

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**Técnica del elemento faltante en la evaluación de la fertilidad del  
suelo con cultivo de palto (*Persea americana Mill.*), en Churcampa -  
Huancavelica, 2021**

Tesis para obtener el título profesional de:  
**Ingeniero Agrónomo**

Presentado por:  
**Bach. Julio Cesar Guillen Toscano**

Asesor:  
**Ing. Juan Benjamin Girón Molina**

**Ayacucho - Perú**

**2024**

A Dios, por haberme  
dado salud y permitir lograr  
mis objetivos.

A mí querida madre: Honora  
Toscano Santana, por ser pieza fundamental  
en mi vida y educación, por su apoyo  
incondicional, este trabajo ha sido posible  
gracias a ella.

A mi hijo: Sebastián André,  
quien constituye el mayor regalo  
que Dios me ha dado, a él le quiero  
dedicar muy especialmente este  
esfuerzo.

A mis hermanos: José Antonio y  
Luis Antonio, por el apoyo y aliento  
constante, y por guiarme para el logro para  
superarme.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi alma mater de mi escuela de formación profesional, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga,

A la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a la Escuela de Profesional de Agronomía por la formación y realización de nuevos conocimientos y enseñanzas agronómicas.

Al Ingeniero Juan Benjamín Girón Molina, asesor del presente trabajo de investigación, por brindarme su apoyo incondicional desde el inicio hasta la finalización.

A mis amigas y amigos, y a todas las personas que directamente o indirectamente contribuyeron en la materialización del presente proyecto.

## INDICE GENERAL

<i>RESUMEN</i> .....	1
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	2
<i>CAPITULO I</i> .....	4
<i>MARCO TEORICO</i> .....	4
1.1.Generalidades .....	4
1.2.El suelo.....	4
1.3.La fertilidad del suelo.....	6
1.4.Evaluación de la fertilidad del suelo .....	6
1.5.Análisis de suelo.....	7
<b>1.5.1.</b> Objetivos de los análisis de suelos. ....	8
1.5.2 Como se analiza el suelo.....	8
1.6.Análisis de plantas.....	9
1.7.Cultivo del palto .....	11
1.8.Razas y cultura.....	11
1.9.Descripción de las principales variedades .....	12
1.10.Características morfológicas de la fruta: .....	13
1.11.Requerimientos de suelo y clima del cultivo.....	14
1.12.Manejo del cultivo.....	15
1.13.Elementos Esenciales. ....	20
1.14.Nutrición mineral de las plantas .....	21
1.15.El Nitrógeno (N).....	21
1.16.El Fósforo (P) .....	22
1.17.El Potasio (K).....	25
1.18.El Calcio (Ca).....	28
1.19.El Magnesio (Mg) .....	30
1.20.El Azufre (S) .....	31
1.21.Microelementos (ME) .....	32
1.22.Técnica del elemento faltante.....	32
1.23.Síntomas foliares de deficiencias nutricionales.....	33
1.24.Diagnostico visual .....	35

1.25. El cultivo del tomate.....	35
1.25.1. Descripción Botánica .....	36
1.25.2. Clasificación Taxonómica.....	36
1.25.3. Morfología de la planta de tomate .....	37
1.25.4. Requerimientos ambientales en el cultivo del tomate .....	38
<i>CAPITULO II</i> .....	40
<i>METODOLOGIA</i> .....	40
2.1. Ubicación del experimento.....	40
2.2.Procedencia de las muestras .....	41
2.3. Aspectos físicos del distrito de Churcampa .....	42
2.5 Análisis de suelos .....	45
2.6. Materiales y equipos.....	45
2.7. Diseño experimental y análisis estadístico .....	46
2.8. Tratamientos .....	47
2.9. Conducción del ensayo.....	48
2.9.1. Trabajo en invernadero.....	48
2.9.2 Instalación del experimento.....	49
2.10. Parámetro de evaluación .....	51
2.10.1. Rendimiento de materia seca (g/maceta).....	51
<i>CAPITULO III</i> .....	52
<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i> .....	52
3.1.Del análisis físico químico de los suelos .....	52
3.1.1 Suelo de Soccos.....	52
3.1.2. Suelo de Ccahuiña .....	58
3.1.3. Suelo de Pichcay .....	60
3.1.4. Suelo de Ccorohuaya:.....	64
3.1.6. Suelo de Paccha.....	69
3.1.7. Suelo de Santiago de Acco.....	71
3.1.8. Suelo de Soccllapampa.....	73
3.2. Identificación de elementos deficientes en los suelos a través del rendimiento de materia seca .....	75

3.2.1. Suelo de Soccos.....	76
3.2.3. Suelo de Pichcay: .....	80
3.2.4. Suelo de Ccorohuaya:.....	82
3.2.5. Suelo de Piruacocha.....	85
3.2.6. Suelo de Paccha:.....	87
3.2.7. Suelo de Santiago de Acco.....	89
3.2.8. Suelo de Soccllapampa.....	91
3.3. Identificación de elementos deficientes por tratamientos a través del rendimiento de materia seca .....	92
3.3.1. Del contenido de Nitrógeno .....	93
3.3.2. Del contenido de Fosforo .....	95
3.3.3. Del contenido de Potasio:.....	96
3.3.4. Del contenido de Calcio .....	98
3.3.5. Del contenido de Magnesio.....	100
3.3.6. Del contenido de Azufre.....	102
3.3.7. Del contenido de Microelementos.....	104
3.3.8. Del Tratamiento Completo.....	106
3.3.9. Del Tratamiento Testigo.....	108
4.1. CONCLUSIONES.....	110
4.2. RECOMENDACIONES .....	111
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</i>	<i>112</i>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tolerancia a las heladas del palto .....	16
Tabla 1.2 Número de árboles según el marco de plantación.....	19
Tabla 1.3 Nivel de fertilizantes según edad de la planta.....	19
Tabla 2.1 Coordenadas geográficas (UTM) de parcelas representativas del distrito de Churcampa. ....	42
Tabla 2.2 El análisis de varianza (ANVA) corresponde al siguiente modelo.....	47
Tabla 2.3 Tratamientos empleados en la técnica del elemento faltante .....	47
Tabla 2.4 Niveles y fuentes de nutrientes .....	50
Tabla 3.1 Análisis de caracterización del suelo con cultivo de palto de las parcelas representativas de las ocho localidades del distrito de Churcampa - Huancavelica .....	57
Tabla 3.2 Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) en diferentes suelos, (localidades) y su interacción.....	75
Tabla 3.3 Análisis de variancia (ANVA) del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Soccos .....	76
Tabla 3.4 Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Ccahuiña.....	78
Tabla 3.5 Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (gr/maceta) para el suelo de la Localidad de Pichcay.....	80
Tabla 3.6 Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Ccorohuaya .....	82
Tabla 3.7 Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Piruacocha. ....	85
Tabla 3.8 Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Paccha. ....	87
Tabla 3.9 Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Santiago de Acco. ....	89
Tabla 3.10 Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Soccllapampa. ....	91

Tabla 3.11 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin Nitrógeno (-N) en suelos.....	93
Tabla 3.12 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin fósforo (-P) en suelos. ....	95
Tabla 3.13 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin potasio (-K) en suelos.....	96
Tabla 3.14 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin calcio (-Ca) en suelos. ....	98
Tabla 3.15 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin magnesio (-Mg) en suelos. ....	100
Tabla 3.16 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin azufre (-S) en suelos.....	102
Tabla 3.17 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin microelementos (-ME) en suelos.....	104
Tabla 3.18 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento completo (C) en suelos.....	106
Tabla 3.19 Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento testigo (T) en suelos. ....	108

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación geográfica del lugar.....	40
Figura 2.2 Parcelas seleccionadas del distrito de Churcampa.....	41
Figura 3.1 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Soccos. ....	77
Figura 3.2 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Ccahuña. ....	79
Figura 3. 3 prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (gr/maceta) para los Tratamientos en estudio en el suelo de Pichcay.....	81
Figura 3. 4 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (gr/maceta) para los tratamientos en estudio en el suelo de Ccorohuaya. ....	84
Figura 3. 5 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Piruacocha.....	86
Figura 3. 6 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en el suelo de Paccha. ....	88
Figura 3. 7 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Santiago de Acco.....	90
Figura 3. 8 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Soccllapampa.....	92
Figura 3. 9 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Nitrógeno (-N) en los diferentes suelos.....	93
Figura 3.10 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Fosforo (-P) en los diferentes suelos .....	95
Figura 3.11 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Potasio (-K) en los diferentes suelos .....	97
Figura 3.12 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Calcio (-Ca) en los diferentes suelos .....	99
Figura 3.13 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Magnesio (-Mg) en los diferentes suelos. ....	101
Figura 3.14 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Azufre (-S) en los diferentes suelos.....	103

Figura 3.16 Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento Completo (C) en los diferentes suelos .....	107
Figura 3.17 Prueba Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento testigo (T) en los diferentes suelos.....	108

### **INDICE DE ANEXOS**

Anexo 01. panel fotografico.....	118
----------------------------------	-----

## RESUMEN

La fertilidad suele definirse como la capacidad del suelo para proporcionar de forma equilibrada los nutrientes que necesitan los cultivos. La fertilidad del suelo se cuantifica de dos maneras: evaluando las reservas totales de nutrientes disponibles para los cultivos o su respuesta a la fertilización. El propósito del diagnóstico es mostrar el alcance de la deficiencia de nutrientes que puede sufrir un cultivo en particular como base para las recomendaciones de fertilización. Existen varias técnicas para evaluar la fertilidad del suelo, una de las más importantes es la técnica del elemento faltante, la cual ha sido experimentada en condiciones de invernadero en el Programa de Investigación de Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias. El objetivo fue evaluar los elementos nutritivos del suelo donde se cultivan aguacates en ocho localidades de Churcampa, identificar deficiencias de nutrientes y relacionar las propiedades químicas del suelo con su valor nutricional en la producción de materia seca. Se caracterizó el suelo y se realizaron experimentos con los elementos faltantes en un invernadero con macetas de 1 kg de capacidad y tomate como planta indicadora. El experimento adoptó un diseño completamente al azar (DCR) que consideró 8 parcelas agrícolas, 9 tratamientos y 3 repeticiones, permitiendo 216 unidades experimentales. La productividad de materia seca (g/maceta) se calculó mediante el ANVA y la prueba de comparación de medias de Duncan. El nitrógeno total del suelo y el fósforo disponible son bajos, el potasio disponible es de medio a alto, el calcio, magnesio, azufre y oligoelementos son medios y la proporción de cationes está desequilibrada. El tratamiento completo fue el tratamiento con mayor valor de materia seca y presentó deficiencias en el siguiente orden: N>P>ME>K>S>Ca>Mg.

**PALABRAS CLAVE:** Fertilidad del suelo, Elemento Faltante, Propiedades químicas Limitancia de Nutrientes, Palto.

## INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana Mill.*) es un cultivo de trópico que prospera en las zonas costeras y los valles inter-andinos del Perú. La diversidad climática y edáfica de nuestro país influye en la elección de los cultivos por región, otorgando así una ventaja significativa a los agricultores. El aguacate ha demostrado su capacidad de adaptación a las condiciones agroecológicas de los valles interandinos de Churcampa, Huancavelica. El manejo adecuado de este cultivo posibilita la obtención de cosecha de una variedad en épocas diferentes del año, lo que representa una superioridad estratégica a las oportunidades para exportación de las variedades Fuerte y Hass a diversos lugares del mundo.

La Asociación Peruana de Productores de Aguacate Hass (ProHass) pronostica que Perú exportará 624.000 toneladas de aguacate Hass en 2023, un aumento del 12,5% respecto de las 554.498 toneladas de 2022. Para lograr este volumen de exportación, integrando los niveles de producción con manejo de suelos y cultivos orgánicos y teniendo en cuenta la tecnología en cada factor de producción. Respecto al suelo, se deben considerar sus propiedades físicas, químicas y biológicas para comprender su idoneidad. En este contexto, se recomienda una combinación de trabajo de campo (muestreo de campos de producción), laboratorio (caracterización del suelo) e invernadero (pruebas biológicas) para la principal zona productora de aguacate en la provincia de Churcampa. La tecnología de elementos faltantes permite la identificación de nutrientes faltantes que se correlacionan con el desempeño de la planta en ausencia de un nutriente específico.

El éxito del diagnóstico depende de la correcta comprensión de las necesidades básicas de la planta, del suelo y de la interpretación precisa de los datos obtenidos. Para determinar de forma práctica el grado de fertilidad del suelo se suelen utilizar diversas técnicas; dos de ellos son pruebas químicas del suelo y pruebas biológicas; Eso significa; por medio del desarrollo y crecimiento de las plantas podemos inferir en la falta de nutrientes. Este método biológico se propaga utilizando macetas que contienen pequeñas cantidades de tierra y plantas indicadoras en condiciones de invernadero, lo que nos permite ampliar nuestro conocimiento sobre las interacciones suelo-planta.

Teniendo en cuenta estas apreciaciones, se plantea para realizar el presente trabajo de investigación los objetivos siguientes:

### **Objetivo general**

Evaluar mediante la técnica del elemento faltante la fertilidad de suelos con cultivo de palto (*Persea Americana Mill.*), en Churcampa – Huancavelica en 2021.

### **Objetivos específicos**

1. Cuantificar las características físico-químicas de los suelos con cultivo de palto e interpretar como componentes de la fertilidad.
2. Identificar los elementos nutritivos deficitarios en las localidades en estudio.
3. Relacionar las propiedades químicas de los suelos y su estado nutricional a través de la producción de materia seca e identificar el orden de limitancia.

## **CAPITULO I**

### **MARCO TEORICO**

#### **1.1. Generalidades**

La evolución de la agricultura nacional es resultado del avance tecnológico en el manejo agronómico de los cultivos. Uno es la comprensión de los nutrientes absorbidos por las plantas; El análisis del suelo no sólo ayuda a eliminar posibles carencias descubiertas durante la campaña, sino que también permite calcular eficazmente la cantidad de fertilizante a utilizar y adiciones, es decir, permite saber qué utilizar, la cantidad de nutrimentos a desarrollar y el tiempo más adecuado para su aplicación.

Martini (1968) considera que, para corregir y comprender las prácticas de fertilización de un cultivo cualquiera, es vital el conocimiento de las necesidades nutricionales del vegetal y la cantidad de nutrientes del suelo. El suelo puede diferir mucho según el material original y el nivel de erosión ocasionado por factores como la topografía, la vegetación, el clima y la gestión del suelo. De manera similar, la manera más sencilla, controlada y rentable de determinar el grado de fértil del suelo es por medio de investigaciones bajo invernaderos y usando el método del elemento faltante.

#### **1.2. El suelo**

Uno de los medios más vitales para la vida en el mundo es el suelo, que sirve como base para la agricultura y la ganadería. La producción de alimentos depende en gran medida del uso del suelo. (Martín y Adad, 2006)

El suelo es un sistema discontinuo, heterogéneo, fundamental y estructurado, , creado de una combinación de MO, nutrientes y minerales capaz de soportar el desarrollo de organismos y microorganismos. (Bartha, 2002 y Nannipieri, 2003)

El proceso complejo de su formación, implica cambios físicos, químicos y biológicos de la roca original. Los físicos creen que los ciclos de hielo-deshielo, la lluvia y otros factores ambientales reducen la proporción de partículas sin afectar sus componentes. La separación de las partículas minerales en las rocas, así como su alteración o descomposición y la subsiguiente síntesis en compuestos sólidos estables, son principalmente resultado de la influencia del agua, oxígeno, dióxido de carbono y compuestos orgánicos. (Budhu, 2007)

La flora (plantas), la macrofauna (invertebrados), la meso fauna (artrópodos, anélidos, nemátodos y moluscos), la microfauna (bacterias, actinomicetos, hongos y algas) y el microbiota (protozoos y algunos nemátodos) realizan cambios biológicos, el microbiota medio el 80 al 90% de los procesos. (Nannipieri, 2003; Porta et al., 2003)

La descomposición y la contribución de materia orgánica, la generación de dióxido de carbono durante la respiración, la influencia en la circulación de los ciclos biogeoquímicos de los elementos, los impactos físicos de organismos vegetales y animales, así como el proceso de fragmentación de las rocas. por las raíces son algunos de estos cambios biológicos. (Porta et al., 2003)

“El suelo es el medio de anclaje del árbol y requiere tener ciertas propiedades para que el árbol tenga un desarrollo adecuado” (Álvarez 1981, citado por Téliz, 2000).

“El aguacate es sensible a condiciones de suelo, como suelos arcillosos duros, permeabilidad lenta, sales, pH superior a 7 y tepetate superficial.” (Tapia, 1989 citado por Téliz, 2000).

### ***La fertilidad del suelo***

La fertilidad de suelo agrícola es una idea que no tiene una definición precisa en todo el mundo y que suele ser más utilizada en el lenguaje popular científico. De hecho, previo a que se desarrollara la palabra para conceptualizar, el término fertilidad ya tenía un significado para los humanos. (Cobertera, 1993)

Se considera la fertilidad global como la condición de los elementos y los procesos físicos, químicos y biológicos de un suelo en una situación ambiental y socioeconómica. Para lograr una conducción eficiente de la fertilidad, debemos primero aprender sobre los parámetros que la determinan y luego analizar cómo estos parámetros interactúan con los componentes no edáficos del agro sistema. En general, es importante señalar que, en un cálculo de la fertilidad, "el lenguaje agrícola suele confundir el análisis del suelo propiamente dicho con el proceso de diagnóstico de la fertilidad e incluso con la gestión de esta, es decir, se confunde la finalidad con el medio para alcanzarla". (Saña, 1996)

### ***Evaluación de la fertilidad del suelo***

Palomino (1987) señala que, evaluar lo fértil de un suelo es difícil por la variedad de condiciones biológicas, físicas y químicas que interactúan entre sí. Aunque es imposible medir a precisión el nivel de fertilidad de un suelo, el avance de técnicas, métodos e interpretación de los resultados de los análisis de suelos ha permitido influir, con cierta fiabilidad, el nivel de fertilidad de un suelo. Diferentes métodos usados generalmente tienen como guía del grado de fertilidad de un suelo:

- Síntomas de que las plantas carecen de nutrientes.
- Analizar los tejidos foliares o foliares.
- Estudios biológicos
- Analizar la química del suelo.

### *Análisis de suelo*

FAO (2016) sustenta que, La evaluación del suelo generalmente se enfoca en los requisitos particulares del suelo y su manejo, estableciendo así una conexión entre ambos aspectos. Aunque la mayoría de las evaluaciones de suelos se han aplicado tradicionalmente en la gestión de sistemas agrícolas y cultivos, los mismos principios pueden ser empleados en otras medidas también..

Govaerts et al. (2008) destacan que, lo importante de la evaluación edáfica y clasificación del suelo como herramientas fundamentales para comprender los resultados de los levantamientos de suelos y estudios agronómicos. En este contexto, es esencial entender lo que difiere entre la evaluación de tierras y la evaluación de suelos.

Dorrnsoro (2016) deduce que, La evaluación de tierras es un proceso de clasificación que analiza la aptitud del suelo para su uso óptimo, con el objetivo de maximizar los beneficios y minimizar la degradación. Por otro lado, la apreciación del suelo comprende del estudio de propiedades del suelo en un sentido más amplio, abarca las propiedades intrínsecas (características propias del suelo, como profundidad, textura, pH, etc.) como las extrínsecas (relacionadas con la superficie del suelo, como clima, vegetación, hidrología, topografía, uso del suelo, etc.). Inicialmente, ambos vocablos, "Evaluación de Suelos" y "Evaluación de Tierras", se usaron de manera intercambiable, pero con el tiempo prevaleció el término "Evaluación de Tierras" mientras que el término "Evaluación de Suelos" quedó en desuso. Sin embargo, Dorronsoro propone retomar el término "Evaluación de Suelos" en su connotación más amplia, incluyendo todas las particularidades que influyen en el suelo, tanto las propias características del suelo como las que se relacionan con su superficie. Esta propuesta amplía el significado de la Evaluación de Suelos para abarcar todas las características que afectan al suelo, excluyendo únicamente aspectos sociales, económicos y políticos, y siendo así similar a lo que actualmente se entiende como evaluación de tierras.

### 1.2.1. Objetivos de los análisis de suelos.

Fitts y Nelson (1978) señalan que, los más importantes objetivos de un análisis del suelo son:

- Describir los niveles de nutrientes presentes en el suelo, lo que a su vez representa la base para diseñar un plan de fertilización en este entorno de uso común.
- predice la posibilidad de obtener una respuesta útil sobre el tema de la aplicación de cal y fertilizantes
- La interpretación precisa y sistemática puede implicar la asignación regular de recursos para supervisar los cambios en los niveles de nutrientes del suelo. Este enfoque tiene como objetivo preservar la fertilidad general del suelo, asegurando rendimientos sostenidamente elevados y una perspectiva amplia de rentabilidad económica.
- Identificar las condiciones particulares del pavimento que podrían mejorarse mediante la aplicación de enmiendas y la implementación de prácticas agrícolas.

### 1.5.2. Como se analiza el suelo.

Fitts y Nelson (1978) La mayor cantidad de laboratorios de análisis de suelo emplean métodos y equipos de última generación. El uso de espectrofotómetros de emisión y absorción atómica, así como mejores medidores de pH, permite la velocidad y precisión de las determinaciones en los laboratorios. La metodología de laboratorio está en constante desarrollo. En general, hay tres categorías de análisis de suelo:

**Análisis de fertilidad.** Este análisis abarca la medición del pH, la conductividad eléctrica (CE), la materia orgánica y la disponibilidad de potasio (K). Su propósito principal es determinar la proporción de fertilización necesarias.

**Análisis de caracterización.** Este análisis, más abarcador, incorpora no solo los parámetros del análisis de fertilidad, sino también el índice de intercambio catiónico (CIC), cationes cambiabiles, carbonatos, textura del suelo, coeficientes hídricos, entre otros. Proporciona una visión completa que permite inferir la fertilidad potencial y clasificar los suelos de manera más integral.

**Análisis especiales.** Este tipo de análisis se centra la atención en la identificación de componentes específicos y menos frecuentes, tales como microelementos (como hierro, cobre, zinc, manganeso, cloro, boro, molibdeno), elementos contaminantes (como cadmio, níquel, plomo, cromo, etc.), metales pesados (como arsénico, mercurio, etc.) y otros elementos particulares. Este análisis especializado brinda información detallada sobre aspectos específicos del suelo que pueden tener implicaciones importantes para el manejo agronómico.

#### ***Análisis de plantas.***

Bazán (1980) indica que, La evaluación del contenido de nutrientes en una parte particular de la planta, típicamente la hoja, se realiza mediante el análisis de plantas, comúnmente denominado análisis foliar. Aunque esta evaluación ha sido utilizado desde hace mucho tiempo, en años recientes se ha convertido en un instrumento esencial para diagnosticar el estado de nutrición del cultivo y, por ende, el grado de fertilidad del suelo. Esta práctica permite identificar las exigencias de nutrimentos del cultivo. En el análisis de la planta, se parte de la premisa de que la parte seleccionada de la planta, en su mayoría la hoja, refleja de manera precisa el estado nutricional general. Además, se asume una relación directa y estrecha entre el suministro de nutrientes (ya sea del suelo o mediante fertilizantes), el rendimiento de la planta, la concentración de elementos en las hojas y, por último, el rendimiento total. Los resultados del análisis foliar cumplen diversos propósitos, siendo el más común la confirmación de síntomas de deficiencia de nutrientes. No obstante, su aplicación más significativa es determinando si los nutrientes del suelo es adecuado para satisfacer los requerimientos del cultivo.

Plaster (1982) destaca que, los exámenes de tejidos vegetales, cuando se combinan con los análisis de suelo, ofrecen una visión integral del estado nutricional de la planta. Estos exámenes se centran exclusivamente en los nutrientes presentes en la planta, en contraste con los análisis de suelo. Resultan especialmente valiosos para identificar problemas relacionados con oligoelementos y, en ocasiones, son más confiables que los análisis de suelo. Los análisis de tejidos indican si la condición del suelo está afectando la absorción de nutrientes, y algunos agricultores los utilizan para evaluar la eficacia de sus programas de fertilización.

### ***1.2.2. Método de muestreo para el análisis foliar***

Lahav et al. (1990) señala que, el proceso de muestreo debe realizarse en momentos específicos del año, ya que varían según las estaciones en los niveles de calcio, potasio, nitrógeno, boro, hierro y manganeso. Estos cambios estacionales son fundamentales para evitar interpretaciones erróneas, por lo que los niveles identificados en otras estaciones el muestreo puede inducir a fallas. Como ejemplo, las hojas avanzadas entre febrero y marzo indicarán niveles más bajos de calcio en comparación con otras etapas; así, la cantidad de calcio en hojas de crecimiento durante la estación veraniega no superará el 1.6%, mientras que durante la primavera siempre estará por encima del 1.8%. En muchos casos, para algún cultivo, no existe instrucción específica para muestreo. En estos casos, por lo general se muestrea las hojas maduras últimamente y cuyo crecimiento haya finalizado, que aún no hayan entrado en senescencia. Para dar con el momento adecuado para el muestreo, se debe considerar el comportamiento de la plantación en la temporada previa, así como las fases fenológicas como la maduración, el cuajado, la floración, entre otros. La investigación en este ámbito ha prestado considerable atención y ha definido la época de muestreo para cada especie vegetal. Una vez establecida esta época, se procede a delimitar el campo, lo que permitirá obtener una muestra representativa. En términos generales, se selecciona entre el 5% y el 10% de los árboles en la parcela, siguiendo una trayectoria en diagonal o zigzag durante el recorrido. Cada lote debe consistir en una plantación homogénea garantizando uniformidad de la muestra. La combinación

de las muestras individuales al terminar el recorrido en la parcela forma la muestra compuesta, la cual se utilizará para obtener la muestra representativa.

### ***Cultivo del Palto***

Según Razeto (2002), el palto tiene la siguiente clasificación taxonómica:

REINO: Plantae

DIVISION: Magnoliophyta

CLASE: Dicotiledóneas

ORDEN: Laurales

SUB ORDEN: Magnoliales

FAMILIA: Lauraceae

GENERO: *Persea*

ESPECIE: *Persea americana*

El subgénero *Persea* son reconocidos como los paltos verdaderos. se identifican mediante subgéneros, por medio de lado interior de sus sépalos; el subgénero *Persea* tiene los dos lados pubescentes, también consta de menor cantidad de variedades botánicas a comparación del subgénero *Eriodaphne*, pero, *Persea* tiene más especies y razas con valor y comercial. (Razeto, 2002),

### ***Razas y cultivares***

La *Persea americana* cuenta con tres razas diferente, se agrupan en las variedades siguientes:

- Mexicana (*P. americana* Var. *Drymifolia*)
- Guatemalteca (*P. americana* Var. *Guatemalenses*).
- Antillana (*P. americana* Var. *americana*).

Se observo mayor similitud filogenética entre los aguacates de la variedad guatemalteca y antillana en comparación con la relación entre la variedad antillana y mexicana. Asimismo, se destaca que muchos híbridos de relevancia comercial son el resultado de cruza entre la variedad mexicana y guatemalteca. (Razeto, 2002)

## ***Descripción de las principales variedades***

### ***1.2.3. Características de la variedad Hass***

Es la variedad de aguacate más cultivada comercialmente a nivel mundial y también en Perú. Oriunda de Heights-California, de progenitores desconocidos, pero se estima que posee aproximadamente un 10-15% de genes de raza mexicana y el resto de la raza guatemalteca. La presencia de genes mexicanos les confiere una destacada adaptabilidad a climas templados, permitiéndole prosperar en diversas latitudes. (Razeto, 2002)

Gardizabal (1990) señala que, Esta variedad fue desarrollada mediante una cuidadosa selección de la raza guatemalteca. Aunque es altamente productiva en términos de flores y frutos, estos tienden a tener un peso individual reducido. Es sensible al frío durante la floración y también es afectada por la humedad ambiental, por lo que se recomienda evitar áreas con vientos desecantes, que pueden deshidratar las flores como también los brotes recientes, afectando la superficie de las hojas esenciales para la fotosíntesis de los frutos. La maduración del fruto, que tiene forma oval-periforme, epidermis gruesa y rugosa de color verde, oscureciéndose a tono violáceo al madurar, permite que permanezca en el árbol durante un tiempo sin que su calidad disminuya, facilitando la recolección. Su peso varía entre 200 y 300 gramos, con una pulpa de excelente calidad y un contenido de aceite del 20%, y una semilla pequeña adherida al mesocarpio. En California, la cosecha se lleva a cabo entre abril y julio. En cuanto a su aspecto, el fruto es de forma piriforme a ovoide, con una cáscara cruda y ligeramente aspera con un color verde, que tiende a tornar oscurecer al permanecer en el árbol. La fruta se oscurece progresivamente a negro conforme alcanza la madurez post cosecha. La semilla es pequeña y su contenido de aceite oscila entre el 15% y el 20%.

### ***1.2.4. Características de la Variedad Fuerte***

Gardiazabal (1990) indica que, Es una variedad que tiene de como centro de origen California, se clasifica como un mestizaje natural entre las razas mexicana y guatemalteca. Aunque los frutos tienen una buena calidad, la principal limitación de esta variedad radica en su tamaño excesivo y la demora en su entrada en producción,

lo cual constituye una restricción significativa para las necesidades actuales de la agricultura. Un rasgo distintivo es su capacidad para producir tanto frutos normales como frutos partenocárpicos, con forma de pepinillo. También conocida como "Californiana", presenta características intermedias entre las razas mexicana y guatemalteca, sugiriendo que podría ser un antiguo híbrido natural entre estas dos variedades.

Su promedio en peso varía entre 180 y 420 g., con una longitud media de 10 a 12 cm y un ancho de 6 a 7 cm., los extremos de la fruta son ligeramente achatados, y el pedúnculo se inserta de forma algo oblicua. La cáscara, de 1 milímetro de espesor, es algo áspero y cueruda, se desprende fácilmente de la pulpa. El contenido medio de aceite varía entre el 18% y el 20%, con un sabor excelente (Gardiazabal, 1990).

Son de color verde, presenta características intermedias entre las razas guatemalteca y mexicana, lo que lo define como un híbrido natural entre ambas variedades. (López, 1980).

### ***Características morfológicas de la fruta***

La palta se presenta en diversas formas como baya, piriforme, ovoide, elíptica. su pulpa, es de textura mantecosa, exhibe un tono amarillento claro por dentro y un matiz verdoso en su parte externa. (López, 1980)

En la estructura del fruto, se pueden identificar tres capas: el exocarpio, el endocarpio y el mesocarpio, que constituyen el pericarpio. El mesocarpio compuesto por un tejido parenquimático uniforme, alcanzan un tamaño de 60 cm en la madurez del fruto. El componente principal de este tejido es el aceite, sintetizado en células idioblastos que se caracterizan por su tamaño considerable y paredes celulares lignificadas. (Biale y Young, 1971)

La síntesis del aceite ocurre mediante la formación de ácidos grasos, que son generadas por el ácido palmítico. (Lehninger, 1976)

En cuanto la formación del fruto en el árbol, sigue una curva de crecimiento del tipo sigmoidea. A diferencia de la mayoría de los variados frutales de hoja caduca, donde la división celular acaba cuando los frutos son diminutos y el crecimiento subsiguiente depende principalmente de un aumento considerable en el diámetro de las células, en el caso de la palta, la división celular se da hasta llegara a la maduración completa. Así, la talla de los aguacates está determinado principalmente por la cantidad de células en lugar de su tamaño individual. (Chandler, 1962)

### ***Requerimientos de suelo y clima del cultivo***

Para garantizar una adecuada formación la planta, una alta producción y una vida prolongada, es fundamental que el suelo tenga una profundidad que oscile de 1,20 y 1,50 metros, de textura media a ligera, y una estructura física que favorezca a una buena circulación y evite la posibilidad de acumulación de agua, siendo susceptible al hongo *Phytophthora cinnamomi*. Por estas razones, los suelos con un elevado contenido de arcilla, de lenta velocidad de infiltración y napa freática de profunda menor a 1 metro no son apropiados. (López, 1980)

En términos generales, el aguacate requiere temperaturas ambientales que se sitúen entre 20 y 26°C, con mínimas no descendiendo por debajo de -4°C (López, 1980). Respecto a las heladas, es importante destacar que, además de las temperaturas bajas, la duración de este tiempo meteorológico, determina la supervivencia o la pérdida de un huerto de palta. (Gardiazabal, 1990)

En cuanto a la relatividad de la humedad (HR), los climas secos y con una baja HR resultan perjudiciales, ya que pueden afectar negativamente al desarrollo vegetativo y la fructificación (López, 1980).

Las bajas temperaturas durante la floración, especialmente inferiores a 20°C durante el día y por debajo de 10°C durante la noche, pueden ocasionar una reducción significativa en la cuajada, fenómeno que se observa constantemente en las mayores areas productoras de aguacate y afecta principalmente a las huertas ubicados en proximidad al mar (Gardiazabal, 1990).

## ***Manejo del cultivo***

### **1.2.5. Condiciones edáficas.**

Según López (1980), las medidas a tomar para la plantación In Situ y las requerimientos apropiadas de suelo para un cultivo de palto son:

- El suelo destinado al establecimiento a los cultivos de palta debe poseer minimamente 1 metro de profundidad en terreno plano, con 70 cm reservados para el desarrollo del sistema radicular y como mínimo, 30 cm para facilitar el drenaje. Esto se debe a que el sistema de raíces del aguacate es superficial, con aproximadamente el 80% de las raíces localizadas en los primeros 30 cm del suelo.
- previo a la plantar, es esencial examinar el suelo por calicatas para evaluar características como estructura, textura, la presencia de moteados que indican la existencia de sales que podrían interferir en el crecimiento del árbol, así como lo compacto del suelos, que constituye un impedimento para el desarrollo de las raíces y, por ende, del árbol de palto.
- La primordial restricción de suelo para el cultivo de palta radica en la existencia de arcillas y que induce a un drenaje deficiente, dado la alta susceptibilidad por asfixia radicular.
- El suelo más adecuado es de textura liviana y suelta. Se sabe que el normal desarrollo de raíces y una condición de drenaje adecuada se logran en suelos con una cantidad significativa de rocas. Es crucial que el suelo contenga una alta proporción de macroporos, característico de suelos de estructura buena, generalmente debido a su cantidad contenida de materia orgánica (López, 1980).

- Los macroporos posibilitan un adecuado flujo tanto de agua como de oxígeno, elementos esenciales para los procesos de absorción de agua y nutrientes, así como la aparición de nuevas raíces, garantizando el buen desarrollo general de la planta.
- Ante texturas pesadas o poca profundidad efectiva, se puede considerar soluciones como la creación de terrazas, camellones, sistemas de drenaje, montículos, subsolado y entre otras opciones.

### 1.2.6. Condiciones Climáticas

El clima en Chile se erige como uno de los elementos cruciales en la agricultura del aguacate, dado que no disponemos de extensas áreas con condiciones subtropicales, las más idóneas para esta especie. En consecuencia, este aspecto debe ser considerado al seleccionar la variedad y tipo de aguacate a plantar, así como al diseñar el huerto o evaluar inversiones que ayuden a mitigar posibles riesgos. (Gardiazabal, 1990).

los factores climáticos a considerar son los siguientes:

**Temperatura.** El aguacate, especialmente la variedad Hass, es altamente susceptible a las bajas temperaturas, experimentando daños con temperaturas inferiores a -1°C. Asimismo, es crucial que durante la floración se alcancen temperaturas óptimas, aunque en Chile son escasos los lugares que cumplen con esta condición. Se ha observado que temperaturas diurnas entre 20°C y 25°C, junto con temperaturas nocturnas de alrededor de 10°C, favorecen una fecundación exitosa y una buena cuajada. (Gardiazabal, 1990).

**Tabla 1.1**

*Tolerancia a las heladas del palto*

Cultivares	Raza	Temperatura crítica
HASS	Guatemalteca x Mexicana	-1,1
FUERTE	Mexicana x Guatemalteca	-2,7

*Nota.*

tomado de Gardiazabal, 1998.

**Viento.** Este factor impacta negativamente en el desarrollo inicial de los aguacates, provocando el doblamiento de las plantas, problemas de sombreado y la muerte de yemas. Además, ocasiona daños mecánicos de las plantas, ocasiona un fenómeno conocido como "russet" en los frutos y contribuye a la pérdida de yemas, flores y frutos. También, el viento incrementa la demanda de agua por parte de la planta y dificulta el acercamiento de las abejas, afecta así el proceso de polinización. Una solución para mitigar los daños causados por los vientos es implementar cortinas cortavientos, que pueden ser de origen natural o construidas artificialmente. Las cortinas naturales implican utilizar especies de árboles como, álamos, *Cassuarina* sp u otras de rápido desarrollo y crecimiento, siempre y cuando no interfieran con el cultivo y no sean hospederas de plagas que puedan afectar al aguacate. Por otro lado, las cortinas artificiales pueden crearse utilizando mallas plásticas diseñados para este fin. En ambos casos, se recomienda que el porcentaje de intercepción sea aproximadamente del 50%, teniendo en cuenta que la eficacia de la función protectora de la cortina se da por su altura y se ha establecido que brinda respaldo hasta una distancia no mayor a 3 a 4 veces a su altitud. (Gardiazabal, 1990)

**Radiación.** La exposición excesiva a la radiación solar puede resultar en "golpe de sol" en el tronco o en los frutos. Para abordar este inconveniente, se recomienda aplicar látex o cal agrícola blanco en el tronco y las ramas principales, además de sustentar un equilibrio adecuado en la distribución de las hojas. En años recientes, se ha estado considerando la dosificación de caolinita como una medida para resguardar el follaje contra de la radiación y prevenir así el daño del "golpe de sol" en el palto. (Gardiazabal, 1990)

**Precipitación.** La presipitacion que se presenta en el periodo de floración tiene un impacto negativo en la salud de los cultivos, ya que propicia la apricion de hongos que afectan la formación de los frutos, reduce la actividad de polinización de las abejas y provoca daño mecánico. Si las lluvias invernales son abundantes y generan encharcamiento, existe el riesgo de asfixia radical o de fomentar el daño causado por el hongo *Phytophthora cinnamomi*. Por tanto, es esencial que el diseño de la plantación

contemple sistemas adecuados para la evacuación del agua de lluvia. (Gardiazabal, 1990)

**Agua.** Un aspecto crucial a tener en cuenta previo al establecimiento de un huerto de palto es la disponibilidad de recursos hídricos. Es crucial tener en cuenta las necesidades de agua de la especie en plena producción, las cuales varían entre 8,000 y 10,000 metros cúbicos por hectárea durante la temporada. La amplitud de la plantación estará condicionada por la capacidad de la fuente de agua en la propiedad para cumplir con los requisitos de agua del cultivo. Es fundamental saber el volumen de agua disponible para reponer la cantidad evaporada y transpirada por la planta en tiempos de máxima demanda, se estima en un promedio de 5.8 mm/día en el mes de enero. Otro aspecto relevante está vinculado a la calidad del agua, especialmente su conducción eléctrica, la cual debe ser inferior a 0.75 dS/m para el cultivo del palto. La salinidad es otro parámetro crítico, ya que elevados niveles de sales pueden quemar los apices de las hojas más antiguas debido a la hacinamiento de sales, reduciendo así el potencial productivo de la planta. (Iemus, 2010)

**Plantación.** En suelos de calidad debe realizarse en pozas con dimensiones que varían entre 40x40x40 cm y 60x60x60 cm en aquellos que no presentan características óptimas. Se aconseja realizar la excavación de las hoyos meses antes de la plantación. Es crucial que, al llevar a cabo este proceso, la primera parte extraída de la tierra se deposite separado de la segunda, con el propósito de que, al momento de colocar la planta, la mitad extraída de la tierra se aplique primero, dejando la segunda como la capa más superficial. Esta práctica asegura que la tierra de mejor calidad esté en fricción directa con las raíces de la planta. Se recomienda añadir estiércol, proveniente de una fuente cualquiera, de 10 a 15 centímetros en el fondo de la poza para mejorar la calidad del suelo. También se sugiere mantener el tutor en la planta durante aproximadamente un año para prevenir el desgaje injertado causado por los vientos y otros factores. (López, 1980)

**Distanciamiento.** Lo aconsejado para cualquier variedad, incluso el criollo, es de 10x10 metros, anticipando que alrededor de los 18 años podría haber entrecruzamiento de las ramas. No obstante, con la aplicación de nuevas técnicas, se sugiere plantar a distancias de 7x7 metros o 8x8 metros, ya que se puede gestionar mediante podas para evitar que las ramas se crucen. (López, 1980)

**Tabla 1.2**

*Número de árboles según el marco de plantación.*

Distancia entre árboles (metros)	Número de árboles por hectárea	
	Marco Real	Tresbolillo
5 x 5	400	462
10 x 10	100	115
6 x 6	277	321
12 x 12	69	79
7 x 7	204	237
14 x 14	51	73

*Nota.* tomado de López, 1980.

**Fertilización inicial.** Una vez establecida la plantación, se aconseja llevar a cabo una fertilización adecuada. Para los primeros 5 años, se sugieren las siguientes fuentes y cantidades.

**Tabla 1.3**

*Nivel de fertilizantes según edad de la planta*

Edad del huerto (años)	Urea (kg)	Superfosfato triple (kg)	Cloruro de potasio (kg)
1	0.2	0.1	0.0
2	0.5	0.2	0.0
3	1.0	0.6	0.0
4	1.5	1.2	0.5
5	2.0	1.5	1.0

*Nota.* tomado de López, 1980.

## **Elementos Esenciales.**

Según Zavaleta (1992), Existen dos criterios que establecen la importancia de un nutriente para la planta:

- (1) Se requiere de dicho nutriente para completar su ciclo de vida la planta necesita
- (2) El nutriente desempeña un papel directo en la alimentación de la planta. En consecuencia, para que un suelo genere un producto de alta calidad y en cantidad, se requiere un equilibrio proporcional con otros elementos.

Cuando se excluye un componente esencial del entorno nutritivo, en primer lugar, se detiene el crecimiento y posteriormente se produce el fallecimiento. Antes de llegar al punto de muerte de la planta, se manifiestan indicios de insuficiencia, tales como clorosis, necrosis y deformidades, que indican un estado de deterioro en las plantas. (Alcázar et al., 2007)

Fageria et al. (1991) señalan que, La clasificación de macro y micronutrientes se basa simplemente en la cantidad requerida por las plantas, siendo los macroelementos necesarios en cantidades normalmente superiores a 500 ppm. Estos elementos representan la cantidad del tejido estructural y protoplasmático en la planta, desempeñando un papel fundamental en su estructura. Los macronutrientes son esenciales en mayor cantidad, y su concentración en soluciones nutritivas se mide en gramos por litro (gr/Lt). En cambio, los micronutrientes son indispensables en pequeñas cantidades, generalmente menor de 50 ppm.

Los Macronutrientes se pueden dividir en:

- Macronutrientes primarios: potasio, nitrógeno y fosforo
- Macronutrientes secundarios: magnesio, calcio y azufre

Fageria et al. (1991) indican que, Los micronutrientes son absorbidas en proporcione muy pequeñas y se expresan en mg/L. o ppm, siendo estos elementos: boro, cloro, molibdeno, zinc, manganeso, cobre y hierro. Contrario a los

macronutrientes (primarios y secundarios), que tienen un umbral de toxicidad elevado y pueden ser absorbidos en grandes cantidades sin causar efectos nocivos, los micronutrientes tienen un bajo nivel de toxicidad. La línea divisoria entre la deficiencia y la toxicidad es estrecha, y el hierro se sitúa como un elemento intermedio en la categoría de micronutrientes.

### ***Nutrición mineral de las plantas.***

Zavaleta (1992) explica que, Los minerales forman parte de las rocas, y cuando estas se descomponen debido a la meteorización, generan el material original del suelo. A pesar de que el suelo alberga una variedad de minerales, solo alrededor de 50 elementos han sido identificados en las plantas, y de estos, solo 16 han sido establecidos como esenciales para el crecimiento de las plantas.

Rutherford (1872) demostró que, La importancia del nitrógeno fue reconocida inicialmente, y a fines del siglo XIX (1897), se confirmó la esencialidad correlativa del oxígeno, hierro, calcio, carbono, hidrógeno, potasio y manganeso. A lo largo del siglo actual, desde 1903 hasta 1954, se demostró la esencialidad en secuencia del fósforo, magnesio, boro, azufre, cobre, zinc, molibdeno y cloro.

### ***El Nitrógeno (N)***

Guerrero (1990) sostiene que, En el suelo, el nitrógeno existe en formas tanto orgánicas como inorgánicas. La fracción orgánica de nitrógeno se deriva de la materia orgánica proveniente de organismos vegetales y animales, constituyendo la mayor proporción del contenido de nitrógeno en el suelo. Sin embargo, esta forma no puede ser directamente aprovechada por las plantas hasta que sea transformada previamente en nitrógeno inorgánico.

Fassbender (1987) indica que, en suelos tropicales, los niveles del nitrógeno varían en un rango de 0.02% a 0.4%, con concentraciones especialmente altas en suelos semidesérticos y desérticos. En situaciones extremas, como en suelo con abundante materia orgánica, los porcentajes llegan a alcanzar hasta un 2%. La existencia de nitrógeno en el suelo es mayormente influenciada por la vegetación y

condiciones climáticas. Estas condiciones también coinciden en aspectos propios de la zona, como la topografía, las actividades humanas, el tipo de material parental del suelo, y el tiempo durante el cual estos factores han interactuado con el suelo.

### **1.2.7. El Nitrógeno en los suelos**

Fassbender (1987) señaló que, En el suelo, el  $\text{NH}_4^+$  se somete a un proceso de conversión conocido como desnitrificación, pasando de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$  y luego a  $\text{NO}_3^-$ . Este ciclo está gestionado por un conjunto de bacterias llamadas Nitrosomonas y Nitrobacter. La transformación de  $\text{NO}_2^-$  es rápida, destacándose las Nitrobacter por su notable afinidad por  $\text{NO}_2^-$ , para posteriormente convertirlo en  $\text{NO}_3^-$ . Este proceso resulta altamente beneficioso ya que los  $\text{NO}_3^-$  son altamente tóxicos para las plantas.

### **1.2.8. El nitrógeno en los suelos tropicales**

Fassbender y Bornemisza (1986) indicaron que, Los niveles de materia orgánica y nitrógeno en los suelos son mayormente influenciados por el clima y la vegetación, seguidos de factores locales como el relieve, el tipo de material parental del suelo, la duración de la explotación de los suelos y otras características físicas y microbiológicas. El impacto del pH en la disponibilidad de nitrógeno es indirecto, ya que está principalmente relacionado con la descomposición de la materia orgánica. Un pH inferior a 5.5 inhibe la actividad de los organismos nitrificantes, mientras que un rango de pH entre 6 y 8 se considera más propicio para la disponibilidad de nitrógeno. El aumento de las precipitaciones incrementa la biomasa de los bosques y, en consecuencia, la producción de hojarasca. No obstante, este incremento también puede resultar en una reducción de la materia orgánica, posiblemente debido al desplazamiento de la misma a través de procesos de erosión.

### ***El Fósforo (P)***

El fósforo es un elemento tan importante para el crecimiento de las plantas como el nitrógeno. (Buckman, 1985)

Según Fassbender (1984), el fósforo es permanente en los suelos porque no contiene sustancias inorgánicas, que pueden volatilizarse al lixiviarse. Esta permanencia se debe a su menor solubilidad, que ocasionalmente hace que la

disponibilidad sea inadecuada para las plantas. La mineral apatita, que está compuesto por el 90% de fosfato tricálcico, contiene F y Ca en forma de sal doble, cierta cantidad de ácido silicio y a veces Fe y Mn. Los fosfatos se originan del mineral apatita. Las rocas ígneas y metamórficas en su mayoría contienen cristales de apatita que se incorporan al suelo al meteorizarse.

#### ***1.16.1. fósforo en el suelo.***

Black (1975) afirma que, todos los compuestos de fósforo se derivan del ácido fosfórico. Dependiendo de su naturaleza, puede clasificarse como orgánico o inorgánico. La fracción inorgánica se puede clasificar según su naturaleza física, mineralógica o química, o por combinación de ellas en forma cristalina con el ferro, aluminio y calcio; así como fosfatos amorfos y ocluidos.

Tisdale y Nelson (1987) indican que, la parte orgánica del humus Está constituido por fosfatos orgánicos tales como fosfolípidos, fosfoproteínas, fosfatos metabólicos, fosfato de inositol y ácidos nucleicos, según su estructura química.

Fassbender (1984) señala que, diversos factores, entre ellos la temperatura, la precipitación, el nivel de desarrollo del suelo, la acidez y la actividad biológica, influyen en la proporción de fracciones de fósforo, tanto orgánicas como inorgánicas..

#### ***1.16.2. El fósforo presente en el suelo***

Según Domínguez (1989) y Estrada (1986), la cantidad de fosforo presente en la solución de suelo es muy baja, oscilando entre 0.03 y 0.30 ppm, y las formas más significativas son los monosfosfatos y di básicos y los ortofosfatos. Por lo tanto, es necesario renovar los suelos pobres para satisfacer las necesidades de las plantas.

Según Thompson (1974), el pH del medio está relacionado con la presencia de iones fosfato en la solución varía según el pH, con predominio de los iones en el rango de pH entre 2 y 7, y de los iones en el rango de pH entre 7 y 12. La concentración de fosfato monobásico alcanza su punto máximo a un pH de 4., mientras que la concentración de fosfato dibásico es más baja a pH 9. A un pH de 7.2, los dos iones

están en equilibrio. La mayor cantidad de fosfato monobásico se encuentra en la solución acuosa del suelo entre el pH 5.5 y 6.0, y está en equilibrio con los fosfatos de hierro, aluminato y cálcico.

### ***1.16.3. El fósforo en los suelos tropicales***

Fassbender (1992) manifiesta que, El ácido fosfórico presente en el suelo tiene la capacidad de reaccionar y unirse a iones de calcio, aluminio o hierro, dando lugar a la formación de fosfatos cristalizados con propiedades específicas:

- Fosfatos de calcio: monofosfatos de calcio, difosfatos de calcio, ortofosfatos de calcio, apatita hidroxílica y apatita carbonatada.
- Fosfatos aluminicos.
- Fosfatos férricos.

Fassbender (1992) señala que, La distribución de estas formas está vinculada a los procesos de evolución y desarrollo del suelo, así como al pH del mismo. En las rocas primarias, únicamente se encuentran presentes fosfatos de calcio. A medida que estas rocas experimentan procesos de meteorización durante la formación del suelo, se genera ácido fosfórico, el cual es absorbido por las plantas o se incorpora a los fosfatos de hierro y aluminio. Con el paso del tiempo, hay un aumento en la concentración de fosfato de hierro y aluminio, aunque este incremento se detiene cuando el fósforo disponible se agota. Esto conlleva a una disminución en las cantidades de fosfatos de calcio y un aumento en la cantidad de fosfatos ocluidos en el suelo. En resumen, se observa que a medida que un suelo envejece y su pH disminuye, el fosfato de calcio disminuye, mientras que los fosfatos de hierro y aluminio aumentan, y más tarde predominan los fosfatos ocluidos, dando lugar a la siguiente distribución.:

- Suelos jóvenes: predominan Ca-P.
- Suelos intermedios: Ca-P disminuyen, predominan Fe-P y Al-P.
- Suelos viejos: predominan P-ocluidos.

El encalado conlleva un aumento en el pH y una aceleración en la mineralización del fósforo orgánico, sin embargo, el uso excesivo de cal puede ser perjudicial al propiciar la inmovilización de otras bases como el potasio (K) y magnesio (Mg). Por lo tanto, es esencial caracterizar la dinámica del suelo mediante la identificación de las distintas

formas de fósforo presentes, utilizando metodologías apropiadas. El impacto de los fertilizantes fosfatados está fuertemente influenciado por su composición química, que incluye su contenido de fósforo, solubilidad y velocidad de disolución.

Fassbender y Bornemisza (1992) indican que, Han explorado otras alternativas agronómicas para optimizar la eficiencia de los fertilizantes fosfatados, entre las cuales se encuentran:

- Optimización del sistema y época de fertilización (bandas, voleo, postura cerca de raíces; regulación de disponibilidad con época de absorción).
- Regulación través del tamaño de partículas (velocidad de disolución, fertilizantes granulados, “peletizados”, mezclas de fertilizantes).
- Aplicación de silicatos (enmascarados de la fijación).
- Aplicaciones de encalado y regulación del pH para determinar las formas de P en el suelo y la velocidad de disolución.
- Regulación de las interacciones con otros elementos nutritivos.
- Mejoramiento de las interacciones con los microorganismos (micorrizas) en la Rizosfera.

### ***El potasio (K)***

La litósfera posee en promedio un 1,9% de potasio (K). La concentración de K en el suelo, que es del 1,2%, es menor que en la litósfera debido a los procesos de meteorización. En suelos recientes y con poca alteración meteorológica, se observan altos niveles de potasio. Los suelos orgánicos tienden a tener un contenido bajo de potasio (menor al 0,03%) debido a su escasa presencia de minerales. (Barber, 1995)

La mayor proporción de potasio en la corteza terrestre se halla asociada a minerales primarios o se encuentra presente en arcillas secundarias, que constituyen una parte sustancial de la fracción arcillosa del suelo. Existe una notable disparidad entre suelos arenosos altamente meteorizados y suelos recién formados a partir de materiales volcánicos, ya que estos últimos suelen presentar elevados niveles de contenido de arcilla y potasio. (Mengel y Kirkby, 2000)

Las fuentes originales de potasio (K) que se consideran comúnmente, En cuanto a su disponibilidad, se encuentran en el siguiente orden: biotita, muscovita y feldespatos potásicos. Sus composiciones son las siguientes: biotita ( $(K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10})$ ), feldespatos potásicos ( $KS_i_3AlO_8$ ) y muscovita ( $(SiO_4)_3H_2Al_3K$ ). Además, otras formas minerales que se pueden encontrar incluyen silvina (KCl.NaCl) y carnalita (KCl.Cl<sub>2</sub>Mg.6H<sub>2</sub>O). También, puede estar presente en minerales como ilitas, vermiculitas y cloritas, entre otros. (Navarro y Navarro, 2003)

Dentro del suelo, el potasio puede ser categorizado en cuatro clasificaciones distintas: I) K<sup>+</sup> presente en la solución, II) K<sup>+</sup> intercambiable, III) K<sup>+</sup> de baja intercambiabilidad, y IV) K<sup>+</sup> ligado a minerales. (Barber, 1995; Havlin, 1999).

Navarro y Navarro (2003) denotan que, la forma orgánica es clasificada según su disponibilidad en tres categorías: no asimilable, asimilable de manera lenta y asimilable de manera rápida.

Havlin et al. (1999) revelaron que, Según la clasificación anterior, se proporcionan los siguientes valores para la concentración de potasio (K): en forma mineral, de 5000 a 25000 mg.kg<sup>-1</sup>; no intercambiable, de 50 a 750 mg.kg<sup>-1</sup>; intercambiable, de 40 a 600 mg.kg<sup>-1</sup>; y en solución, de 1 a 10 mg.kg<sup>-1</sup>.

La forma de potasio (K) más fácilmente accesible es el K<sup>+</sup> presente en la solución del suelo, seguido por la forma intercambiable. Otras dos formas en cuanto a disponibilidad incluyen el K no intercambiable, que se encuentra en las intercapas de las arcillas tipo 2:1, y la forma mineral. (Bohn et al., 2001)

El potasio (K<sup>+</sup>) también puede experimentar fijación en el suelo, especialmente en las arcillas 2:1 y en cantidades significativas en illita, lo que limita su disponibilidad para las plantas. La fijación implica la retención fuerte del ion K<sup>+</sup> en las capas laminares de estas arcillas. El K<sup>+</sup> presente en la solución del suelo, ya sea liberado de minerales o proveniente de la fracción intercambiable, queda fuertemente atrapado entre las láminas de las arcillas debido a su tamaño relativamente pequeño. Solo el

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, que tiene un radio iónico similar, puede competir con el K<sup>+</sup> por estos sitios de retención. Esta forma de K<sup>+</sup> es absorbida por las plantas de manera gradual. (Bohn et al., 2001)

La disponibilidad de K<sup>+</sup> está sujeta a varios factores, entre los que se incluyen la cantidad y naturaleza del mineral arcilloso, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el contenido de K<sup>+</sup> intercambiable, la aptitud del suelo para retener el K<sup>+</sup>, la humedad, la temperatura, la aireación y el pH del suelo.. (Havlin et al., 1999)

las raíces absorben potasio de forma iónica, específicamente como K<sup>+</sup>. El contenido de potasio en las plantas la variabilidad es notable y está vinculada a la especie y al órgano considerado, presentando un amplio espectro., desde 0,35 hasta 7,1, expresado en porcentajes de K<sub>2</sub>O respecto a la materia seca. (Demolón, 1972 citado por Navarro y Navarro, 2003)

El catión K<sup>+</sup> se considera de suma importancia en la fisiología de las plantas, no solo por su presencia en los tejidos vegetales, sino también por las diversas funciones que cumple. Su absorción ocurre a una velocidad significativa gracias a la permeabilidad selectiva de las membranas vegetales, lo que facilita la difusión tanto de entrada como de salida de este nutriente para varios procesos fisiológicos. Estas funciones incluyen el crecimiento meristemático, el equilibrio hídrico, la fotosíntesis y el transporte a larga distancia. (Marschner, 1986; Mengel y Kirkby, 2000).

Contrario a otros nutrientes, el K<sup>+</sup> no está integrado estructuralmente en los componentes esenciales como proteínas, lípidos y carbohidratos, sino que tiende a permanecer en su forma iónica. Su alta movilidad le permite neutralizar los ácidos orgánicos producidos durante el metabolismo, desempeñando un papel importante en la regulación de la concentración de H<sup>+</sup> en los fluidos celulares para mantenerla constante. (Navarro y Navarro, 2003).

El potasio desempeña un papel esencial en la translocación de azúcares y la síntesis de almidón. Además, el funcionamiento de las células oclusivas en los estomas,

responsables de la apertura y cierre, depende de la presencia de potasio, un proceso crucial para la regulación eficiente del agua. El potasio también promueve el crecimiento de las raíces, fortalece la resistencia de los cultivos contra enfermedades y favorece la formación de vasos xilemáticos más grandes y uniformemente distribuidos en el sistema radicular, mejorando así la calidad de las cosechas. La deficiencia de potasio se manifiesta a través de diversos síntomas, que incluyen: i) desarrollo lento, ii) los márgenes y ápices de las hojas clorosis/necrosis, iniciando desde las hojas más longevas, iii) tallos débiles, iv) frutos de menor tamaño o semillas rugosas. En situaciones de deficiencia, el  $K^+$  se desplaza rápidamente desde los tejidos más maduros hacia los más nuevos para satisfacer las necesidades nutricionales, lo que explica por qué los síntomas aparecen primero en las hojas más antiguas. (Soil Improvement Committee California Plant Health Association, 2004).

Las plantas bien alimentadas con potasio tienen una pérdida de agua reducida, el potasio aumenta el potencial osmótico e influye positivamente en el funcionamiento de estomas. Además, contribuye al equilibrio de cargas de los aniones y tiene un impacto en su absorción y transporte (Gardner et al., 1990).

#### ***1.2.9. Movimiento de K en el suelo:***

El potasio se desplaza rápidamente en el suelo, más que el fósforo, pero con menor velocidad que el nitrógeno. Dado que el potasio tiende a retenerse en la arcilla y otros coloides, presenta movilidad en suelos de textura fina y es más propenso a la lixiviación en suelos arenosos. La captación de potasio por parte de la planta ocurre principalmente por difusión. Debido a su movilidad relativamente mayor en comparación con el fósforo, la ubicación del fertilizante de potasio tiene menos impacto decisivo. La disponibilidad de potasio se ve afectada por factores edafológicos, tales como la composición del material parental y las condiciones climáticas. (Morales, citado por Ore, 1975)

### ***El Calcio (Ca)***

#### ***1.18.1. El calcio en el suelo***

Fassbender y Bornemisza (1987) mencionan que, La mayor parte del calcio naturalmente presente en el suelo se encuentra vinculado a minerales como feldespatos, piroxenos, anfíboles, micas y minerales arcillosos. Además, en suelos se hallan otros minerales ricos en calcio, como calcita y dolomita en suelos derivados de calizas, y anhidrita y yeso en la superficie de suelos de zonas áridas y semiáridas. El contenido total de calcio en suelos no calcáreos y en regiones no áridas generalmente oscila entre 0.2 y 0.1 dag. Se considera que la anortita, un mineral primario, constituye la fuente principal de calcio en suelos no calcáreos.

Una proporción significativa del calcio total se encuentra en forma intercambiable, mientras que otra fracción, menos estudiada, está asociada a la fracción orgánica. Los oxisoles, por lo general, exhiben niveles muy reducidos de calcio intercambiable, y este bajo contenido en los horizontes de los oxisoles en la región central de Brasil limita el crecimiento de las plantas, siendo más influyente en este aspecto que la presencia de niveles de aluminio. En líneas generales, los suelos en regiones húmedas suelen contener menos calcio que la roca madre. Cuando el lavado es moderado, el catión de calcio no abandona el perfil del suelo, sino que tiende a acumularse, formando una capa de carbonato de calcio cuya profundidad aumenta con la cantidad de precipitación. (Ritchey, Silva y Costa, 1991)

Worthen (1959) indica que, La cantidad de calcio presente en un suelo está vinculada tanto a su pH como a la presencia de arcilla y materia orgánica. En situaciones donde el pH es igual, un suelo con una mayor proporción de arcilla y materia orgánica albergará una mayor cantidad de calcio que un suelo con menor presencia de estos componentes. Las cargas negativas en el suelo retienen el calcio. Cuando las precipitaciones anuales superan los 625 milímetros, el agua tiende a arrastrar el calcio a través del perfil del suelo. La disminución de calcio durante el proceso de desarrollo del suelo disminuye con la reducción de la lluvia. En algunos casos, los suelos tienden a mostrar acidez en la capa de la superficie, mientras que el subsuelo es neutro, posiblemente con una capa acumulada de cal.

Plaster (1982) explica que, El calcio se genera mediante el proceso de meteorización de minerales comunes como feldespato, caliza y yeso. Estos minerales son tan ubicuos que la mayoría de los suelos tienen una cantidad suficiente de calcio para satisfacer en gran medida las necesidades de las plantas. El calcio no se adhiere ni se retiene en la materia orgánica; en cambio, ocupa predominantemente el complejo de intercambio de cationes, y su retención está vinculada a la capacidad de intercambio de cationes. Las deficiencias de calcio son poco comunes y generalmente se encuentran en suelos ácidos o arenosos susceptibles a la lixiviación. La sequedad del suelo o un exceso de potasio pueden dificultar la absorción de calcio.

### ***El Magnesio (Mg)***

Fassbender y Bornemisza (1987) explican que, La cantidad total de magnesio en suelos no calcáreos generalmente varía entre 0.1% y 0.2%. La mayoría de este elemento se encuentra asociado con minerales primarios como biotita, augita y hornablenda, así como con minerales secundarios como montmorillonita. Los silicatos, como olivino, biotita, piroxenos y anfíboles, son reconocidos por tener niveles significativos de magnesio. En suelos provenientes de rocas calcáreas, especialmente dolomitas que contienen magnesio en forma de carbonato, los contenidos totales de magnesio pueden llegar hasta el 2%.

En áreas áridas, a veces se observan acumulaciones de magnesio en el suelo. Solo una pequeña fracción del magnesio se encuentra asociada con la materia orgánica del suelo. En suelos ácidos de las regiones tropicales, es común la aplicación de magnesio, especialmente para cultivos como el café, que tienen altas demandas de este elemento. En Ultisoles cultivados en la Amazonia, la deficiencia de fósforo y magnesio se manifiesta en el segundo año debido a sus bajas reservas susceptibles a la meteorización y mineralización. (Sánchez et al, 1985)

Plaster (1982) menciona que, el magnesio se libera de minerales como catión durante los procesos de meteorización. No obstante, la arcilla retiene el magnesio de manera menos firme en comparación con el calcio, lo que facilita su lixiviación. Por lo tanto, los suelos con bajos niveles de magnesio son más frecuentes que aquellos con

bajos niveles de calcio. Los suelos arenosos altamente lixiviados son más propensos a requerir fertilización con magnesio, especialmente si se han enmendado con cal que tiene un bajo contenido de magnesio. La presencia elevada de potasio en el suelo también puede inducir deficiencias de magnesio en las plantas.

### ***El Azufre (S)***

Fassbender y Bornemisza (1992) señalan que, La cantidad de azufre en suelos inorgánicos varía en el rango de 0.02% a 0.2%, mientras que en suelos orgánicos, en ocasiones, puede llegar hasta el 1%. En regiones áridas, los suelos exhiben niveles notablemente más elevados de azufre debido a la acumulación de sulfatos, al ascenso capilar de aguas subterráneas ricas en estos, o como consecuencia del contenido de sulfatos en las aguas de riego utilizadas. Entre los compuestos principales que se acumulan, se mencionan el yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), la anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), y la epsomita ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). En cantidades menores, se encuentran minerales poco solubles como esfalerita ( $\text{ZnS}$ ) y calcosina ( $\text{CuFeS}_2$ ).

Fox (1968) establece que, Para que se produzca una adsorción significativa de sulfato, se necesitan tres condiciones esenciales: la existencia de superficies reactivas, un entorno químico propicio y la presencia de sulfato en la solución del suelo. Las cantidades de sulfato adsorbido pueden ser considerablemente elevadas, especialmente en situaciones de fertilización intensiva y cuando la concentración de sesquióxidos en el suelo es alta. Un estudio realizado por Fox señaló que en 11 suelos altamente meteorizados, la adsorción aumentaba con la profundidad hasta aproximadamente 100 cm; además, se observó que a una profundidad de 120 cm, diez de los once suelos, incluyendo los mencionados anteriormente, contenían más de 4000  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de sulfato. Las raíces de las plantas principalmente absorben el azufre en forma de ion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). La absorción de sulfatos está fuertemente influenciada por diversas características del suelo, siendo cruciales el pH, el contenido de arcillas, la presencia de materia orgánica, y los hidróxidos de Fe y Al.

Ramírez (1990) señala que, ha demostrado el vínculo entre la absorción de sulfatos y el pH del suelo, siendo más significativa en suelos ácidos. Por encima de un

pH de 7, la absorbencia de sulfatos disminuye notablemente. La clase predominante del mineral arcilloso también desempeña un papel vital en esta absorción, siendo los suelos con arcilla de tipo caolinita los que presentan un mayor potencial de absorbencia de sulfatos en comparación con aquellos arcillas montmorilloníticas.

Plaster (1982) sostiene que, la mayor parte de la cantidad de azufre en el suelo tiene como origen la descomposición de minerales de sulfatados, como el yeso. Las plantas utilizan principalmente la forma de anión sulfato. La materia orgánica contiene entre el 70 y el 90 % del azufre de suelo, y no se adhiere ni se fija en gran medida. Debido a su rápida lixiviación, las capas superficiales del suelo a menudo tienen bajos niveles de azufre. Los suelos que han experimentado lixiviación y poseen bajos niveles de materia orgánica tienden a sufrir deficiencias de azufre.

### ***Microelementos (ME)***

Se conocen como oligoelementos a ocho minerales esenciales para las plantas superiores: Zinc (Zn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Boro (B), Cloro (Cl), Molibdeno (Mo) y Níquel (Ni). Para que un elemento sea considerado esencial, debe ser necesario para completar el ciclo de vida de las plantas, no puede ser sustituido por otro elemento, y debe estar directamente involucrado en el metabolismo vegetal como componente o ser necesario para un paso metabólico específico. Aunque existen elementos no esenciales, Algunos elementos se consideran beneficiosos debido a que son esenciales solo para ciertas especies o estimulan el crecimiento sin ser considerados esenciales para todas las plantas. Un ejemplo de esto es el Cobalto (Co), que estimula el crecimiento de las leguminosas al ser esencial para los rizobios fijadores de nitrógeno asociados con estas plantas. Además, el Sodio (Na) es esencial para algunas especies particulares, mientras que el Silicio (Si) y el Selenio (Se) favorecen el crecimiento de ciertas especies. (Arnon y Stout, 1939)

### ***Técnica del elemento faltante***

Martini (1970) propuso que, para evaluar la fertilidad del suelo es el método del elemento faltante. Este enfoque fue uno de los primeros métodos experimentales empleados para evaluar la fertilidad del suelo. Desde que Salm-Horstmar lo utilizó en

condiciones de invernadero y Georges Ville lo aplicó en campo en 1870:, muchos investigadores han utilizado esta técnica con éxito. Ya que en la técnica del elemento faltante se suministran todos los nutrientes excepto el elemento específico en estudio, este diseño resulta apropiado para su implementación en invernaderos, donde el volumen del suelo utilizado es reducido y las deficiencias nutricionales son más fácilmente perceptibles. Además, se aplica eficazmente en suelos empobrecidos donde las deficiencias y desequilibrios nutricionales son comunes.

La técnica del elemento faltante o aditivo es un método rápido para identificar deficiencias de nutrientes en el suelo, y consiste en emplear plantas indicadoras en condiciones de invernadero o en el campo. (Sánchez, 1981).

Se le posiciona como un método biológico que utiliza plantas para evaluar su comportamiento frente a las variaciones nutritivas del suelo, el objetivo primordial de esta práctica es evaluar la capacidad de un suelo para suministrar los elementos nutritivos esenciales requeridos para un desarrollo óptimo. (Henríquez et al., 1995; Briceño y Pacheco, 1984).

La técnica del elemento faltante es un procedimiento que posibilita la creación y descripción de deficiencias nutricionales en las plantas. En este enfoque, el grupo de control recibe todos los elementos esenciales en cantidades y períodos de tiempo apropiados. El tratamiento de eliminación implica excluir el elemento en estudio, mientras se proporcionan adecuadamente todos los demás, lo que facilita la comparación de los elementos (Schenkel et al., 1970).

### ***Síntomas foliares de deficiencias nutricionales***

De vez en cuando, la falta de alguna nutriente afecta el crecimiento o la producción de un cultivo, manifestándose a través de síntomas de deficiencias. Estos síntomas se deben a que los niveles de uno o más componentes no son suficientes para garantizar el crecimiento, especialmente la coloración normal de la hoja. (Barnard, 1991).

En contraste, la situación opuesta, donde una concentración excesiva de nutrientes resulta en toxicidad, también puede ocurrir. Los vegetales muestran síntomas distintivos como respuesta a la falta de un componente crucial. La reducción en el desarrollo de las raíces, tallos o hojas; la acumulación de antocianina, provocando una coloración rojiza; la inhibición del crecimiento de las yemas terminales, ocasionando un fenómeno conocido como "arrosetamiento"; así como la clorosis o necrosis en varios órganos, son síntomas claramente visibles a simple vista. (Salisbury y Ross, 1994).

La clorosis o decoloración amarillenta del tejido vegetal puede manifestarse en las hojas jóvenes, así como en la totalidad de la hoja y sus venas. También es posible que aparezca únicamente en la superficie de la hoja, mientras que las venas mantienen su color verde. (Sánchez et al., 2007).

La reducción en la producción de clorofila o el deterioro de la clorofila debido a la fotólisis, pueden causar clorosis por deficiencia nutricional. La necrosis se refiere a la muerte del tejido vegetal, y su coloración característica puede variar entre verde, café o negro, dependiendo del estado de la hoja y de la rapidez con que ocurre la muerte del tejido. Durante la plasmólisis del citoplasma, la célula llega a su fin, lo que provoca la contracción del parénquima y, en la mayoría de los casos, el punto necrótico oscuro. (Vergara, 1989)

Las plantas exhiben síntomas específicos de deficiencia debido a la movilidad de los nutrientes. Los nutrientes móviles como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio se encuentran predominantemente en las hojas adultas o basales, mientras que los nutrientes inmóviles como el hierro, cobre, manganeso, zinc, calcio, azufre, cloro, boro, molibdeno y níquel se presentan mayormente en las hojas jóvenes o en los retoños. Estos nutrientes se clasifican según su movilidad en móviles, medianamente móviles e inmóviles. Además, se destaca que estos pueden ser de fácil, mediana o difícil reutilización por parte de la planta, lo que permite la transferencia de nutrientes fácilmente reutilizables desde las hojas adultas hacia las hojas jóvenes u órganos que requieren mayor atención. (Sánchez et al., 2007)

### ***Diagnostico Visual***

Para analizar las irregularidades nutricionales de los cultivos de manera directa en el terreno, se puede utilizar un método sencillo y rápido llamado diagnostico visual. Este método se basa en la comparación de la apariencia de una muestra vegetal afectada con una muestra patrón (normal o sin síntomas evidentes), se evalúan las alteraciones nutricionales directamente en el campo. En la mayoría de las situaciones, se lleva a cabo una comparación visual de las hojas, que son consideradas como los órganos indicadores. No obstante, también es posible realizar comparaciones entre las raíces, los frutos, los tallos y otros órganos de la planta. (Sánchez et al., 2007).

Para llevar a cabo un diagnóstico visual directamente en el lugar, es crucial considerar lo siguiente: identificar la presencia de síntomas en un órgano de la planta; cotejar las observaciones con síntomas comparables relacionados con otros nutrientes; y descartar la posibilidad de que los síntomas observados sean ocasionados por factores bióticos como plagas o enfermedades, así como factores ambientales como temperatura, radiación y humedad. (Sánchez, 2007).

Se detiene primero el crecimiento y luego muere cuando un elemento esencial se elimina del medio nutritivo. Sin embargo, antes de que la planta alcance el punto de fallecimiento, surgen signos de eficiencia disminuida, tales como clorosis, necrosis y malformaciones, los cuales indican un deterioro en la condición de las plantas. (Alcázar y Trejo, 2007)

Los cortos períodos de falta de oxígeno suelen resultar en una disminución en el crecimiento, la muerte o la pérdida del sistema radicular. Esto afecta el crecimiento de los brotes, la inhibición de la expansión de las hojas y la abscisión de hojas moderada a severa y en quemaduras en la punta de las hojas y Valoras, 1964).

#### **1.25. el cultivo del tomate**

El género *Lycopersicum* Se origina en la zona andina que se extiende desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile. Actualmente, en algunas de las áreas de la región mencionada, todavía existen varias especies del género en condiciones

silvestres (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez et al., 2001). Los habitantes llevaron la planta de un extremo a otro y se extendió por todo el continente. (Rodríguez et al., 2001).

### **1.25.1 Descripción Botánica**

Según Hernández (2011), las plantas de tomate son herbáceas perennes, aunque en su entorno natural suelen comportarse como anuales Y pueden perecer tras la primera temporada de crecimiento debido a condiciones de sequía o heladas. La inflorescencia primaria presenta una cima de tonalidad amarilla característica, con anteras conectadas lateralmente formando un cono en forma de botella. Las características como el tamaño, el color y la velloidad del fruto exhiben variaciones, así como el tamaño de las semillas, el color y el desarrollo de las paredes radiales de las células de la testa. En las especies silvestres, las bayas suelen ser biloculares, mientras que, en las variedades cultivadas, son biloculares o multiloculares.

Los determinados y los indeterminados se clasifican según el hábito de crecimiento. El tomate de crecimiento seleccionada es arbustiva, de bajo porte, pequeña y de rápido crecimiento. La formación de inflorescencias en el extremo del ápice lo distingue. El tipo indeterminado de tomate puede alcanzar una altura de dos metros o más. El crecimiento de la vegetación es constante. Su comportamiento generativo comienza unas seis semanas después de la siembra, produciendo flores continuamente y En función de la rapidez con la que se desarrollan. La formación de la inflorescencia ocurre lateralmente en lugar de apical. El clima, el suelo y las características genéticas de la variedad Influyen en los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo de la planta de tomate. (Von Haeff, 1983).

### **1.25.2. Clasificación Taxonómica**

De acuerdo a Hunziker (1979) la taxonomía generalmente aceptada del tomate es:

Clase	: Dicotiledóneas.
Orden	: Solanales (Personatae).
Familia	: Solanaceae.
Subfamilia	: Solanoideae.
Tribu	: Solanae.
Género	: <i>Lycopersicon</i> .
Especie	: <i>Esculentum</i>

### 1.25.3. Morfología de la planta de tomate

**Raíz.** Posee una raíz principal pivotante que alcanza aproximadamente los 3 cm de longitud al día hasta alcanzar una profundidad de 60 cm. Al mismo tiempo, Surgen raíces secundarias y se desarrollan ramificaciones que tienen la capacidad de crear una densa y voluminosa red. El sistema de raíces puede extenderse hasta una profundidad de 1,5 metros, y se estima que alrededor del 75 % de este sistema se encuentra en los primeros 45 cm de la superficie del suelo. (Rodríguez et al., 2001).

**Tallo.** La planta joven tiene un tallo erguido y cilíndrico, pero a medida que crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. La mayoría de sus órganos y glándulas están equipados con tricomas (pelos) que liberan una sustancia agradable de tono verde. La longitud del tallo puede oscilar entre 40 y 250 cm. (Rick, 1978; Valadéz, 1990).

La bifurcación del tallo principal da lugar a dos tipos: determinado e indeterminado. En el primer tipo, las ramificaciones concluyen durante la etapa de la inflorescencia, restringiendo así el crecimiento vertical. Por otro lado, en el segundo tipo, se desarrollan racimos en la hoja final, pero al mismo tiempo surge una nueva rama, generando un crecimiento continuo. (Garza, 1985)

**Hojas.** Las hojas son de tamaño medio o largo y presentan una forma similar a la de la patata. Son de tipo compuesto y se disponen de manera alterna en los diversos nudos. El limbo está segmentado en siete, nueve o incluso once folíolos. La cara superior de las hojas es de color verde, mientras que la cara inferior muestra un tono grisáceo, y sus dimensiones pueden variar dependiendo de las características genéticas de la variedad. En variedades de tomates más resistentes, las hojas tienden a ser más pequeñas. (Huerres y Caraballo, 1988)

**Flor.** Aparece en inflorescencias de cuatro tipos diferentes: racimo simple, racimo uníparo, racimo bípara y racimo múltipara, que pueden contener hasta 50 flores por racimo. La aparición de los botones florales ocurre entre 56 y 76 días después del nacimiento de la planta. (Rodríguez et al., 2001).

Curtis (1996) muestra que, El cáliz consta de seis sépalos, y la corola exhibe seis pétalos de color amarillo. Seis estambres se fusionan para conformar un tubo alrededor del gineceo.

**Fruto.** Por la presencia de caroteno y licopeno, los frutos pueden ser de color amarillo, rosado o rojo. El fruto más común es rojo en la madurez y la pulpa representa el 33% del peso fresco del fruto. (Rodríguez et al., 2001).

**Semilla.** La semilla tiene vellosidades y tiene un color grisáceo desde el grisáceo hasta el color paja de forma oval aplastada. Tiene un diámetro de 3-5 mm y una longitud de 2,5 mm. Es posible que entre 300 y 350 semillas se encuentren en un gramo (Rodríguez et al., 2001; Huerres y Caraballo, 1988).

#### ***1.25.4. Requerimientos ambientales en el cultivo del tomate***

**Temperatura.** Todas las funciones vitales de la planta, como la transpiración, la fotosíntesis y la germinación, están influenciadas por la temperatura. Según su ciclo de vida, las temperaturas ideales para el tomate son las siguientes, ya que es una planta que necesita mucho calor: La temperatura apropiada para la floración es de 21 °C, mientras que las temperaturas nocturnas oscilan entre 15 y 18 °C. (Rodríguez, 2001)

Según Maroto (2002), La fisiología de la formación y desarrollo del fruto, conocida como "cuajado" y "amarre", generalmente ocurre gracias a los principales factores del entorno físico, tales como la temperatura, la luz y la humedad.

La temperatura óptima para el cultivo se sitúa en el intervalo de 15-20 °C. No obstante, si la temperatura desciende por debajo de 13 °C, se observa una maduración deficiente en los frutos. De manera análoga, cuando la temperatura supera los 32 °C, se inhibe la coloración roja (licopeno), resultando en frutos que adquieren tonalidades amarillas. (Valadéz, 1990).

**Luz y fotoperiodo.** Cuando la intensidad luminosa es alta, la planta de tomate se desarrolla mejor, Sin embargo, en condiciones de baja temperatura, se observa una

interferencia en la apertura de los estomas, resultando en una disminución en el número de estomas por milímetro cuadrado. La cantidad de luz también ejerce un impacto significativo tanto en la fotosíntesis como en el fotoperiodismo, además de influir en el crecimiento de los tejidos, la floración y la maduración de los frutos. Esto se debe a que el rendimiento de los frutos guarda una relación positiva con la cantidad de radiación solar recibida por el cultivo y su ciclo de desarrollo. (Wien, 1997; Rodríguez et al., 2001)

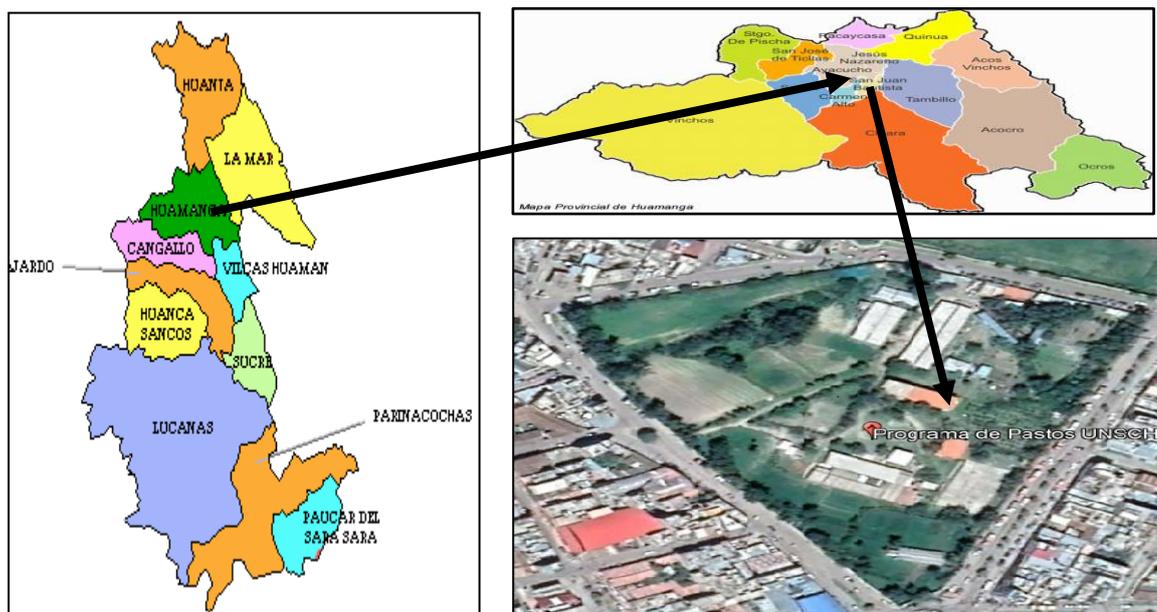
## CAPITULO II METODOLOGIA

### 2.1. ubicación del experimento

El trabajo de investigación se dio bajo condiciones de invernadero del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería (PIPG) de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNSCH, a una altitud de 2760 msnm, Ubicadas en la provincia de Huamanga, región de Ayacucho, se encuentran unas coordenadas geográficas que corresponden a 13° 08' 05" de latitud sur y 74° 32' 00" de longitud oeste.

**Figura 2.1**

*Ubicación geográfica del lugar*

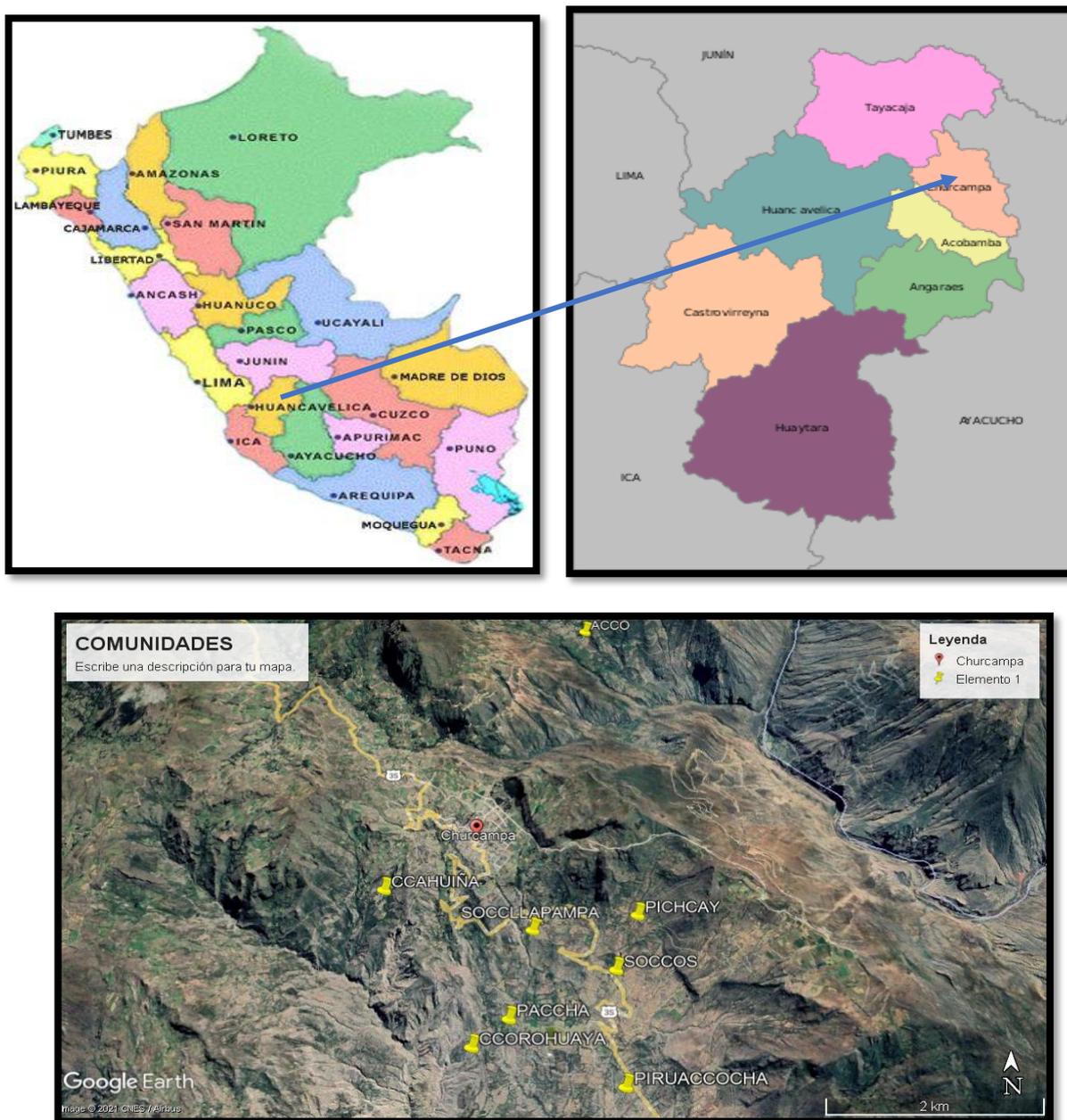


## 2.2. procedencia de las muestras

Las parcelas con cultivo de palto en ocho localidades del distrito de Churcampa, seleccionadas de manera representativa, se encuentran en el Valle del Río Mantaro, lo que le da condiciones climáticas y de suelo muy favorables para la producción de palto.

**Figura 2.2**

*Parcelas seleccionadas del distrito de Churcampa*



**Tabla 2.1.**

*Coordenadas geográficas (UTM) de parcelas representativas del distrito de Churcampa.*

<b>LOCALIDAD</b>	<b>LONGITUD (E)</b>	<b>LATITUD (N)</b>	<b>ALTITUD (m)</b>	<b>PRODUCTOR</b>
Pichcay	568582 E	8590362 N	3027.2 m	Aquilino Pérez Guillen
Piruacocha	568256 E	8588319 N	2734.15 m	Gregorio Guillen Pirca
Paccha	567235 E	8589387 N	2770.16 m	Máximo Yangali Narvaez
Santiago de Acco	567778 E	8595710 N	2834.51 m	Hugo Talavera Meza
Soccos	568212 E	8589734 N	2862.18 m	Honora Toscano Santana
Socellapampa	567266 E	8590338 N	2959.18 m	Natividad Huarcaya
Ccorohuaya	568236 E	8589090 N	2755.17 m	Yuri Yangali Garay
Ccahuiña	565433 E	8590720 N	3186.18 m	Juaquin Gamboa Pirca

### **2.3. Aspectos físicos del distrito de Churcampa**

#### **2.3.1 Altitud**

En un área de 3 kilómetros de Churcampa, la tierra presenta grandes fluctuaciones en la altitud, Presenta fluctuaciones altimétricas que alcanzan un máximo de 1,689 metros, y su elevación media respecto al nivel del mar se sitúa en 3,612 metros. Además, se registran cambios significativos en la altitud en un área de 16 kilómetros. En una distancia de 80 kilómetros, también se pueden encontrar cambios extremos en la altitud (4,830 metros).

#### **2.3.2 Clima**

En Churcampa, los veranos son breves, cálidos y secos, mientras que los inviernos son breves y fríos, y todo el año hay nubes. La temperatura generalmente oscila entre 2°C y 15°C durante todo el año, y rara vez disminuye a menos de 0°C o aumenta a más de 18°C.

Un día con al menos 1 milímetro de precipitación equivalente a líquido se considera día húmedo. La probabilidad de que haya días húmedos varía significativamente durante todo el año.

El período más lluvioso abarca 4.2 meses, iniciándose el 25 de noviembre y concluyendo el 31 de marzo, con una alta probabilidad de que cualquier día dentro de ese lapso presente condiciones húmedas.

Febrero es el mes con más días húmedos, con 10.8 días al mes con al menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca ocurre del 31 de marzo al 25 de noviembre y dura 7.9 meses. Julio es el mes con menos días húmedos, con 0.7 días en promedio con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Los días húmedos se distinguen por presentar solamente lluvias, solamente nieve o una mezcla de ambas. En Churcampa, febrero es el mes con la mayor cantidad de precipitaciones, con una duración promedio de 10.8 días. Según esta clasificación, solo lluvia es el tipo de precipitación más frecuente durante el año, El 4 de febrero registra una probabilidad máxima del 40 %.

La temporada de lluvias dura 7.4 meses, del 12 de setiembre al 23 de abril, con al menos 13 milímetros de lluvia cada 31 días. En Churcampa, febrero es el mes más lluvioso, con una precipitación promedio de 80 milímetros.

El período seco del año comienza el 23 de abril y termina el 12 de setiembre y dura 4 meses. Julio es el mes más seco, con promedio de 4 milímetros de lluvia. El 1 de agosto al 18 de febrero, hay 6.6 meses de viento al año, con velocidades promedio de 8.7 km/h. Setiembre es el mes más ventoso del año, con vientos promedio de 9,5 km/h.

El período más tranquilo del año El período de calma se prolonga por 5.5 meses, desde el 18 de febrero hasta el 1 de agosto, siendo mayo el mes de mayor serenidad en el año, con vientos promedio de 7.8 km/h.

### **2.3.2. Recurso forestal**

En el distrito de Churcampa en un radio de 3 km La zona presenta una vegetación predominante compuesta por arbustos en un 61%, seguido por árboles con un 18%, y praderas con un 10%. En un radio de 16 km, la proporción de arbustos disminuye al 58%, mientras que las praderas aumentan al 17%. En un radio más amplio de 80 km, la presencia de arbustos se reduce al 30%, mientras que los árboles alcanzan el 26%.

### **2.3.3. Balance hídrico**

Para llevar a cabo el balance hídrico, se utilizaron los datos meteorológicos registrados en la Estación Meteorológica de Huanta, que se encuentra en el Distrito de Huanta, Provincia de Huanta, de la región de Ayacucho, a una altitud de 2656 metros sobre el nivel del mar. Latitud sur: 12°56'45.0" y longitud norte: 74°14'10.3".

Los registros meteorológicos de los doce meses que se llevaron a cabo durante la instalación del proyecto de investigación de junio de 2021 a mayo de 2022 mostraron temperaturas máximas de 28 °C de octubre a diciembre y temperaturas mínimas de 6.40 a 7.20 de mayo an agosto. Las precipitaciones más altas se registraron en diciembre a marzo con 51 mm y 47 mm, mientras que no se registró precipitación en julio y agosto.

## **2.4. MUESTREO DE SUELOS Y APERTURA DE CALICATAS**

La selección de las muestras se basó en su representatividad dentro del territorio de Churcampa en las localidades de Piruacocha, Soccus, Santiago de Acco, Ccahuiña, Paccha, Pichcay, Ccorohuaya y Socllapampa, donde se seleccionaron áreas y/o terrenos con cultivos de palto. (ver. Tabla 2.1)

Se recogieron muestras de la capa cultivable de suelos plantados con aguacates a una profundidad de 0 a 20 cm. Se recolectaron alrededor de 5 kg de suelo libre de piedras y/o desechos.

Desde el punto de vista agronómico, se abrieron las calicatas en las 8 parcelas de las localidades ya descritas en la Tabla 2.1 para determinar su composición química (materia orgánica, pH, CIC y alcalinidad) y características físicas (textura, porosidad o densidad, estructura y temperatura). Se recomendó una sección mínima de 0,80 cm por 1,00 metros para permitir una inspección adecuada de las paredes del suelo.

### ***2.5 Análisis de suelos***

El análisis de suelos se realizó en el laboratorio especializado en suelos, plantas, aguas y fertilizantes denominado "MULTISERVICIOS AGROLAB", que se detalla a continuación:

- **pH:** Método potenciómetro
- **Materia Orgánica:** Por oxidación-reducción, por Walkley – Black.
- **Nitrógeno total:** Método semi micro Kjeldahl
- **Fósforo:** El fósforo disponible por el método de Olsen modificado.
- **Potasio:** El potasio disponible por el método Morgan - Peech.
- **Ca y Mg:** mediante complexometría.
- **K y Na:** mediante absorción Atómica.
- **La CIC:** Por Destilación.
- **Arena, Limo y Arcilla:** mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos

### **2.6. Materiales y equipos**

- Balanza de analítica
- Horno de secado
- Cuadernillo de campo
- Cuaderno de control
- Pala

- Pico
- Zaranda
- Costal de yute
- Barretea
- Papel de horno
- Semilla de tomate
- Cámara fotográfica

## 2.7. Diseño experimental y análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis estadístico de los rendimientos de materia seca mediante un Diseño Completamente Aleatorizado con un arreglo factorial que incluyó 8 tipos de suelos, 9 tratamientos y 3 repeticiones, sumando así un total de 216 unidades experimentales.

**El modelo Aditivo Lineal es:**

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta o rendimiento de materia seca.

$\mu$  = Media general

$A_i$  = Efecto del suelo

$B_j$  = Efecto de los tratamientos

$(AB)_{ij}$  = Efecto de la interacción suelo x tratamiento

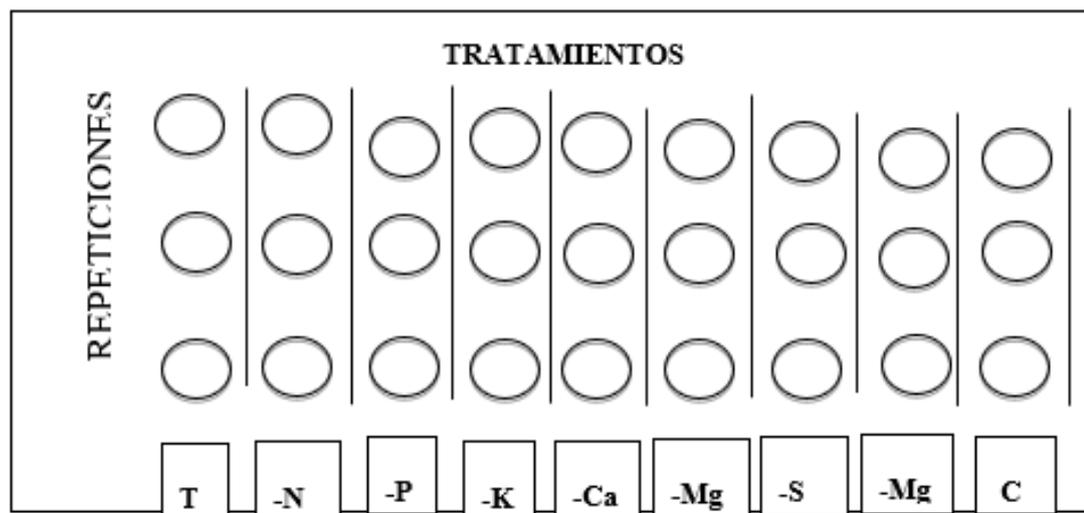
$E_{ij}$  = Variable aleatoria o error experimental.

El análisis de varianza (ANVA) se refiere a un modelo mixto, ya que los suelos se muestrearon al azar y los tratamientos se escogieron como fijos. El esquema del ANVA se indica en la siguiente tabla.



**Figura 2.3**

Croquis de los respectivos tratamientos en el cultivo de tomate



## 2.9. conducción del ensayo

### 2.9.1. Trabajo en Invernadero

#### a) Preparación del suelo

Se retiraron las piedras grandes, las impurezas y las raíces, luego se secó al aire libre y bajo sombra. Después, se trituró y tamizó utilizando una malla de 2 mm de diámetro (tamiz No 10). De la cantidad total, se extrajo una muestra de 0,5 kg para llevar a cabo el análisis físico-químico, mientras que el resto se reservó para el experimento.

#### b) Macetas

Se emplearon macetas de hojalata con una capacidad aproximada de 1 kg, medidas de 14.5 cm de altura y 9.5 cm de diámetro, que contaban con orificios para facilitar el drenaje del agua. En cada maceta se añadió una capa de grava con un espesor de 1 cm en el fondo y luego se identificaron según los tratamientos.

#### a) Planta indicadora

Para llevar a cabo el experimento, se utilizó como planta indicadora el tomate (*Lycopersicon esculentum*), variedad "Marglobe", debido a que es susceptible a la deficiencia de nutrientes y exhibe signos distintivos de la falta

de elementos esenciales para la fertilidad del suelo. También se evaluó la capacidad de la planta para prosperar en condiciones de suelo restringido, particularmente cuando se cultiva varias plantas por maceta.

### **2.9.2 Instalación del experimento**

#### **a). Siembra de semillas de tomate**

La tarea consistió en sembrar cinco semillas de tomate por maceta, cada una de 14.5 cm de altura y 9.5 cm de diámetro, a distancias adecuadas entre ellas y una profundidad de a 2 veces el tamaño de cada semilla. Luego, se regó con mucho cuidado para ayudar a la germinación y evitar que las semillas sobresalieran.

#### **b). Tratamientos**

Para el método o del elemento faltante, se han analizado 08 (ocho) muestras de suelos y se han asignado nueve tratamientos al azar con tres repeticiones, lo que da como resultado un total de 216 tratamientos en el estudio, que se muestran en la figura 2.3

#### **c). Abonamiento**

Con el fin de minimizar potenciales contaminaciones y mejorar su solubilidad, se administraron los nutrientes utilizando compuestos químicos disueltos en lugar de emplear fertilizantes comerciales.

La Tabla 2.4 muestra los niveles y fuentes de nutrientes necesarios. Los parámetros establecidos para este estudio determinaron las dosis.

**Tabla 2.4***Niveles y Fuentes de Nutrientes*

Nutriente	NIVELES			REACTIVO	FUENTE
	Kg/ha	Ppm	g/m aceta	g/maceta	
N	300	150	0.150	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> : 0.3214	Urea
P	360	180	0.180	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O : 0.8017	Fosfato de sodio
K	200	100	0.100	KCl : 0.1907	Cloruro de potasio
S	200	100	0.100	S : 0.1000	Flor de azufre
Ca	500	100	0.250	CaCl <sub>2</sub> : 0.6250	cloruro de calcio
Mg	60	30	0.030	MgCO <sub>2</sub> : 0.1041	Carbonato de magnesio
Fe	10	5	0.005	EDDHA-Fe: 0.0833	Secuestrene
Cu	2	1	0.001	CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O: 0.0027	Cloruro de cobre
Zn	10	5	0.005	ZnCl <sub>2</sub> : 0.0104	Cloruro de zinc
Mo	10	5	0.005	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MoO <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O 0.0092	Molibdato de amonio
B	3	1.5	0.0015	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O: 0.0070	Borato de sodio

**d). Riegos**

Los riegos se realizaron de manera periódica hasta un que la humedad de suelo este a capacidad de campo.

**f). Cosecha**

Las plantas se cosecharon después de 45 días de haber sido sembradas, limpiadas y empacadas en bolsas de papel.

**g). Secado**

Las plantas se secaron completamente en una estufa a 105°C, Las muestras fueron secadas hasta alcanzar un peso constante, lo cual se logró en un período de 24 horas.

**h). materia seca (g)**

en balanza analítica (g). se pesó la materia seca que se obtuvo

## ***2.10. Parámetro de evaluación***

### **2.10.1. Rendimiento de materia seca (g/maceta).**

La producción de materia seca de las plantas se tomó en cuenta en cada uno de los tratamientos, que se expresó en gramos por maceta. De acuerdo con las respuestas al tratamiento del suelo, se otorgará un calificativo de "bueno", "medio" y "bajo" según el análisis de caracterización en el laboratorio.

## **CAPITULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. del análisis físico químico de los suelos**

##### ***3.1.1 Suelo de Soccos***

Los resultados obtenidos del análisis de caracterización del perfil del suelo de la localidad de Soccos se muestran en la Tabla 3.1 (A-1). La interpretación se centra en la capa superficial y se basa en los hallazgos de Ibáñez y Aguirre (1983) y Guerrero (1998).

El suelo presenta una reacción ligeramente alcalina en relación al pH del horizonte A. Según el valor de pH de 7,81, es difícil encontrar microelementos como Cu, Zn, Mn y Fe.

“Los suelos ligeramente alcalinos no afectan el crecimiento de las plantaciones.” (Farfán, 2009).

La existencia de carbonatos libres puede ser afectada por diversas prácticas de gestión, tales como la aplicación de herbicidas, el uso de fertilizantes fosfatados y la disponibilidad de micronutrientes, depende de si un suelo es alcalino o calcáreo. Elevados niveles de carbonatos y bicarbonatos solubles, pH elevado, exceso de humedad, concentraciones altas de metales pesados y antagonismo entre nutrimentos son los factores que causan clorosis en los cultivos con respecto a la disponibilidad de micronutrientes. Algunas plantas pueden beneficiarse de un suelo ligeramente alcalino, pero un exceso de alcalinidad casi siempre es malo para el crecimiento. (Brown y Holmes, 1995)

El horizonte de estudio contiene un 2,03% de materia orgánica, lo que se puede interpretar en un nivel medio. Estos datos están en línea con el nivel medio de nitrógeno total. La prueba biológica muestra síntomas de falta de este elemento para satisfacer la demanda de los cultivos.

Según Jhonstom (1991), La cantidad de materia orgánica en el suelo está influenciada por diversos factores. Estos incluyen la velocidad a la que se incorporan La cantidad de materia orgánica presente en el suelo depende de factores como la adición de nuevos residuos orgánicos, la velocidad de descomposición química y biológica de la materia orgánica existente en el suelo, la textura del suelo, el nivel de aireación, la humedad y las condiciones climáticas. Este parámetro puede verse también afectado por las prácticas de manejo del cultivo, ya que el uso de abonos minerales acelera la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Esto demuestra el aumento de la actividad biológica, lo que aumenta la fertilidad y los rendimientos. (Gros y Domínguez, 1992)

Dado que las temperaturas están cerca del ideal o incluso superior a los valores óptimos, podrían tener un papel importante en la descomposición y mineralización. se puede afirmar que la variedad Fuerte es altamente sensible al contenido de N. (Franciosi, 1992 y Condori 2015)

El contenido de fósforo disponible de 17.8 ppm, que se considera un nivel medio, es un factor limitante más significativos en suelos alcalinos debido a la fijación del fósforo por el calcio. El pH regula muy lento la entrega de nutrientes de la materia orgánica, también en condiciones del medio ambiente favorecidos ( $t^{\circ}$  y  $H^{\circ}$ ). La adsorción de fosfatos es un proceso de transformación del fósforo que ocurre simultáneamente con la precipitación de fosfatos no puede ser distinguido de manera analítica y matemática. La capacidad de fijación de P en los suelos en estudio es más importante, dado que existe una fuerte relación con el contenido de materia orgánica, esta asociación explica los bajos niveles de fósforo disponible. Por lo tanto, el P es el obstáculo para el cultivo de palto en la localidad de Soccus.

El contenido de potasio disponible es de 470 ppm, lo que indica una alta concentración. En cuanto al K disponible, se puede inferir que está compuesto por dos

fracciones o formas principales de fósforo en el suelo, una presente en la solución del suelo y la otra en el complejo de cambio, ambas en un equilibrio dinámico. (Brady et al., 2008).

Según Roy et al. (2006), la cantidad de nutrientes intercambiables es significativamente mayor que la cantidad de solución presente en el suelo. De esta manera, antes de que las plantas puedan absorber los nutrientes del complejo de cambio, deben ser desorbidos, intercambiados o dispersados en el suelo circundante de la solución.

Según Havlin (1999), La disponibilidad de potasio en el suelo se ve afectada por diversos factores, entre ellos se encuentran la cantidad y tipo de mineral arcilloso, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cantidad de potasio intercambiable, la temperatura, el tiempo y el pH del suelo, por lo que el suelo de Soccos no está restringido por el K.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 27,92, lo que equivale al suelo medio de CIC. Los coloides del suelo (orgánicos, inorgánicos o minerales) determinan la CIC. Esto es importante tener en cuenta porque ambos tipos están presentes y cumplen funciones importantes en cualquier suelo fértil.

Debido al predominio del coloide orgánica en la capa superficial del suelo, se origina una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de magnitud media. La CIC regula la absorción de iones de las plantas, En este contexto, es importante destacar que cualquier ion presente en forma libre en la solución del suelo puede ser empleado para el suministro de nutrientes a las plantas, es sabido que el sistema radicular de las plantas no depende únicamente de las influencias externas para poder absorber los nutrientes. Experimentos meticulosamente llevados a cabo han evidenciado que las plantas son capaces de extraer nutrientes del suelo en cantidades que, en última instancia, exceden las presentes en la solución del suelo.

Esta situación puede explicarse únicamente mediante la aceptación de la teoría de que las raíces de las plantas en desarrollo, debido a su estrecho contacto con los coloides del suelo, acceden directamente al intercambio catiónico.

La EC nos da un resultado de 0.5 dS/m, lo que indica que no limita el crecimiento y desarrollo de los cultivos; por lo tanto, el contenido de sal no tendría un impacto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de palto.

En cuanto a las características físicas, incluyendo la textura, se comprobó que el suelo pertenece a la clase de textura franca arcillosa (Fr.Ar), donde se debe a la alta sensibilidad de la planta por asfixia radicular, la existencia de una textura arcillosa conlleva a un drenaje deficiente y son los principales obstáculos del suelo para el palto. Se ha notado que la formación adecuada de raíces y una buena capacidad de drenaje son características de suelos que contiene una buena cantidad de piedras., lo que hace que un suelo de textura liviana y suelto sea el mejor para el cultivo de palto. (López, 1980)

Los macroporos concede el movimiento fluido del agua y Es esencial que haya suficiente oxígeno presente en las raíces para que se lleven a cabo los procesos de absorción de agua y nutrientes, así también el desarrollo de nuevas raicillas, que en general benefician el buen desarrollo de la planta. (López en 1980.)

Realizar prácticas como la creación de camellones, montículos, terrazas, subsolado y sistemas de drenaje, entre otras, se presenta como una alternativa viable para abordar situaciones caracterizadas por texturas pesadas o una escasa profundidad efectiva del suelo. (López en 1980.)

En cuanto a la  $\text{CaCO}_3$ , el valor de 18.40 indica una gran cantidad de carbonatos, lo que indica dificultades para adherir el fósforo P a formas insolubles. Además, la presencia o el exceso de carbonatos puede bloquear microelementos como Fe, Mn, Zn y Cu en sus formas insolubles, lo que causa enfermedades carenciales.

La deficiencia de potasio puede ocurrir en suelos con buena cantidad de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  porque se puede lixiviar rápidamente. Debido al contenido generalmente bajo de materia orgánica, también puede haber deficiencia de nitrógeno (N) (Rowell, 1994).

En suelos calcáreos, la disponibilidad de fósforo es un problema nutricional adicional, ya que su disponibilidad aumenta rápidamente y, a partir de un pH de 8, disminuye rápidamente. Además, cuando hay un alto contenido de caliza, ocurre el fenómeno de "retrogradación", en el que una parte del fósforo disponible, que es soluble al agua y a los ácidos débiles, pasa a ser insoluble y, por lo tanto, no se puede (Guerrero, 2000)

**Tabla 3.1**

*Análisis de caracterización del suelo con cultivo de palto de las parcelas representativas de las ocho localidades del distrito de Churcampa - Huancavelica*

ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO CON CULTIVO DE PALTO DE LAS PARCELAS REPRESENTATIVAS DE LAS OCHO LOCALIDADES DEL DISTRITO DE CHURCAMP - HUANCAMELICA																					
LOCALIDADES		Hz.	Fracciones (%)			Clase Textural	pH (agua)	C. E. (dS/m)	M. O. (%)	NTotal (%)	P-disp (ppm)	K-disp (ppm)	Cationes cambiables (cmol.kg <sup>-1</sup> )						CaCO3	C.I.C. (cmol.kg <sup>-1</sup> )	% SAT. DE BASES
			Arena	Limo	Arcilla								Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	H <sup>+</sup>	Na			
A-1	Soccos	Ap	27	35	38	Fr-Ar	7.81	0.5	2.03	0.1	17.8	470	20.3	4.61	1.49	0	0	1.52	18.4	27.92	100
A-2	Ccahuña	Ap	37	33	30	Fr-Ar	7.55	0.75	2.03	0.1	6.95	302	19.7	3.29	1	0	0	1.23	22.7	25.22	100
A-3	Pichcay	Ap	19	37	44	Ar	7.48	2.29	2.66	0.13	12.7	272	24.3	5.76	1.35	0	0	1.56	20.5	32.97	100
A-4	Ccorhuaya	Ap	37	27	36	Fr-Ar	7.77	2.06	2.67	0.13	4.4	114	21	2.65	0.63	0	0	4.13	16.2	28.41	100
A-5	Piruacocha	Ap	43	31	26	Fr	7.44	0.76	3.62	0.18	8.88	219	19.8	3.95	0.86	0	0	1.32	2.01	25.93	100
A-6	Paccha	Ap	25	33	42	Ar	7.85	1.05	2.75	0.13	14.3	318	18.7	5.27	1.07	0	0	4.06	13.7	29.1	100
A-7	Santiago de Acco	Ap	35	31	34	Fr-Ar	6.75	0.43	4.17	0.2	43.4	340	11.6	4.12	0.82	0	0	1.03	0	17.57	100
A-8	Socllapampa	Ap	43	21	36	Fr-Ar	7.74	0.48	2.52	0.12	8.44	196	15.2	2.19	0.75	0	0	1.33	1.46	19.47	100

*Nota. elaborado en Multiservicios Agrolab Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar.*

### **3.1.2. Suelo de Ccahuiña**

Los datos obtenidos del examen de caracterización del perfil del suelo de Ccahuiña se muestran en la Tabla 3.1(A-2).

El pH es de 7,55, lo que indica una reacción ligeramente alcalina. En la zona productiva de paltas en Chile, el pH es básico (8), por lo que se requiere acidificar el suelo con ácido fosfórico para implementar esta estrategia. (INIA, 2017) “Los suelos ligeramente alcalinos no afectan el crecimiento de las plantaciones”. (Farfán, 2009).

En el área de estudio, la mayoría de las áreas son áridas y subáridas debido a las variaciones climáticas y las actividades humanas, lo que provoca una adsorción de iones en el complejo de cambio del suelo, lo que hace que la asimilación de nutrientes sea deficiente. Por lo tanto, es necesario incorporar materia orgánica para promover la CIC y mejorar la capacidad de asimilación de nutrientes.

El contenido de materia orgánica en la zona de estudio es de 2,03%, lo que se considera de nivel medio del suelo contiene cerca del 5% del Nt, pero también tiene otros microelementos, magnesio, calcio, azufre y otros elementos esenciales para las plantas (Graetz, 1997).

Según Fassbender y Bornemisza (1987), las modificaciones más significativas en proceso de mineralización y humificación son de origen bioquímico. Aunque los suelos de esta región contienen una cantidad moderada de materia orgánica, se deterioran rápidamente debido al clima favorable de la región. Un componente externo crucial en estos procesos es el pH.

El contenido de materia orgánica ideal para el palto es del 4 al 5%; La utilización de materia orgánica contribuye a armonizar y potenciar las propiedades del suelo, al tiempo que puede fungir como una fuente enriquecedora de nutrientes. La aplicación de materia orgánica al suelo conlleva a una mejora en la estructura y la agregación,

facilitando una infiltración más eficaz del agua hacia la zona de las raíces y previniendo la erosión del suelo. Además, equilibra la textura del suelo, ayudando también a suelos arenosos con la retención de agua mejor y reduce el plástico en los suelos arcillosos. Los restos orgánicos que se descomponen rápidamente, contribuye con los nutrientes y puede ser considerada como abono, en contraste con la que se descomponen lentamente se considera mejoradora de las propiedades. (Agrobanco, 2013)

El contenido de fósforo es de 6,95 ppm, muy bajo, lo que lo convierte en uno de los factores limitantes en el área de estudio. El pH regula de manera lenta la liberación de nutrientes, incluso en condiciones ambientales óptimas como temperatura y humedad. La adsorción de fosfatos, un proceso vinculado a la transformación del fósforo que ocurre simultáneamente con la precipitación de fosfatos, representa un proceso crucial caracterizado por una baja disponibilidad. La capacidad de fijación de P en los suelos examinados es más crucial, ya que está fuertemente relacionada con el contenido de materia orgánica, la caliza activa y el pH del suelo. Esto explica por qué hay tan poco P disponible.

El nivel de potasio en la región de estudio es de 302 ppm, lo que se interpreta como alto. Las altas concentraciones de K en el suelo aumentan la acidez del suelo y causan deficiencias de magnesio y, ocasionalmente, calcio por efecto contrario. La disminución de los valores podría atribuirse a la retención de potasio por parte de las arcillas, la lixiviación, que implica la filtración del agua a través del suelo, y/o el transporte de partículas superficiales del suelo debido a la erosión hídrica. Estos procesos son esenciales para mantener el equilibrio de los elementos nutritivos, especialmente para las bases como el calcio, magnesio y potasio.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja, con  $14.8 \text{ cmol.kg}^{-1}$ . Debido al predominio del coloide orgánico, la existencia de una cantidad significativa de materia orgánica en la capa superior del suelo ocasiona una capacidad de intercambio catiónico intermedia. La CIC regula la absorción de iones de las plantas; cualquier ion libre en la solución del suelo cualquier ion libre es nutriente para las plantas, pero es bien sabido que las raíces de las plantas no dependen únicamente de las influencias externas para

poder absorber los nutrientes. Investigaciones meticulosas han demostrado que las plantas tienen la capacidad de extraer nutrientes del suelo en cantidades que superan las presentes en la solución del suelo. Esta observación solo puede ser comprendida si se acepta la teoría que postula que las raíces de las plantas, en su fase de desarrollo, ingresan directamente al intercambio catiónico debido a su cercano contacto con los coloides del suelo.

La deficiencia de magnesio ( $\text{Ca/Mg} > 5$ ) se encuentra en las relaciones catiónicas, lo que indica una oposición o competencia en la absorción de nutrimentos (Mg), lo que ocasiona deficiencia de nutrientes. En cuanto a las demás relaciones catiónicas, indica un estado de equilibrio y/o típico, sin conflicto entre nutrientes.

Se ha comprobado que el suelo es de clase textural fina (Franco arcillosa) en relación a varias propiedades físicas. La capacidad del suelo influye en varios aspectos relacionados con la labranza, el manejo y la conservación del suelo, así como en sus características físico-químicas. Por ejemplo, la composición granulométrica puede influir en el proceso de mineralización de la materia orgánica en condiciones similares; por lo tanto, un suelo arcilloso mostraría un incremento en el contenido de materia orgánica en condiciones similares. Esto se debe a la formación de complejos organominerales y a la mayor probabilidad de condiciones de aireación desfavorables que no favorecen la mineralización. (Urbano, 1989).

La presencia de  $\text{CaCO}_3$  del 22,7% indica un suelo muy calcáreo con un alto contenido de carbonatos, lo que indica problemas de fijación de fósforo P a formas insolubles. La presencia o exceso de carbonatos también puede bloquear microelementos como Fe, Mn, Zn y Cu en formas insolubles, lo que provoca formas insolubles de estos elementos y dando lugar a enfermedades carenciales. El K y el Mg se ven afectados de manera similar.

### ***3.1.3. Suelo de Pichcay***

El resultado obtenido del análisis de caracterización del suelo de Pichcay se muestran en la Tabla 3.1(A-3). El pH del horizonte de estudio es ligeramente alcalino

(7.48), lo que tiene un impacto indirecto en el desarrollo y crecimiento de los cultivos al influir en la disponibilidad de nutrimentos. (Teuscher y otros, 1980)

Se considera que el rango óptimo para el crecimiento del aguacate se encuentra entre 5.5 y 6.5 en cuanto al pH del suelo. La presencia de material calcáreo se indica si el pH del suelo es de 8.0 o más alto, este aumento en la alcalinidad del suelo puede dar lugar a deficiencias críticas de nutrientes esenciales para el cultivo, como el hierro (Fe), que se ve afectado por la inmovilización debido a la alcalinidad del suelo.

En la franja costera peruana, caracterizada por suelos con un pH alcalino variable, el desarrollo del palto puede enfrentar desafíos, especialmente durante su fase inicial, este problema es común. (Agrobanco, 2013)

La materia orgánica es del 2,64%, lo que se considera el contenido medio de materia orgánica. Es importante destacar que el intervalo óptimo para el desarrollo del cultivo de palto se sitúa entre un pH de 4 y 5 %. La adición de materia orgánica al suelo mejora la estructura y agregación, facilitando una mejor infiltración del agua hacia la zona de raíces y previniendo la erosión del suelo.

El 0.10% de nitrógeno del suelo representa un nivel medio de nitrógeno. El nutriente más esencial para el cultivo de palto es el nitrógeno, ya que desempeña un papel crucial en el crecimiento de la planta. Aunque la aplicación de nitrógeno durante la floración y el cuajado del fruto puede estimular el crecimiento vegetativo, puede tener un impacto adverso en la retención de frutas recién cuajadas. Se recomienda utilizar dosis moderadas para favorecer la producción, ya que dosis bajas pueden afectar negativamente el desarrollo vegetativo y la producción, mientras que las dosis altas de nitrógeno solo aumentan el desarrollo vegetativo, lo que significa un mayor contenido de ramas y hojas pero una disminución en la producción, Es importante destacar que aunque la materia orgánica es fuente, las condiciones ácidas influyen de manera desfavorable en las actividades beneficiosas de los microorganismos presentes en el suelo, la mineralización y la humificación son procesos bioquímicos. (Fassbender y Bornemisza, 1987)

La concentración de fósforo disponible es de 12.7 ppm, lo que equivale al nivel medio. El cultivo de aguacate requiere fósforo, aunque es escaso. Los niveles ideales de fósforo para palta en la primavera es 0.102 a 0.115%, mientras que en el invierno son de 0.113 a 0.175%. Las concentraciones más altas se encuentran en hojas jóvenes y peciolo, y la quimisorción es más importante, ya que está fuertemente relacionada la concentración de aluminio y hierro del suelo. En última instancia, esto explica las cantidades bajas de P disponible. (Cortez, 2004)

La concentración de potasio disponible es de 272 ppm, lo que es considerado alto; Las plantas toman este elemento en forma iónica ( $K^+$ ) y su contenido en el tejido del aguacate esta entre el 0.75% y el 2.0%. En su forma iónica, el potasio es móvil dentro de la planta y no forma compuestos orgánicos como lo hacen el nitrógeno y el fósforo. Cumple funciones promiordiales en procesos como la respiración, la fotosíntesis y la síntesis de clorofila. Además, contribuye a mantener la permeabilidad de las membranas celulares, fortalece la resistencia a plagas y enfermedades, favorece la turgencia del follaje y afecta el tamaño y la calidad de los frutos.. Además, protege contra las consecuencias graves de la sequía y las heladas. En cuanto al K disponible, se puede decir que está compuesto por dos fracciones: la que está en la solución del suelo y la que está en el complejo de cambio; hay un equilibrio dinámico entre ellos, la cantidad de nutrientes intercambiables es significativamente mayor que la cantidad de solución presente en el suelo. (Brady et al., 2008 y Roy et al., 2006)

La cantidad y el tipo de mineral arcilloso, el CIC, la cantidad de K cambiante, la temperatura, el tiempo y el pH del suelo son los factores que contribuyen a la disponibilidad de K, según Havlin (1999). La relación entre los contenidos de K cambiante y la materia orgánica es más cercana que la del contenido de arcilla, lo que se puede evidenciar evaluando el valor del coeficiente de correlación.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es alta ( $32.97 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ). El elevado contenido de materia orgánica en la capa superficial influye en los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), sin embargo, la presencia de una elevada cantidad de arcilla del tipo 1:1 reduce los valores de la CIC. Estos suelos tienen una baja

fertilidad potencial y pierden fácilmente las bases cambiables por lixiviación, lo que conduce que predomine la acidez en el suelo.

Las relaciones catiónicas Ca/Mg, Ca/K y Mg/K, cuyos rangos normales son de 5 a 8, 14 a 16 y 1.8 a 2.5, están en equilibrio o en el nivel normal. Esto demuestra que no hay antagonismos o competencia en la absorción de nutrientes y que hay deficiencias de algunos de ellos. Sin embargo, es necesario realizar prácticas de abonamiento para mejorar el nivel de nutrientes en el suelo.

Se ha demostrado que el perfil del suelo tiene una clase textural fina (arcillosa) en términos de propiedades físicas. La retención de agua y poca oxigenación están influenciadas por esta aptitud. Para Palto, los suelos deben tener texturas medias (francos), relativamente profundos y con buen drenaje. Es preferible que no tengan capas inferiores duras. Antes de la siembra, se recomienda pasar un arado subsolador a una profundidad de 80 centímetros, lo que ayudará a soltar el terreno. Esto debe hacerse cuando el suelo esté seco.

La presencia de  $\text{CaCO}_3$  del 20.5% indica que el suelo es muy calcáreo y que hay problemas para fijar fósforo P a formas insolubles. La presencia o exceso de carbonatos también puede bloquear microelementos como Fe, Mn, Zn y Cu en formas insolubles, lo que provoca enfermedades carenciales. En suelos de pH alcalino que tienen sobre 5.0%  $\text{CaCO}_3$  y/o presentan más de 2.0 mmol L<sup>-1</sup> de bicarbonatos, los huertos de paltos generalmente presentan síntomas de clorosis férrica (Ferreira et al., 2008). Se entiende como caliza activa la porción de carbonatos cuyo tamaño es inferior a 50  $\mu\text{m}$  y que se disuelve fácilmente en agua. debido a su gran superficie relativa. Esto enriquece la solución del suelo con iones de bicarbonato, lo que parece estar relacionado con problemas de clorosis férrica. Namesny et al. (2020) estiman que su nivel crítico está por encima del 6 %.

El análisis de CE indica que este suelo tiene un alto contenido de sales, con 2.29 dS/m. Debido a la sensibilidad del palto a las sales, se debe evitar el uso de productos que contengan sales, como el cloruro de potasio, ya que sería dañino para

las plantas. La urea, el superfosfato triple de calcio y el nitrato de calcio son otros fertilizantes que deben limitarse en su uso. (Farfán y Arata, 2009)

Si la conducción eléctrica de la solución es superior a lo ideal en el caso específico del cultivo y la variedad, la planta requerirá un esfuerzo adicional para la absorción de nutrientes. (Bárbaro et al. 2019)

Ayers y Westcot (1976) informan que el umbral de tolerancia a la salinidad del palto es de  $1.3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , que es el valor de conducción eléctrica del extracto saturado de suelo. La mayoría de los autores indican valores de  $1.0$  a  $1.8 \text{ dS m}^{-1}$  (también referidos a la metodología de extracto saturado del suelo); además, se ha informado que un valor de conductividad eléctrica de  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$  causaría una pérdida del 10% en el rendimiento.

#### **3.1.4. Suelo de Ccorohuaya:**

Los resultados obtenidos del análisis de la caracterización del perfil del suelo: del suelo de la localidad de Ccorohuaya se muestran en la Tabla 3.1(A-4).

El pH del horizonte de estudio se considera ligeramente alcalino (7.77); en la zona de producción de paltas, el pH es básico, por lo que se requiere acidificar el suelo con ácido fosfórico. Además, los suelos ligeramente alcalinos no pueden afectar el crecimiento de las plantaciones. (Farfán, 2009).

El porcentaje de materia orgánica presente en el sitio de estudio es del 2,67%, lo que se considera como promedio. Estos datos están en línea con el nivel medio de nitrógeno total. Las modificaciones más significativas en Los procesos de humificación y mineralización tienen una naturaleza bioquímica, como mencionaron Fassbender y Bornemisza (1987). El pH es un componente externo relevante en estos procesos. Según nuestros datos, el coeficiente de mineralización de los suelos de sierra (valle interandino) es del 2 al 3 %, dependiendo de condiciones de humedad, aireación, temperatura adecuada, falta de elementos tóxicos y otros factores. Dado que las temperaturas están

cerca del ideal o incluso superior a los valores óptimos, podrían tener un papel importante en la descomposición y mineralización.

Se recomienda la incorporación de materia orgánica para el cultivo del palto, ya que el contenido ideal de materia orgánica es del 4 al 5%.

El contenido de Nitrógeno (N) es de 0,13, lo que se interpreta como medio; este resultado es un indicador del nivel de falta para el cultivo del palto, ya que según Whilley, (1984), cualquier desajuste conduce a un aumento del crecimiento vegetativo y una reducción de la producción.

Los niveles de fósforo en el sitio de estudio fueron bajos, 4,4 ppm, que es uno de los principales factores limitantes. C. E. Aunque las condiciones ambientales (temperatura y humedad) son favorables, el contenido de materia orgánica superficial es moderado y la suave salinidad hace que el transporte de nutrientes en la materia orgánica sea muy lento y un pH moderadamente alcalino.

El fósforo (P) tiene una importancia significativa, ya que desempeña un papel crucial en la transferencia de energía, entre otras funciones. La escases de P afecta el crecimiento del árbol y causa hojas pequeñas, redondeadas, defoliadas y desecadas. (Lahav y Whiley, 2002)

El nivel medio de potasio disponible es de 114 ppm y la manifestación de potasio de los suelos ligeramente alcalinos están influenciados principalmente por el clima. Sin embargo, El contenido de materia orgánica del suelo y la condición física reflejan niveles moderados de potasio. Estos procesos son esenciales para mantener el equilibrio de nutrientes, especialmente el equilibrio de elementos esenciales como el calcio, magnesio y potasio. El contenido de potasio del lugar de estudio no satisface los requisitos nutricionales del palto.

Se puede observar en las relaciones catiónicas una deficiencia de magnesio ( $Ca/Mg > 5$ ) que indica una oposición o competencia en la absorción de nutrientes de

magnesio (Mg), así como una deficiencia de potasio (K) por ( $Ca/K > 30$ ) que indica una oposición o competencia con el calcio (Ca). En relación con las otras relaciones catiónicas, indica un estado de equilibrio o normal sin antagonismo entre nutrientes. Por lo tanto, para mejorar las relaciones catiónicas y evitar el antagonismo entre nutrientes, es necesario incorporar materia orgánica al suelo.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 28.41 (cmol.kg<sup>-1</sup>), lo que se considera alto. Los coloides del suelo (orgánicos, inorgánicos o minerales) determinan la CIC. La CIC regula la absorción de iones de las plantas; cualquier elemento en forma iónica liberada en la solución del suelo es utilizado para nutrir las plantas, pero es bien sabido que las raíces de las plantas no dependen únicamente de las influencias externas para poder absorber los nutrientes. Las relaciones catiónicas constituyen el análisis del contenido de bases cambiables. En general, Se evidencia que no mantienen un equilibrio entre estos cationes, los cuales son los más prevalentes en los suelos. Este hecho indica la presencia de conflictos o competencia en la absorción de nutrientes, lo que resulta en deficiencias de algunos de ellos. Por lo tanto, se concluye que el suelo de Ccorohuaya puede ser utilizado para producir palto.

El suelo se clasifica como textura franco arcillosa, lo que le da al suelo las condiciones adecuadas. La alta sensibilidad de la planta por asfixia radicular, la presencia de suelo arcilloso y un drenaje deficiente son los principales obstáculos del suelo para el palto. (López, 1980).

El análisis de CE indica que este suelo tiene un alto contenido de sales, con 2.06 dS/m. Ayers y Westcot (1976) informan que, el umbral de tolerancia a la salinidad del palto es de 1.3 dS.m<sup>-1</sup>, que es el valor de conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo. Por otro lado, la mayoría de los autores indican valores de 1.0 a 1.8 dS.m<sup>-1</sup> (también referidos a la metodología de extracto saturado del suelo); además, se ha informado que un valor de conductividad eléctrica de 2.0 dS.m<sup>-1</sup> causaría una pérdida del 10% en el rendimiento. Debido a la sensibilidad del palto a las sales, se debe evitar el uso de productos que contengan sales, como el cloruro de potasio, ya que sería dañino para las plantas.

La cantidad de  $\text{CaCO}_3$  de 16.20 % en el suelo indica una alta concentración de carbonatos, lo que sugiere que habrá dificultades para fijar el fósforo P en formas insolubles. Además, esto puede bloquear microelementos como Fe, Mn, Zn y Cu en formas insolubles, lo que resulta en enfermedades inexistentes. Según Ferreyra et al. (2008), en suelos de pH alcalino que tienen sobre 5.0%  $\text{CaCO}_3$  y/o contienen más de  $2.0 \text{ mmol.L}^{-1}$  de bicarbonatos, los huertos de paltos suelen presentar síntomas de clorosis férrica. La caliza activa se define como la fracción de carbonatos de tamaño inferior a  $50 \mu\text{m}$  y es fácilmente soluble en agua debido a su gran superficie relativa. Esto enriquece la solución del suelo con iones de bicarbonato, lo que parece estar relacionado con problemas de clorosis férrica. Namesny et al. (2020) estiman que su nivel crítico está por encima del 6 %.

### **3.1.5. Suelo de Piruacocha**

Los datos obtenidos análisis de caracterización del perfil del suelo de Piruacocha se muestran en la Tabla 3.1(A-5). El pH del suelo es de 7,44, lo que indica una reacción ligeramente alcalina; la presencia de carbonatos en el suelo hace que las arcillas se expandan cuando están húmedos. Por lo tanto, afectan la estructura interna del suelo (Teuscher et al., 1980). Se cree que el rango de pH entre 5.5 y 6.5 es el mejor para el desarrollo del palto. La presencia de material calcáreo se indica si el pH del suelo es de 8.0 o más alto, Esto puede provocar importantes deficiencias de nutrientes como el hierro (Fe), determinado por la alcalinidad del suelo. En las zonas costeras del Perú, donde el pH del suelo es más o menos alcalino, el aguacate puede experimentar problemas de desarrollo, especialmente en la etapa de plántula, este problema es común. (Agrobanco, 2013)

El contenido de materia orgánica es del 3,62%, que se interpreta como promedio; por lo tanto, fluctúa entre el 4 y el 5 % de materia orgánica para el cultivo del palto. Aunque el nitrógeno proveniente de la materia orgánica, las condiciones ligeramente alcalinas tienen un impacto negativo en las actividades beneficiosas de los microorganismos del suelo. Las alteraciones más destacadas en los procesos de mineralización y humificación son de índole bioquímica. como mencionan Fassbender y

Bornemisza (1987), El pH representa un factor externo crucial en estos procesos; según nuestra información, se espera que las bacterias y los actinomicetos actúen de manera limitada, aunque los hongos se desarrollan bien dentro de límites más amplios de pH.

El contenido de la disponibilidad de fósforo es de 8.88 ppm, se interpreta como bajo; los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  predominan en estos suelos con un pH de 7 a 12; los fosfatos de calcio predominan en suelos jóvenes y disminuyen con el grado de meteorización (Fassbender 1987) y el pH del suelo influye en la distribución de los fosfatos inorgánicos. Los fosfatos de calcio predominan en reacciones neutras o alcalinas. El  $\text{H}_2\text{PO}_4^- + 0.5\text{pCa}$  se halla en la solución del suelo y es absorbido rápidamente por las plantas debido a las pequeñas concentraciones de iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . El pH regula una lentamente la disponibilidad de nutrientes de la materia orgánica, también en condiciones ambientales favorecidas (temperatura y humedad). La adsorción de fosfatos, el proceso de transformación de P que ocurre junto con la PP de fosfatos, es un proceso importante de tener en cuenta. El fósforo (P) desempeña un papel importante en la transferencia de energía, entre otras cosas. La deficiencia de P afecta negativamente el crecimiento del árbol al causar hojas pequeñas, redondeadas, defoliadas y desecamiento de los brotes. (Lahav y Whiley, 2002)

Considerado alto, el nivel de potasio disponible es de 219 ppm. Las cuatro formas diferentes de potasio presentes en el suelo varían en la cantidad de potasio disponible para los cultivos. El potasio en solución, el potasio intercambiable, el potasio no intercambiable y el potasio mineral son los de mayor a menor disponibilidad (García y Quinke, 2012). La concentración de potasio en la solución disminuye hasta un mínimo (un mínimo de potasio intercambiable), el potasio se libera de las interláminas de las arcillas (conocido como potasio fijado) para reponer el potasio de la solución del suelo. La solución inorgánica más importante de la palta (primordial catión del xilema) es el potasio (K), que es necesario para regular el flujo de agua (regulación estomática), transportar azúcares y activar como mínimo 60 enzimas. La carencia de este elemento da como resultado la clorosis intervenal, hojas minúsculas y estrechas, brotes delgados y muertos y la productividad del árbol (palto). (Lahav y Whiley, 2002)

El nivel alto de capacidad de intercambio catiónico (CIC) es 25.93. Debido al predominio del coloide orgánico, Un alto contenido de materiales orgánicos en la superficie da como resultado una CIC alta. Se han realizado Experimentos detallados han demostrado que las plantas extraen cantidades de elementos nutritivos del suelo que, en última instancia, exceden los presentes en la solución del suelo. Esta observación solo se puede entender mediante la teoría de que las raíces de las plantas en crecimiento entran directamente en el intercambio catiónico debido a su contacto cercano con los coloides del suelo. Por lo tanto, se afirma que el suelo en estudio contiene nutrientes suficientes para el cultivo de palto.

La deficiencia de magnesio ( $\text{Ca/Mg} > 5$ ) se encuentra en las relaciones catiónicas, lo que sugiere una oposición o competencia en la absorción de magnesio. En relación con las demás relaciones catiónicas, indica un estado de equilibrio o normal sin antagonismo entre nutrientes.

Se ha comprobado que el perfil del suelo pertenece a la clase textural media en términos de propiedades físicas, incluyendo la textura. es decir, tienen cantidades proporcionales de arena, limo y arcilla y, por lo tanto, son adecuados para el desarrollo de las raíces del palto. Además, son ligeramente alcalinos, pero no tienen un impacto significativo en el desarrollo de las plantaciones. (Desco, 2004).

En cuanto a la presencia de  $\text{CaCO}_3$ , el valor de 2,1% indica una presencia baja de carbonatos, lo que indica que no habrá dificultades para adherir el fósforo a formas insolubles. El resultado de 0.76 (dS/m) sobre la presencia de sales indica que no habrá problemas para el desarrollo y crecimiento del cultivo.

### **3.1.6. Suelo de Paccha**

Los datos obtenidos del análisis de caracterización del perfil del suelo de Paccha se muestran en la Tabla 3.1(A-6).

El pH del horizonte de estudio es de 7,85, lo que indica una reacción ligeramente alcalina; esta característica química tiene un efecto negativo sobre el hierro, el

manganeso, los micronutrientes y el fósforo, y puede tener un impacto en la estructura del suelo debido a la presencia de carbonatos. Asimismo, afecta al suelo en su estructura (Teuscher et al., 1980)

El nivel medio de interpretación del contenido de materia orgánica es del 2,75%, lo que corresponde a un alto tenor a medio del total de nitrógeno. Aunque el nitrógeno se produce a partir del material orgánico, las condiciones ligeramente alcalinas afectan negativamente las funciones de los microorganismos beneficiosas del suelo. Un nivel de material orgánico del 4 al 5% es adecuado para el cultivo del palto.

Según estudios en el país, la fruta necesita alrededor de 2,9 kg de N por tonelada. Para mantener producciones de 20 t/ha, se necesita un crecimiento vegetativo anual de 23,3 kg/ha (Salazar-García, 2002). Se estima que la cantidad de fruta requerida, incluido el crecimiento anual y las hojas, es de 4,07 kg/t.

Debido a que las raíces de las plantas absorben el fósforo de los solutos del suelo, la cantidad de fósforo disponible en los solutos del suelo es importante para la nutrición vegetal. La cantidad de fósforo disponible es de 14.3 ppm, lo que califica como medio. La cantidad de fósforo (P) necesaria para la fruta es baja y llega a los 0,51 kg/t (Ruiz y Ferreyra, 2011). Se puede aplicar P si los valores de los análisis foliares están por debajo del límite crítico o cerca de él. Cuando se detectan dificultades en el crecimiento y desarrollo de las raíces, la aplicación se hace indispensable.

El alto nivel de potasio disponible (318 ppm) se puede deber a que su concentración está principalmente condicionado por el clima. Esto indica que no habrá problemas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

En el nivel medio, se considera la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Esta es una reserva natural de nutrientes necesarios para el cultivo del palto. Las relaciones catiónicas muestran niveles normales de cationes, lo que indica equilibrio entre los nutrientes o antagonismo entre.

Se descubrió que el perfil del suelo era de textura arcillosa. Las labores y características del cultivo del palto, como labranza, manejo y conservación del suelo y características físico-químicas, dependen de esta aptitud.

En cuanto a la presencia de  $\text{CaCO}_3$ , encontramos un valor alto de 13.70%. Esto indica que si hay carbonatos en el suelo, habrá problemas para adherir el fósforo a formas insolubles.

El resultado de 1.05 (dS/m) sobre la presencia de sales indica que no habrá problemas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. El palto es una especie sensible a la sal. Según Mass y Hoffman (1977), El extracto saturado de tierra de aguacate tiene un punto más alto de conductividad eléctrica (CE) de 1,3 dS/m.

### ***3.1.7. Suelo de Santiago de Acco***

Los datos obtenidos del análisis de caracterización del perfil del suelo de Santiago de Acco se muestran en la Tabla 3.1(A-7).

En el horizonte de estudio, el pH del suelo es de 6,75, lo que indica una reacción neutra; estos suelos contienen todos los nutrientes del suelo en equilibrio. El pH es el principal indicador de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, y el rango de pH ideal para el desarrollo del palto es entre 5.5 y 6.5.

La cantidad obtenida de material orgánico es del 4.17%, lo que se duce como alto; por lo tanto, fluctúa entre el 4 y el 5% de materia orgánica para el cultivo del palto. Aunque el nitrógeno proveniente de material orgánico, la situación ligeramente alcalina afecta negativamente las funciones de los microorganismos beneficiosos del suelo. (Fassbender y Bornemisza, 1987)

Según estudios del país, la fruta necesita alrededor de 2,9 kg de N por tonelada. Para mantener producciones de 20 t.ha<sup>-1</sup> es necesario una elongación vegetativa anual de 23,3 kg/ha (Salazar-García, 2002). Se estima que la cantidad de fruta requerida, incluido

el crecimiento anual y las hojas, es de 4,07 kg/t, con un beneficio del 65% para el N dosificado por riego localizado.

El contenido de la disponibilidad de fósforo es de 43.4 ppm, calificándose como muy alto. Los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  predominan en los pH de 7 a 12. En general, la fruta no requiere este componente y logrando 0,51 kg/t. (Ruiz y Ferreyra, 2011). Se puede aplicar P si los valores de los análisis foliares están por debajo del límite crítico o cerca de él. Cuando observamos dificultades en el desarrollo y crecimiento de raíces, la aplicación se hace indispensable. Las dosis para compensar el déficit de fósforo dependen del requerimiento de la fruta, con una dosificación eficiente de fósforo del 40% mediante riego localizado.

La extracción de K por el fruto es alta a comparación de otros nutrientes, alcanzando 4,65 kg/t de fruta fresca, con 340 ppm de potasio disponible (Ruiz y Ferreyra, 2011). No obstante, según el análisis foliar, existe un déficit de K en el país en pocos casos, incluso cuando agricultores palteros utilizan poco fertilizantes con K. Esto también ocurre en otros países donde se cultiva el palto incluso a pesar del aumento del K foliar, no se logró respuesta sobre la aplicación de K en base al rendimiento en ensayos de larga duración (12 años). Sudáfrica ha obtenido resultados similares. (Koen y du Plessis, 1991). En Israel se ha observado que, el calibre de la fruta en Hass y Fuerte aumenta, pero el rendimiento no aumenta (Lahav et al., 1976). En condiciones de nuestro país, no se han observado síntomas por deficiencia de K, tampoco en plantas con bajos niveles según a los estándares del análisis foliar (Gardiazabal, 2004).

En el nivel medio, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 17.57 (cmol.kg<sup>-1</sup>); esto se interpreta como un valor medio. La CIC regula la absorción de iones de las plantas; cualquier ion libre en solutos del suelo puede ser utilizado para nutrir las plantas, pero es sabido que el sistema radicular de las plantas no dependen únicamente de las influencias externas para poder absorber los nutrientes.

Las relaciones catiónicas muestran niveles normales de cationes, lo que indica un equilibrio entre los nutrientes. En cuanto a la presencia de  $\text{CaCO}_3$ , encontramos un valor

de 0.00 %, lo que indica que el suelo no contiene  $\text{CaCO}_3$  y que no habrá problemas para fijar el fósforo a formas insolubles en las raíces del palto.

En cuanto a la presencia de sales (C.E), el resultado es de 0.43 (dS/m), lo que se interpreta como un nivel bajo, lo que indica que no habrá problemas de sal en las raíces de las plantas de palto.

La clase de textura del perfil del suelo es fina (franco arcillosa). Esta aptitud está condicionada por lo compactado del suelo, lo que reduce la fluidez y almacenamiento de agua y la oxigenación para las raíces de los cultivos. Por ejemplo, la composición granulométrica puede afectar la mineralización del material orgánico en condiciones similares; por lo tanto, un suelo arcilloso tendría un mayor contenido de materia orgánica bajo condiciones similares. Esta situación surge debido a la formación de complejos organominerales y a la mayor probabilidad de condiciones desfavorables de aireación, lo que no favorece la mineralización. (Urbano, 1989)

### ***3.1.8. Suelo de Socllapampa***

Los resultados del análisis de caracterización del perfil del suelo de Socllapampa se muestran en la Tabla 3.1(A-6).

El pH del horizonte del estudio es de 7.74, lo que indica una reacción ligeramente alcalina; este carácter químico conlleva a un efecto negativo no directo sobre el hierro, manganeso, micronutrientes y fósforo, posiblemente debido a la presencia de carbonatos, lo que podría afectar la estructura del suelo en sí. La presencia de carbonatos en los suelos alcalinos provoca la expansión de las arcillas cuando están húmedos. Asimismo, afecta la estructuralidad del suelo mismo (Teuscher et al., 1980). El pH es el principal indicador de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, y el rango de pH ideal para el desarrollo del palto es entre 5.5 y 6.5.

El contenido de materia orgánica es del 2,2%, es un nivel estable de materia orgánica para el cultivo del palto es del 4 al 5%. Estos datos están en línea con el nivel medio de nitrógenos totales. El nitrógeno proveniente de materia orgánica en la condición

ligeramente alcalinas afectan negativamente las actividades beneficiosas de los microorganismos del suelo. El pH influye en estos procesos, como mencionan Fassbender y Bornemisza (1987). Nuestros datos indican que actinomicetos principales y las bacterias, que son agentes primordiales en la descomposición y mineralización del material orgánico, liberan elementos minerales. Dado que las temperaturas están cerca del ideal o incluso superior a los valores óptimos, podrían tener un papel importante en la descomposición y mineralización.

Debido a que las raíces de las plantas absorben el fósforo de los solutos del suelo, la cantidad de fósforo en la solución del suelo es importante para la nutrición vegetal, con una concentración de disponibilidad de fósforo de 8.44 ppm clasificado como medio. Es uno de los tres nutrientes principales, el nitrógeno y el potasio son los otros dos. En general, la fruta no requiere este componente y alcanza a 0,51 kg/t. (Ruiz y Ferreyra, 2011)

La cantidad de potasio disponible es promedio de 196 ppm y la tasa extractiva de K por la fruta es más alta que otros nutrientes, alcanzando 4,65 kg/t de fruta fresca (Ruiz y Ferreyra, 2011). No obstante, según el análisis foliar, existe un déficit de K en el país en pocos casos, incluso cuando los agricultores de palto utilizan K como fertilizante en pocas cantidades. Esto también ocurre en otros países donde se cultiva el palto. Incluso a pesar del aumento del K foliar, no se encontró influencias a la aplicación de K en base al rendimiento en ensayos de larga duración (12 años). (Embleton y Jones, 1964)

El nivel promedio de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es 19.47. la cual indica la importancia de incorporar elementos orgánicos.

La deficiencia de magnesio ( $Ca/Mg > 5$ ) se encuentra en las relaciones catiónicas, lo que sugiere una oposición o competencia en la absorción de magnesio. En relación con las otras relaciones catiónicas, indica un estado de equilibrio o normal sin antagonismo entre nutrientes.

El perfil del suelo es de clase textural Franco arcillosa. El grado de compactación de suelo y la retención de agua por parte de las raíces de los cultivos son condiciones de esta aptitud. Por ejemplo, la composición granulométrica afecta al proceso de mineralización del material orgánico en condiciones similares; por lo tanto, un suelo arcilloso tendría un mayor contenido de materia orgánica bajo condiciones similares. Esto se debe a la formación de complejos organominerales y a la mayor probabilidad de condiciones de aireación no favorece a la mineralización. (Urbano, 1989)

Con respecto a la presencia de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) nos resulta un valor de 1.46 %. El nivel bajo de carbonatos indica que habrá poca dificultad para adherir el fósforo P a formas insolubles, hierro, manganeso y microelementos. En cuanto a la presencia de sales (CE), el resultado es de 0,48 (dS/m), lo que indica que las raíces del cultivo del palto no tendrán problemas con la salinidad para absorber los nutrientes.

### 3.2. Identificación de elementos deficientes en los suelos a través del rendimiento de materia seca

El análisis de varianza para los tratamientos en estudio se llevó a cabo en las diferentes localidades (tabla 3.2), donde se encontró una diferencia estadística altamente significativa para las localidades, los tratamientos (elemento faltante) y la interacción localidad por tratamiento, lo que indica que existen diferencias en el nivel de nutrientes en las diferentes localidades en función de la presencia o ausencia de macro y micro elementos. El coeficiente de variación es una medida de buena precisión que nos da confianza en los resultados del experimento.

**Tabla 3.2**

*Análisis de Varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) en diferentes suelos, (localidades) y su interacción*

<b>. F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Localidad</b>	7	1090,52	155,79	271,85	< 0.0001**
<b>Tratamientos</b>	8	336,35	42.04	73,36	< 0.0001**
<b>Localidad * Tratamiento</b>	56	135,38	2.42	4.22	< 0.0001**
<b>Error</b>	144	82.52	0.57		
<b>Total</b>	215	1.644,77			

C.V.= 12 %

### 3.2.1. Suelo de Soccos

**Tabla 3.3**

*Análisis de Variancia (ANVA) del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Soccos*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamientos</b>	8	62,77	7,85	23,55	< 0.0001**
<b>Error</b>	18	6,00	0,33		
<b>Total</b>	26	8,76			

C.V= 8.25 %

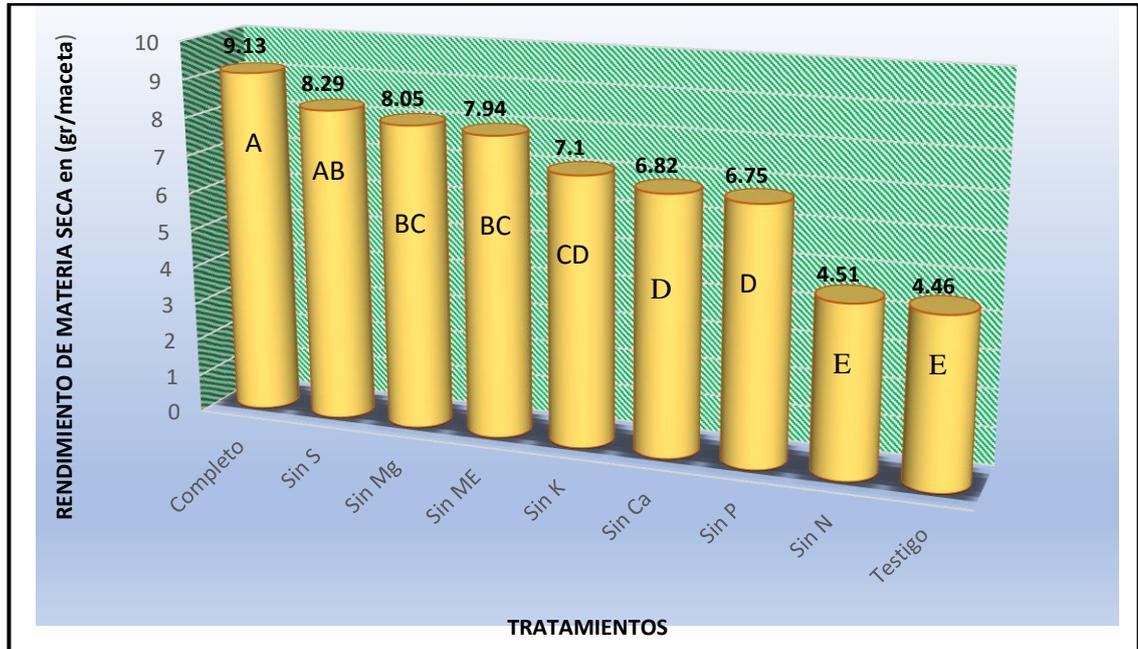
La tabla 3.3 muestra el ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Soccos; existe una diferencia estadística significativamente alta para los tratamientos evaluados con un coeficiente de variabilidad de 8,25%. Esto sugiere que los nutrientes aplicados son responsables de la producción de materia seca.

La prueba de significación de Duncan (fig. 3.1) se observa que el tratamiento sin N tiene un rendimiento de materia seca bajo, lo que demuestra su influencia limitante en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Como la FAO (2002) menciona, el N influye más en el crecimiento de las plantas. Reemplaza uno a cuatro por ciento del extracto seco de la planta, que es el constituyente esencial de las proteínas, participa en todos los principales procesos de desarrollo de la planta y es esencial para la absorción de otros nutrimentos.

Las plantas necesitan nitrógeno (N), que se compone de enzimas, aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila, proteínas, reguladores de crecimiento y otros compuestos. Es el nutriente más esencial para las plantas, solo superado por el potasio en algunos casos (Hawkesford et al., 2011). Se ha considerado en los sistemas de producción del mundo como el segundo obstáculo para el crecimiento de los cultivos, luego del agua. (Álvarez y Grigera, 2005, Magrin et al., 2005).

**Figura 3.1**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Soccos.*



Tisdale (1995) afirma que, el nitrógeno es esencial para el crecimiento y los rendimientos; tiene un impacto negativo en la vegetación: una planta rica en nitrógeno desarrolla un desarrollo significativo de hojas y tallos, y se vuelve verde oscuro debido a la abundancia de clorofila.

Bukman y Brady (1993) señala que, ningún elemento es tan importante para el crecimiento de la planta como el N.

Como resultado, las pruebas nos llevan a la conclusión de que el N, el P, el Ca y el K son los elementos más deficientes y que limitan la producción de los cultivos en la zona de Soccos.

Según Franciosi (1992) y Condori (2015), la variedad Fuerte tiene una alta sensibilidad al nitrógeno.

La respuesta del suelo en la localidad de Soccos a diferentes tratamientos fue C, -S, -Mg, -ME, -K, -Ca, -P, -N y T. Por lo tanto, este suelo es "medio".

### 3.2.2. Suelo de Ccahuiña:

**Tabla 3.4**

*Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Ccahuiña.*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamientos</b>	8	89,04	11,13	25,63	< 0.0001 **
<b>Error</b>	18	7,82	0,43		
<b>Total</b>	26	96,86			

**C.V=9.41%**

La tabla 3.4 muestra el ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Ccahuiña, que demostró una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos evaluados, con coeficiente de variabilidad del 9.41%. La buena precisión del trabajo se evidencia en el coeficiente de variabilidad de 9.41%. Después de realizar la prueba de contraste Duncan (Figura 3.2), se observó que no hubo diferencia estadística entre los tratamientos C seguido de -Mg, -K y -Ca, Según la FAO (2002), el N es elemento más influyente en el crecimiento de la planta, es el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y un buen suministro de N es esencial para la absorción de otros nutrientes. Por lo tanto, el tratamiento sin N (-N) muestra un rendimiento de materia seca bajo.

**Figura 3.2**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Ccahuiña.*



Las plantas necesitan nitrógeno (N), que se compone de ácidos nucleicos, enzimas, clorofila, aminoácidos, proteínas, reguladores de crecimiento y otros compuestos. Es el nutriente más esencial para las plantas, superado por el potasio en algunos casos (Hawkesford et al., 2011). Se ha considerado en los sistemas productivos del mundo como el segundo obstáculo para el crecimiento de los cultivos, después del agua. (Álvarez y Grigera, 2005; Magrin et al., 2005).

Tisdale (1995) sostiene que, el nitrógeno es esencial para el crecimiento y los rendimientos porque afecta negativamente a la vegetación. Las plantas que reciben mucho nitrógeno desarrollan muchos tallos y hojas y adquieren un tono verde oscuro debido a la abundancia de clorofila.

Según Bukman y Brady (1993), como el N. ningún elemento es más importante para el crecimiento de la planta

Como resultado, las pruebas nos llevan a la conclusión de que en la zona de Ccahuiña, los elementos más deficientes y que limitan la producción de los cultivos son el N y el P, respectivamente.

Franciosi (1992) y Condori (2015) afirman que, la variedad Fuerte es altamente sensible al nitrógeno.

El suelo en la zona de Ccahuiña mostró una reacción a diversos tratamientos en la siguiente tabla en orden descendente: C, -Mg, -K, -Ca, -S, -ME, -P, T y -N. Por lo tanto, este suelo es "medio".

### 3.2.3. Suelo de Pichcay:

**Tabla 3.5**

*Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (gr/maceta) para el suelo de la Localidad de Pichcay.*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamientos</b>	8	93,52	11,69	34,13	< 0.0001**
<b>Error</b>	18	6,17	0,34		
<b>Total</b>	26	99,69			

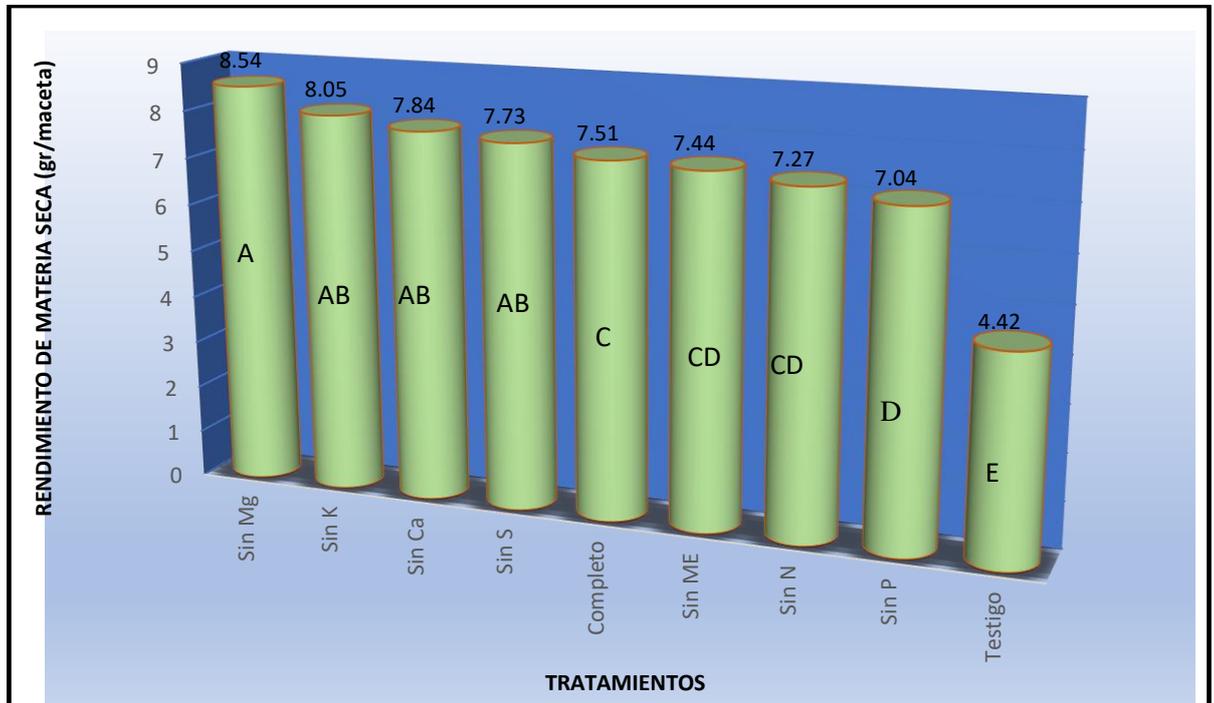
**C.V=8.36%**

El ANVA de rendimiento de materia seca para suelo de Pichcay se muestra en la Tabla 3.5. existe una diferencia estadística significativamente alta entre los tratamientos estudiados, con coeficiente de variabilidad del 8.36%, lo que señala que los datos obtenidos en el experimento están dentro del margen de error aceptable. Por lo cual, se afirma que la producción de materia seca se debe al efecto de los nutrientes aplicados. Según la prueba de significación de Duncan (fig. 3.3), se concluyó que, no hay significativa diferencia entre los tratamientos: -Mg, -K, -Ca y -S; estos tratamientos son superiores a los demás tratamientos (-C, -ME, -N y -P), siendo. De acuerdo con la prueba de significación de Duncan (fig. 3.3), el suelo contenía los elementos necesarios para el desarrollo del cultivo sin agregarlos, por lo que los tratamientos sin Mg, K, Ca y S representan la producción mayor en promedio

de materia seca con un 95% de seguridad. Por otro lado, la falta de Nitrógeno y Fosforo con respecto al completo (C) disminuye significativamente el rendimiento en peso de materia (g/maceta).

**Figura 3. 3**

*prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (gr/maceta) para los Tratamientos en estudio en el suelo de Pichcay.*



Tisdale (1995) afirma que el nitrógeno es esencial para el crecimiento y los rendimientos; afecta negativamente a la vegetación, lo que hace que las plantas bien provistas de N desarrollen hojas y tallos más grandes y produzcan un verde oscuro debido a la abundancia de clorofila.

Además, Gutiérrez, et al. (2006) afirma que el fósforo inorgánico lábil y el fósforo orgánico lábil son los dos tipos que contribuyen más a la disponibilidad de las plantas. El P llega a las raíces por diferencia de concentración o difusión, lo que conlleva un movimiento muy pequeño (-2 mm). Por lo cual, solo el suelo que está en contacto con las raíces puede absorber P, por lo que es esencial una exploración radical exhaustiva para garantizar el acceso en este nutriente. La densidad de las raíces de ningún sistema radical es suficiente para absorber P de todo el volumen del suelo.

Por lo tanto, los hallazgos nos llevan a la conclusión de que en la zona de Pichcay, los elementos nutritivos deficientes y que limitan la productividad de los cultivos son el P y el N.

Franciosi (1992) y Condori (2015) afirman que la variedad Fuerte es altamente sensible al nitrógeno.

La respuesta del suelo en la zona de Pichcay a los diversos tratamientos fue de la siguiente manera, en orden decreciente: Los valores -Mg, -K, -Ca, -S, C, -ME, -N, -P y T; Por lo tanto, se encuentra que el suelo con la mayor respuesta al tratamiento con -N y -P tiene una calificación "bueno".

#### 3.2.4. Suelo de Ccorohuaya:

**Tabla 3.6**

*Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Ccorohuaya*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamientos</b>	8	4,28	0,54	3,07	< 0.0001**
<b>Error</b>	18	3,14	0,17		
<b>Total</b>	26	7,42			

**C.V=5.97%**

El ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Ccorohuaya se muestra en la Tabla 3.6; se observa que existe una diferencia estadística significativamente alta para los tratamientos en estudio, con un coeficiente de variabilidad del 5,97%; Esto sugiere que los datos experimentales obtenidos están dentro del rango aceptable de error. En consecuencia, se puede concluir que la producción de materia seca es probablemente atribuible al impacto de los nutrientes aplicados al suelo. La prueba de significación de Duncan (Figura 3.4) indica que los tratamientos -Ca y -S exhibieron un rendimiento superior en comparación con los otros tratamientos. No hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos -S, -K, -ME, C y -N. Los tratamientos Testigo (T), -P y -Mg no muestran diferencias

estadísticas; por lo tanto, según la prueba de Duncan (fig. 3.4), se concluye que los tratamientos -Ca, -S, -K y -ME muestran el mayor peso en gramos de materia seca debido a la disponibilidad natural del suelo de nutrientes como Ca, S, K y ME; además, los tratamientos Testigo (T), -N, -Mg.

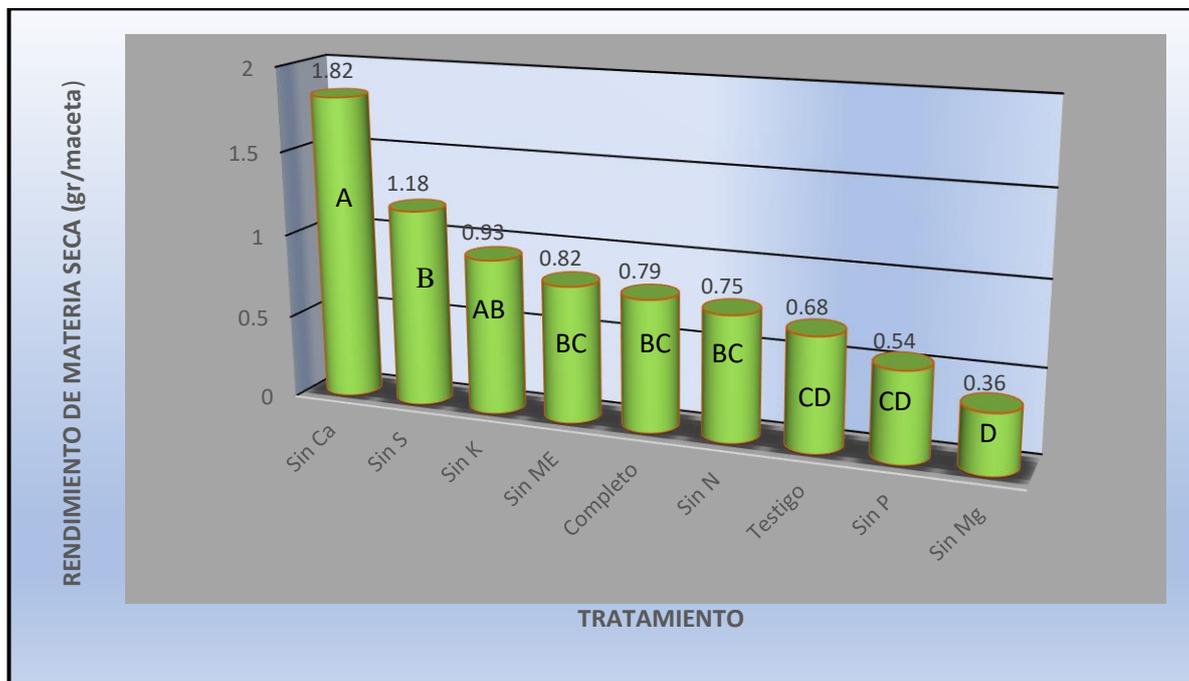
Según Bukman y Brady (1993), ningún elemento es mas importante para el crecimiento de la planta como el N.

La roca madre es el origen del fósforo (P) del suelo. El P puede ser orgánico o inorgánico en el suelo. Además, puede hallarse en el componente inorgánico en solución, aunque en una proporción pequeña, o bien adsorbido a los coloides del suelo, precipitado junto con calcio, hierro o aluminio, o presente en los minerales primarios.. (Rubio y Álvarez, 2012). El P adsorbido o precipitado se divide en dos partes: lábil y fijado, porque puede estar o no en equilibrio con el fósforo de solutos del suelo.

Según Gutiérrez Boem et al. (2006), el fósforo inorgánico lábil y el fósforo orgánico lábil son los dos tipos que contribuyen más a la disponibilidad de las plantas. El fósforo (P) se desplaza hacia las raíces a través de la difusión, que se basa en las diferencias de concentración y se produce en distancias muy cortas, típicamente alrededor de 2 mm. En consecuencia, solo el suelo en contacto directo con las raíces puede absorber el fósforo, destacando la importancia de una exploración exhaustiva del sistema radical para asegurar la captación de este nutriente. La densidad de las raíces en ningún sistema radical es suficiente para absorber el fósforo de todo el volumen del suelo.

**Figura 3. 4**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (gr/maceta) para los tratamientos en estudio en el suelo de Ccorohuaya.*



Por lo tanto, podemos determinar que el magnesio y el potasio son los elementos más deficientes y limitantes para la producción de cultivos en la zona de Corohuaya.

La clorosis, que resulta de la incapacidad de las plantas para absorber suficiente hierro o manganeso, es uno de los muchos problemas nutricionales causados por las condiciones alcalinas del suelo. Debido a su baja solubilidad, el cobre, el zinc y el fósforo también pueden tener deficiencias. El alto contenido de  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en el suelo puede causar una deficiencia de potasio. Debido al contenido generalmente bajo de materia orgánica, también puede haber deficiencia de nitrógeno. (Rowell, 1994)

El suelo de la localidad de Ccorohuaya mostró una respuesta menor a los diferentes tratamientos en el orden decreciente: Ca, -S, -K, -ME, -C, -N, -P, -Ca, -Mg, -S, -Me y C. Por lo tanto, se estableció que el suelo con los tratamientos -N, -K, -P, -Ca, -Mg, -S, -Me por lo que se califica como "bajo"

### 3.2.5. Suelo de Piruacocha

**Tabla 3.7**

*Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Piruacocha.*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamientos</b>	8	4,28	0,54	3,07	< 0.0001**
<b>Error</b>	18	3,14	0,17		
<b>Total</b>	26	7,42			

**C.V=5.97%**

El ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Pirhuacocha se muestra en la Tabla 3.7. Se encontró una diferencia estadística altamente significativa para los tratamientos en estudio, con un coeficiente de variabilidad del 5.97%. Esto indica que los datos experimentales obtenidos están dentro del margen de error aceptable. Como resultado, se puede concluir que el efecto de los nutrientes aplicados es responsable de la producción de materia seca. Según la prueba de significación de Duncan (Figura 3.5), no hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos: Los tratamientos -Mg, -Ca y -K son superiores a los demás tratamientos al proporcionar nutrientes como magnesio, calcio, potasio y microelementos a las raíces a través de una reserva natural de macromoléculas secundarios y microelementos en el suelo. Por lo tanto, no hay una diferencia significativa entre los tratamientos -N y el testigo (T), que muestran rendimientos inferiores de materia seca.

Por lo que, Bukman y Brady (1993), señala que, exceptuando al N, ningún elemento es tan decisivo para el crecimiento de la planta.

La roca madre es el origen del fósforo (P) del suelo. El P puede ser orgánico o inorgánico en el suelo. También puede encontrarse dentro del componente inorgánico en solución (una pequeña porción), adsorbido a los coloides del suelo, precipitado con calcio, hierro o aluminio, o en los minerales primarios. (Rubio y Álvarez, 2012). El P

adsorbido o precipitado se divide en dos partes: lábil y fijado porque puede o no estar en equilibrio con el fósforo de la solución del suelo.

Según Gutiérrez Bet al. (2006), el fósforo inorgánico lábil y el fósforo orgánico lábil son los dos tipos que contribuyen más a la disponibilidad de las plantas. El P llega a las raíces por difusión, o diferencia de concentración, lo que implica un movimiento muy pequeño (-2 mm). Por lo tanto, solo el suelo que está en contacto con las raíces puede absorber P, por lo que es esencial una exploración radical exhaustiva para garantizar el acceso a este nutriente. La densidad de las raíces de ningún sistema radical es suficiente para absorber P de todo el volumen del suelo.

Según Rojas (1997), El contenido de fósforo disponible en el suelo está fuertemente influenciado por las propiedades del suelo, las características de las plantas y las condiciones ambientales.

**Figura 3. 5**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Piruacocha.*



Por lo tanto, podemos concluir que en la zona de Pirhuacocha, Los elementos más escasos y que restringen la producción de los cultivos son el N y el P, respectivamente.

La variedad Fuerte tiene una alta sensibilidad al nitrógeno, según Franciosi (1992) y Wilmer Condori Boza (2015).

El suelo en la localidad de Pirhuacocha respondió a diferentes tratamientos en orden decreciente: -Mg, -Ca, -K, -ME, C, -S, -P, -N y T. Se descubrió que el suelo con tratamientos de -K, -Ca y -Mg mostró la mejor respuesta en comparación con otros suelos. que lo califica como "bueno"

### 3.2.6. Suelo de Paccha:

**Tabla 3.8**

*Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Paccha.*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamientos</b>	8	33,09	4,14	5,28	< 0.0001**
<b>Error</b>	18	14,10	0,78		
<b>Total</b>	26	47,19			

**C.V=13.65%**

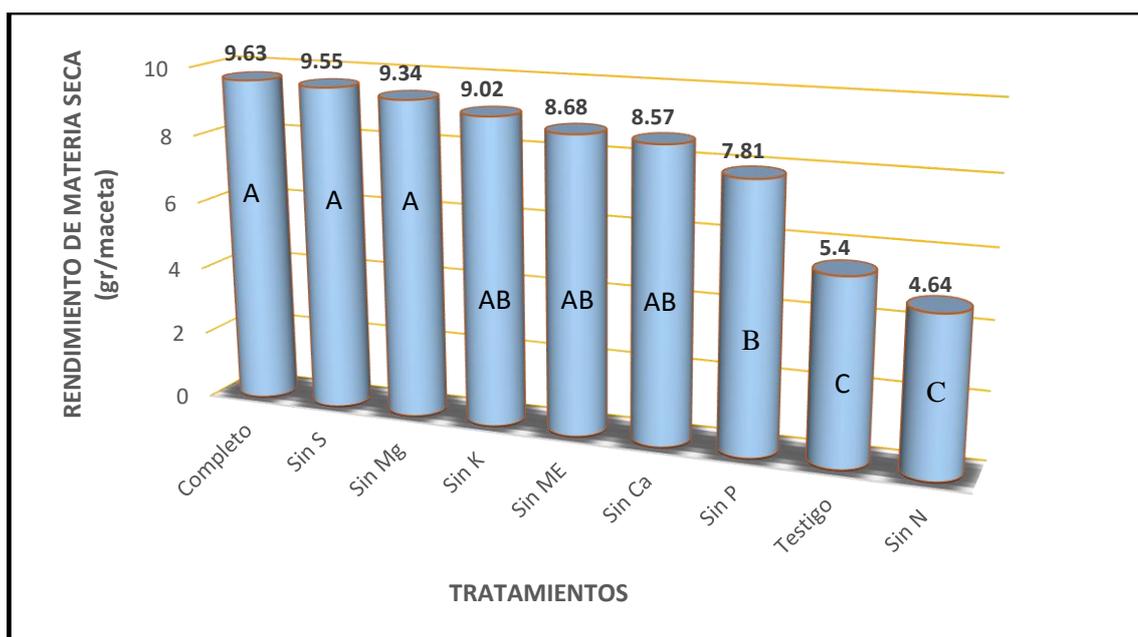
La ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Paccha se presenta en la Tabla 3.8. Se identificó una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos evaluados, con un coeficiente de variabilidad del 12.65%. Este indicador sugiere que los datos experimentales recopilados están dentro del rango de error aceptable. Por lo tanto, hay una base estadística suficiente para afirmar que los nutrientes aplicados podrían estar influyendo en la producción de materia seca. La prueba de significación de Duncan (Figura 3.6) respalda esta afirmación al revelar que no hay una diferencia significativa entre los tratamientos C, -S y -Mg, siendo estos tratamientos superiores a los demás. Según la prueba de significación de Duncan, el suelo de Paccha responde a la aplicación completa de todos los nutrientes aplicados,

ya que los tratamientos con todos los nutrientes minerales obtuvieron los rendimientos más altos en los tratamientos que ocuparon las primeras posiciones, seguidos por aquellos que recibieron todos los nutrientes minerales. Los tratamientos -P y -N exhiben los rendimientos más bajos en términos de materia seca. Según Bukman y Brady (1993), ningún elemento es tan importante para el crecimiento de la planta como el N.

La roca madre es el origen del fósforo (P) del suelo. El P puede ser orgánico o inorgánico en el suelo. El fósforo también puede hallarse en el componente inorgánico en solución (en una fracción pequeña), adherido a los coloides del suelo, precipitado junto con calcio, hierro o aluminio, o presente en los minerales primarios. (Rubio y Álvarez, 2012). El P adsorbido o precipitado se divide en dos partes: lábil y fijado ya que puede o no mantener un equilibrio con el fósforo presente en la solución del suelo.

**Figura 3. 6**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en el suelo de Paccha.*



Gutiérrez, et al. (2006) mencionaron que, el fósforo inorgánico lábil y el fósforo orgánico lábil Estas formas son las que tienen un impacto más significativo en la disponibilidad para las plantas. El fósforo llega a las raíces mediante el proceso de difusión, que implica un movimiento extremadamente pequeño (-2 mm). Sin embargo,

Solo la porción del suelo que está en proximidad a las raíces tiene la capacidad de absorber fósforo, por lo que se hace imprescindible una exploración radical detallada para asegurar el acceso a este nutriente. La densidad de las raíces en ningún sistema radical es suficiente para extraer fósforo de todo el volumen del suelo.

Por lo tanto, podemos concluir que en general, En la zona de Paccha, el nitrógeno es el nutriente más escaso y limitante para la producción de cultivos, seguido por el fósforo.

Franciosi (1992) y Condori (2015) afirman que la variedad Fuerte es altamente sensible al nitrógeno.

El suelo en la zona de Paccha respondió a diferentes tratamientos de la siguiente manera, en orden decreciente: Se ha demostrado que el suelo C, -S, -Mg, -K, -ME, -Ca, -P, T y -N tiene una respuesta superior al tratamiento con -P, -S y -ME. que lo califica como "bueno"

### 3.2.7. Suelo de Santiago de Acco

**Tabla 3.9**

*Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Santiago de Acco.*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamientos</b>	8	44,54	5,57	3,78	< 0.0001**
<b>Error</b>	18	26,51	1,47		
<b>Total</b>	26	71,05			

**C.V=17.34%**

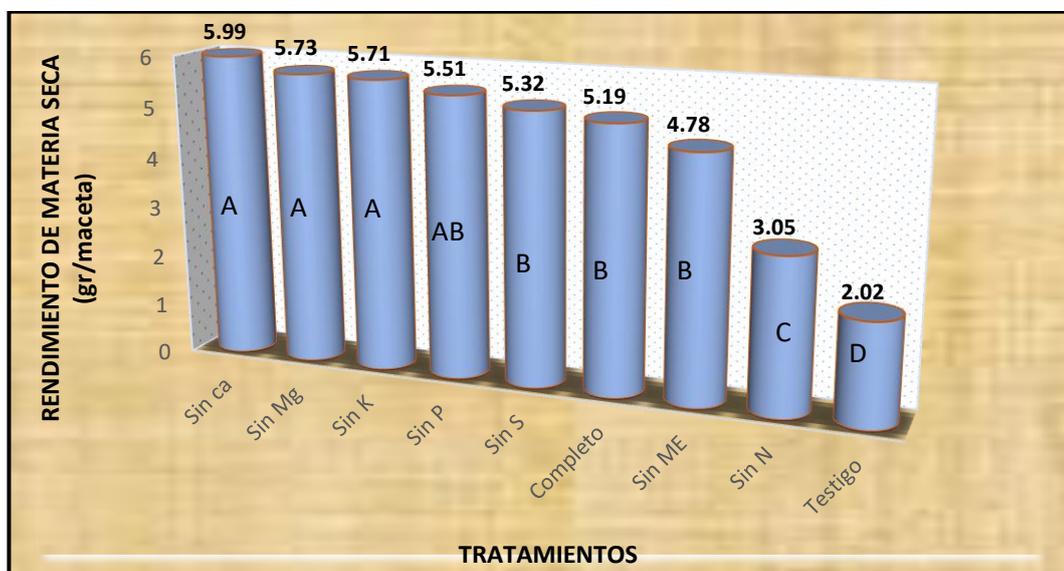
El ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Santiago de Acco se muestra en la tabla 3.9. Se detectó una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos analizados, con un coeficiente de variabilidad del 17.34%. Esto sugiere que los datos experimentales se encuentran dentro de los límites aceptables de

error. En consecuencia, se puede inferir que la aplicación de nutrientes posiblemente contribuye a la producción de materia seca. Se llevó a cabo la prueba de contraste Duncan (Figura 3.7) para determinar que no había diferencia estadística significativa entre los tratamientos: -Ca, -Mg, -K y -P. Se descubrió que estos tratamientos son superiores a los tratamientos -S, C, ME, -N y Testigo (T) debido a la obtención de recursos naturales de macronutrientes en el suelo, donde el rendimiento promedio de materia es superior. Igualmente, los tratamientos ME y -N tuvieron el menor rendimiento de materia seca en promedio.

Las plantas requieren nitrógeno (N) para la formación de aminoácidos, proteínas, clorofila, enzimas, ácidos nucleicos, reguladores de crecimiento y otros compuestos. Este nutriente es fundamental para el desarrollo de las plantas, siendo considerado como el más esencial después del potasio en algunos casos, según estudios como el de Hawkesford et al. (2011). En la zona pampeana y en muchos sistemas agrícolas a nivel mundial, el nitrógeno se posiciona como el segundo desafío más significativo para el crecimiento de los cultivos, después de la disponibilidad de agua. (Álvarez y Grigera, 2005, Magrin et al., 2005)

**Figura 3.7**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Santiago de Accho.*



Por lo tanto, podemos concluir que en la localidad de Santiago de Acce En términos de deficiencias y restricciones que afectan la producción de cultivos, el nitrógeno (N) se presenta como el elemento más deficitario.

Según Franciosi (1992) y Condori (2015), la variedad Fuerte tiene una alta sensibilidad al nitrógeno.

El suelo en Santiago de Acce respondió a diversos tratamientos de la siguiente manera en orden decreciente: Ca, Mg, K, P, S, C, ME, N y T. por lo que se le considera "medio".

### 3.2.8. Suelo de Soccllapampa

**Tabla 3.10**

*Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de la localidad de Soccllapampa.*

<b>F. de V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.C.</b>	<b>C.M.</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
<b>Tratamientos</b>	8	111,40	13,93	53,54	< 0.0001**
<b>Error</b>	18	4,68	0,26		
<b>Total</b>	26	116,08			

**C.V=7.29%**

El ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Soccllapampa se muestra en la Tabla 3.10. Se identificó una diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos analizados, y el coeficiente de variabilidad fue del 7.29%. Esto sugiere que los datos experimentales obtenidos se encuentran dentro de los límites aceptables de error. En consecuencia, se puede inferir que la aplicación de nutrientes probablemente sea responsable del rendimiento en materia seca. La prueba de contraste Duncan se llevó a cabo para determinar si los tratamientos C, -Mg, -Ca y -S eran estadísticamente significativos. Se encontró que los tratamientos C, -Mg, -Ca y -S eran superiores a los demás tratamientos. El suelo de Soccllapampa beneficia porque combina todos los nutrientes en el suelo "tratamiento completo (C)". Igualmente, no hay una diferencia significativa entre los tratamientos -T y -N, ya que estos son los que tienen rendimientos más bajos que los demás. Además, la falta de N

y P ha afectado significativamente el rendimiento de materia seca en comparación con el tratamiento completo (C).

### Figura 3. 8

Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del Rendimiento de M.S. (g/maceta) para los Tratamientos en estudio en suelo de Soccllapampa



Por lo tanto, podemos concluir que el N, el P y el K son los elementos más deficientes y limitantes para la producción de cultivos en la zona de Soccllapampa.

Según Franciosi (1992) y Condori (2015), la variedad Fuerte tiene una alta sensibilidad al nitrógeno.

El suelo en la localidad de Soccllapampa respondió a los diferentes tratamientos de la siguiente manera en orden decreciente: C, -Mg, -Ca, -S, -ME, -K, -P, -N y T. Por lo tanto, el suelo que respondió mejor al tratamiento -Ca en comparación con los demás suelos. por lo que recibe la calificación "bueno".

### 3.3. Identificación de elementos deficientes por tratamientos a través del rendimiento de materia seca

Con el objetivo de destacar de manera más efectiva los resultados acerca de cómo cada uno de los tratamientos afecta a distintos tipos de suelo, se llevaron a cabo las pruebas de significancia.

### 3.3.1. Del contenido de Nitrógeno

**Tabla 3.11**

*Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin Nitrógeno (-N) en suelos.*

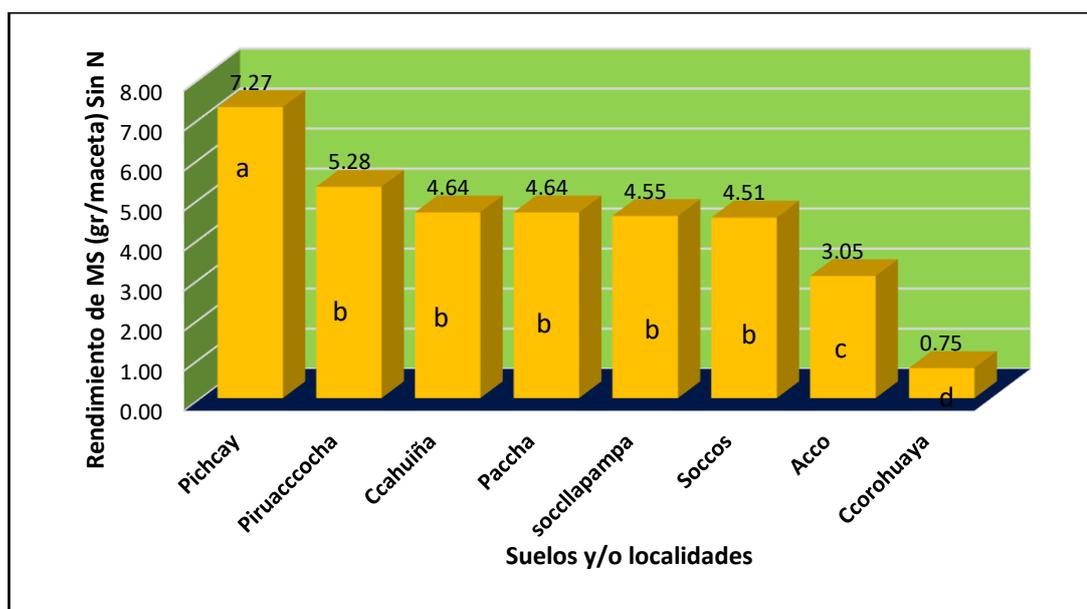
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	72.72	10.39	18.89	<0.0001 **
Error	16	8.80	0.55		
Total	23	81.51			

**C.V. = 17.10 %**

La tabla 3.11 facilita la realización de la prueba de contraste de Duncan en los suelos, porque muestra una alta significación estadística en los suelos sin N. El coeficiente de variación es un valor muy preciso que muestra la variación entre repeticiones de un mismo suelo.

**Figura 3. 9**

*Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Nitrógeno (-N) en los diferentes suelos.*



La prueba de contraste de Duncan para los suelos sin tratamiento de nitrógeno (fig. 3.9) muestra que los 08 suelos tienen diferentes respuestas al tratamiento sin nitrógeno, con el suelo de Pichcay teniendo el rendimiento promedio de materia seca (g/maceta) más alto que los demás suelos. Según el análisis de caracterización realizado en "Multiservicios Agrolab", el suelo de Pichcay refleja un nivel medio de N y un pH moderadamente básico que es la principal limitante de toda producción agrícola por baja solubilidad del P y ME, además, se sabe que el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) tiene un nivel alto, lo que es otro factor que limita la producción por desnitrificación de nitratos bajo el contenido de magnesio, hierro y calcio. Además, tiene altos niveles de sales, lo que reduce significativamente su capacidad productiva y la explotación agrícola. Según Mass y Hoffman (1977), el palto presenta un valor umbral de conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación del suelo de 1,3 La CIC es alta, lo que indica un alto potencial de nutrientes para el suelo de Pichcay. No se observa una variación estadística significativa entre los suelos de Pirhuacocha, Ccahuiña, Paccha, Soccellapampa y Soccus. Por otro lado, los suelos de Santiago de Acco y Ccorohuaya donde muestran menor rendimiento de materia seca.

Si la calificación indica un alto nivel de nutrientes, solo el 20% de las personas tienen la posibilidad de responder a la aplicación de este suelo.

Si la calificación indica que el nivel de nutrientes es medio, hay una posibilidad del 50% de que este suelo responda.

Si la calificación indica que el nivel de nutrientes es bajo, hay un 80 % de probabilidad de que la respuesta al agregar tal elemento al suelo sea positiva.

El suelo de Ccorohuaya es el más deficiente en nitrógeno, seguido de Acco; López (1980) menciona que los suelos de textura liviana y suelto son los mejores para el cultivo de palto y se ha notado que la expansión de las raíces y una adecuada capacidad de drenaje son comunes en suelos con abundantes piedras. Los macroporos, que son típicos de suelos bien estructurados, se deben principalmente a niveles significativos de materia orgánica, son los principales obstáculos para la disponibilidad

de nitrógeno inorgánico y la absorción por las raíces del palto, lo que resulta en rendimientos bajos de materia seca por maceta.

### 3.3.2. Del contenido de Fosforo

**Tabla 3.12**

*Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin fósforo (-P) en suelos.*

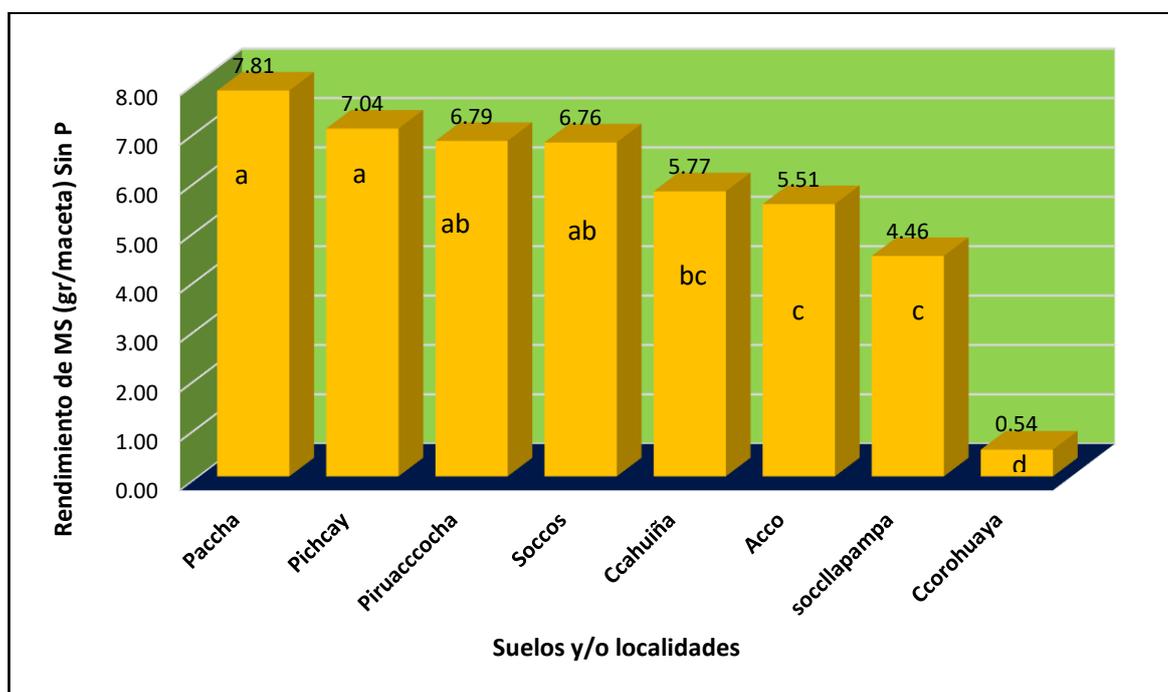
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	7105.83	15.12	41.62	<0.0001 **
Error	16	5.81	0.36		
Total	23	11.64			

C.V. = 10.56 %

La tabla 3.12. nos permite realizar la prueba de contraste de Duncan porque demuestra una alta significación estadística en los suelos con el tratamiento sin P. El coeficiente de variación es un valor muy preciso que describe la variación entre repeticiones de un mismo suelo.

**Figura 3.10**

*Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Fosforo (-P) en los diferentes suelos*



Los suelos de Paccha, Pichcay, Pirucchocha y Soccus son superiores a los de Ccahuiña, Acco, Soccllapampa y Ccorohuaya, que obtuvieron el menor rendimiento de materia seca, según la Prueba de contraste de Duncan de suelos con tratamiento sin P (fig. 3.10). Podemos concluir que el suelo de Ccorohuaya tiene la mayor deficiencia de fósforo, seguido del suelo de Soccllapampa y Acco. El rendimiento del cultivo se verá limitado por el fósforo como macroelemento principal.

### 3.3.3. Del contenido de Potasio:

La tabla 3.13 nos permite realizar la prueba de contraste de Duncan porque demuestra una alta significación estadística en los suelos con el tratamiento sin K. El coeficiente de variación es un valor muy preciso que describe la variación entre repeticiones de un mismo suelo.

**Tabla 3.13**

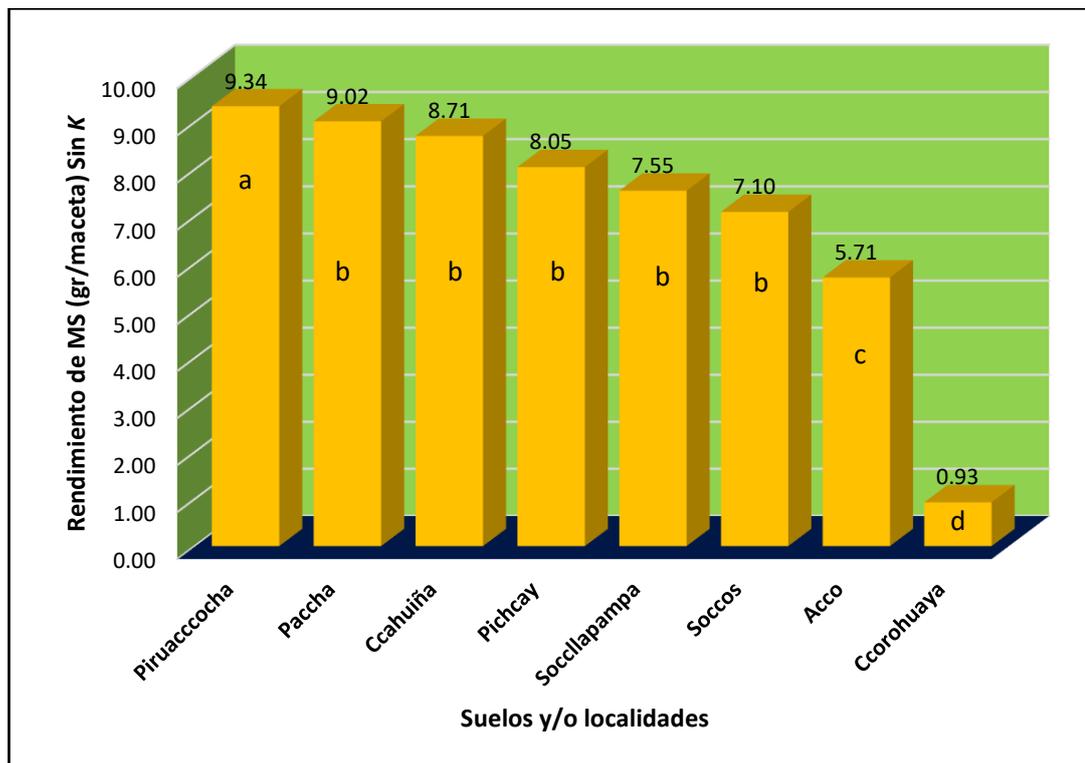
*Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin potasio (-K) en suelos.*

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	157.06	22.44	15.13	<0.0001 **
Error	16	23.73	1.48		
Total	23	180.79			

C.V. = 17.27 %

**Figura 3.11**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Potasio (-K) en los diferentes suelos*



El suelo de Piruacocha muestra un rendimiento superior en comparación con otros suelos, según la prueba de contraste de Duncan de suelos con tratamiento sin K (fig. 3.11). En los suelos de Paccha, Ccahuiña, Pichcay, Socclapampa y Soccos, los resultados al tratamiento sin potasio no fue significativa. Sin embargo, las producciones de los suelos de Acco y Ccorohuaya mostraron rendimientos más bajos en materia seca (g/maceta).

Los suelos de Ccorohuaya y Acco son los más pobres en potasio, lo que puede afectar la calidad de los frutos de palo.

Martini (1970) señala que, se planteó un enfoque rápido y sencillo para evaluar la fertilidad del suelo conocido como el método del elemento faltante. Este método fue uno de los primeros diseños experimentales utilizados para estudiar y determinar la fertilidad del suelo, siendo implementado en el invernadero por Salm-Horstmar y posteriormente aplicado en el campo por Georges Ville en 1870. muchos otros investigadores han empleado con bastante éxito esta técnica.

La translocación de azúcares y la formación de almidón dependen del K. Lo necesitan las células oclusivas de las estomas para que se abran y cierren, lo que es crucial para la eficiencia hídrica. El potasio (K) tiene efectos positivos en el desarrollo de las raíces al estimular su crecimiento y fortalecer la resistencia de los cultivos contra enfermedades. Además, promueve la formación de vasos xilemáticos más grandes y distribuidos de manera uniforme en todo el sistema radical, contribuyendo así a mejorar la calidad de las cosechas. (Soil improvement committee California plant health association, 2004).

### 3.3.4. Del contenido de Calcio

**Tabla 3.14**

Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin calcio (-Ca) en suelos.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	133.10	19.01	43.91	<0.0001 **
Error	16	6.93	0.43		
Total	23	140.03			

C.V. = 9.01 %

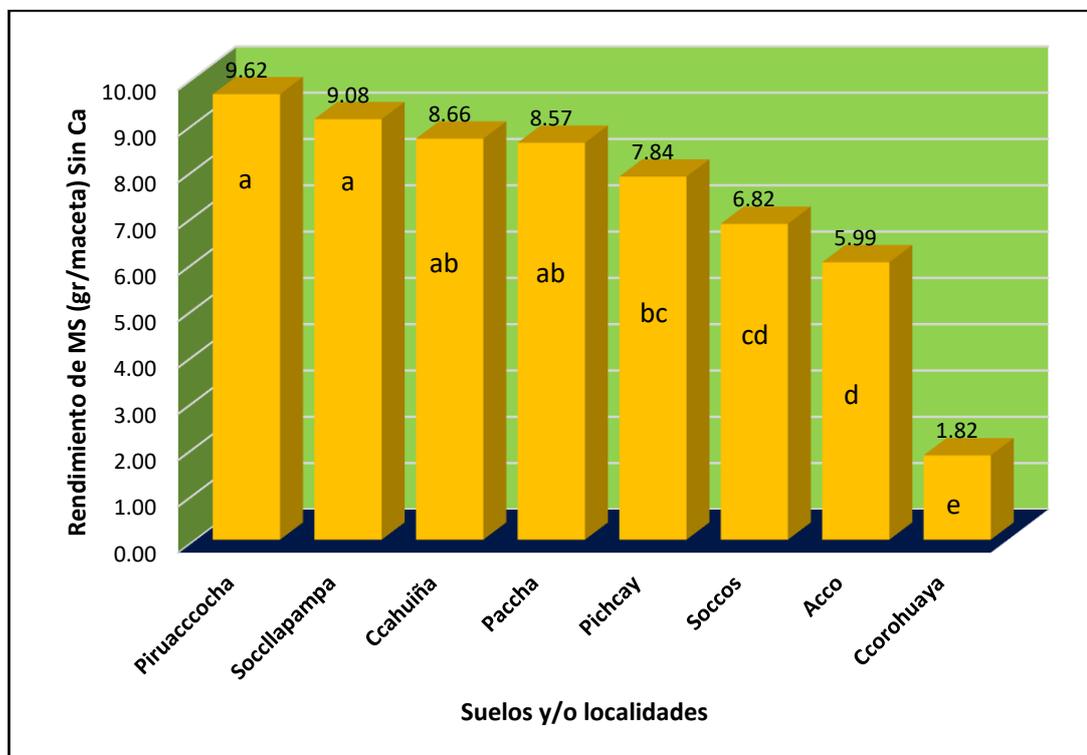
La tabla 3.14 nos permite realizar la prueba de contraste de Duncan porque demuestra una alta significación estadística en los suelos sin Ca. El coeficiente de variación es un valor muy preciso que muestra la variación entre repeticiones de un mismo suelo.

La respuesta de los suelos en este tratamiento ha variado debido a las características físicas, químicas y biológicas del suelo, como lo demuestra la prueba de contraste de Duncan de los suelos con el tratamiento sin Ca (fig. 3.12). El rendimiento de los suelos de Piruacocha y Socllapampa es superior al de los demás

suelos, aunque no hay una diferencia significativa entre ellos. Los suelos de Soccos, Acco y Ccorohuaya son inferiores a los de Ccahuiña, Paccha y Pichcay.

**Figura 3.12**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Calcio (-Ca) en los diferentes suelos*



Worthen (1959), menciona que, el pH de un suelo está relacionado con la cantidad de arcilla y humus, así como con la cantidad de calcio. Un suelo que posea una alta proporción de arcilla y materia orgánica contendrá más calcio en comparación con un suelo que tenga una menor cantidad de arcilla y materia orgánica, en igualdad de pH. El calcio se almacena en cargas negativas.

El calcio es transportado por el agua a lo largo del perfil del suelo. cuando hay más de 625 milímetros de lluvias anuales. La reducción de calcio durante la formación del suelo se ve disminuida por la acción de la lluvia. Los suelos superficiales pueden ser ácidos, pero el subsuelo neutro puede tener una capa donde se haya acumulado cal.

Los minerales comunes como el feldespato, la caliza y el yeso experimentan meteorización según Plaster (1982). Estos materiales son prevalentes ya que la mayoría de los suelos contienen cantidades adecuadas de calcio para cumplir con sus requerimientos..

### 3.3.5. Del contenido de Magnesio

**Tabla 3.15**

*Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin magnesio (-Mg) en suelos.*

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	219.84	31.41	73.06	<0.0001 **
Error	16	6.88	0.43		
Total	23	226.72			

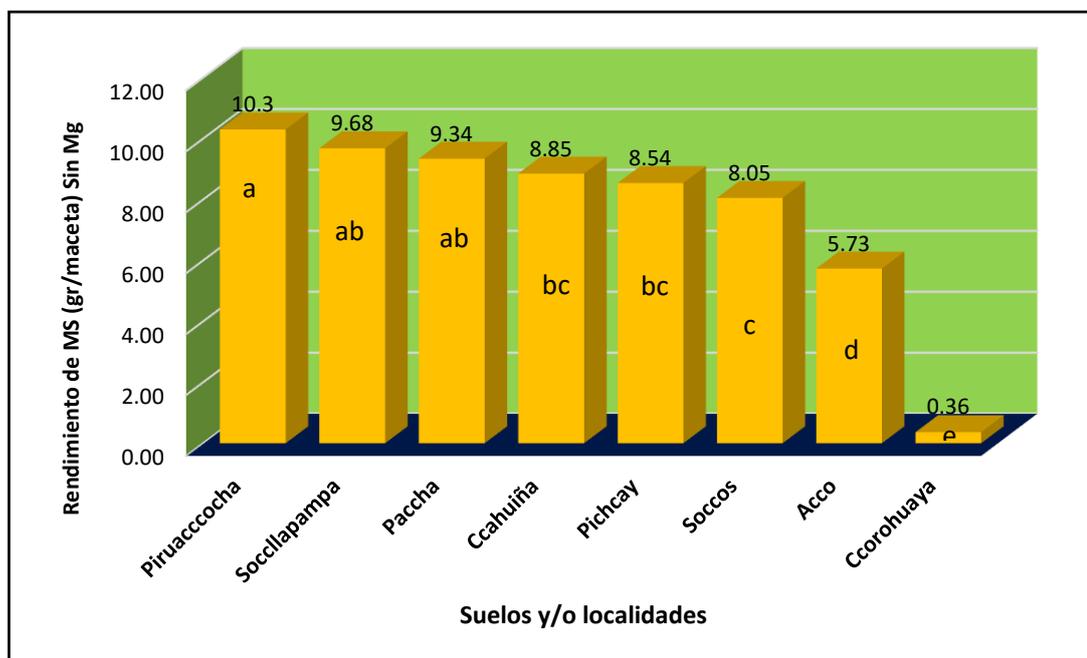
C.V. = 8.62 %

La tabla 3.15 presenta una alta significación estadística en los suelos sin Mg, lo que nos habilita para realizar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un indicador de precisión bastante confiable que indica una variación entre las repeticiones de un mismo suelo

De acuerdo a la Prueba de contraste de Duncan de los suelos con el tratamiento sin Mg (fig.3.13) la respuesta de los suelos al tratamiento es variable. Así se tiene que, el suelo de Pirhuacocha, Socllapampa y Paccha no se diferencia estadísticamente entre sí, siendo el rendimiento superior a los demás suelos; los suelos de CCahuiña, Pichcay, y Soccus no existe diferencia significativa. El suelo de Acco y Ccorhuaya muestra menor rendimiento de materia seca.

**Figura 3.13**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Magnesio (-Mg) en los diferentes suelos.*



Por lo tanto, según el análisis de caracterización y la prueba de contraste de Duncan, el suelo de Piruacocha contiene los elementos necesarios de reserva de Mg, y su textura lo convierte en un suelo franco adecuado para el cultivo de palto. Igualmente, los suelos de Soccus y Pichcay son los más pobres en magnesio, seguidos de los de Ccorohuaya y Acco. Algunas acumulaciones de  $MgSO_4$  se pueden encontrar en los suelos de áreas áridas. Una pequeña cantidad de magnesio está relacionada con la materia orgánica del suelo.

Con frecuencia se requiere este elemento en los suelos ácidos de los trópicos, Particularmente para los cultivos de cafeto, que demandan niveles elevados de este elemento. De acuerdo con Sánchez y colaboradores (1985), en los Ultisoles cultivados

en la región amazónica, los niveles de fósforo y magnesio en los suelos disminuyen durante el segundo año, lo que se debe a la falta de reservas meteorizables y mineralizables en el suelo.

Según Plaster (1982), los minerales meteorizan el magnesio como catión. La arcilla, por otro lado, El magnesio tiende a retenerse de manera menos resistente que el calcio, lo que facilita su lixiviación. Como consecuencia, es más frecuente encontrar suelos con bajos niveles de magnesio que suelos con bajos niveles de calcio. La fertilización con magnesio es más necesaria para los suelos toscos fuertemente lixiviados, Especialmente si han sido tratados con cal baja en magnesio.. La falta de magnesio en las plantas puede ser causada por niveles elevados de potasio en el suelo.

### 3.3.6. Del contenido de Azufre

**Tabla 3.16**

*Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin azufre (-S) en suelos.*

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	158.12	22.59	59.21	<0.0001 **
Error	16	6.10	0.38		
Total	23	164.22			

C.V. = 8.55 %

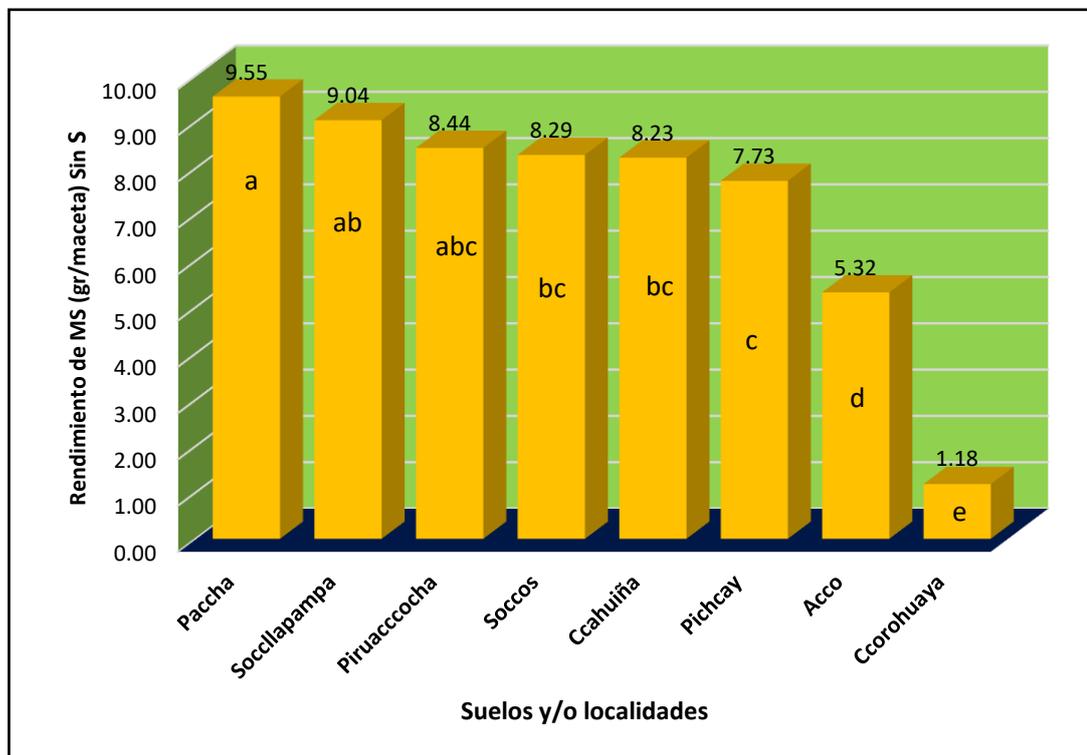
La tabla 3.16 permitio realizar la prueba de Duncan porque los suelos con el tratamiento sin S tienen un significado estadístico alto. El coeficiente de variación es un valor muy preciso que describe la variación entre repeticiones de un mismo suelo.

La Prueba de contraste de Duncan de los suelos con tratamiento sin S (fig. 3.14) muestra que Los diferentes contenidos de azufre en el suelo tienen un reflejo diferente en la producción de materia seca en respuesta a una adición insuficiente; se observa que los suelos de Paccha, Socllapampa y Piruacocha tienen los rendimientos de materia seca superiores al de los demás suelos. En los terrenos de Soccus, Ccahuiña y

Pichcay, no se observa una variación estadística significativa. El rendimiento de materia seca es menor en los suelos de Acco y Ccorohuaya.

**Figura 3.14**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Azufre (-S) en los diferentes suelos*



Fassbender y Bornemisza (1992) Se indica que la concentración de azufre en suelos inorgánicos varía entre 0,02% y 0,2%, mientras que en suelos orgánicos, en algunas situaciones, puede alcanzar hasta el 1% de contenido de azufre.

Según Plaster (1982), la meteorización de minerales de sulfato como el yeso es la fuente principal del contenido de azufre del suelo. Las plantas utilizan aniones de sulfato. El azufre del suelo se encuentra entre el 70 y el 90% en la materia orgánica; no es adsorbido ni fijado a un grado específico. Debido a que el azufre se lixivía rápidamente, las capas superficiales del suelo con frecuencia tienen una baja cantidad de azufre. Los suelos que se han lixiviado y tienen un bajo contenido de materia orgánica son posibles candidatos para la escasez de azufre.

### 3.3.7. Del contenido de Microelementos

**Tabla 3.17**

*Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin microelementos (-ME) en suelos.*

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	164.70	23.53	85.46	<0.0001 **
Error	16	4.41	0.28		
Total	23	169.11			

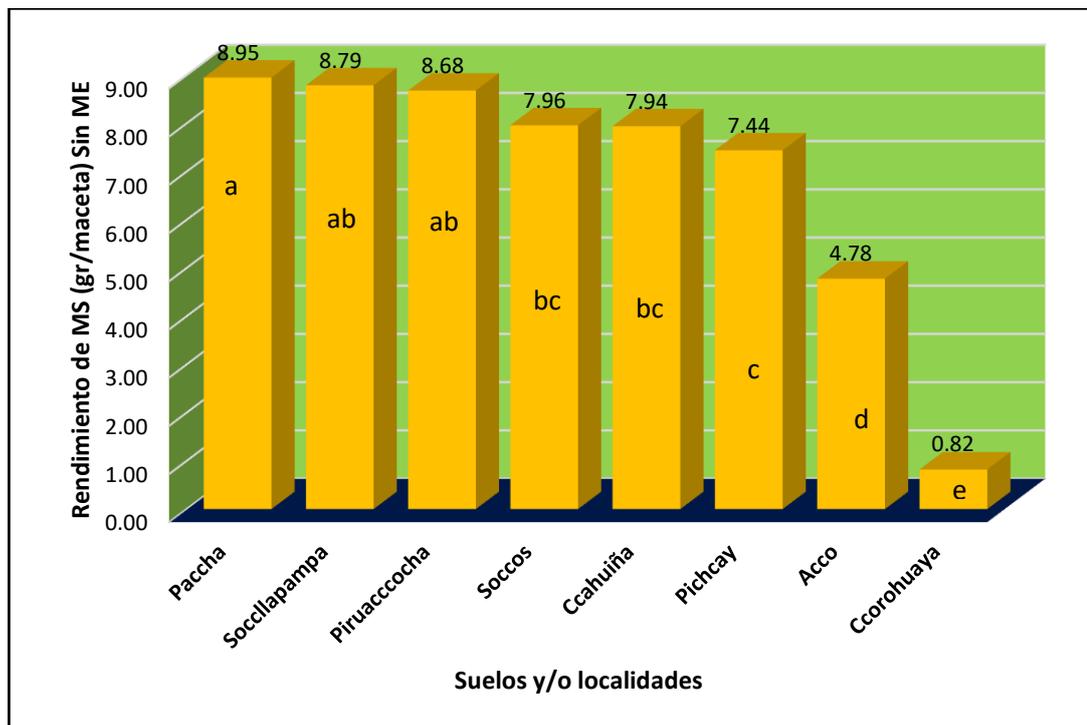
C.V. = 7.58 %

La tabla 3.17 nos permite realizar la prueba de contraste de Duncan porque los suelos con el tratamiento sin ME tienen un significado estadístico alto. El coeficiente de variación es un valor muy preciso que describe la variación entre repeticiones de un mismo suelo.

La Prueba de contraste de Duncan de los suelos con tratamiento sin ME (fig. 3.15) muestra que los diferentes contenidos de microelementos (ME) en los suelos determinan cómo las respuestas a la no adición se reflejan en la producción de materia seca. Se observa que los suelos de Paccha, Socllapampa y Piruacocha, que muestran mayores rendimientos que los demás suelos, no muestran diferencias estadísticas significativas en la producción de materia seca. En términos de producción de materia seca, los suelos de Soccus, Ccahuiña y Pichcay no se distinguen entre sí. El suelo de Ccorohuaya tiene un rendimiento inferior en materia seca. El suelo de Ccorohuaya tiene un rendimiento inferior en materia seca. El contenido de microelementos está relacionado con la materia orgánica del suelo y su reacción, por lo que estos suelos podrían tener suficientes microelementos para satisfacer las necesidades de los cultivos.

**Figura 3.15**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin Microelementos (-ME) en los diferentes suelos*



Para que un elemento sea reconocido como esencial, las plantas deben ser capaces de completar su ciclo de vida sin él. Además, el elemento no puede ser reemplazado por otro, debe estar directamente implicado en los procesos metabólicos de las plantas como un componente esencial, o ser necesario para una etapa metabólica específica. (Arnon y Stout, 1939).

Las plantas exhiben síntomas específicos de deficiencia debido a la movilidad de los nutrientes. Los nutrientes móviles, como el N, P, K y Mg, son predominantemente encontrados en las hojas adultas (basales), mientras que los nutrientes inmóviles, como Fe, Cu, Mn, Zn, Ca, S, Cl, B, Mo y Ni, se encuentran en las hojas jóvenes (retoños). Se clasifican los nutrientes en móviles, medianamente móviles e inmóviles. Además, se destaca que las plantas pueden reutilizar fácil, mediana o difícilmente estos nutrientes, permitiendo la transferencia de nutrientes fácilmente reutilizables de las hojas adultas a las hojas jóvenes u órganos con mayores demandas. (Sánchez et al., 2007).

### 3.3.8. Del Tratamiento Completo

**Tabla 3.18**

*Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento completo (C) en suelos.*

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	209.80	29.97	40.40	<0.0001 **
Error	16	11.87	0.74		
Total	23	221.67			

C.V. = 11.34 %

La tabla 3.18 muestra un alto significado estadístico en los suelos con tratamiento completo (C), lo que nos permite realizar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor muy preciso que describe la variación entre repeticiones de un mismo suelo.

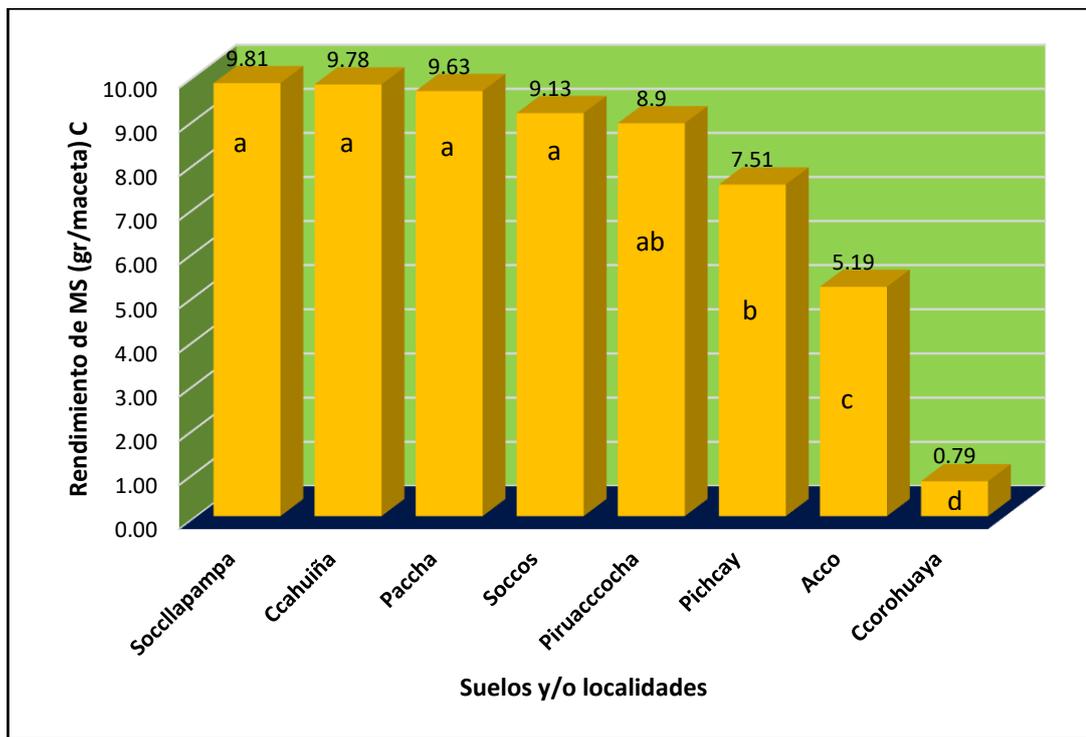
La prueba de contraste de Duncan de varios suelos con tratamiento completo (C) muestra que el aumento de la producción está directamente relacionado con el contenido de nutrientes contenidos naturalmente en el suelo. Debido a que el suelo tiene el mayor rendimiento de materia seca (g/maceta), se tiene que existe una respuesta inmediata cuando se agrega algún nutriente.

Según la prueba de significación de Duncan, los suelos de Socllapampa, Ccahuiña, Paccha y Soccus son superiores en rendimiento de materia seca a los demás suelos. Los suelos de Piruacocha y Pichcay también no muestran diferencias estadísticas significativas, mientras que los suelos de Acco y Ccorohuaya muestran menores rendimientos, lo que los convierte en suelos de baja fertilidad y capacidad para producir agua.

En general, se sugiere que el P y el N son los principales problemas en los suelos de Acco y Ccorohuaya. Estos elementos son los más esenciales para las plantas porque participan como componentes principales de la fotosíntesis y el ADN, proporcionan energía a nivel de membrana celular y otros procesos. Por lo tanto, se afirma que son cruciales para el crecimiento de la raíz (Taiz et al., 2008).

**Figura 3.16**

*Prueba de Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento Completo (C) en los diferentes suelos*



El pH de estos suelos es moderadamente alcalino, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

De manera general, el orden de deficiencia de nutrientes en los suelos en estudio sería el siguiente: N>>P>>ME>>K>>>Ca>>>S>>>Mg. La deficiencia de N, P y ME se debe principalmente a la baja mineralización de la materia orgánica debido a la baja precipitación, el material parental y el bajo contenido de flora microbiana en el suelo. Además, la gran cantidad de Ca, S y Mg se debe principalmente al contenido de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), lo que provoca la fijación, adsorción y pérdida de N en el suelo.

### 3.3.9. Del Tratamiento Testigo

**Tabla 3.19**

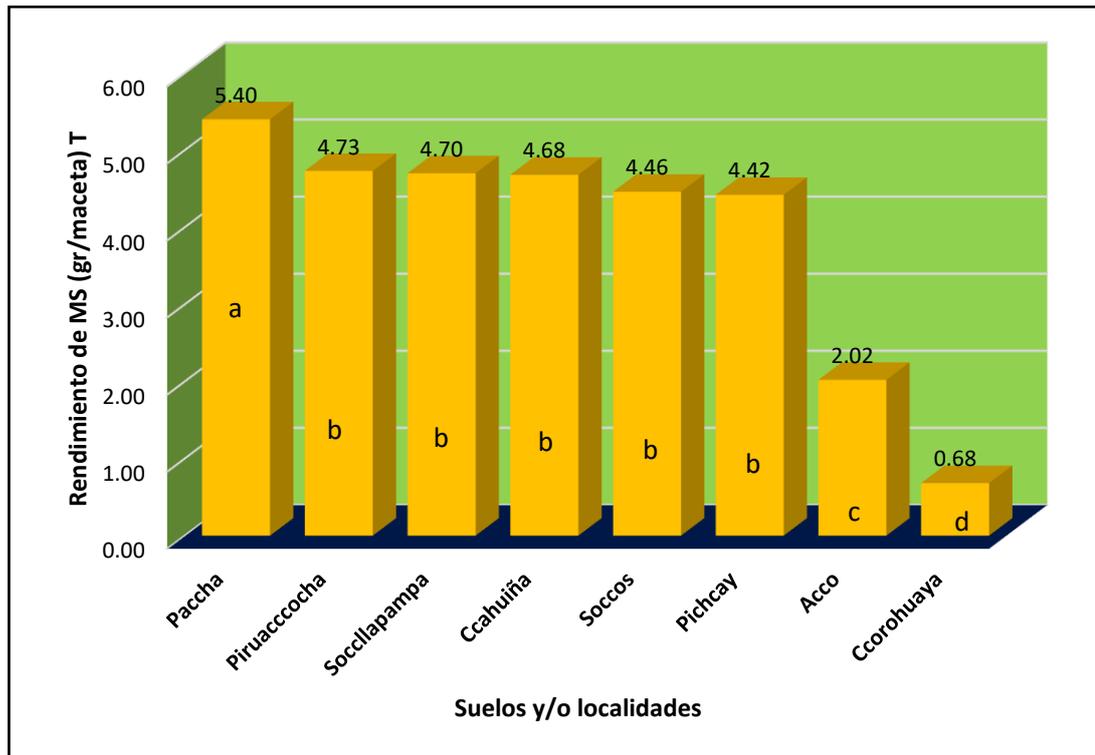
*Análisis de variancia del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento testigo (T) en suelos.*

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	56.04	8.01	80.51	<0.0001 **
Error	16	1.59	0.10		
Total	23	57.63			

C.V. = 8.11 %

**Figura 3.17**

*Prueba Duncan ( $p=0.05$ ) del rendimiento de materia seca del tratamiento testigo (T) en los diferentes suelos*



La tabla 3.19 nos permite realizar la prueba de contraste de Duncan, ya que demuestra una alta significación estadística en los suelos con el testigo (T). El

coeficiente de variación es un valor muy preciso que muestra la variación entre repeticiones de un mismo suelo.

La Prueba de contraste de Duncan de los suelos con el testigo (T) muestra que el rendimiento de materia seca refleja los diferentes grados de fertilidad natural de los suelos. La fertilidad natural del suelo de Paccha supera la de los demás suelos, lo que indica una abundancia de minerales. Por lo tanto, no hay diferencias entre los suelos de Piruacocha, Socllapampa, Ccahuiña, Soccus y Pichcay. Los suelos de Acco y Ccorohuaya reportan bajo rendimiento de materia seca los que indican una menor reserva de nutrientes en el suelo.

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos en este estudio de investigación posibilitan la formulación de las siguientes conclusiones:

1. Usando la Técnica del Elemento Faltante, se descubrió que al no agregar alguno de los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S y ME) en cada uno de los ocho suelos, se reduce significativamente la producción de materia seca (g/maceta).
2. En los suelos de las ocho localidades, el N, el P y el ME son los elementos nutritivos con la mayor deficiencia, en el siguiente orden: N>P>ME>K>S>Ca>Mg.
3. Los suelos con cultivo de palto del distrito de Churcampa tienen una conductividad eléctrica de bajo a medio, una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de medio un alto y un alto nivel de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). Estas características hacen que la absorción de nutrientes sea limitada.
4. Los suelos destinados al cultivo de palto en el distrito de Churcampa tienen una reacción moderadamente básica. La textura del suelo es entre franco a franco arcillosa y los niveles de N, P y K oscilan entre bajo y medio, y los niveles de Ca y Mg son elevados. Con la excepción del suelo de Ccorhuaya, que tiene un nivel alto de Na, el contenido de Na está en el nivel medio. El rendimiento de materia seca (g/maceta) está influenciado por estas características del suelo.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

1. Realizar investigaciones para reducir el pH de los suelos alcalinos y dosificar abonos foliares para el cultivo de palto para reducir la falta de macronutrientes y micronutrientes en el suelo.
2. Con el fin de profundizar en el conocimiento del estado nutricional de los suelos en el distrito de Churcampa, se recomienda llevar a cabo análisis de caracterización en laboratorio en diversos tipos de suelos.
3. Se recomienda la investigación para determinar las diferentes formas de nitrógeno y fósforo en el suelo y calcular los niveles críticos de nutrientes en el suelo a lo largo del Valle del Mantaro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRORURAL (2013). Guano de las Islas. Agrorural. Perú.  
[http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/SEP\\_ARA\\_TA-G\\_12.pdf](http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/SEP_ARA_TA-G_12.pdf) guano de islas.
- Lao (2013) Guía Técnica: fertilización en el cultivo del palto. Agrobanco. Perú.
- Álvarez, R. y Grigera. S. (2005). Análisis de la fertilidad del suelo y efectos del manejo sobre los rendimientos de trigo y maíz en la Pampa Ondulada de Argentina. Rev. Agró Ciencia de cultivos. Argentina.
- Barbaro, L. ; Karlanian, Y. y Mata. (2019). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los Sustratos para Plantas. INTA. Argentina.
- Bornemisza, E.(1987). Introducción a química de suelos.OEA.Washinton. EE.UU.
- Buckman H. y Brady (1985). Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Uteha. México 590 p.
- Black, F. (1975). Relaciones Suelo - Planta. Edit. hemisferio sur. Buenos Aries.420 p.
- Chaminade, R. (1972) " Recherches sur la fertilité et al fertilization des sola en rigions tropicales". Agro-tropicale, France.
- Cortez, T. (2004).Sintomas foliares de deficiencia de P, K, Ca, y Mg en aguacatero Cv. Hass. Universidad Autonoma Chapingo. Ed, de Mexico. 85 p
- Devlin, R. (1970) Fisiología vegetal. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.614 p.
- Dominguez A. (1989). Tratado de Fertilizantes. Edit. Mundi Prensa. Madrid. España. p. 601

- Espinoza, J. (1996). Relación entre la Fertilización Mineral, la Materia Orgánica y los Microorganismos del Suelo. Instituto de Potasio y el Fosforo. Quito, Ecuador.<http://www.mag.gob.cr/congresoagronomico/a50-2388III119.pdf>. .
- Estrada, J.(1986). Curso de nutrición mineral de las plantas. UNAILM. La Molina. Lima - Perú. p.196
- Plaster, J. (1982). La Ciencia del suelo y su manejo. Editores Delmar.404p.
- Farfan, O. (2009) El cultivo del palto en el valle de Chaparra.- DESCO: Centro de Estudios y Promoción de Desarrollo. Arequipa, Perú.
- Fassbender, H. (1993). Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2da edición. Turrialba, Costa Rica. pag. 262)
- Fassbender, H.(1984). La absorción de los fosfatos fuertemente ácidos y su evaluación. Fitotecnia Latinoamericana.Vol.3, Numero 1. 398p.
- Fassbender, H.(1986) Química de suelos, con énfasis en los suelos de América Latina. 5<sup>ta</sup> Edición. Editorial IICA. San José – Costa Rica.350p.
- Gross, A. (1981) Abonos. Guía práctica de la fertilización. Ediciones Mundi – Madrid España.
- Gardiazabal, F. (2004). Riego y nutrición en paltos. Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. 2º Seminario internacional de paltos. Quillota- Chile,
- Gutierrez, F.; prystupa, P. y Álvarez, C. (2006). Comparación de dos redes de ensayos de fertilización fosforada del cultivo de soja. XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Salta, Argentina.
- Hawkesford, M.; Horst, W. y Kichey, T. (2011). Functions of macronutrients.

- Ibañez, R. (1976) " Estado Nutricional de seis suelos de puna. Método de elemento faltante. Asociación-alfalfa/phalaris como planta indicadora". En: investigaciones. Dirección universitaria de Investigación UNSCH.
- INIA - INDAP (2017) Instituto de Desarrollo Agropecuario, Boletín N° 378. Santiago, Chile.
- Martini, J. (1968) Chemical, caracterización del estado de potasio en 6 suelos de panamá. Fitotecnia latinoamericana. Panamá.
- Martini, J. (1968). Caracterización del estado nutricional de los principales Andosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. Turrialba. Costa Rica.
- Mengel y Kirby. (2000). "Principios de Nutrición Vegetal". Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland.
- Lahar, E. y Whiley, A. (2002). Irrigation and mineral nutrition.in: Botany, production and uses. CAB international press. London. Inglaterra.
- Palomino, R. (1987) Estado nutricional de algunos suelos agrícolas de la provincia de Huamanga, Cangallo, Víctor Fajardo y Vilcashuamán del departamento de Ayacucho.. Facultad de ciencias Agrarias-UNSCH. Ayacucho Perú.
- Peralta, E. (2003). "Caracterización Morfogenética y Estado Nutricional de Suelos Agrícolas de Chiara Ayacucho, con Énfasis en Zonas Paperas. FCA – UNSCH. Ayacucho, Perú.
- PROABONOS. (2007). Proyecto Especial de Promoción del Aprovechamiento de Aves Marinas. Disponible en [http:// www.Preabonos.gob.pe](http://www.Preabonos.gob.pe). Accesado el 24 de octubre del 2009.

- Raymond, D. (1984). Cultivo Práctico de Hortalizas. Editorial Continental S.A. México. p. 256
- Ramirez, G. (1974)." Retención del sulfato y relación fosfato- sulfato en suelos de Costa Rica". ILCA-OEA. Turrialba Costa Rica
- Ramirez, F. (2000). Consumo de Fertilizantes en el Perú. Corporación Misti S.A. Lima. Perú. <http://www.misti.com.pe>.
- Rubio, G. y Álvarez, C. (2012). El fósforo desde el punto de vista agrícola. En: Fertilidad de los suelos: caracterización y manejo en la región pampeana. . EFA, UBA. Argentina. Pp. 351-380.
- Salazar, S. (2002). Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. Ed. Instituto de la Potasa y el Fósforo A.C.(INPOFOS). Querétaro, Qro., México.
- Tineo, A. (2006). Superficies de Respuesta. Ediciones Gráficas. Ayacucho, Perú. p.81
- Téliz, D. (2000). El Aguacate y su manejo integrado. Ediciones Mundi-Prensa. México.
- Tisdale y Nelson. (1987). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Edit. UTEHA. México. p. 498
- Thompson, L. (1974). El suelo y su fertilidad. Edit. Reverte. Madrid. 356p.
- Valdivia, M. (2015). "Niveles de azufre en suelo alcalino y microelementos en la producción de palto (*Persea americana* L.) Hass y Fuerte en San Miguel y Ocros – Ayacucho". Pp. 94-100
- Worthen, E. y Aldrich, S,(1965) " Suelos agrícolas, su conservación y fertilización". Trad. Luis de la Loza, Edit. UTEHA, México.

Condori, W. (2015). Caracterización Fenológica de Palto Variedad Hass y Fuerte en las Localidades de Palmayocc en Huanta y Ninabamba en San Miguel, Ayacucho p. 25

Yanasupo, C. (2011). “Estado Nutricional de Algunos Suelos Agrícolas del Distrito de Ayna San Francisco, Departamento Ayacucho”. FCA – UNSCH. Ayacucho, Perú.

Zavaleta, A. (1992). El suelo en relación con la producción. CONCYTEC. Lima, Perú.

# **ANEXOS**

## ANEXO 01. PANEL FOTOGRAFICO



Foto 01. Muestreo de suelos en la parcela del productor Aquilino Guillen Perez



Foto 02. Muestreo de suelos en la parcela del productor Maximo Yangali Narvaez



Foto 03. Apertura de calicatas para su evaluacion



Foto 04. muestreo y apertura de calicatas en la parcela de la señora honoroa toscano santana - localidad soccos



Foto 05. Apertura de calicatas en el suelo de soccos 1.0mx 0.40cm



Foto 06. unidades de experimentacion del suelo de soccos y su identificacion de sintomas visuales de deficiencia de nutrientes

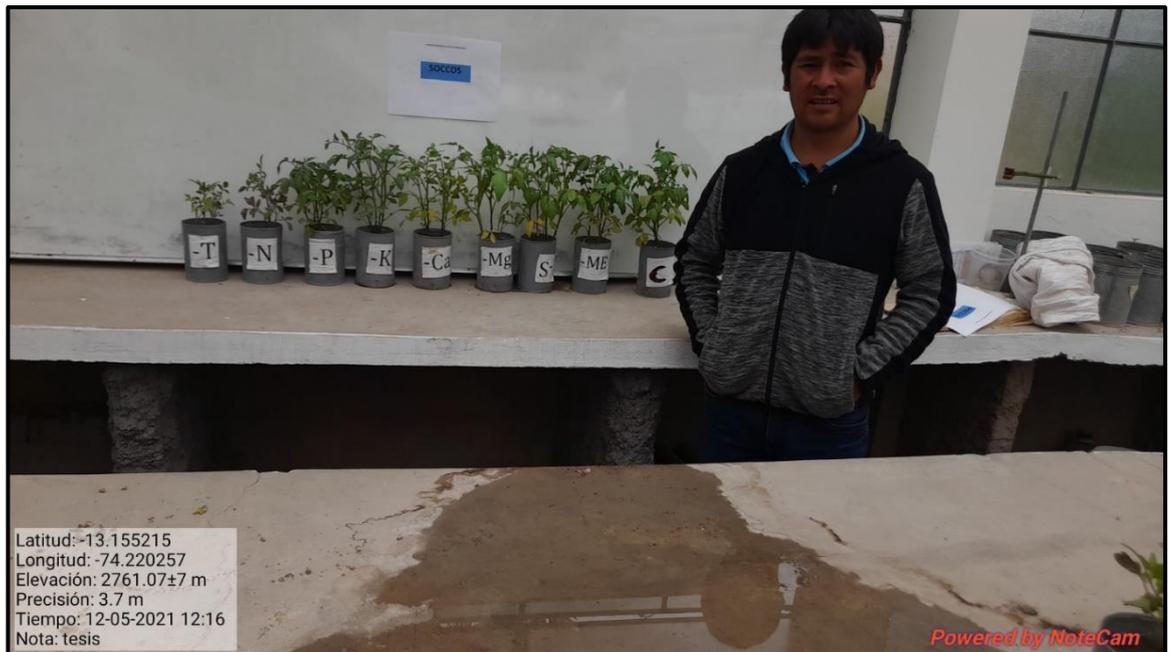


Foto 07. plantas de tomate como los 09 tratamientos del suelo de soccos



Foto 08. plantas de tomate con los 09 tratamientos en el suelo de ccorohuaya



Foto 09. unidades de experimentación en el suelo de Ccorohuaya y su evaluación visual de hojas con síntomas de deficiencia nutricional



Foto 10. unidades de experimentación en el suelo pichcay y su identificación de síntomas visuales de deficiencia de nutriente



Foto 11. plantas de tomate con los 09 tratamientos en el suelo de Pichcay



Foto 12. unidades de experimentación del suelo Ccahuiña e identificación de síntomas visuales de deficiencia de nutrientes



Foto 13. Plantas de tomate como los 09 tratamientos del suelo de Ccahuña

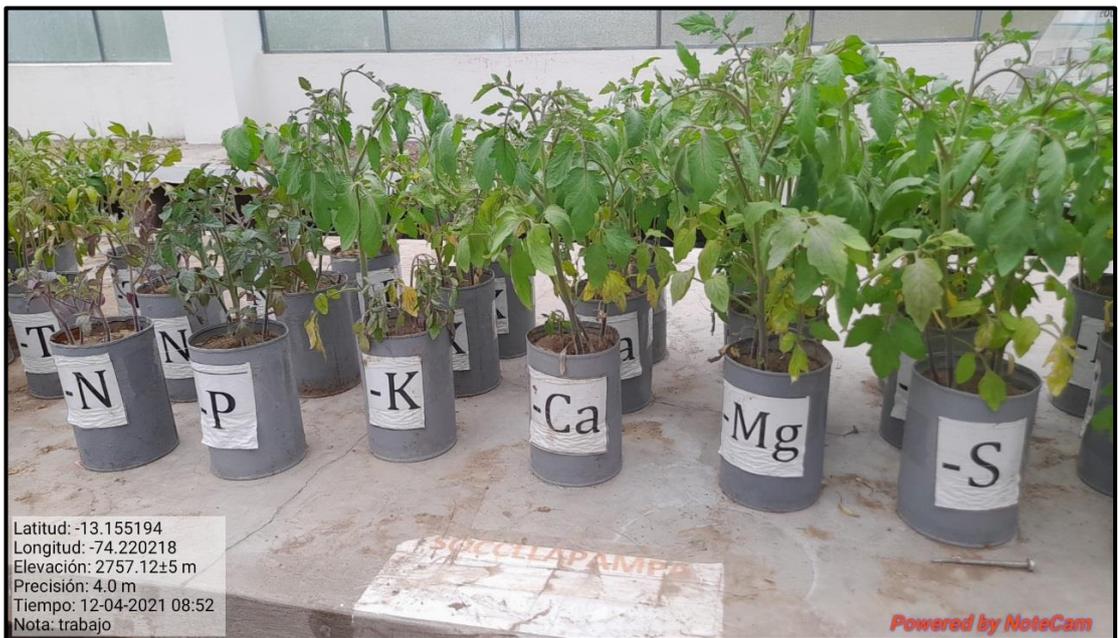


Foto 14. Unidades de experimentación del suelo Socclapampa



Foto 15. Plantas de tomate como los 09 tratamientos del suelo de Socclapampa

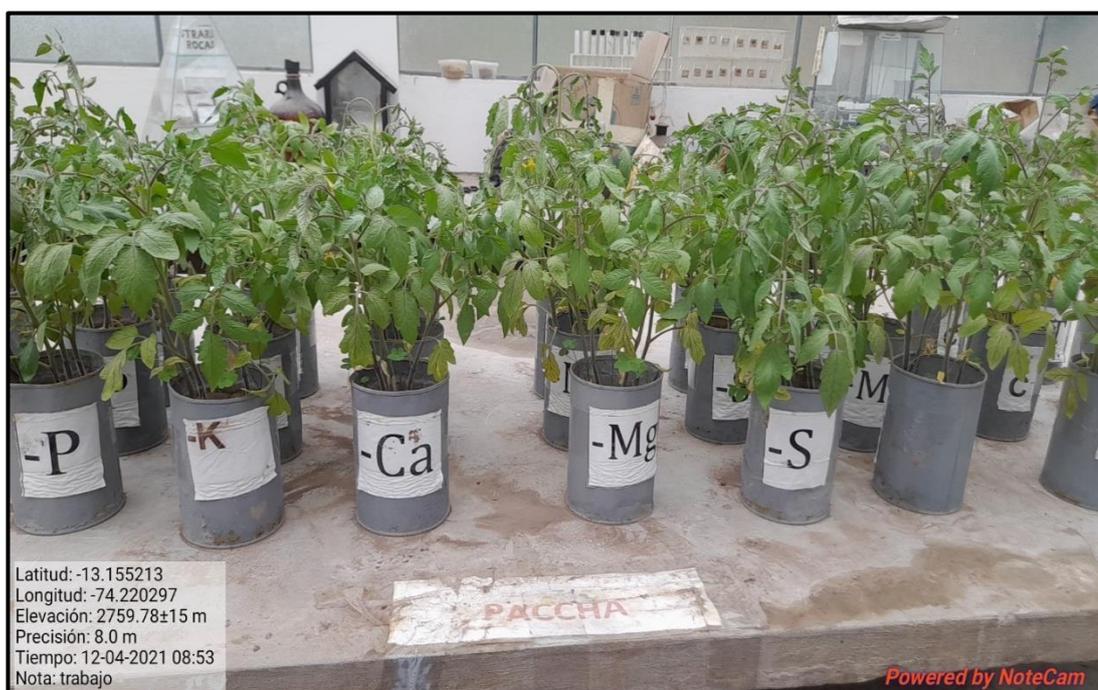


Foto 16. Unidades de experimentación del suelo de Paccha e identificación de síntomas visuales de deficiencia de nutrientes



foto 17. Plantas de tomate con los 09 tratamientos en el suelo de Paccha.



foto 18. unidades de experimentación del suelo Piruacocha



Foto 19. plantas de tomate como los 09 tratamientos del suelo de Piruacocha



Foto 20. unidades de experimentación del suelo Santiago de Acco



Foto 21. plantas de tomate con los 09 tratamientos del suelo de Santiago de Accho



Foto 22. etiquetado de los tratamientos para ser llevado a la estufa

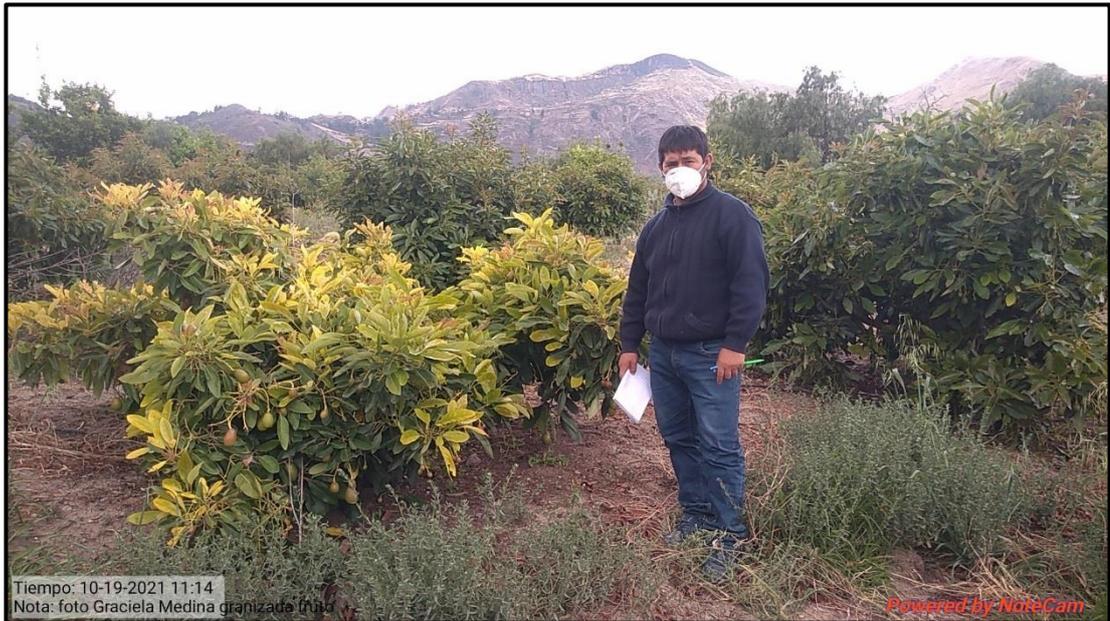


Foto 23. Evaluación visual de síntomas característicos de deficiencia de hierro y magnesio



**UNSCH**

FACULTAD DE CIENCIAS  
**AGRARIAS**

## CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por RR N° 294-2022-UNSCH-R; hace constar que el trabajo titulado;

**Técnica del elemento faltante en la evaluación de la fertilidad del suelo con cultivo de palto (*Persea americana* Mill.), en Churcampa - Huancavelica, 2021**

Autor : Julio Cesar Guillen Toscano

Asesor : Juan Benjamin Giron Molina

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **veinticinco por ciento (25 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

**Nota:** Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2272134260

Ayacucho, 16 de enero de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ciencias Agrarias  
  
M. Sc. Walter A. Mateu Mateo  
Pda. Comisión Turnitin - FCA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Bach. JULIO CÉSAR GUILLEN TOSCANO**

**R.D. N° 552-2023-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los quince días del mes de diciembre del año dos mil veintitrés, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del señor Decano de la Facultad de Ciencias agrarias Dr. Felipe Escobar Ramírez, los miembros del jurado conformado por el M.Sc. Francisco Condeña Almora, Ing. Juan Benjamín Girón Molina como asesor, y M.Sc. Efigenio Quispe Curi; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulada: **Técnica del elemento faltante en la evaluación de la fertilidad del suelo con cultivo de palto (*Persea americana* Mill.), en Churcampa - Huancavelica, 2021.** para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por la Bachiller **JULIO CÉSAR GUILLEN TOSCANO**.

El señor Decano, previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberacion y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

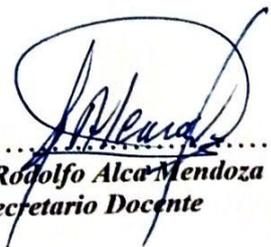
<b>Jurado evaluador</b>	<b>Exposición</b>	<b>Respuestas a las preguntas</b>	<b>Generación de conocimiento</b>	<b>Promedio</b>
M.Sc. Francisco Condeña Almora	14	15	15	15
Ing. Juan Benjamín Girón	14	14	16	15
M.Sc. Efigenio Quispe Curi	15	15	15	15
<b>PROMEDIO GENERAL</b>				<b>15</b>

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

  
.....  
**M.Sc. Francisco Condeña Almora**  
**Presidente**

  
.....  
**Ing. Juan Benjamín Girón**  
**Asesor**

  
.....  
**M.Sc. Efigenio Quispe Curi**  
**Jurado**

  
.....  
**Mtro. Rodolfo Alca Mendoza**  
**Secretario Docente**



**UNSCH**

FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRARIAS

## HOJA DE OPINIÓN Y CONFORMIDAD

El jurado de la sustentación de tesis, el tesista, el asesor y la comisión Académica del Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, da conformidad al Título del informe de investigación (X) o suficiencia profesional ( )

**Técnica del elemento faltante en la evaluación de la fertilidad del suelo con cultivo de palto (*Persea americana Mill.*), en Churcampa – Huancavelica, 2021**

Autor: **Guillen Toscano Julio Cesar**

Aprobado el: **15 de diciembre del 2023**

- I. El asesor de tesis declara que ha corregido la redacción del informe respetando las reglas gramaticales y tildación.

Ing. Juan Benjamin Girón Molina

- II. El jurado de la sustentación de tesis da conformidad que el autor ha subsanado las observaciones efectuadas durante la sustentación de tesis.

M.Sc. Francisco Condeña Almora  
Presidente de jurado

Ing. Efigenio Quispe Curi

Dr. Raúl José Palomino Marcatoma

- III. La comisión Académica del Consejo de Facultad da conformidad al informe, que ha sido redactado respetando el formato establecido por reglamento interno de la Facultad de Ciencias Agrarias y cumple con los demás requisitos estipulados por la UNSCH.

M.Sc. Walter Augusto Mateu Mateo

# Técnica del elemento faltante en la evaluación de la fertilidad del suelo con cultivo de palto (Persea americana Mill.), en Churcampa –Huancavelica, 2021

*por* Julio Cesar Guillen Toscano

---

**Fecha de entrega:** 16-ene-2024 05:05p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2272134260

**Nombre del archivo:** JULIO\_CESAR\_GUILLEN\_TOSCANO\_--.docx (28.72M)

**Total de palabras:** 30874

**Total de caracteres:** 162497

# Técnica del elemento faltante en la evaluación de la fertilidad del suelo con cultivo de palto (*Persea americana* Mill.), en Churcampa -Huancavelica, 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD

**25%**

INDICE DE SIMILITUD

**26%**

FUENTES DE INTERNET

**2%**

PUBLICACIONES

**12%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unsch.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>14%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b> Trabajo del estudiante	<b>6%</b>
<b>3</b>	<b>ri.agro.uba.ar</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>bdigital.unal.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>dspace.unitru.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.unasam.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

9	<a href="http://www.fertilab.com.mx">www.fertilab.com.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://tumi.lamolina.edu.pe">tumi.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://docslide.us">docslide.us</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
15	<a href="http://es.weatherspark.com">es.weatherspark.com</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://repositorio.unan.edu.ni">repositorio.unan.edu.ni</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Activo

Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias      < 30 words