Bambusoideae, se usa en artesanía para trenzado de canastas y balayas.

Fuente: PTDI Caranavi

Tabla 4. Especies cultivadas en la región

Nombre local	Nombre científico
café	Coffea arábica L., Coffea canephora Pierre
Naranja	Citrus sinensis
Mandarina	Citrus nobilis.
plátano	Musa sapientum
achiote,	Bixa Orellana.
arroz	Oryza sativa.
palta	Persea americana.
mango	mangifera indica.

Fuente: PTDI Caranavi

3.6 Fauna

La diversidad de fauna silvestre consta de numerosas especies de animales, en el siguiente orden: mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces e insectos, los cuales en su gran mayoría se ven afectados por los depredadores primarios. Las principales especies están constituidas de acuerdo al orden de localización por los mamíferos, en los que se perciben a los Rodeen idas (Jochi pintado) en mayor cantidad, seguido por los chiropteros (Murciélagos), los carnívoros (tigre, puma, tigrillo y tejón) y los perissodactyla (tapir y anta) (GAMC, 2015).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1 Materiales

4.1.1 *Materiales de campo*

- Pala
- Picota
- Machete
- Barreno
- Flexometro
- Gps
- Vernier
- Balanza
- Estacas
- Bolsas
- Scotch o cinta adhesiva
- Cámara fotográfica
- Etiquetas
- Tablas

4.1.2 *Materiales de gabinete*

- Registro de apuntes
- Bolígrafos
- Computadora
- Impresora

4.1.3 *Insumos*

- Cal dolomita

4.1.4 *Material biológico*

La aplicación de cal dolomita se realizó en suelos cafetaleros, café (*Coffea arabica*) variedad Catuai roja.

4.2 Métodos

A fin de cumplir con los objetivos del presente estudio, las actividades que se realizaron se agruparon en las siguientes fases:

4.2.1 Fase de gabinete

- **Recopilación de información**

En esta fase se recabo información referido al objeto del presente estudio; tolerancia del café al pH, encalados en suelos tropicales condiciones climatológicas adecuadas para el cultivo de café, importancia socioeconómica del cultivo, geología, antecedentes del área en estudio.

4.2.2 Fase de campo I

- **Selección e identificación del área de estudio**

A fin de realizar un trabajo de investigación con el IPDSA (Institución Pública Descentralizada Soberanía Alimentaria) y dentro del proyecto “IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA DE INVERSION CAFICULTURA A NIVEL NACIONAL”. El tiempo de duración del trabajo de campo debía ser de cuatro meses.

Bajo estas condiciones, se comenzó con la selección del área de estudio en el cantón de Taypiplaya, haciendo encuestas y reuniones con las autoridades, agricultores y técnicos del programa café IPDSA.

El área que se seleccionó para realizar la presente investigación presento las siguientes características:

Tabla 5. *Identificación del área de estudio*

Departamento:	La Paz
Municipio:	Caranavi
Cantón:	Taypiplaya
Comunidad:	Ingavi II
Coordenadas:	Latitud: 15°55'18" Longitud: 67°28'43"
Altura:	1288 m.s.n.m
Pendiente:	35°
Propietario:	Eugenio Villca Maldonado

Cultivo:	Café (<i>Coffea arabica</i>)
Extencion:	2500 m (1 cato)
Tipo de sombra:	Permanente

Fuente: propia

- **Recopilación de la información**

Una vez seleccionada la parcela se recopiló información relacionada a la agricultura practicada en la zona por los agricultores.

Tabla 6. Características del sistema de producción del cultivo de café (*Coffea arábica*)

Cultivo:	Café (<i>Coffea arábica</i>)
Variedad:	Catuai Roja
Edad del cultivo:	2 años
Abono incorporado en la siembra:	Cal Agrícola (*no se conoce las dosis aplicadas)
Aplicación de biol:	Cada dos años
Aplicación de caldo sulfocalcico:	Una vez por año
Porcentaje de sombra:	40%
Arboles de sombrío:	Siquili (<i>Inga adenophylla</i>) Plátano (<i>Musa paradisiaca</i>)
Malezas:	Helecho (<i>Pteridium aquilinum</i>)
Plagas:	Broca del café, minador de hoja, cochinilla
Enfermedades:	Mal de hilachas, ojo de gallo, mancha de hierro, antracnosis
Rendimiento:	346 Kg/ha

Fuente propia

4.2.3 Fase de campo II

- **Delimitación y limpieza del área de estudio**

A fin de evitar posible intervención del dueño de la parcela, se delimitó el área de investigación con postes y cintas. Posteriormente se realizó el desmalezado del área en estudio previo al muestreo de suelo

- **Muestreo de suelos**

El muestreo de suelos que se hizo fueron en dos tiempos diferentes:

- El primer muestro de suelo se realizó de toda el área de investigación, en la segunda semana de octubre (2021), antes de la aplicación de la cal dolomita.
- El segundo muestreo de suelos se realizó de cada unidad experimental, efectuado la primera semana del mes de marzo (2022), después de la aplicación de la cal dolomita

El muestreo de suelo consistió en:

Se sacó muestras de suelo del área en investigación con una pala recta, haciendo hoyos en forma de "V" de 20 cm de ancho y 20-30 cm de profundidad, obteniendo un total de 15 submuestras.

Posteriormente se mezclaron todas las submuestras y se desgregaron los terrones grandes, se eliminaron piedras, raíces hojas, insectos, con la ayuda de guantes de latex para evitar cualquier contaminación a la muestra.

Luego de homogeneizar la muestra se realizó el cuarteo respectivo para formar una muestra compuesta de aproximadamente 1 Kg.

4.2.4 Fase de laboratorio

Luego de obtener la muestra representativa del área de estudio, esta se depositó en una bolsa plástica, cerrada herméticamente, etiquetándola con la información correspondiente: datos de productor, y datos del lote muestreado (nombre del productor, código de tratamiento, lugar de procedencia, nombre de la parcela, tipo de cultivo, tipo de análisis de suelo, altitud). Estas fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía donde se realizaron los siguientes análisis:

✓ 4.2.4.1 Propiedades físicas

- **Textura del suelo**

La técnica que se utilizó fue la del Hidrómetro de Bouyoucos. Y para su interpretación se utilizó el triángulo textural, según el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

✓ 4.2.4.2 Propiedades químicas

- **Determinación del pH**

El método usado para la determinación del pH en agua fue la relación de 1:5 (10 gramos de suelo en 50 ml de agua destilada)

- **Determinación del calcio intercambiable**

El método usado para la determinación del calcio intercambiable fue la de espectrofotometría de absorción atómica (Walsh, 1950).

- **Determinación del magnesio intercambiable**

El método usado para la determinación del calcio intercambiable fue la de espectrofotometría de absorción atómica (Acetato de amonio 1 N) (Walsh, 1950).

- **Determinación de saturación de bases**

Se determinó el potasio intercambiable, sodio intercambiable, calcio intercambiable, magnesio intercambiable y la Capacidad de Intercambio Catiónico con un equipo de absorción atómica (Acetato de amonio 1 N). Posteriormente se calculó el porcentaje de saturación de bases bajo la siguiente fórmula (Castellanos, 2000):

$$SB (\%) = \frac{\Sigma Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} (\text{meq}/100 \text{ g})}{CIC(\text{meq}/100 \text{ g})} \times 100$$

Donde:

SB = Porcentaje de saturación de bases

CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico

- **Determinación del acidez intercambiable (al+H)**

El método usado para la determinación de la acidez intercambiable fue por volumetría.

- **Determinación de la materia orgánica**

Para el análisis que se realizó en la determinación de materia orgánica, el método que se usó fue de Walkley y Black (García, 2005).

- **Determinación de fósforo disponible**

El método usado para la determinación de fósforo disponible fue con el equipo de espectrofotometría UV – Visible Bray-kurtz.

4.2.5 Fase de campo III

- **Dosis para la aplicación de dolomita**

Por el corto tiempo que nos dio la institución (Institución Pública Descentralizada Soberanía Alimentaria) para la evaluación de la presente investigación, las dosis de fertilizante que se aplicaron fue de acuerdo a criterios de CENICAFE (2008).

DOSIS DE MATERIAL ENCALANTE POR PLATO (gr/planta)			
pH≤4,0	120	100	80
4,0<pH≤5,0	100	80	60
5,0<pH≤5,5	40	0	0

Fuente: CENICAFE (2008)

Bajo estos criterios las dosis de cal dolomita que se usaron para la presente investigación fueron:

- Tratamiento 1: 100 gr/ pl = 440Kg/ha
- Tratamiento 2: 120 gr/pl = 528Kg/ha
- Testigo: 0 Kg/ha

- **Procedimiento para la aplicación del fertilizante**

Para la aplicación se realizó los siguientes pasos:

- Pesaje de las cantidades de dolomita a aplicar según tratamiento (100 y 120 gramos)
- La aplicación fue de forma localizada en media luna, considerando la proyección gotera de la planta en el suelo, porque es en ésta zona superficial donde se ubican la mayoría de las raíces de la planta (Lima, 2019). Se aplicó uniformemente sobre la superficie del suelo (al voleo).

4.3 Análisis Estadístico

4.3.1 Diseño experimental

Para el estudio realizado se utilizó el Diseño de Boques Completamente al Azar; utilizado en trabajos en donde se desea bloquear un factor (Ochoa, 2014).

Evaluando 3 bloques con 3 tratamientos cada uno, bloqueando así el factor de la pendiente que tenía en el área en estudio.

Modelo lineal aditivo

$$x_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ijk}$$

Dónde: X_{ij} = Cualquier observación

μ = Media aritmética poblacional

β_j = Efecto j - esimo del bloque

α_i = Efecto i – esimo del tratamiento

ϵ_{ijk} = Error experimental

5.3.2 Factores y tratamientos de estudio

Factor de estudio: Dosis de cal dolomita

Los tratamientos por bloque fueron los siguientes:

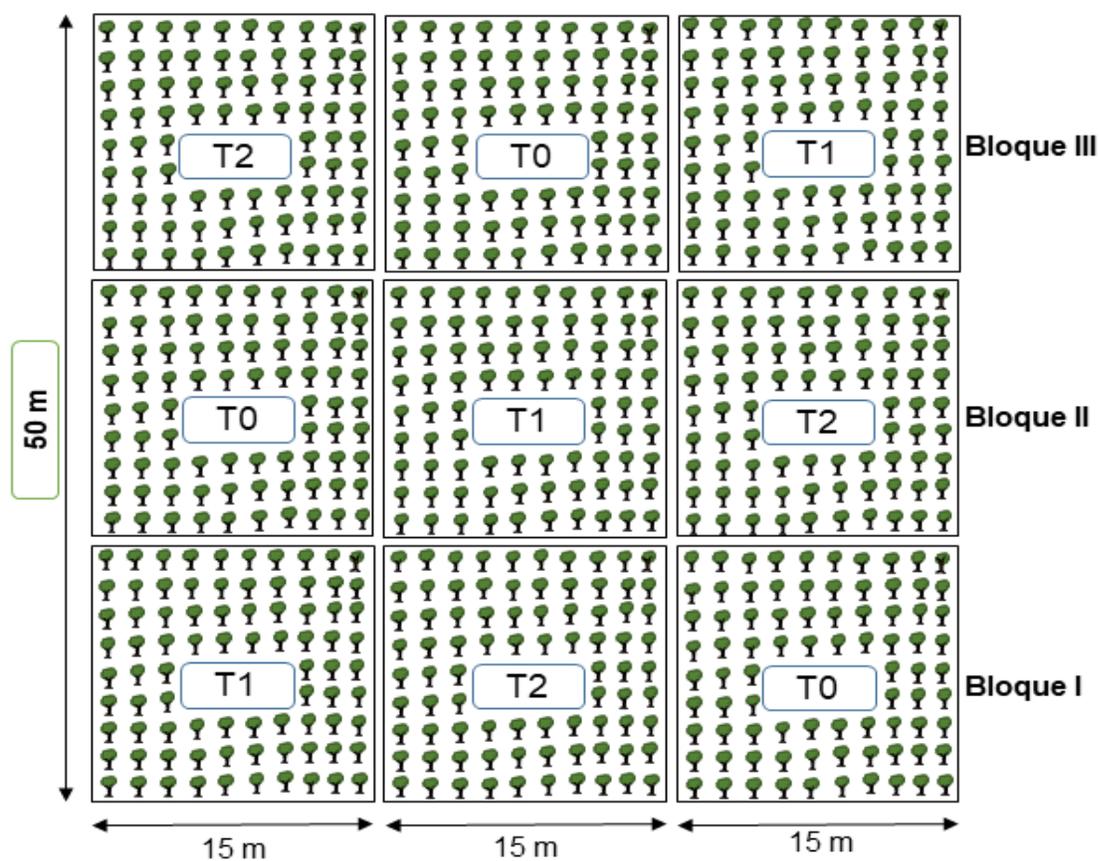
T0 = Testigo

T1 = 440 Kg de dolomita / ha

T2 = 528 Kg de dolomita / ha

4.3.3 Croquis del campo experimental

La parcela de estudio contaba con 1100 plantas/cato = 4400 plantas/ha



4.3.4 Descripción del campo experimental

Tabla 7. Descripción de área de investigación

UNIDAD EXPERIMENTAL	
Largo	15 m
Ancho	15 m
Distancia entre U.E.	1,67 m
Numero de U.E.	9
BLOQUES	
Largo	50 m
Ancho	15 m
Ancho del pasillo	1,67 m
Numero de Bloques	3
AREA TOTAL DE ESTUDIO	
2500 m ²	

4.4 Variables de respuesta

Para la evaluación de las variables edáficas se hicieron análisis de suelos inicial y a los 150 días

4.4.1 Variables edáficas

- ✓ Textura de suelo
- ✓ Acidez del suelo (pH)
- ✓ Calcio intercambiable
- ✓ Magnesio intercambiable
- ✓ Saturación de bases
- ✓ Aluminio intercambiable
- ✓ Materia Orgánica
- ✓ Fosforo asimilable

4.4.2 Variables agronómicas

Para el seguimiento del efecto del encalado sobre las variables agronómicas, se seleccionaron 10 plantas al azar de cada unidad experimental, las cuales fueron marbeteadas. Registrando así los datos cada 15 días, hasta el último muestro de suelo. Lastimosamente el monitoreo del cultivo solo se pudo realizar durante 150 días.

- ✓ Altura de planta (cm)
- ✓ Diametro de tallo (mm)

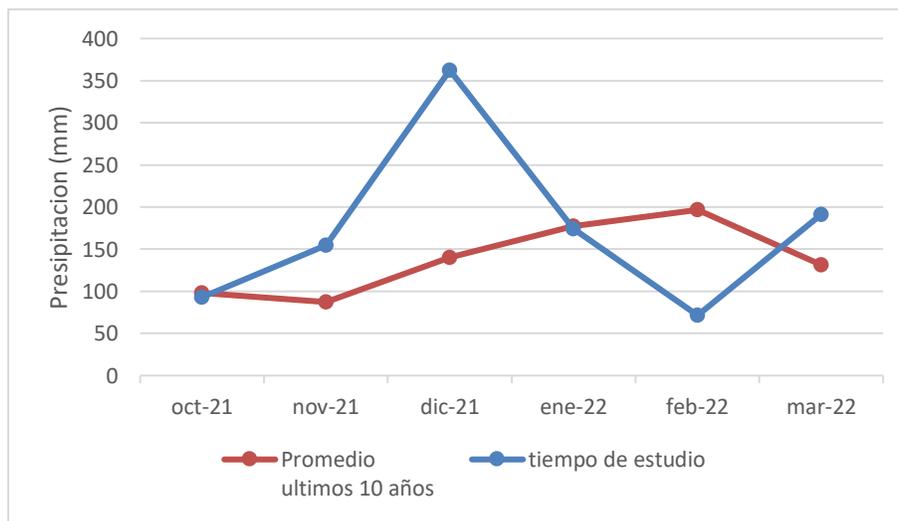
5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Comportamiento climático durante el periodo de estudio

5.1.1 Precipitación

De acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica de Caranavi del SENAMHI situado a 600 m.s.n.m a una longitud 67°36'18" y latitud 15°38'15" se observa en la figura 2 que durante el periodo de estudio las precipitaciones fueron mayores en el mes de diciembre (2021) con 362,5 mm comparado los últimos diez años, donde las precipitaciones en promedio fueron 140,41 mm. Así también hubo un descenso en el mes de febrero (2022) la precipitación descendiendo hasta 71,5 mm, en comparación con los últimos años (2010-2020) donde en promedio las precipitaciones en el mes de febrero fueron 196,65 mm, lo que representa un descenso de 36,35% del promedio histórico. Situación que pudo tener un efecto positivo en el desarrollo del cultivo.

Figura 2. Comparación de la precipitación durante el tiempo de estudio y durante la gestión 2010 a 2020.



Fuente: Elaboración propia

La cantidad y distribución de las lluvias durante el año son aspectos muy importantes, para el buen desarrollo del cafeto. Con menos de 1000 mm anuales, se limita el crecimiento de la planta. Con precipitaciones mayores de 3000 mm, la calidad física del café oro y la calidad de taza puede comenzar a verse afectada; además el control fitosanitario de la plantación resulta más difícil y costoso. (CICAFE, 2011)

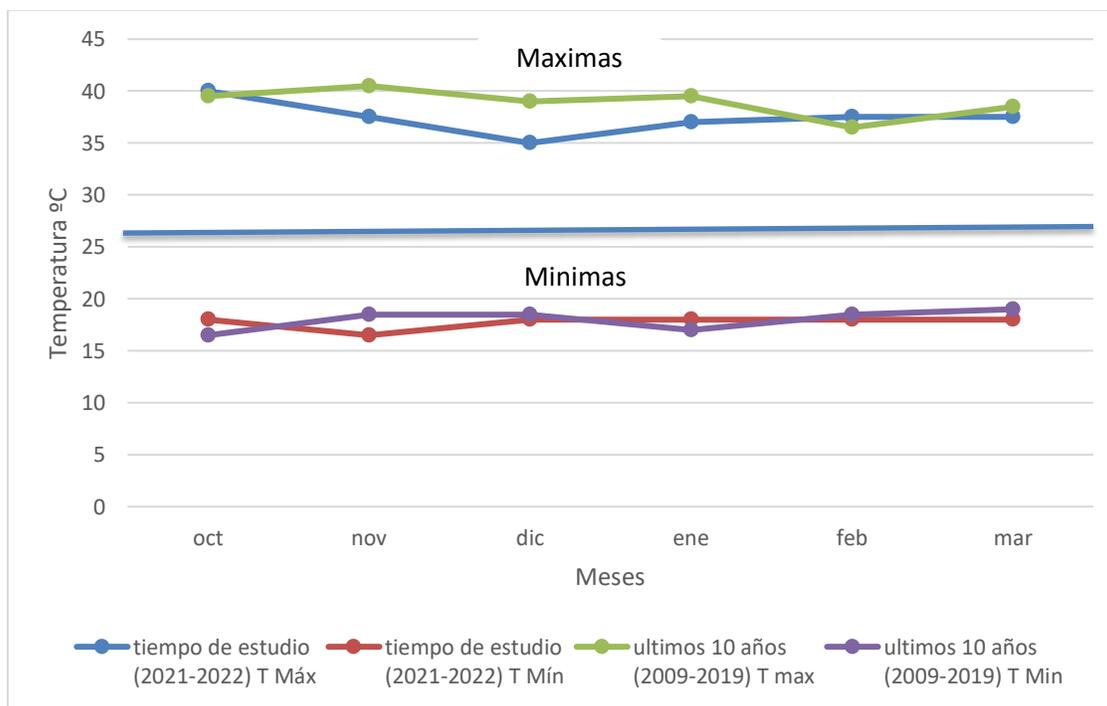
La cantidad de lluvia apropiada para el cultivo se comprende entre los 1.500 y los 2.000 milímetros anuales, unos 125 milímetros al mes. El exceso de lluvias puede fácilmente perjudicar a la floración del cafetal (Simón, 2022)

5.1.2 Temperatura

De acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica de Caranavi del SENAMHI situado a 600 m.s.n.m a una longitud -67,573677 y latitud, se observa en la figura 3 que las temperaturas máximas y mínimas como promedio (2009-2019) oscilaba entre 37 y 17,8 °C respectivamente, y durante el periodo de la investigación las temperaturas máximas y mínimas en promedio alcanzaron 38 y 17,5 °C, es decir que fueron casi similares a los promedios históricos.

La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C., provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes (CICAFE, 2011)

Figura 3. Comportamiento de la temperatura máximas y mínimas durante el tiempo en estudio



Fuente: Elaboración propia

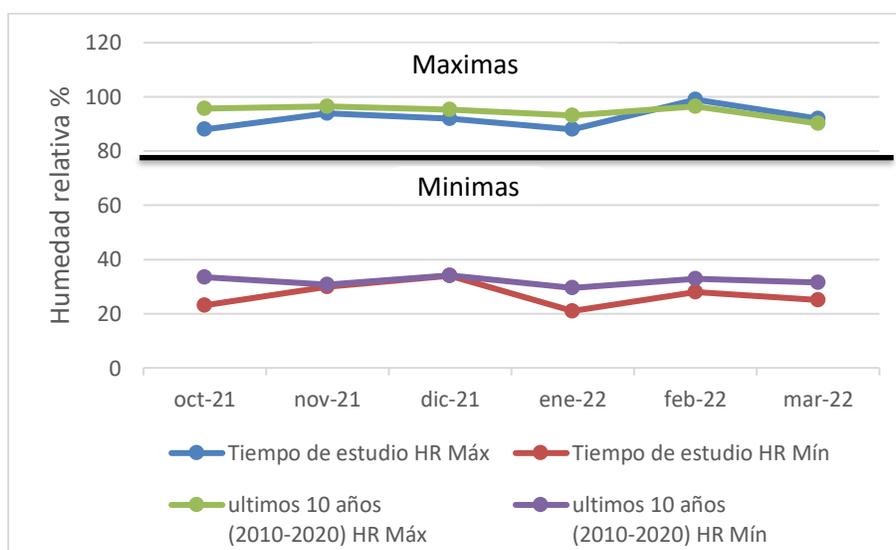
En el caso del café ya algunos países están enfrentando el reto de este cambio climático que se ha manifestado principalmente en un incremento de la temperatura. Esta condición se ha expandido a zonas de alta elevación donde crecen y se producen los cafés de calidad superior que son los mejor cotizados en el mercado. La situación forzaría a los caficultores a adaptarse a las nuevas condiciones del tiempo adoptando prácticas que minimicen los efectos del aumento en temperatura y otros componentes del clima (Monroig, 2018)

5.1.3 Humedad Relativa

De acuerdo a la figura 4 se observa que la humedad relativa durante el tiempo de estudio registro una humedad máxima de 92,17 % y una mínima de 26,8%, con un promedio de 59,5 %, en comparación con los datos históricos (2010-2020) donde la humedad relativa máxima fue en promedio 94,57% y la mínima 32,02%, es decir que durante el periodo de observación presento menor humedad relativa en un 6 % del promedio histórico. Estos datos fueron obtenidos de la base de datos del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorológica e hidrología) de la estación Caranavi situado a 600 m.s.n.m a una longitud -67,573677 y latitud.

La humedad relativa ideal para el cultivo de café es del 70 al 95%. Los daños causados de acuerdo a la intensidad de estos son: rotura de hojas, defoliación, caída de frutos, caída de cafetos (Fischersworing, 2001).

Figura 4. Comportamiento de la Humedad relativa máximas y mínimas durante el tiempo en estudio



Fuente: Elaboración propia

Cuando alcanza niveles superiores al 85%, se propicia el ataque de enfermedades fungosas que se ven notablemente favorecidas (CICAFE, 2011)

Las altas temperaturas y la humedad favorecen la reacción de la cal. Por esto, los materiales de encalado son más reactivos en zonas tropicales que en sitios fríos o templados (CEDICAFE, 2018)

5.2 Características iniciales de suelos del área de estudio

5.2.1 Propiedades físicas

- **Textura de suelo**

De acuerdo a la clasificación de suelos del departamento de agricultura de los Estados Unidos (1972) y el triángulo textural el suelo del área de estudio presenta una textura arcillosa con 23% de arena, 33% de limo, 44% arcilla por lo que es un suelo que retiene cantidad de agua y de nutrientes gracias al alto contenido de materia orgánica. Esta textura podría ser también uno de los factores que facilitan la erosión de suelo, deslizamientos. PRISMAB (2020) menciona que los suelos arcillosos y limosos se erosionan con mayor facilidad.

Orsag (2010) menciona que los suelos con proporciones equilibradas de arena, limo y arcilla en general son suelos de mejor fertilidad natural que aquellos suelos donde uno de los componentes se encuentra en muy alta proporción respecto de los demás, debido a que existe una mejor relación entre los poros capilares.

Tabla 8. *Composición granulométrica del área de estudio*

Parametro	Unidad	Resultado
Arena	%	23
Limo	%	33
Arcilla	%	44
Clase Textural	–	Arcilloso

5.2.2 Propiedades químicas

- **pH**

De acuerdo a los análisis de laboratorio el pH inicial del área de observación fue de 4,62, dato que nos indica que son suelos fuertemente ácidos, estas condiciones según Encina (2016) provocan toxicidad, falta de disponibilidad de nutrientes, afectando al desarrollo de la raíz del

cultivo. CENICAFE (2010) menciona que el nivel de acidez que debe presentar el suelo para el buen desarrollo del cultivo de café es de 5,5.

- **Saturación de bases**

Estos suelos presentaron valores bajos de calcio intercambiable, magnesio intercambiable, sodio intercambiable y potasio intercambiable con valores de 0,84, 0,62, 0,00, y 0,27 meq/100g S respectivamente. Lima (2019) reporta en su investigación que el porcentaje de saturación de bases alcanza un nivel bajo, mencionando que fue un aspecto que denotó procesos de lixiviación que erosionaron las bases cambiables a diferentes profundidades del subsuelo.

- **Acidez intercambiable**

Así también estos suelos presentaron un valor muy alto en la acidez intercambiable de 3,13 meq/100g S, esto a causa del clima húmedo, las precipitaciones que coadyuvan a la lixiviación de elementos básicos. Encina (2016) menciona que la toxicidad del aluminio es uno de los principales factores limitantes de la productividad en el suelo con pH ácidos.

La acidificación del suelo es un proceso químico que ocurre cuando el suelo tiene un aumento importante de iones (H, Al, Mn, Fe); al mismo tiempo que disminuye la concentración de cationes básicos, como calcio (Ca⁺⁺), magnesio (Mg⁺⁺), sodio (Na⁺) y potasio (K⁺), y se expresa cuando el valor del pH del suelo está por debajo de 7 (Encina, 2016).

- **Materia Orgánica**

El contenido de Materia Orgánica en el área de estudio fue de 7%. Según Bancolombia (2018) la materia orgánica contiene los residuos descompuestos de plantas y animales. Según los estudios botánicos, los cultivos de café contienen materia orgánica mayor al 8%. La misma pulpa del café aporta la materia orgánica a los suelos, aspectos importantes para el alto contenido de materia orgánica que presentó el suelo.

- **Fosforo disponible**

El contenido de fosforo disponible fue de 3,7 ppm, valor que está catalogado como bajos (Monje, 1999). La deficiencia de este nutriente en el suelo podría llegar a inhibir el crecimiento del tallo.

Tabla 9. *Parámetros químicos inicial del suelo*

Parametros	unidad	Resultados	Interpretacion
pH		4,62	Fuertemente acido
Acidez intecambiable	meq/100g S.	3,13	Muy alto
Calcio intercambiable	meq/100g S.	0,84	Muy bajo
Magnesio intercambiable	meq/100g S.	0,62	Bajo
Sodio intercambiable	meq/100g S.	0	Muy bajo
Potasio intercambiable	meq/100g S.	0,27	Moderado
Capacidad de Intercambio Cationico	meq/100g S.	4,85	Muy bajo
Nitrogeno Total	%	0,54	Muy alto
Materia Organica	%	7	Alto
Fosforo Disponible	ppm	3,7	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia

Estos suelos en comparación a otros suelos de zonas cafetaleras son pobres, con niveles de acidez muy altos, características que afectan al crecimiento y desarrollo del cultivo, reduciendo el rendimiento por el mal manejo de suelos.

Según Encina (2016) la corrección del nivel de aluminio en la solución del suelo puede lograrse mediante la incorporación de productos encalantes o calcáreos.

5.3 Efecto de la aplicación de dolomita sobre las propiedades del suelo

Después de los 150 días del análisis preliminar del área en observación, se evaluaron los siguientes parámetros:

5.3.1 Efecto de la dolomita sobre la acidez del suelo (pH)

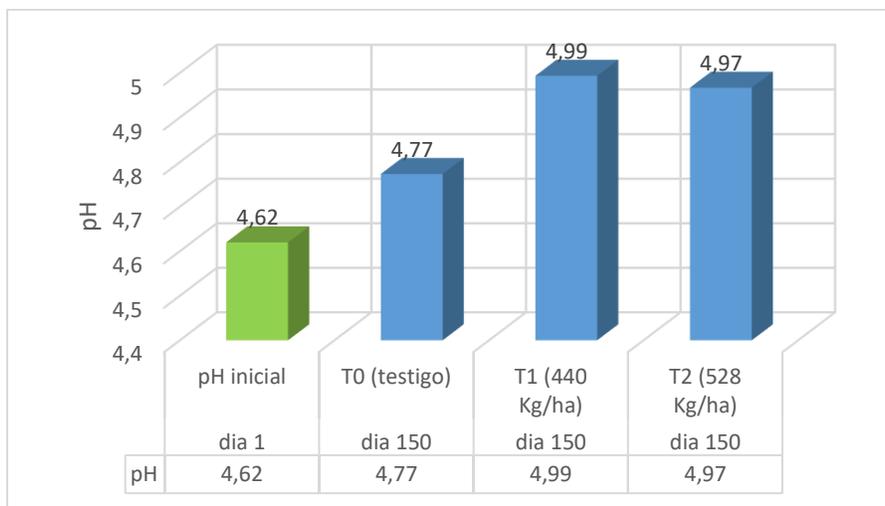
De acuerdo a la figura 5 se puede observar que en comparación al dato inicial del pH (4,62), en el tratamiento 1 (440 Kg/ha) y 2 (528 Kg/ha) se incrementó en 0,37 y 0,35 respectivamente lo que significa un incremento de 8% y 7,6 %, mientras que el testigo incrementó 0,15 lo que significa solo del 3,2% siendo el nivel de pH más bajo a los 150 días. El incremento de los niveles de pH en el testigo (0 Kg/ha) se debe a la variación del suelo.

Las unidades de pH aumentaron con la aplicación de la cal dolomita, en relación al T0 (testigo) que a los 150 días alcanzo un pH igual a 4,77, siendo el T1(440 Kg/ha) y el T2(528 Kg/ha) los tratamientos que obtuvieron un efecto positivo con el encalado con 0,22 y 0,2 (respectivamente) de diferencia con el testigo. Lo que nos indica que la incorporación de la cal dolomita ayudo al suelo a aumentar el pH, esto favorece e incide en mejorar las condiciones para el desarrollo del cultivo.

Por otro lado, se puede indicar que el efecto de la cal dolomita para la variable pH no se encuentra en el rango óptimo para el requerimiento de suelos cafetaleros, según CENICAFE (2019) el rango adecuado de pH para el café se encuentra entre 5,0 y 5,5. Por lo que los datos que se obtuvieron no están dentro de los parámetros permisibles. Sin embargo, el tratamiento 1 y el tratamiento 2 tuvieron un ligero incremento, a un pH de 4,99 – 4,97 respectivamente, aproximándose al rango adecuado para suelos cafetaleros.

Jumpiri (2022) reporta en su investigación que el incremento de los niveles de pH se debe a la incorporación de la cal dolomita, donde por la aplicación de 100 y 120 gramos de dolomita por planta el pH incremento en 0,1 y 0,18 con respecto a su testigo.

Figura 5. Efecto de la incorporación de dolomita en el pH



Espinosa y Molina (1999) mencionan que la aplicación de enmiendas calcáreas ayuda al suelo a aumentar el pH reduciendo así su acidez.

De acuerdo al análisis estadístico de varianza (tabla10) observamos que no existe diferencia significativa entre los dos niveles de cal dolomita aplicado.

Tabla 10. *Análisis de varianza del pH final del suelo*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
BLOQUE	0,4	2	0,2	6,11	0,06
TRATAMIENTO	0,09	2	0,04	1,32	0,36
Error	0,13	4	0,03		
Total	0,62	8			

CV = 3,68%

Para la variable pH el resultado de coeficiente de variación es de 3,68%, lo que indica que es buen manejo de unidades experimentales, porcentaje que se encuentra dentro de los parámetros permitidos de confiabilidad.

Cuando el pH del suelo baja a niveles distintos al óptimo (pH=5,5), la planta tiene serias limitaciones para desarrollar normalmente su sistema radicular, afectando la absorción de agua y nutrientes (Bernier y Alfaro, 2006).

5.3.2 Efecto de la dolomita sobre el calcio intercambiable

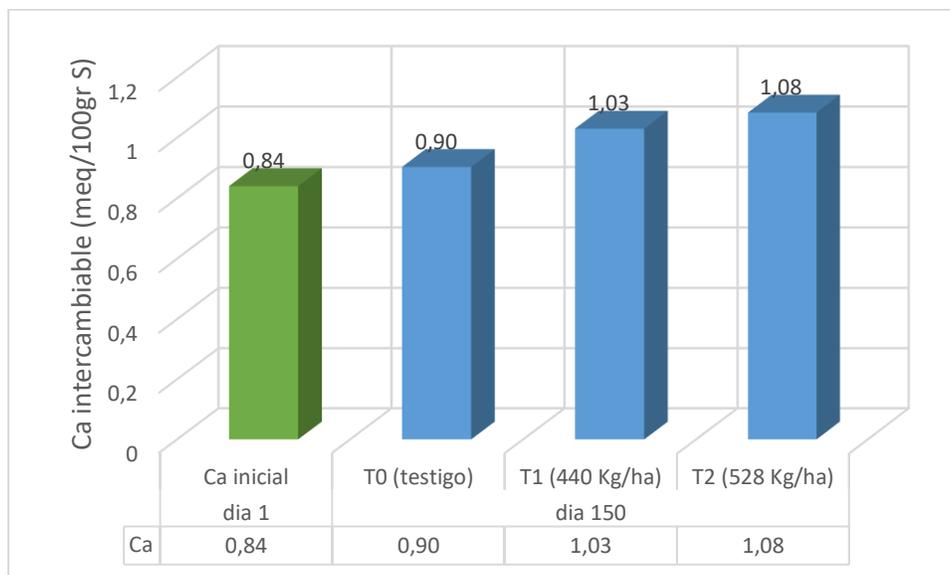
De acuerdo a la figura 6 y tabla 11 observamos que antes de la incorporación de dolomita el contenido de calcio intercambiable fue de 0,84 meq/100g S y luego de la aplicación de la enmienda los niveles de calcio intercambiable se incrementaron en el T1(440 Kg/ha) y el T2(528 Kg/ha) alcanzando 1,03 y 1.08 meq/100g S lo que significa un incremento de 22,5% y 28,4%, mientras que el T0 (testigo) incremento solo 7% debido a que este tratamiento no se le aplico la enmienda.

Con la aplicación de la enmienda el calcio intercambiable se eleva de forma ascendente, aunque no presentan incrementos importantes. Esto se podría deber al corto tiempo de observación y a las cantidades aplicadas. Teniendo al T1(440 Kg/ha) con una diferencia de 0,13 meq/100g S con respecto al T0 (testigo), así también el T2(528 Kg/ha) tuvo una diferencia de 0,18 meq/100g S.

Por otro lado, se puede indicar que el efecto de la cal dolomita para la variable calcio intercambiable no alcanzo el rango óptimo para el requerimiento de suelos cafetaleros, según McKean (1993) afirma que el contenido de calcio adecuado para el cultivo de café debería encontrarse entre 4 a 10 (meq/100g suelo) siendo un rango considerado como moderado para el calcio intercambiable. Por lo que los resultados que se obtuvieron en la investigación no están dentro de los parámetros adecuados para suelos cafetaleros.

En trabajos anteriores se tuvo este mismo efecto donde Calderón (2022) obtuvo un incremento ascendente del calcio intercambiable con la aplicación de 352 Kg/ha y 528Kg/ha de dolomita en el suelo, donde determino que la dosis 528Kg/ha fue el mejor, sin embargo no logro alcanzar el rango óptimo.

Figura 6. Efecto de la incorporación de dolomita en el Calcio intercambiable



Lima (2019) determino que al realizar el encalado no solo se disminuyó la cantidad de aluminio intercambiable, también se consiguió elevar la cantidad de calcio.

En base al análisis estadístico (tabla 11) se puede observar que no existe diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los niveles de cal dolomita aplicados.

Tabla 11. Análisis de varianza del Calcio Intercambiable

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,17	2	0,09	2,9	0,17
Tratamiento	0,05	2	0,03	0,87	0,49
Error	0,12	4	0,03		
Total	0,34	8			

CV=17,08%

El coeficiente de variación fue de 17,08%, lo que indica que es buen manejo de unidades experimentales, porcentaje que se encuentra dentro de los parámetros permitidos de confiabilidad.

5.3.3 Efecto de la dolomita sobre Magnesio intercambiable

De acuerdo a la figura 7 y tabla 12 observamos que el T2(528 Kg/ha) ha alcanzado el mayor incremento de magnesio intercambiable en el periodo de observación, de 0,62 hasta 1,50 meq/100g S. Por otro lado, se puede observar que el T1(440 Kg/ha) alcanzo 1,01 meq/100g S. En cuanto al T0 (testigo) fue el tratamiento con menor variación en relación a valor que se obtuvo inicialmente (0,62 meq/100g S.), con 0,86 meq/100g S.

Por lo tanto, la incorporación de cal dolomita de 528 Kg/ha fue la que mayores niveles de magnesio ha alcanzado, ya que obtuvo una diferencia de 0,64 meq/100g S. con respecto al T0. Esto debido a los niveles de pH que se logró incrementar, gracias a la incorporación de las dos dosis de cal dolomita.

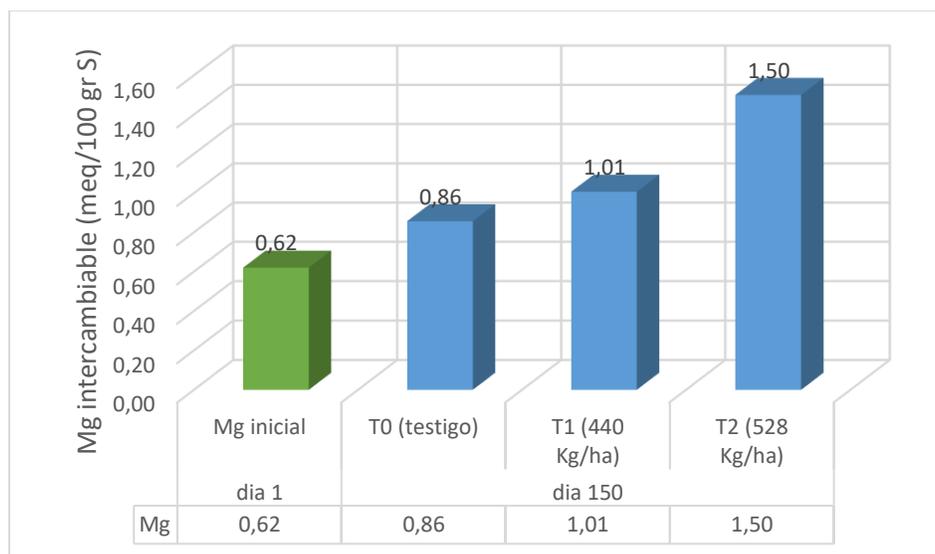
Podemos decir que a medida que se incrementa la dosis de dolomita aplicada, se incrementa la cantidad de magnesio intercambiable.

Sin embargo estos niveles en comparación a los niveles óptimos de McKean (1993) que afirma que un rango adecuado para magnesio intercambiable en el suelo está entre 0,5 y 4 (meq/100g suelo) aun no son suficientes.

En investigaciones pasadas Jumpiri (2022) obtuvo un incremento ascendente del magnesio intercambiable con la aplicación de 440 Kg/ha y 528Kg/ha de dolomita en el suelo, donde determino que la dosis 528Kg/ha fue el mejor, sin embargo no logro alcanzar el rango óptimo de magnesio intercambiable para el suelo.

Roos (2004) menciona que el estado del magnesio del suelo depende de su dinámica química, controlada por varios factores, tales como el clima, el pH del suelo, la temperatura, la humedad y su interacción con otros cationes

Figura 7. Efecto de la incorporación de dolomita en el Magnesio intercambiable



Los suelos con una gran proporción de arcilla en su textura (suelos pesados), demandan grandes cantidades de magnesio disponible para un óptimo crecimiento de las plantas (Ross, 2004).

De acuerdo al análisis de varianza se determinó que son iguales estadísticamente, entre las dosis de cal aplicados en suelos del cultivo de café. Aparentemente estos resultados coinciden con los resultados de Calderón (2022), donde la incorporación de 352 Kg/ha y 528Kg/ha de dolomita no tuvo una diferencia significativa, sin embargo, obtuvo un incremento gradual del magnesio con respecto a su testigo.

Tabla 12. Análisis de varianza de Magnesio intercambiable

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,01	2	0,01	0,16	0,86
Tratamiento	0,11	2	0,06	1,27	0,37
Error	0,18	4	0,04		
Total	0,31	8			

CV 20,25%

De acuerdo a la tabla 12 el análisis de magnesio intercambiable, se obtuvo un coeficiente de variación de 20,25% el cual nos indica que los datos son confiables, encontrándose dentro de los parámetros aceptados según Ochoa (2003).

5.3.4 Efecto de la dolomita sobre la saturación de bases

La saturación de bases cambiabiles es un indicador de la fertilidad actual del suelo, la misma es la suma de los cationes de cambio (Lima, 2019).

CALCULOS

Cationes básicos inicial

Calcio (Ca²⁺) = 0,9 (meq/100 g)

Magnesio (Mg²⁺) = 0,86 (meq/100 g)

Potasio (K⁺) = 0,19 (meq/100 g)

Sodio (Na⁺) = 0,0 (meq/100 g)

$$SB (\%) = \frac{0,84 + 0,62 + 0,27}{4,85} \times 100$$

$$SB\% \text{ Inicial} = 35,67\%$$

La saturación de bases antes de la incorporación de dolomita fue 35,67%, valor que es considerado bajo (Chilon,1997)

Cationes básicos a los 150 días de la incorporación de dolomita T0 (testigo)

Calcio (Ca²⁺) = 0,9 (meq/100 g)

Magnesio (Mg²⁺) = 0,86 (meq/100 g)

Potasio (K⁺) = 0,19 (meq/100 g)

Sodio (Na⁺) = 0,0 (meq/100 g)

$$SB (\%) = \frac{0,9 + 0,86 + 0,19}{4,67} \times 100$$

$$SB\% T0 = 41,76\%$$

Cationes básicos a los 150 días de la incorporación de dolomita T1 (440 Kg/ha)

Calcio (Ca²⁺) = 1,03 (meq/100 g)

Magnesio (Mg²⁺) = 1,01 (meq/100 g)

Potasio (K⁺) = 0,2 (meq/100 g)

Sodio (Na⁺) = 0,0 (meq/100 g)

$$SB (\%) = \frac{1,03 + 1,01 + 0,2}{5,07} \times 100$$

$$SB\% T1 (440 \text{ Kg/ha}) = 44,18\%$$

Cationes básicos a los 150 días de la incorporación de dolomita T2 (528 Kg/ha)

Calcio (Ca²⁺) = 1,08 (meq/100 g)

Magnesio (Mg²⁺) = 1,5 (meq/100 g)

Potasio (K⁺) = 0,21 (meq/100 g)

Sodio (Na⁺) = 0,0 (meq/100 g)

$$SB (\%) = \frac{1,08 + 1,5 + 0,21}{5,64} \times 100$$

$$SB\% T2(528 \text{ Kg/ha}) = 49,47\%$$

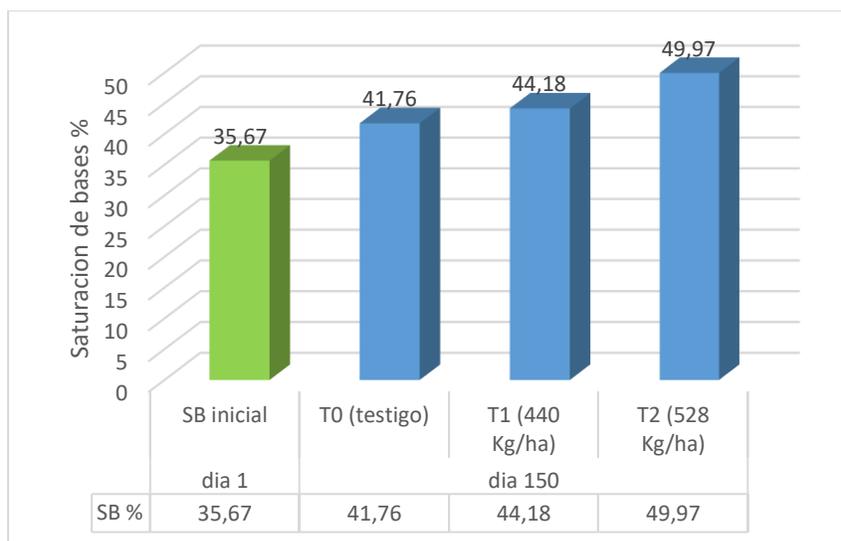
De acuerdo a la figura 8 se puede observar que antes de la aplicación de dolomita el porcentaje de saturación de bases fue de 35,67 %. A los 150 días el T2(528 Kg/ha) ha alcanzado el mayor incremento en el periodo de observación con 49,47% acercándose a un nivel moderado de saturación de bases (Choque, 2022). Por otro lado, el T1(440 Kg/ha) alcanzo 44,18% catalogado como bajo (Choque, 2022). En cuanto al T0 (testigo) fue el tratamiento con menor variación en relación a valor que se obtuvo inicialmente, con 41,76% debido a la ausencia de material encalante, quien se encargó de incrementar la cantidad de cationes básicos

Según lo anteriormente descrito podemos afirmar que la incorporación de dolomita hizo efecto de manera positiva, no obstante, los porcentajes que se obtuvieron a los 150 días de cada tratamiento, no alcanzaron los rangos óptimos de concentración de nutrientes, teniendo como consecuencia que la planta no pueda crecer y desarrollarse adecuadamente.

Lima (2019) reporta en su investigación que el porcentaje de saturación de bases alcanza un nivel bajo, mencionando que fue un aspecto que denoto procesos de lixiviación que erosionaron las bases cambiables a diferentes profundidades del subsuelo.

Soriano (2018) menciona que el porcentaje de saturación de bases en suelos ácidos no alcanza el 100% y suele encontrarse por debajo de 70%, mientras que en suelos calizos el porcentaje de saturación de bases es superior al 80% y en muchos casos del 100%.

Figura 8. Efecto de la incorporación de dolomita en la Saturación de bases



El nivel pH que se obtuvo por tratamiento fue quien afecto directamente la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Soriano (2018) afirma que el grado de saturación, es un indicativo del valor del pH del suelo, pues todo lo que no está ocupado por bases lo está por hidrogeniones. Valores superiores al 80 % son aceptables, si bien lo deseable es el 100 %. Cuando baja del 20 %, no solo existe una acidificación clara, sino que además es posible que exista aluminio en las posiciones de cambio, elemento que resulta tóxico para la mayoría de las especies vegetales.

5.3.5 Efecto de la dolomita sobre Acidez intercambiable (AI+H)

De acuerdo a la figura 9 se puede observar que la acidez intercambiable tuvo un valor inicial 3,13 meq/100gS. A los 150 días el T2 obtuvo una diferencia de 0,78 meq/100gS y el T1 0,71 meq/100g S con respecto al valor inicial lo que representa 24,9% y 22,7%. En cuanto al T0 (testigo) alcanzo a reducir de 3,13(inicial) a 2,85 meq/100gS.

Para esta variable podemos observar que la dolomita incide positivamente a la disminución de acidez intercambiable.

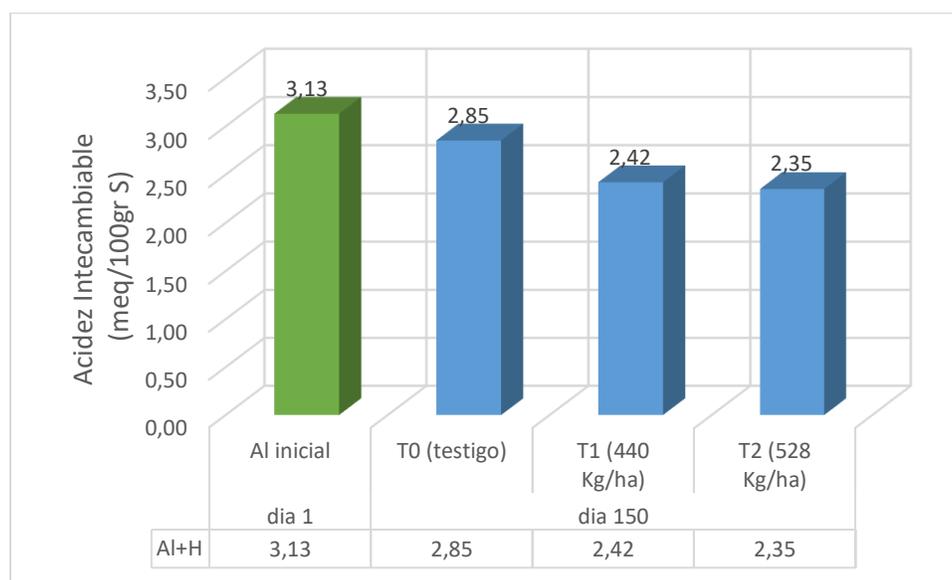
Según lo anteriormente descrito afirmamos que la dosis de 528 kg/ha (T2) fue el que más se aproximó a alcanzar los niveles de acidez intercambiable tolerable para suelos cafetaleros, podría ser debido al corto tiempo de investigación, ya que la cal dolomita tarda en reaccionar en el suelo.

Calderon (2022) afirma que la adición de cal en cantidades significativas siempre tendrá un impacto en contra del Al+3. En su investigación obtuvo una mejor neutralización con el tercer tratamiento (528 kg/ha), siendo este tratamiento con mayor incorporación de dolomita.

La acidez intercambiable (Al+3+H+) y el aluminio intercambiable (Al+3) se reducen conforme aumentan las dosis de las enmiendas, condición normal como respuesta a la aplicación de enmiendas calcáreas en suelos ácidos (Torrez, 2016).

El encalado de suelo consiste en agregar compuestos químicos de uso agrícola que contengan calcio, con el objetivo de que sean capaces de corregir la acidez y neutralizar el pH del suelo para cultivo (AEFA, 2022)

Figura 9. Efecto de la incorporación de dolomita en la acidez intercambiable (Al+H)



Porcentaje saturación de acidez intercambiable

CALCULOS

Saturación de acidez intercambiable antes de la incorporación de dolomita:

$$\text{Sat de acidez}(\%) = \frac{3,13}{4,85} \times 100$$

$$\text{Sat de acidez}(\%) = 64,54$$

Saturación de acidez intercambiable a los 150 días de la incorporación de dolomita T0 (testigo):

$$\text{Sat de acidez (\%)} = \frac{2,85}{4,67} \times 100$$

$$\text{Sat de acidez (\%)} = 61,03$$

Saturación de acidez intercambiable a los 150 días de la incorporación de dolomita T1(440Kg/ha):

$$\text{Sat de acidez (\%)} = \frac{2,42}{5,07} \times 100$$

$$\text{Sat de acidez (\%)} = 47,73$$

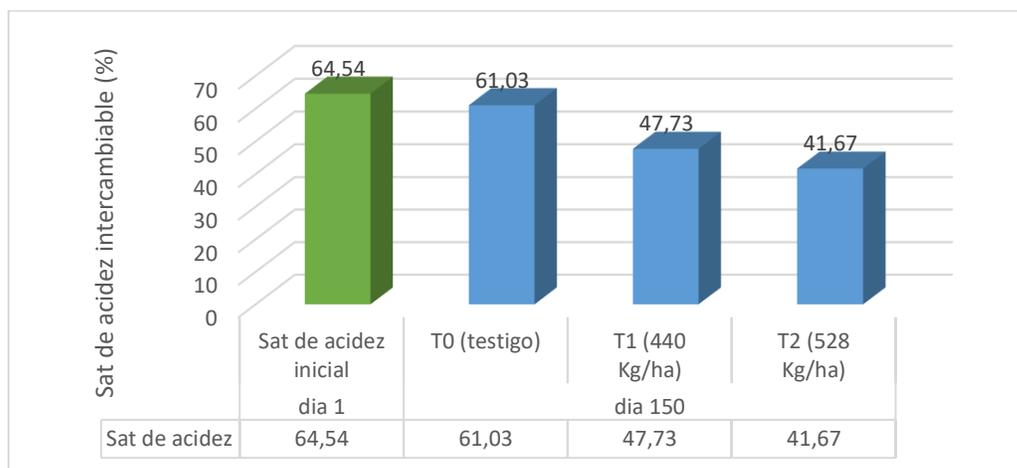
Saturación de acidez intercambiable a los 150 días de la incorporación de dolomita T2(528 Kg/ha):

$$\text{Sat de acidez (\%)} = \frac{2,35}{5,64} \times 100$$

$$\text{Sat de acidez (\%)} = 41,67$$

De acuerdo a la figura 10 se puede observar que el T2 logró disminuir el mayor porcentaje de saturación de acidez intercambiable durante el periodo de observación desde 64,54% a 41,67%, podemos decir que la incorporación del fertilizante tuvo efecto, ya que al disolverse la dolomita neutralizó los cationes ácidos. Por otro lado, la dosis 440Kg/ha (T1) alcanzó 47,73%, teniendo una similitud con el T2 (528 Kg/ha). En cuanto al T0(testigo) no logró disminuir de la misma manera que el T1 y T2, con un valor de 61,03%, siendo el tratamiento que obtuvo el mayor porcentaje de saturación de acidez intercambiable debido a que no se le incorporó el fertilizante que ayudaría a neutralizar los cationes ácidos.

Figura 10. Efecto de la incorporación de dolomita en el porcentaje de saturación de acidez intercambiable



La incorporación de dolomita si tuvo efecto para el porcentaje de saturación de bases, sin embargo, no existe una diferencia significativa entre la cantidad de cal dolomita que se incorporó.

El pH aumenta a medida que se incrementan las dosis de enmiendas, lo contrario se observó con los contenidos de acidez intercambiable y aluminio intercambiable.

5.3.6 Efecto de la dolomita sobre la Materia Orgánica

En relación al contenido de materia orgánica en el suelo, se observa en la figura 11 una similitud entre el T1 y T2 cuyos valores de porcentaje de materia orgánica fueron 5,99% y 6,10% respectivamente.

En cuanto el T0 (testigo) podemos observar que presenta el mayor contenido de materia orgánica con 7,25% y muestra diferencia con el T1 cuyo valor alcanzo 5,99%. Tal como menciona Thompson y Troeh (1994) (citado por Méndez, 2011), el encalado acelera la descomposición de la materia orgánica induciendo un descenso en el suelo.

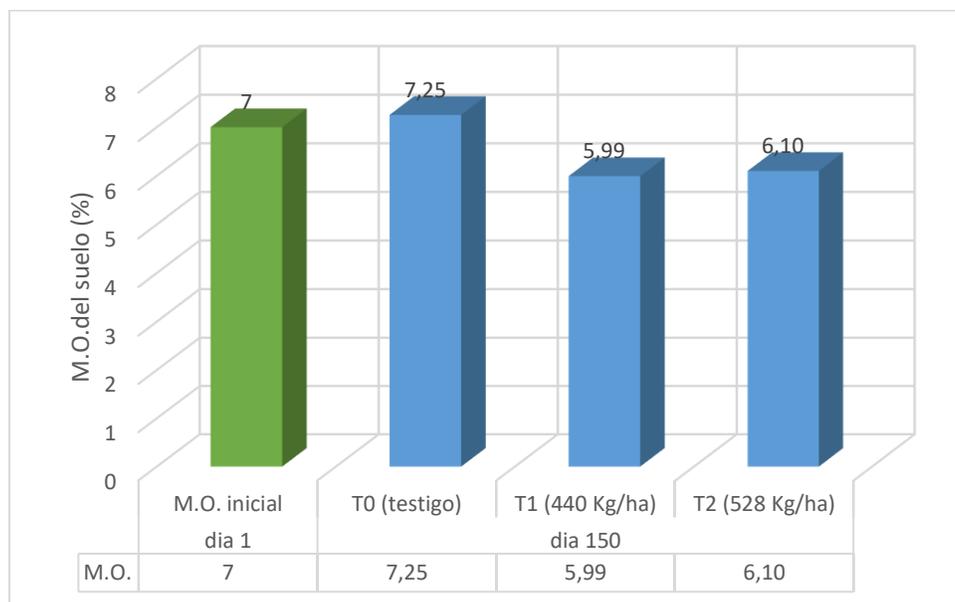
Sin embargo, los porcentajes de materia orgánico siguen siendo muy altos, Lozano & Lobo (s. f.) afirman que un contenido de materia orgánica mayor al 4 % se considera muy elevado.

Los niveles de materia orgánica coinciden con los resultados de Méndez (2011) quien en su investigación llego a la conclusión de que el efecto de la incorporación de dolomita incrementa: el pH del suelo, la disponibilidad de calcio, magnesio y potasio cambiante, diámetro de tallo de

los brotes de café y el número de ramas por brote de café, se reduce el contenido de materia orgánica, la acidez cambiante y el porcentaje de saturación de acidez.

Rosas (2021) menciona que la materia orgánica interviene de manera directa en la regulación de los niveles de disponibilidad de nutrientes mediante la formación de sustancias orgánicas que constituyen compuestos solubles, importantes en los procesos edafogénicos.

Figura 11. Efecto de la incorporación de dolomita en la Materia Orgánica (M.O.)



De acuerdo al análisis de varianza observamos en la tabla 13 que no existe una diferencia significativa entre las dosis de cal aplicados en suelos del cultivo de café. Datos que coinciden con los resultados de Jumpiri (2022), donde la incorporación de 354Kg/ha, 440Kg/ha y 528 Kg/ha de dolomita no tuvo un efecto significativo entre las dosis aplicadas para la Materia Orgánica.

Tabla 13. Análisis de varianza de la Materia Orgánica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,47	2	0,23	0,35	0,72
Tratamiento	2,67	2	1,34	2,01	0,25
Error	2,66	4	0,66		
Total	5,8	8			

C.V = 12,08%

Para la variable porcentaje de materia orgánica, se obtuvo un coeficiente de variación de 12,08% el cual nos indica que los datos son confiables, encontrándose dentro de los parámetros aceptados según Ochoa (2003).

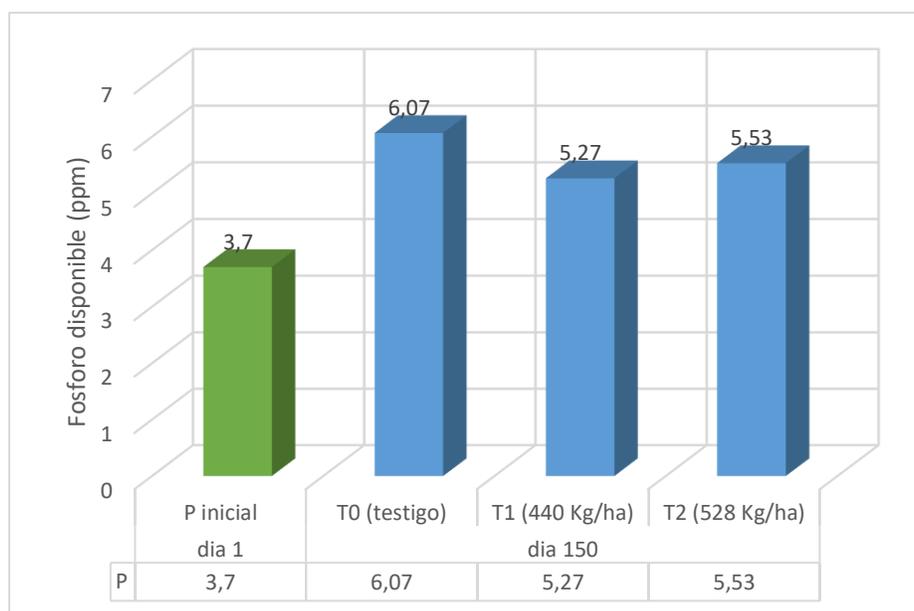
5.3.7 Efecto de la dolomita sobre el Fosforo disponible

De acuerdo a la figura 12 se observa que el contenido de fosforo disponible inicial fue de 3,7 ppm y a los 150 días ascendió en todos los tratamientos cuyos valores alcanzaron 6,07ppm (T0), 5,27ppm (T1) y 5,53ppm (T2). Sin embargo los niveles de fosforo para el tratamiento 1 y 2 son bajos con respecto al testigo (sin fertilizante), esto podría ser debido a la absorción de este nutriente por la planta, ya que para estos dos tratamientos la altura y diámetro de planta ascendieron gradualmente.

Por otro lado, podemos decir que la incorporación de las dos dosis de dolomita no tuvo un efecto significativo en el contenido de fosforo. Estos resultados coinciden con investigaciones pasadas donde Riva (2018) concluye que todos los niveles de dolomita se comportan con el mismo efecto y estadísticamente no obtuvo una diferencia significativa en los distintos niveles de fertilizante con respecto al contenido de fosforo en el suelo.

Sin embargo el contenido de fosforo disponible alcanzados en el periodo de observación (6,07ppm, 5,27ppm y 5,53ppm) no alcanzaron los rangos óptimos para los suelos, estando catalogadas como bajas (Monje, 1999).

Figura 12. Efecto de la incorporación de dolomita en el fosforo disponible (P)



De acuerdo al análisis estadístico de varianza (tabla 14) observamos que no existe diferencia significativa entre los niveles de cal dolomita.

Entre dosis de enmiendas no se observa diferencias estadísticas significativas, esto nos indica que ninguna dosis incorporada influye en el nivel de fosforo

Tabla 14. *Análisis de varianza del Fosforo disponible*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	11,04	2	5,52	3,33	0,14
Tratamiento	1	2	0,5	0,3	0,76
Error	6,63	4	1,66		
Total	18,67	8			

CV 22,90

Para la variable fosforo disponible el resultado de coeficiente de variación fue de 22,90%, lo que indica que es buen manejo de unidades experimentales, porcentaje que se encuentra dentro de los parámetros permitidos de confiabilidad.

5.4 Efecto de la aplicación de dolomita sobre las variables del cultivo de café

5.4.1 Altura de planta

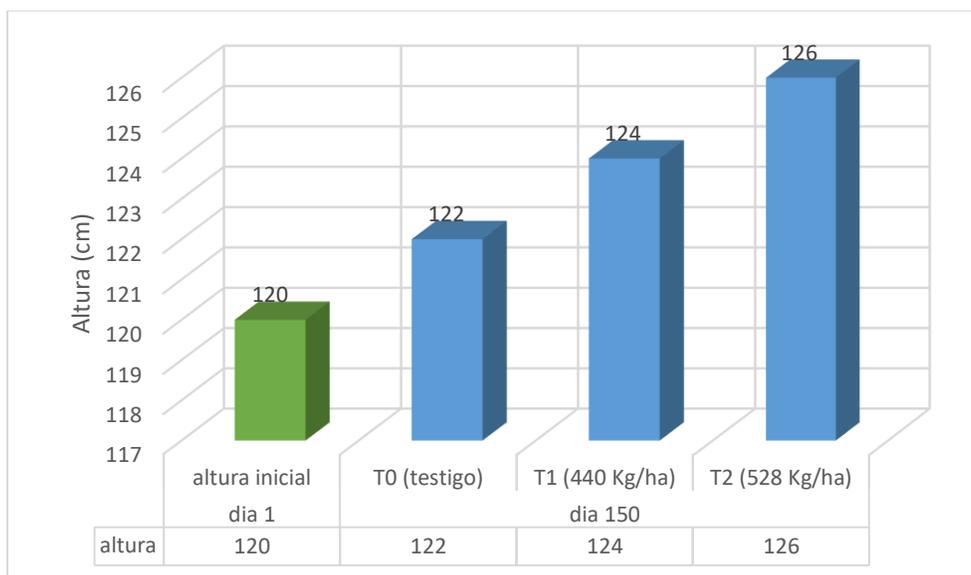
Desde la medición inicial de la altura de planta y la aplicación de la dolomita se ha podido observar que la altura de la planta dentro de los 150 días en el T1 y T2 han alcanzado 3,3% y 5%. Es decir, un incremento de 4 y 6 cm.

En cuanto al T0 (testigo) alcanzó una altura de 122 cm, siendo el tratamiento con menor incidencia para la variable altura de planta, por ausencia de la aplicación de dolomita.

De acuerdo a la figura 13 se muestra un incremento con forme se aumentó la dosis de dolomita, siendo el T2 (528Kg/ha) el que mayor tamaño ha alcanzado desde 120cm a 126 cm. Por otro lado, el T1 (440Kg/ha) incremento 2 cm con respecto a la altura del T0.

Podemos decir que la altura de planta incremento conforme se incrementaron la dosis de dolomita, esto debido al mejor nivel de pH, al incremento de calcio, magnesio, saturación de bases que se obtuvieron durante el periodo en observación. Estos resultados coinciden con los resultados de Jumpiri (2022), donde concluyo que la cal dolomita ayudo al crecimiento del cultivo de café, con 354Kg/ha, 440Kg/ha y 528Kg/ha

Figura 13. Efecto de la incorporación de dolomita en la altura de planta (*Coffea arábica*)



De acuerdo al Análisis de varianza se puede observar en la tabla 15 una diferencia significativa entre las dosis de cal aplicados en suelos del cultivo de café, efecto que se logró gracias al incremento de cal dolomita. Se muestra también que existieron diferencias entre T0, T1, T2 con 126cm, 124cm y 122 respectivamente.

Tabla 15. Análisis de varianza de la altura de planta

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	sig.
BLOQUE	192,89	2	96,44	217	0,062	Ns
TRATAMIENTO	32,89	2	16,44	37	0,026	*
Error	1,78	4	0,44			
Total	227,56	8				

C.V = 0,48%

De acuerdo al análisis de altura de planta, se obtuvo un coeficiente de variación de 0,48 el cual nos indica que los datos son confiables, encontrándose dentro de los parámetros aceptados según Ochoa (2003).

La diferencia que se obtuvo de manera proporcional entre los tratamientos T0, T1, T2 se debe a la aplicación de la cal dolomita, siendo que este tiene un efecto proporcional, por lo tanto, a mayor dosis de cal dolomita (T2 = 528Kg/ha) mayor será la altura de la planta para la presente investigación.

Tabla 16. Comparación de medias para la variable altura de planta

TRATAMIENTO	Medias	Columna5	Columna6	Columna7
T2	126,67	A		
T1	124		B	
T0	122			C

5.4.2 Diámetro de planta

De acuerdo a la figura 14 y tabla 17 se observa una similitud entre T1 (440Kg/ha) y T2 (528Kg/ha), cuyos valores alcanzaron un promedio de 29,9 y 29,96 respectivamente lo que significa un crecimiento de 3,4%, valores que alcanzaron incrementar 1,9mm con respecto T0, efecto que se logró por la incorporación de dolomita, ya que gracias a este fertilizante se lograron incrementar los diferentes nutrientes que existían el suelo antes del encalado, ayudando con la disponibilidad de nutrientes en el suelo, siendo estos que favorecen el crecimiento y desarrollo de la planta.

En cuanto al T0 (testigo) alcanzo un diámetro de 28mm, con una diferencia de 2mm con respecto al diámetro inicial. Fue el tratamiento con menor diámetro de planta, debido a que no se le incorporo dolomita.

Contrastando con investigaciones pasadas, Calderon (2022) y Jumpiri (2022) concluyeron que el efecto de aplicación de la cal dolomita sobre el diámetro de planta no causa gran impacto a los 120 días.

Figura 14. Efecto de la incorporación de dolomita, en el diámetro de la planta (*Coffea arábica*)

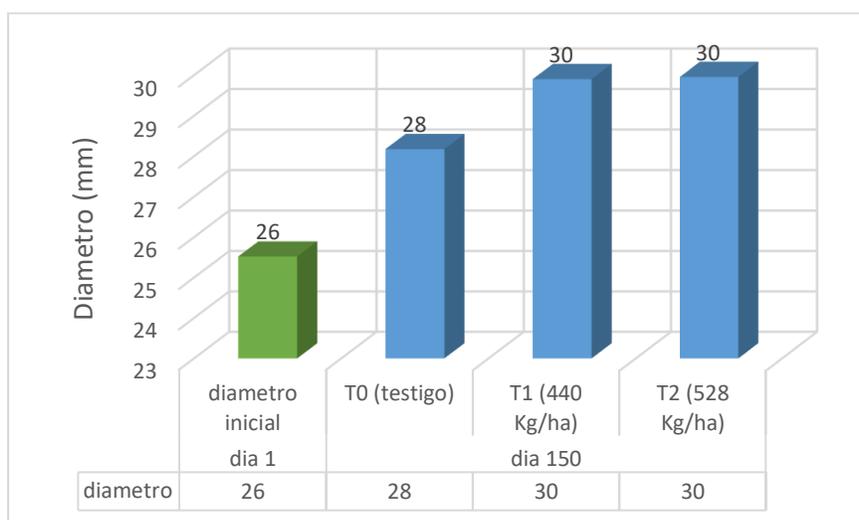


Tabla 17. *Análisis de varianza del diámetro de la planta*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	sig.(5%)
BLOQUE	26,48	2	13,24	266,33	0,085	Ns
TRATAMIENTO	6,16	2	3,08	61,93	0,01	*
Error	0,2	4	0,05			
Total	32,84	8				

CV = 0,76%

El coeficiente de variación fue de 0,76 % valor que muestra la confiabilidad de los datos obtenidos. En la Tabla 17 de Análisis de Varianza de la variable diámetro de planta observamos una diferencia significativa entre los tratamientos

La diferencia del T1, T2 contra T0 se debe a la aplicación de la cal dolomita, siendo que T0 es testigo por lo que no se le aplicó la enmienda. Por lo tanto, la aplicación de cal influye en el crecimiento del diámetro de tallo y no así las diferentes dosis.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

- La aplicación de cal dolomita en suelos de Taipiplaya con dosis de T1 440 y T2 528 Kg/ha tuvo efecto en cuanto al incremento de niveles de pH, cuyo valor inicial fue de 4,62, con el fertilizante aumento 4,99 y 4,97 respectivamente, acercándose a los niveles óptimos para el cultivo de café.
- Para el Ca y Mg y porcentaje de saturación de bases se tuvo un efecto positivo en los dos tratamientos de dolomita, aunque no presentaron incrementos importantes, obteniendo el mayor incremento de estas variables en el T2 donde se aplicaron 528 Kg/ha, alcanzo un calcio de 1,08 meq/100gS, el magnesio 1,5 meq/100gS y el porcentaje de saturación de bases 49,97%. Sin embargo, el análisis de varianza nos demostró que no tuvieron diferencia significancia en cuanto a tratamientos ninguna de estas variables.
- El cambio de la acidez intercambiable por la acción de la dolomita se evaluó determinando que el tratamiento 2 (528 Kg/ha), después de los 150 días de incorporación del fertilizante alcanzo a disminuir 2,35meq/100gS., aunque no alcanzo el nivel adecuado de acidez intercambiable para el suelo, fue el que más se aproximó a los rangos óptimos.
- Las dosis evaluadas T1(440Kg/ha) y T2(528 Kg/ha) no tuvieron efecto directo en el porcentaje de materia orgánica ya que el tratamiento 1 y el tratamiento 2 no presentaron diferencias con el T0 (testigo) cuyo tratamiento no se le incorporo el fertilizante.
- Se determinó que la cal dolomita en el tiempo estudiado no tuvo gran impacto en la altura y diámetro de planta a los 150 días de aplicación del fertilizante. Sin embargo, el análisis de varianza nos mostró una diferencia de 2cm de altura de planta entre tratamientos y 2mm de diámetro entre T0 (testigo) y los tratamientos con fertilizante. Por lo tanto, el T2 (528 Kg/ha) fue el tratamiento que alcanzo el mayor tamaño de planta entre los dos tratamientos con fertilizante.
- La dosis de fertilizante más apropiada para la presente investigación fue T2 (528Kg/ha), tratamiento que logro mejorar la fertilidad del suelo. Cuyo tratamiento obtuvo la mejor altura de planta.

7. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación se recomienda lo siguiente:

- A fin de apoyar efectivamente a la producción agrícola de pequeños productores en el área del cultivo de café, sería importante que los estos programas tengan mayor duración de investigación y mayor apoyo.
- recomendar las características técnicas de la enmienda calcárea utilizado en base a análisis de laboratorios confiables, antes de la incorporación en el suelo. Estos nos servirán para calcular la dosis requerida para el suelo en investigación
- Efectuar una socialización de los resultados a los productores de café, con la finalidad de dar a conocer la importancia del encalado en suelos ácidos

8. BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, C., Barillas, H., & Zelaya, S. (2004). Estudio de suelos ácidos (pH menor o igual a 5.5) con potencial agrícola, en las zonas de Cojutepeque y Ciudad Arce [Proyecto de Grado]. Facultad de Química y Farmacia, Universidad de el Salvador. El Salvador.
- Álvarez, C; Rimski-Korsakov, H. (2016). Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos. Ed. EFA. Buenos Aires, s.e., 165.
- Bernier, R. y Alfaro, M. (2006). Acidez de los Suelos y Efectos del Encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Osorno, Chile.
- Calderon, V. (2022). Evaluación del cambio de acidez en el suelo por acción de la dolomita, mejorando las condiciones para el cultivo de café catuaí rojo (*coffea arabica* l.) en el cantón de chijchipani del municipio de caranavi del departamento de la paz. Proyecto de grado. Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.
- Campillo, R; Sadzawka, R. (2004). Acidificación de los suelos y los procesos involucrados. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional Remehue. Chile.
- Casas, R. (2012). El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. España. Editorial Paraninfo. 237 p.
- CENICAFE. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café. Colombia.
- CENICAFE. (2016). La acidez del suelo. Programa de Investigación Científica Fondo Nacional del Cafe. Colombia.
- CICAFE (Centro en investigaciones en café). 2011. Guía técnica para el cultivo de café. Instituto del café de Costa Rica. Primera Edición. Heredia - Costa Rica. p 72.
- CIMMYT, (Centro Integral de Mejoramiento de Maíz y Trigo). (s. f.). Suelos ácidos y alcalinos. Obtenido de: <http://wheatdoctor.org/es/suelos-acidos-y-alkalinos>
- Conde, V. (2023). Efecto del encalado en el comportamiento morfológico del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de establecimiento en la estación experimental de Sapecho. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.
- Encina, A. (2016). Efectos nocivos del aluminio en el suelo. ABC Rural. Disponible en el sitio web <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/abcrural/efectos-nocivos-del->

aluminio-en-el-suelo---prof-dr-arnulfo-encinarojas--1509421.html Consultado el 20 de septiembre de 2023.

Espinosa J, Molina E. 1999. Acidez y encalado de suelos. International Plant Nutrition Institute IPNI.

Espinoza Principe, B. J. 2019. Efecto del compost, dolomita y magnocal en el contenido de cadmio del suelo y los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) del clon CCN-51.

FAO, & GTIS. (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS). Roma, Italia.

Fassbender, H., y Bornemisza, E. (1987). Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica.

Fischersworing, H. 2011. Guía para la caficultura ecológica.

García, E. 2013. Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiáridos: adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implicación en la fijación de carbono. s.l., Universidad de Murcia. 321 p.

INIA. (2015). Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Semana de la Ciencia y Tecnología.

Jumpiri, A. (2023). Evaluación de encalado de suelo bajo diferentes dosis en el municipio de Caranavi. Tesis de grado. Universidad Pública de El Alto.

Lima, J. (2019). Criterios de Encalado para la Restauración de Suelos Ácidos, en la Comunidad San Pablo del Municipio de Caranavi [Tesis de Maestría]. Escuela Militar de Ingeniería. La Paz, Bolivia.

Lozano, Z., & Lobo, D. (s. f.). Criterios para la interpretación de los análisis de suelos con fines de diagnóstico de calidad y condiciones limitantes. Instituto de Edafología, Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

MARETERRA .(2021). Condiciones meteorológicas óptimas para el cultivo de café. Obtenido de: <https://mareterracoffee.com/es/blog/condiciones-meteorologicas-optimas-para-el-cultivo-de-cafe/>

McKean, S. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Palmira, Colombia.

- MDRyT, (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras). (2019). Ficha técnica del café. Obtenido de:
https://www.cancilleria.gob.bo/coffee/sites/default/files/documentos_pdf/INF%20CAFE%203.pdf
- MDRyT (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras), 2021. Programa Nacional de Café. (En línea). Consultado el 2 de julio del 2021. Disponible en:
<https://www.ruralityerras.gob.bo/index.php?in=8162>
- Meléndez, G.; Molina, E. 2001. Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica. Centro de investigaciones agronomicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 144 p.
- Méndez, M. (2011). Estudio comparativo de la aplicación de dos enmiendas calcáreas sobre un suelo ácido y el desarrollo vegetativo de cafetales con poda de rehabilitación (*Coffea arabica* L.) var. Caturra Roja, en la Provincia de Satipo. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. Tesis de grado.
- Monroig, I. (2010). Morfología del cafeto.
- Ochoa, R. (2009). Diseños Experimentales. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Ochoa, R. (2014). Diseños experimentales. La Paz, Bolivia.
- Orsag, V. (2010). El recurso suelo principios para su manejo y conservación. La Paz, Bolivia: Editorial Zeus.
- Porta, J; Lopez, M; Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. 960 p.
- PRISMAB (2022). Textura de suelo y como influyen en el cultivo. Disponible en el sitio web:
<https://prismab.com/blog/que-son-las-texturas-del-suelo-y-como-influyen-en-los-cultivos/#:~:text=Las%20texturas%20del%20suelo%20no,se%20erosionan%20con%20mayor%20facilidad>
- PTDI - GAMC, (Gobierno Autónomo Municipal Caranavi). (2020). Plan Territorial de Desarrollo Integral, PTDI 2016-2020. La Paz, Bolivia.
- Quiroga, A; Bono, A. (2012). Manual de fertilidad y evaluación de. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA Argentina, s.e., 156.

- Quiroga, M. (2014). Efecto de la aplicación de materiales encalantes en el cultivo de la vid cv. Mencía en la D. O. Bierzo, incidencia sobre la composición fenólica y evolución en la crianza del vino. Universidad de León. España. Tesis doctoral.
- Roos, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenible en palma de aceite. América Latina.
- Rosas, J. (2021). Efecto de la aplicación de la dolomita y magnocal en la dinámica del suelo y crecimiento vegetativo del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en neshuya - Padre Abad. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de ciencias Agropecuarias, Escuela Profesional de Agronomía, Pucallpa, Perú.
- Rucks, L., García, F., Kaplan, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de La Republica. Montevideo, Uruguay.
- SENAMHI. (s. f.). SENAMHI - Página principal. Recuperado 15 de marzo de 2022, de <http://senamhi.gob.bo/index.php/inicio>
- Soriano, S. (2018). Bases de cambio de suelo. Universidad Politecnica de Valencia. España.
- Teuscher, H., & Adler, R. (1984). El suelo y su fertilidad. Editorial Continental, Octava Edición. México.
- Torrez, R. C. (2016). Efecto de fuentes de encalado en las propiedades químicas de suelos ecuatorianos de diferente material parental. Tesis de grado para la obtención de título de ingeniera agrónoma. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Carrera de Ingeniería Agronómica, Quito, Ecuador.
- Valencia, G, 1998. Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. 61 p.
- <https://www.fao.org/soils-portal/resources/es/>

9. ANEXOS

Anexo 1. Archivo fotográfico del estudio: “Evaluación del efecto de dos niveles de encalado del suelo con dolomita en el cultivo de café (*coffea arabica*) en el canton Taipiplaya del municipio de Caranavi” llevada a cabo entre noviembre de 2021 a abril de 2022.







Anexo 2. Análisis del suelo inicial



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)

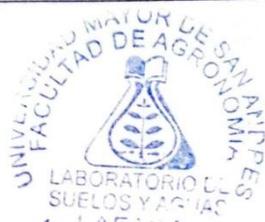


RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 17 21

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 17_21
FACTURA: INSTITUCIÓN PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 18/11/21
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
 Municipio Caranavi
 Comunidad Ingavi 2
 Cantón Taipiplaya
 Nombre del Propietario Eugenio
 Código CC-02

	PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	23	Bouyoucos
	Limo	%	33	
	Arcilla	%	44	
	Clase Textural	-	Arcilloso	
	Densidad Aparente	g/cm3	0.889	Probeta
	pH en H2O relación 1:5	-	4.62	Potenciometría
	Conductividad eléctrica en agua 1:5	mmhos/cm	0.04	Potenciometría
	Acidez Intercambiable (Al+H)	meq/ 100g S.	3.13	Volumetría
	Calcio intercambiable	meq/ 100g S.	0.84	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
	Magnesio intercambiable	meq/ 100g S.	0.62	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
	Sodio intercambiable	meq/ 100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
	Potasio intercambiable	meq/ 100g S.	0.27	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
	Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/ 100g S.	4.85	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
	Nitrógeno total	%	0.54	Kjendahl
	Materia orgánica	%	14	Walkley y Black
	Fósforo disponible	ppm	34.70	Espectrofotometría UV-Visible




 Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS

Anexo 3. Análisis de suelo final



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



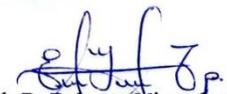
RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 93 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO:	Tatiana Quilla
SOLICITUD:	CAF 93_22
FACTURA	INSTITUCION PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA:	04/03/22
PROCEDENCIA:	Departamento La Paz Municipio Caranavi Comunidad Segunda Ingavi Cantón Taipiplaya Nombre del Propietario Eugenio Villca Maldonado Código MB-02

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	24	Bouyoucos
	Limo	%	35	
	Arcilla	%	41	
	Clase Textural	-	Arcilloso	
Densidad Aparente		g/cm ³	0.909	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	4.75	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.04	Potenciometría
Acidez Intercambiable (Al+H)		meq/100g S.	2.91	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	1.09	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	1.91	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.28	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	6.19	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.35	Kjendahl
Materia orgánica		%	7.51	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	6.60	Espectrofotometría UV-Visible




 Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



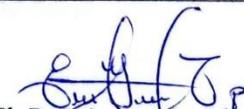
RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 92 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 92_22
FACTURA: INSTITUCION PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 04/03/22
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Caranavi
Comunidad Segunda Ingavi
Cantón Taipiplaya
Nombre del Propietario Eugenio Villca Maldonado
Código MB-01

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	24	Bouyoucos
	Limo	%	33	
	Arcilla	%	43	
	Clase Textural	-	Arcilloso	
Densidad Aparente		g/cm ³	1.000	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	4.66	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.03	Potenciometría
Acidez Intercambiable (Al+H)		meq/100g S.	3.32	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	0.25	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.69	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.23	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	4.49	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.30	Kjendahl
Materia orgánica		%	5.49	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	5.85	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 91 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 91_22
FACTURA: INSTITUCION PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 04/03/22
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
 Municipio Caranavi
 Comunidad Segunda Ingavi
 Cantón Taipiplaya
 Nombre del Propietario Eugenio Villca Maldonado
 Código MB-00

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	24	Bouyoucos
	Limo	%	38	
	Arcilla	%	38	
	Clase Textural	-	Franco Arcilloso	
Densidad Aparente		g/cm ³	0.909	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	4.44	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.05	Potenciometría
Acidez Intercambiable (Al+H)		meq/100g S.	3.32	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	0.29	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.71	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.23	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	4.55	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.39	Kjendahl
Materia orgánica		%	8.20	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	9.10	Espectrofotometría UV-Visible



Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)

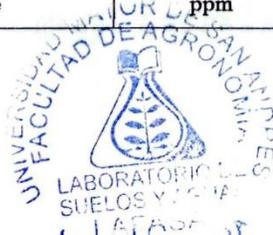


RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 90 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 90_22
FACTURA: INSTITUCION PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 04/03/22
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Caranavi
Comunidad Segunda Ingavi
Cantón Taipiplaya
Nombre del Propietario Eugenio Villca Maldonado
Código MM-02

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	42	Bouyoucos
	Limo	%	12	
	Arcilla	%	46	
	Clase Textural	-	Arcilloso	
Densidad Aparente		g/cm ³	1.000	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	5.23	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.04	Potenciometría
Acidez Intercambiable (Al+H)		meq/100g S.	1.08	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	3.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	1.66	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.20	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	5.94	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.31	Kjendahl
Materia orgánica		%	6.37	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	4.85	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)

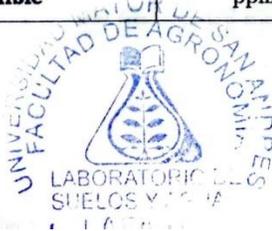


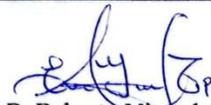
RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 89 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 89_22
FACTURA: INSTITUCIÓN PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 04/03/22
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Caranavi
Comunidad Segunda Ingavi
Cantón Taipiplaya
Nombre del Propietario Eugenio Vilca Maldonado
Código MM-01

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	22	Bouyoucos
	Limo	%	37	
	Arcilla	%	41	
	Clase Textural	-	Arcilloso	
Densidad Aparente		g/cm ³	1.000	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	5.06	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.04	Potenciometría
Acidez Intercambiable (Al+H)		meq/100g S.	2.07	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	2.01	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	1.29	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.20	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	5.57	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.30	Kjendahl
Materia orgánica		%	6.18	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	5.80	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)

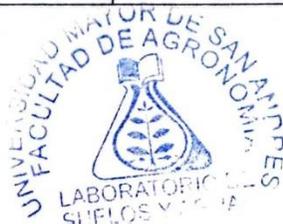


RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 88 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 88_22
FACTURA: INSTITUCION PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 04/03/22
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Caranavi
Comunidad Segunda Ingavi
Cantón Taipiplaya
Nombre del Propietario Eugenio Villca Maldonado
Código MM-00

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	19	Bouyoucos
	Limo	%	36	
	Arcilla	%	45	
	Clase Textural	-	Arcilloso	
Densidad Aparente		g/cm ³	1.000	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	4.77	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.04	Potenciometría
Acidez Intercambiable (Al+H)		meq/100g S.	2.98	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	0.81	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.78	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.19	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	4.76	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.33	Kjendahl
Materia orgánica		%	7.38	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	4.20	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 87 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 87_22
FACTURA: INSTITUCION PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 04/03/22
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Caranavi
Comunidad Segunda Ingavi
Cantón Taipiplaya
Nombre del Propietario Eugenio Villca Maldonado
Código MA-02

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	17	Bouyoucos
	Limo	%	46	
	Arcilla	%	37	
	Clase Textural	-	Franco Arcilloso Limoso	
Densidad Aparente		g/cm ³	0.976	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	4.92	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.04	Potenciometría
Acidez Intercambiable (Al+H)		meq/100g S.	3.06	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	0.70	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	0.87	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.15	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	4.78	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.34	Kjendahl
Materia orgánica		%	7.13	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	5.15	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



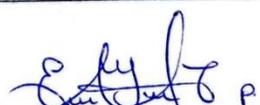
RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 86 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 86_22
FACTURA: INSTITUCION PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 04/03/22
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Caranavi
Comunidad Segunda Ingavi
Cantón Taipiplaya
Nombre del Propietario Eugenio Villca Maldonado
Código MA-01

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	24	Bouyoucos
	Limo	%	35	
	Arcilla	%	41	
	Clase Textural	-	Arcilloso	
Densidad Aparente		g/cm ³	1.026	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	5.26	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.04	Potenciometría
Acidez Intercambiable (A+H)		meq/100g S.	1.87	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	2.02	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	1.08	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.18	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	5.15	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.31	Kjendahl
Materia orgánica		%	6.31	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	4.15	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
EN SUELOS Y AGUAS (LAFASA)



RES: FAC.AGRO.LAB. N°CAF 85 22

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO: Tatiana Quilla
SOLICITUD: CAF 85 22
FACTURA: INSTITUCION PÚBLICA DESCONCENTRADA ALIMENTARIA
FECHA DE ENTREGA: 04/03/22
PROCEDENCIA: Departamento La Paz
Municipio Caranavi
Comunidad Segunda Ingavi
Cantón Taipiplaya
Nombre del Propietario Eugenio Vilca Maldonado
Código MA-00

PARAMETRO		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
TEXTURA	Arena	%	24	Bouyoucos
	Limo	%	33	
	Arcilla	%	43	
	Clase Textural	-	Arcilloso	
Densidad aparente		g/cm ³	1.000	Probeta
pH en H₂O relación 1:5		-	5.11	Potenciometría
Conductividad eléctrica en agua 1:5		mmhos/cm	0.04	Potenciometría
Acidez Intercambiable (Al+H)		meq/100g S.	2.26	Volumetría
Calcio intercambiable		meq/100g S.	1.12	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Magnesio intercambiable		meq/100g S.	1.17	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de absorción atómica)
Sodio intercambiable		meq/100g S.	0.00	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Potasio intercambiable		meq/100g S.	0.16	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión atómica)
Capacidad de Intercambio Catiónico		meq/100g S.	4.71	Acetato de amonio 1N (Espectrofotómetro de emisión y absorción atómica) Volumetría
Nitrógeno total		%	0.32	Kjendahl
Materia orgánica		%	6.18	Walkley y Black
Fósforo disponible		ppm	4.90	Espectrofotometría UV-Visible




Ph.D. Roberto Miranda Casas
LABORATORIO DE SUELOS