

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de Cacao en
el Distrito de Canayre - Huanta - Ayacucho. 2022**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTADO POR:

Bach. Hugo Ferrua Ruiz

ASESOR:

Ing. Juan Benjamín Girón Molina

Ayacucho - Perú

2023

*A mis apreciados padres, Alberto Ferrua Caballero
y Justina Ruiz Torres, con todo amor.*

*A mi Hermano Orlando, que Dios lo guarde en su
reino; a mis hermanos por el apoyo incondicional
y colaboración para culminar este trabajo.*

*A mi Esposa Vilma e hijos M. Danther Gustavo y
Hugo; Ethan Gael, que me motiva día a día a
superarme y dar lo mejor de mí.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, casa de estudios, que alberga a cientos de jóvenes con ansias de superarse profesionalmente, en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias por haberme brindado la oportunidad en mi formación personal y profesional.

A la Escuela Profesional de Agronomía, en especial a su plana de docentes, a quienes les agradezco por sus enseñanzas y experiencias, que han contribuido en la culminación de mis estudios universitarios.

Al Ing. Juan Benjamín Girón Molina, asesor del presente trabajo, quien supo brindarme su apoyo y valiosa orientación en la conducción y culminación del presente trabajo de investigación.

A los miembros del jurado por el tiempo dedicado a la revisión de mi tesis; por sus recomendaciones y sugerencias para la redacción y publicación del presente trabajo de investigación.

A todas mis amistades que me apoyaron directa e indirectamente en todo el proceso de elaboración de mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I	4
MARCO TEÓRICO	4
1.1. ANTECEDENTES	4
1.2. FERTILIDAD DEL SUELO	5
1.2.1. Evaluación de la fertilidad del suelo.....	5
1.2.2. Elementos esenciales	9
1.3. NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS	10
1.4. EL NITRÓGENO	10
1.5. EL FÓSFORO	13
1.6. EL POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO	16
1.6.1. El potasio	17
1.6.2. El calcio	19
1.6.3. El magnesio	21
1.7. EL AZUFRE.....	22
1.8. INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO DE CACAO	24
1.8.1. Centro de origen y antecedentes históricos	24
1.8.2. Taxonomía.....	24
1.8.3. Requerimientos del cultivo de cacao	25
1.9. EL TOMATE COMO CULTIVO INDICADOR	28
CAPÍTULO II	29
METODOLOGÍA	29
2.1. LUGAR DEL EXPERIMENTO	29
2.2. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	30
2.2.1. Suelos utilizados en el experimento	30

2.2.2.	Muestreo y preparación del suelo	31
2.2.3.	Instalación del experimento en el invernadero:.....	31
2.2.4.	Técnicas analíticas utilizadas en los análisis de suelos	33
2.3.	VARIABLES EN ESTUDIO	34
2.4.	TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE.....	34
2.5.	TRATAMIENTOS	35
CAPÍTULO III.....		37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		37
3.1.	DEL ANÁLISIS DE LOS SUELOS	37
3.1.1.	Suelo de Coronel Portillo	37
3.1.2.	Suelo de Nueva Maravilla	42
3.1.3.	Suelo de Paraíso	43
3.1.4.	Suelo de Villa Virgen Alta	44
3.1.5.	Suelo de Villa Virgen Baja.....	46
3.1.6.	Suelo de Canayre Alta	47
3.1.7.	Suelo de Canayre Baja.....	50
3.1.8.	Suelo de Pacífico	51
3.2.	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEFICIENTES EN LOS SUELOS A TRAVÉS DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA	52
3.2.1.	Suelo de Coronel Portillo	53
3.2.2.	Suelo de Nueva Maravilla	54
3.2.3.	Suelo de Paraíso	55
3.2.4.	Suelo de Villa Virgen Alta	56
3.2.5.	Suelo de Villa Virgen Baja.....	57
3.2.6.	Suelo de Canayre Alta	58
3.2.7.	Suelo de Canayre Baja.....	59
3.2.8.	Suelo de Pacífico	60
3.3.	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEFICIENTES EN LOS SUELOS POR TRATAMIENTO A TRAVÉS DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA ...	61
3.3.1.	Tratamiento testigo (T).....	62
3.3.2.	Tratamiento sin nitrógeno (-N).....	63
3.3.3.	Tratamiento sin fósforo (-P)	64
3.3.4.	Tratamiento sin potasio (-K)	65
3.3.5.	Tratamiento sin azufre (-S).....	66

3.3.6. Tratamiento sin calcio (-Ca)	67
3.3.7. Tratamiento sin magnesio (-Mg)	68
3.3.8. Tratamiento sin microelementos (-ME)	69
3.3.9. Tratamiento completo (C)	71
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES.....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Ubicación de coordenadas geográficas de obtención de muestras de suelos.	29
Tabla 2.2. Niveles y Fuentes de Nutrientes	32
Tabla 2.3. Tratamientos empleando la técnica del elemento faltante.....	35
Tabla 2.4. Modelo del análisis de varianza (ANVA)	36
Tabla 3.1. Análisis de caracterización de los suelos con cultivo de cacao de las parcelas representativas de las ocho comunidades.	39
Tabla 3.2. Análisis de Varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) en diferentes suelos, localidades y su interacción”.	52
Tabla 3.3. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Coronel Portillo”.	53
Tabla 3.4. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Coronel Portillo.	53
Tabla 3.5. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Nueva maravilla.	54
Tabla 3.6. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Nueva Maravilla.	54
Tabla 3.7. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Paraíso.	55
Tabla 3.8. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Paraíso.	55
Tabla 3.9. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Villa Virgen Alta.	56
Tabla 3.10. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Villa Virgen Alta.	57
Tabla 3.11. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Villa Virgen Baja.....	57
Tabla 3.12. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Villa Virgen Baja.....	58
Tabla 3.13. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Canayre Alta.....	58

Tabla 3.14. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Canayre Alta.	59
Tabla 3.15. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Canayre Baja.	59
Tabla 3.16. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Canayre Baja.....	60
Tabla 3.17. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Pacífico.	60
Tabla 3.18. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Pacífico.	61
Tabla 3.19. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento testigo en los diferentes suelos.	62
Tabla 3.20. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin nitrógeno (-N) en los diferentes suelos.	63
Tabla 3.21. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin fósforo (-P) en los diferentes suelos.	64
Tabla 3.22. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin potasio (-K) en los diferentes suelos.....	65
Tabla 3.23. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin azufre (-S) en los diferentes suelos.	66
Tabla 3.24. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin calcio (-Ca) en los diferentes suelos.	67
Tabla 3.25. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin magnesio (-Mg) en los diferentes suelos.	68
Tabla 3.26. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin microelementos (-ME) en los diferentes suelos.....	69
Tabla 3.27. Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento completo (C) en los diferentes suelos.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Mapa referencial del distrito de Canayre.....	30
Figura 2.2. Distribución de las macetas para conducción del experimento.....	35
Figura 3.1. Prueba Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento testigo (T) en los diferentes suelos	62
Figura 3.2. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin nitrógeno (-N) en los diferentes suelos.....	63
Figura 3.3. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin fósforo (-P) en los diferentes suelos.....	64
Figura 3.4. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin potasio (-K) en los diferentes suelos.....	65
Figura 3.5. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin azufre (-S) en los diferentes suelos	66
Figura 3.6. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin calcio (-Ca) en los diferentes suelos	67
Figura 3.7. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin magnesio (-Mg) en los diferentes suelos	69
Figura 3.8. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento sin microelementos (-ME) en los diferentes suelos.....	70
Figura 3.9. Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca del tratamiento completo (C) en los diferentes suelos.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Resultados de la evaluación del rendimiento de materia seca de tomate por cada localidad y elemento faltante	78
Anexo 2. Panel fotográfico de la toma de muestras y procesamiento a nivel de invernadero	79

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la fertilidad de los suelos con cultivo de cacao del distrito de Canayre – Huanta, mediante la técnica del elemento faltante. Se planteó con el objetivo de: Determinar el nivel de macroelementos en algunos suelos con cultivo de cacao del distrito de Canayre e Identificar los elementos nutritivos deficientes en los suelos en estudio y su estado nutricional a través de la producción de materia seca de *Lycopersicum sculentum*. De acuerdo a los resultados de análisis de suelo se encontró que el fósforo disponible de los suelos con cultivo de cacao se encuentra en un nivel muy bajo, nitrógeno total de medio a bajo, potasio disponible muy bajo, con relaciones catiónicas desbalanceadas. El nivel nutricional de los suelos en estudio está influenciado por la acidez de los mismos, ya que afecta en la disponibilidad del P, S, Ca y Mg. El fósforo es el factor más limitante para el crecimiento y desarrollo de las plantas indicadoras. El orden de los defectos es P>S>N>K>Ca>Mg>ME. El mayor rendimiento de materia seca de todos los tratamientos se obtuvo en el suelo de la localidad de Coronel Portillo, seguido de Pacífico, el cual presenta un mejor estado nutrimental en comparación con los suelos de las otras localidades. Se obtuvo mayor rendimiento de materia seca con el tratamiento sin microelementos (-ME) y sin magnesio (-Mg). Con lo que respecta al tratamiento sin fósforo (-P) se comporta de manera contraria al tratamiento anterior, seguido de sin azufre (-S), sin nitrógeno (-N), sin potasio (-K) y sin calcio (-Ca).

Palabras clave: Fertilidad de suelo, cultivo, cacao, nutrición

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la fertilidad del suelo es una tarea compleja, ya que los suelos exhiben una variedad de propiedades físicas, químicas y biológicas. Estas propiedades les permiten apoyar el crecimiento y desarrollo de las plantas y proporcionar nutrientes. Un método para evaluar el estado físico-químico del suelo es el análisis del suelo, cuya información es necesaria para implementar un plan de fertilización. Esta información debe ir acompañada de un análisis foliar para verificar que lo que se echa al suelo se refleja en la planta y por tanto en el producto. (Black, 1975)

La elección de la proporción adecuada de nutrientes para una planta depende del conocimiento de las necesidades de nutrientes del cultivo (extracción) y del valor nutricional del suelo.

Palomino (1987), en su trabajo de investigación titulada “*Estado nutricional de algunos suelos agrícolas de la provincia de Huamanga, Cangallo, Víctor Fajardo y Vilcashuamán del departamento de Ayacucho*” menciona que:

El inadecuado manejo de los suelos, asimismo del cultivo de cacao, hace que estos cultivos tengan bajos rendimientos, principalmente debido a la baja fertilidad de los suelos. Una de las causas podría atribuirse a la baja disponibilidad de nutrientes de los suelos por diversas causas como la acidez, el tipo de material originario, la textura del suelo, condiciones climáticas, entre otros. (p. 56)

Todo esto está relacionado con los bajos precios de los productos, los problemas de comercialización, los altos precios de los fertilizantes y la baja disponibilidad de estas materias primas en la región. Para gestionar adecuadamente estos suelos y aumentar la producción en beneficio de los productores de cacao, es importante evaluar los tipos de suelo y sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

La presente investigación evaluó la fertilidad del suelo de diferentes anexos del Distrito de Canayre – Huanta, que cuenta como cultivo base el cacao, mediante la técnica del elemento faltante que es un método biológico rápido.

El experimento se basó a lo señalado por Ibañez y Aguirre (1983), mediante la técnica de “comparar los rendimientos de un cultivo cuando se hizo disponible un elemento en ese suelo mediante la fertilización versus el rendimiento del mismo cultivo, cuando solo se ha empleado la fertilidad natural de ese suelo”.

Con estas consideraciones se planteó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la fertilidad de los suelos con cultivo de cacao en el distrito de Canayre.

Objetivos específicos

- 1 Determinar el nivel de fertilidad de los suelos con cultivo de cacao del distrito de Canayre.
- 2 Identificar los elementos nutritivos deficientes en los suelos en estudio.
- 3 Relacionar las propiedades químicas de los suelos a través de la producción de materia seca.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Yanasupo (2011), en su informe de práctica pre profesional titulada “*Estado nutricional de algunos suelos agrícolas del distrito de Ayna San Francisco, Departamento de Ayacucho*” reportó que:

Al evaluar el estado nutricional de los suelos de las localidades de Rosario, Naranjal, San Martín y Orillas del Río Apurímac del Distrito de Ayna San Francisco (Ayacucho), encontró que el nivel nutricional de los suelos relacionados a la disponibilidad del P, S, Ca y Mg está influenciado por la acidez de los mismos. El Fósforo es el más limitante en el crecimiento y desarrollo de la planta indicadora de tomate. Encontró el orden de deficiencia siguiente: P>ME>Ca>Mg>N. El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo con el tratamiento Completo (C) en todos los suelos; todo lo contrario, se reporta en el tratamiento sin Fósforo seguido de sin ME, sin Ca, sin Mg y sin S. El testigo, en algunos casos ha superado al elemento faltante que implica la nutrición mineral a través de sus reservas naturales. (p. 13)

Peralta (2003), en su investigación titulada “*Caracterización morfogénica y estado nutricional de suelos agrícolas de Chiara Ayacucho, con énfasis en zonas paperas*” indicó que:

Al evaluar la Caracterización Morfogénica y Estado nutricional de suelos agrícolas de Chiara (Ayacucho), encontró que los nutrientes deficientes verificados por los síntomas de deficiencia y rendimiento de materia seca son en orden de importancia: P, S, N, K, Ca Mg y Microelementos. (p. 47)

1.2. FERTILIDAD DEL SUELO

Thompson (1974), refiere en su libro *“El suelo y su fertilidad”* se refiere a la fertilidad del suelo como:

La fertilidad de suelo es la capacidad del mismo para suministrar nutrientes al crecimiento de las plantas. El suelo es un almacén de nutrientes de las plantas, guardados en muchas formas, algunas están muy disponibles para las plantas, otras no tanto. El concepto de fertilidad de suelo incluye la cantidad de nutrientes que contiene el suelo sino como también están bien protegidos con respecto a la lixiviación, su disponibilidad, y con qué facilidad funcionan las raíces. (p. 32)

Un punto de partida para el examen de la fertilidad del suelo es definir el término “Nutriente de la planta”.

1.2.1. Evaluación de la fertilidad del suelo

Fassbender (1986), en su libro refiere con respecto a la evaluación de la fertilidad del suelo que:

La evaluación de la fertilidad de un suelo es un problema complejo, debido a la variedad de condiciones químicas, físicas, biológicas y físico químicas involucradas. A pesar de que no es posible medir de manera absoluta el nivel de fertilidad de suelo, el desarrollo progresivo de técnicas y procedimientos para el análisis de suelo y los avances en la interpretación de resultados hace posible predecir, con cierto grado de seguridad, la posibilidad de respuesta a la aplicación de cal y fertilizantes. (p. 65)

Además, Fassbender (1986) refiere que los agricultores pueden utilizar tres métodos para detectar deficiencias de nutrientes de las plantas:

Una inspección visual del cultivo en busca de signos de imperfección es suficiente para determinar defectos. Desafortunadamente, este método detecta defectos críticos sólo después de que la rentabilidad se ha visto comprometida. Incluso los síntomas visibles pueden ser poco fiables. Por ejemplo, el albinismo puede ser el resultado de una deficiencia de nitrógeno, alimentación de nematodos, suelo salado o seco, enfermedades u otros problemas no relacionados con el suministro de nutrientes del suelo. Las pruebas de suelo miden los nutrientes del suelo y otras propiedades del suelo. A partir de estos análisis, los agricultores determinan las

necesidades de cal y fertilizantes para sus cultivos. Sin embargo, las pruebas de suelo tienen limitaciones. Las condiciones que afectan la absorción de nutrientes (como el suelo húmedo) no se pueden detectar en el laboratorio. El análisis de tejidos solo registra los nutrientes contenidos en el tejido vegetal. (p. 66)

De los tres métodos descritos, “el análisis de suelo es el más importante para la mayoría de los cultivos especialmente para las anuales. Pueden realizarse un análisis de suelo al principio de la estación para permitir al agricultor suministrar el nutriente necesario antes de la siembra” (Fassbender, 1986, p. 66).

a. Análisis de suelo

Fassbender (1986), con respecto a uno de los métodos que es el análisis del suelo refiere que:

Hay dos formas básicas para analizar las muestras de suelo. El método más antiguo utiliza reacciones químicas que producen cambios de color. El color exacto depende de la cantidad de minerales disponibles en el suelo. En el caso del análisis del pH, el color depende del pH del suelo. Una cantidad medida de sustancia química (o reactivo) se gotea en el tubo. El color de la mezcla resultante es entonces comparado con la de estándares conocidos y se mira en el estándar la cantidad de nutriente. Un problema es el elemento humano ya que los resultados están basados en la técnica del probador (persona que hace el ensayo) y en lo que él o ella ven. El empleo de comparaciones de color visuales ha sido reemplazado en el laboratorio de ensayos por aparatos tan modernos como el medidor de pH y el espectrofotómetro. Estos aparatos miden de una forma rápida y exacta cantidades de minerales en las muestras de suelo. Los instrumentos son caros, pero mejoran considerablemente las operaciones de laboratorio permitiendo la realización de ensayos más rápidos y con una mayor fiabilidad. (p. 70)

a.1. Objetivos de los análisis de suelos

Para Fitts y Nelson (1978), refiere sobre el análisis de suelo que es necesario obtener los resultados de los niveles nutricionales del suelo, lo cual es primordial para realizar un cronograma de fertilización del suelo, lo cual va a manifestarse satisfactoriamente en el rendimiento de los cultivos que se siembren en el suelo, además

con el análisis de suelos también se puede realizar enmiendas o corrección del pH del suelo.

a.2. Como se analiza el suelo

La mayoría de los laboratorios de análisis de suelos utilizan los últimos equipos y métodos sofisticados. La velocidad y precisión de las mediciones de laboratorio se logran mediante el uso de espectrofotómetros de emisión y absorción atómica y mejores medidores de pH. En general, existen tres tipos de análisis de suelo:

- *Análisis de fertilidad* “Incluye la determinación de pH, CE, Materia orgánica, P y K disponibles. Usado para la determinación de las dosis de fertilización”.
- *Análisis de caracterización* “Incluye el análisis de fertilidad más CIC, cationes cambiabiles, carbonatos, textura, etc. Es un análisis completo y sirve para inferir la fertilidad potencial y la clasificación de los suelos”.
- *Análisis especiales* “Comprende la determinación de elementos específicos y poco comunes tales como: micro-elementos (Fe, Cu, Zn, Mn, Cl, B, Mo); elementos contaminantes (Cd, Ni, Pb, Cr, etc.); metales pesados (As, Hg, etc.); entre otros”.

b. Análisis de plantas

Con respecto al análisis de plantas Bazán (1980), en el documento titulado *Manual de análisis de suelos y plantas* refiere que:

El análisis de plantas generalmente conocido como análisis foliar, se utiliza para medir los niveles de nutrientes en partes de las plantas (hojas). El análisis foliar se ha utilizado durante mucho tiempo, pero en los últimos años se ha utilizado como una herramienta para determinar el estado nutricional de los cultivos, e indirectamente para determinar el estado de fertilidad del suelo para permitir la determinación de los requerimientos nutricionales de los cultivos. Los resultados del análisis de hojas se pueden utilizar para varios propósitos. El más común de estos propósitos es detectar síntomas de deficiencias nutricionales. (p. 96)

Plaster (1982, como se citó en Ruiz, 2015), en su investigación titulada “*Evaluación del estado nutricional de suelo con cultivo de café (Coffea arábica) del distrito de Anco – La Mar, Ayacucho*” indica que:

Los análisis de tejidos de la planta en combinación con los de suelo dan la visión más completa del estado nutricional de la planta. En los análisis de tejidos, se

realizan solo de a los nutrientes de la, planta en lugar de los nutrientes del suelo. Estos análisis son útiles para hacer “Públicos” los problemas de los oligoelementos y quizás sean más confiables que los del suelo. Los análisis de tejido pueden también indicar si la condición del suelo está impidiendo la absorción de nutrientes. Algunos agricultores emplean los análisis de tejidos para probar la efectividad de sus programas de fertilización. (p. 5)

Factores que influyen en el análisis foliar

Ruiz (2015) en su investigación titulada “*Evaluación del estado nutricional de suelo con cultivo de café (Coffea arábica) del distrito de Anco – La Mar, Ayacucho*” indica que:

Existen varios factores que afectan el estado nutricional de las plantas y a su vez, el análisis de las hojas. Los estudios han demostrado que los niveles de nutrientes como el nitrógeno, el potasio y el magnesio cambian a medida que las plantas envejecen. Esta evidencia indica que el momento del muestreo, la ubicación de las hojas y el tipo de hoja deben determinarse con mucho cuidado para obtener una muestra representativa y garantizar un análisis foliar válido. (p. 6)

Además Ruiz (2015) añade que “los niveles de nutriente de las plantas no son todos constantes, lo general es que sean variables en función de una serie de factores tales como por ejemplo la estación climática” (p. 6).

c. Pruebas biológicas

Bray (1948, como se citó en Ruiz, 2015), en su investigación titulada “*Evaluación del estado nutricional de suelo con cultivo de café (Coffea arábica) del distrito de Anco – La Mar, Ayacucho*” indica que:

Fue el primero en introducir el método de correlacionar métodos químicos y respuestas a los fertilizantes. Sugirió modificar la ecuación de Mitscherlich para tener en cuenta los rendimientos relativos expresados como porcentajes y valores de análisis del suelo. A partir de esta obra de Bray también se realizaron otras obras con esta técnica. Este es el elemento faltante que Martini ha probado con éxito en cuanto a versatilidad en suelo centroamericano. En Perú fue utilizado por Ibáñez y Paredes en Ayacucho, Prado en Apurímac, Guido en Ancash y García en suelos del departamento de Ucayali. Dado que el método del elemento faltante

aplica todos los nutrientes distintos del elemento objetivo, es adecuado para trabajos de invernadero que utilizan una pequeña cantidad de tierra y son propensos a la deficiencia de nutrientes. Además, es muy adecuado para suelos pobres que suelen sufrir deficiencias y desequilibrios de nutrientes. (p. 7)

El experimento se basó a lo señalado por Ibañez y Aguirre (1983), mediante la técnica de “comparar los rendimientos de un cultivo cuando se hizo disponible un elemento en ese suelo mediante la fertilización versus el rendimiento del mismo cultivo, cuando solo se ha empleado la fertilidad natural de ese suelo”.

Por ello es imprescindible “contar con un análisis completo de suelos para luego en el tratamiento completo dar al suelo el estado ideal de fertilidad”.

1.2.2. Elementos esenciales

Zavaleta (1992) menciona que “Dos criterios determinan la esencialidad de un nutriente para la planta: (1) la planta lo necesita para completar su ciclo de vida y (2) está directamente envuelto en la nutrición de la planta”.

Macro y micronutrientes

Ruiz (2015), en su investigación titulada “*Evaluación del estado nutricional de suelo con cultivo de café (Coffea arábica) del distrito de Anco – La Mar, Ayacucho*” indica que:

Los macronutrientes son requeridos por las plantas en cantidades normalmente sobre 500 ppm; ya ellos hacen el volumen del tejido estructural y protoplasmático de la planta; mientras que los micronutrientes son necesarios solamente en cantidades muy pequeños, usualmente menos del 50ppm. Desde que aquellos están asociados con componentes o sistemas muy pequeños de las plantas. En el suelo se encuentran cientos de minerales, pero en las plantas solo se han encontrado alrededor de 50 elementos y de ellos solo 16 han sido reconocidos como esenciales para el crecimiento de las plantas. Los macronutrientes son los más requeridos, midiéndose su cantidad respecto a las soluciones nutritivas, en gramos es decir medidas en su concentración. (p. 9)

Los Macronutrientes son el nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, azufre y magnesio. Esto a su vez pueden dividirse en:

- Macronutrientes primarios: “Nitrógeno, Fósforo y Potasio”.
- Macronutrientes secundarios: “Calcio, Azufre y Magnesio”.

Ruiz (2015) refiere que los micronutrientes son “elementos absorbidos en menores proporciones; se miden en miligramos por litro (mg/l), o en partes por millón (ppm) que representan la misma. Siendo el cloro, boro, zinc, manganeso, cobre, molibdeno, hierro” (p. 10).

Con respecto a los macronutrientes indica que “poseen un alto umbral de toxicidad, es decir que pueden absorberse en grandes cantidades sin efectos nocivos, en cambio los micronutrientes tienen un nivel de toxicidad bajo, y el límite entre la carencia y la toxicidad está muy próximo” (Ruiz, 2015, p. 10).

1.3. NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS

Zavaleta (1992, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto a la nutrición mineral de las plantas menciona que:

Los minerales forman rocas y estas al meteorizarse forman el material madre del suelo. En el suelo se encuentran cientos de minerales, pero en las plantas solo se han encontrado alrededor de 50 elementos y de ellos solamente 16 han sido reconocidos como esenciales para el crecimiento de las plantas. (p. 9)

Según Rutherford (1872, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto a la nutrición mineral de las también indica que:

Demostró la esencialidad del nitrógeno, que ya en 1897 a finales del siglo pasado quedó demostrada por su correlación con el oxígeno, el hierro, el calcio, el carbono, el hidrógeno, el potasio y el manganeso, y entre 1903 y 1954 del presente siglo. ha sido probado. Lo demostré. Fósforo, Magnesio, Boro, Azufre, Cobre, Zinc, Molibdeno, Cloro. (p. 9)

1.4. EL NITRÓGENO

Según Guerrero (1990, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto al elemento esencial como el nitrógeno menciona que:

El nitrógeno presente en el suelo se encuentra bajo las formas de nitrógeno

orgánico e inorgánico. El nitrógeno se encuentra formando parte de la materia orgánica proveniente de organismos vegetales y animales. Este nitrógeno presenta casi la totalidad del nitrógeno en el suelo; sin embargo, no puede ser utilizado por la planta mientras no se transforme previamente en nitrógeno inorgánico. (p. 9)

Fassbender (1987, como se citó en Ruiz, 2015) de acuerdo a las investigaciones realizadas sobre el contenido de nitrógeno en diferentes tipos de suelo menciona que:

En suelos de climas tropicales el contenido de nitrógeno varía ampliamente entre 0,02 y 0,4%, y en suelos desérticos y semidesérticos es muy elevado. En casos extremos, como en suelos muy ricos en materia orgánica, el contenido de nitrógeno puede llegar hasta 2. % alcanzar. La cantidad de nitrógeno presente en el suelo está controlada, entre otras cosas, por las condiciones climáticas y la vegetación. Esto último también afecta a las materias primas, a la actividad humana y al tiempo en que estos factores actuaron sobre el suelo. (p. 10)

El Nitrógeno en los suelos

Según Fassbender (1987, como se citó en Ruiz, 2015), de acuerdo a las investigaciones realizadas refiere que:

El NH_4^+ en el suelo realiza un proceso de desnitrificación, pasando de NH_4^+ a NO_2^- y a NO_3^- . En este proceso las bacterias llamadas Nitrosomonas y Nitrobacter están a cargo de la desnitrificación. El proceso de transformación de transformación de NO_2^- a NO_3^- es rápido, donde las bacterias Nitrobacter presentan una notable avidez por NO_2^- , para luego transformarlo a NO_3^- . Este proceso es favorable disminuyendo los elementos tóxicos, Además en el suelo existen hay presencia de microorganismos que también presentan un ciclo interno del N, las cuales se inmovilizan el para formar nuevamente sustancias orgánicas nitrogenadas. Las reservas de N orgánico alcanzan 95 al 98% de N en el suelo, de ellos paulatinamente se forman NH_4^+ y NO_3^- , formas inorgánicas del suelo, que son absorbidas por las plantas. (p. 11)

El nitrógeno en los suelos tropicales:

Fassbender y Bornemisza (1986, como se citó en Ruiz, 2015), con lo que respecta al contenido de materia orgánica y de nitrógeno en los suelos, indican que “están

determinados, en primer lugar, por el clima y la vegetación y segundo lugar, por factores locales como relieve, material parental del suelo tipo y duración de la explotación de los suelos y por otras características físicas y microbiológicas” (p. 10). La descomposición de la materia orgánica, también se ve influenciado por el pH del suelo, es preciso aclarar también que el efecto del pH en la disponibilidad del nitrógeno es indirecto.

El pH menor de 5.5 inhibe la actividad de los organismos nitrificantes. El pH 6 - 8 es el rango más deseable para la disponibilidad del nitrógeno. Al aumentar el agua de la lluvia aumenta la biomasa de los bosques y así su producción de hojarasca. Sin embargo, esta puede provocar una disminución de la materia orgánica, debido probablemente, al movimiento de la misma por erosión. (p. 10)

El Nitrógeno en la planta

Según Davelouis (1991, como se citó en Ruiz, 2015), menciona que “la materia seca vegetal contiene de 2 a 4% de nitrógeno. El contenido de carbono es de 40%, sin embargo, el nitrógeno es el constituyente elemental indispensable elemental indispensable en numerosos compuestos orgánicos importantes (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos)”.

El nitrógeno es un componente de las proteínas el contenido de proteína de la planta está directamente relacionada con la concentración de nitrógeno de los tejidos de la planta (% de proteína =%N de 6.25). Además, el nitrógeno es un componente de las moléculas de clorofila y de los ácidos nucleicos con constitución a los cromosomas. El nitrógeno acelera el crecimiento. Las plantas que reciben el nitrógeno adecuado tienen un crecimiento vigoroso, unas hojas grandes y largos entrenudos de tallo. (p. 11)

Edward J. Plaster (1982), manifiestan que las plantas con demasiado contenido de nitrógeno no crecen adecuadamente. Los problemas asociados a demasiado nitrógeno son los siguientes:

Promueve un crecimiento blando, débil y fácilmente perjudicable, el crecimiento blando es propenso a algunas enfermedades e insectos, un crecimiento demasiado rápido retarda la madurez y la maduración de muchas cosechas, un crecimiento demasiado rápido también retrasa el proceso de endurecimiento externo que protege a muchas plantas del frío de invierno y puede acumular altos niveles de

nitratos en algunos cultivos, con posibles efectos para la salud de los animales y personas que las consumen. (p. 93)

1.5. EL FÓSFORO

Buckman (1985), menciona que “exceptuando al nitrógeno, ningún elemento es tan decisivo para el crecimiento de las plantas, como el fósforo”.

Fassbender (1984, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto a el elemento esencial que es el fósforo señala que:

El fósforo es relativamente estable en los suelos, no presentan compuestos inorgánicos como los nitrogenados que pueden ser lixiviados volatilizados. Esta estabilidad se debe a su baja solubilidad, que a veces causa deficiencias de disponibilidad para las plantas los fosfatos se originan del mineral apatita, que está constituido 90% de fosfato tricálcico, conteniendo F y Ca en forma de sal doble, cierta cantidad de ácido sílico y en ciertas ocasiones Fe y Mn. Los cristales apatita se encuentran en la mayoría de las rocas ígneas y metamórficas, que, al meteorizarse, la apatita y su fosfato componente se incorpora al suelo. (p. 12)

Fósforo en el suelo

Black (1975, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto a la presencia de fósforo en el suelo refiere que:

El fosforo en el suelo se encuentra casi exclusivamente como orto fosfato, derivándose todos los compuestos de ácido fosfórico. Puede clasificarse como orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza en el que se halla. La fracción inorgánica puede clasificarse por su naturaleza física, mineralógica o química o por combinación de ellas en forma cristalinas con el Fe, Al, Ca; así como fosfatos amorfos y ocluidos. (p. 12)

Tisdale y Nelson (1987, como se citó en Ruiz, 2015), indican que “la fracción orgánica se halla en el humus, de acuerdo a su estructura química, forma fosfatos orgánicos, como: fosfolípidos, fosfoproteínas, fosfatos metabólicos, fosfato de inositol y ácidos nucleicos” (p. 12).

Fassbender (1984, como se citó en Ruiz, 2015), menciona que los “factores como la temperatura, precipitación, grado de desarrollo de los suelos, acidez, actividad

biológica; determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo” (p. 12).

El Fósforo en la solución del suelo

Domínguez y Estrada (1989 y 1986 como se citó en Ruiz, 2015) sobre el fósforo en la solución del suelo menciona que “se encuentra en cantidades muy pequeñas, de 0.03 a 0.30 ppm, siendo las formas importantes: los fosfatos monos y di básicos y en menor importancia los ortofosfitos; de modo que en los suelos pobres deben renovarse para cubrir las necesidades de las plantas” (p. 13).

Thompson (1974, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto a la concentración de iones en el suelo refiere que:

La concentración de iones fosfato en la solución están relacionados con el pH del medio. Entre 2 y 7, predominan los iones $H_2PO_4^-$ y entre 7 a 12, iones HPO_4^{2-} . La concentración del fosfato monobásico es máxima a pH 4 y mínimo a pH de 9, lo contrario ocurre con el fosfato dibásico. Los dos iones se encuentran en equilibrio a un pH de 7.2. Entre el pH 5.5 a 6.0, la solución acuosa del suelo contiene la máxima concentración de fosfato monobásico; estando en equilibrio con los fosfatos de Fe, Al y Ca. (p. 13)

El Fósforo en la planta

Domínguez (1989, como se citó en Ruiz, 2015), afirma que “las plantas absorben elementos nutritivos por contacto directo de las raíces con la partícula sólida del suelo, pequeñas cantidades de fósforo; pero lo hacen mayormente por difusión de la solución del suelo en forma de ion ortofosfatos monobásico y en menor cantidad como ion ortofosfato dibásico” (p. 13).

Black (1975), señala que “la absorción de iones ortofosfato, están influenciados por otros aniones minerales; disminuye cuando aumenta en la solución del suelo las concentraciones de los iones NO_3^- y SO_4^{2-} , aumenta en presencia del catión” (p. 53).

Tisdale y Nelson (1987, como se citó en Ruiz, 2015), en cuanto al rol del fósforo en la planta, declaran que:

Los compuestos anteriores y otros compuestos organofosforados son responsables

de la mayoría de los cambios de energía en los procesos vitales aeróbicos y anaeróbicos. Estos compuestos de fósforo son importantes en la fotosíntesis, la conversión de carbohidratos y compuestos relacionados, es decir, la glucólisis, el metabolismo del azufre, la oxidación biológica y otros procesos. El fósforo es un elemento esencial y participa en procesos de transferencia de energía que son muy importantes para la vida y el crecimiento de las plantas. (p. 14)

Síntomas de deficiencia de fósforo

Devlin (1970), señala que la “deficiencia en fósforo, puede provocar en las plantas, la caída prematura de hojas, aparición de pigmentación roja o púrpura. Presencia de zonas necróticas sobre las hojas, peciolo, frutos; con aspecto achaparrado y débil de las plantas”.

Devlin (1970), Black (1975), Tisdale y Nelson (1987), expresan, que la deficiencia en fósforo en los cultivos, muestran los siguientes síntomas:

Lento crecimiento y desarrollo, poco desarrollo del xilema y floema, escasa floración y fructificación, retraso de la maduración de las cosechas, las hojas, muestran una coloración verde oscura con matices rojizos (Antocianinas), menor peso y tamaño de las plantas, tallos pequeños, delgados y débiles (maíz), los granos pequeños no germinan y bajo rendimiento del grano, frutos y semillas. (p. 64)

Raymond (1984), indica que “los síntomas de deficiencia de fósforo en tomate se presentan en las hojas de un color rojo a púrpura y retarda la división celular. Su exceso provoca la inmovilización de otros elementos esenciales”.

El fósforo en los suelos tropicales

Fassbender (1992), manifiesta que “el ácido fosfórico en el suelo puede reaccionar y ligarse a iones de calcio, aluminio o hierro, formando fosfatos cristalizados”, con características definidas:

Fosfatos de calcio: monofosfatos de calcio, difosfatos de calcio, ortofosfatos de calcio, apatita hidroxílica y apatita carbonatizada, fosfatos aluminicos, fosfatos férricos y fosfatos ocluidos están asociados a concreciones de hierro. (p. 54)

Fassbender (1992, como se citó en Ruiz, 2015) nos refiere con respecto a la evolución del suelo que:

La distribución de estas formas está relacionada con los procesos de evolución y formación del suelo y del pH del mismo, de acuerdo a los conceptos y resultados obtenidos se concluye que al observar que un suelo envejece y baja su pH, el fosfato de calcio disminuye y aumentan los fosfatos de hierro y aluminio y más tardíamente predominan los fosfatos ocluidos. (p. 15)

Resultando así la siguiente distribución:

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

Fassbender (1992, como se citó en Ruiz, 2015) nos refiere con respecto a la evolución del suelo que “en el encalado se produce elevación del pH y se acelera la mineralización del fosforo orgánico, pero excesos de cal resultan contraproducentes porque tienden a inmovilizar otras bases como K y Mg” (p. 15). El efecto de los fertilizantes fosfatados depende en gran parte de su naturaleza química.

Fassbender y Bornemisza (1992) han discutido ampliamente otras posibilidades agronómicas para mejorar la eficiencia de fertilizantes fosfatados, ellas incluyen:

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 y mejoramiento de las interacciones con los microorganismos (micorrizas) en la Rizósfera. (p. 57)

1.6. EL POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO

Fassbender (1993, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto a los elementos del potasio, calcio y magnesio indica que:

Tanto el potasio como el calcio y magnesio son absorbidos por las plantas en sus

formas iónicas a partir de la solución del suelo. El potasio es un elemento alcalino y monovalente, K^+ ; el calcio y el magnesio son alcalinos térreos y bivalentes: Ca^{+2} , Mg^{+2} . Este grupo de iones de la solución del suelo puede ampliarse con el sodio Na^+ como un elemento nutritivo facultativo. El potasio, sodio, calcio y magnesio regulan el intercambio hídrico, de las células, estos cationes se encuentran dentro de la vacuola celular. (p. 16)

Puesto que el sodio y el potasio son hidrofílicos, en tanto, el calcio y el magnesio son hidrofóbicos, la concentración relativa de estos elementos determina la turgencia (presión contra las paredes celulares) y la presión osmótica. Los cationes básicos de Ca, Mg, K y Na, tienden a elevar el pH por generar iones OH, por hidrólisis. Las plantas absorben estos elementos selectivamente, son tomados de la solución del suelo por los “carrier” y llevados al interior de la raíz bajo utilización de energía en la captura y transporte. Además, existe la absorción pasiva en la cual, los elementos ingresan a la raíz disueltos en el agua que consume la planta para compensar la pérdida de la misma por transpiración. Así las plantas absorben aluminio y otros elementos químicos, en parte tóxicos. (p. 16)

1.6.1. El potasio

El potasio en el suelo

Fassbender (1984, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto al potasio en el suelo manifiesta que:

El contenido de potasio en los suelos varía generalmente entre 0.04 y 3%. En casos excepcionales como en suelos alcalinos, el contenido de potasio puede llegar hasta el 8%. La meteorización desprende iones de potasio en la solución del suelo desde diversos minerales comunes tales como los feldspatos o las micas. Este ion puede ser capturado fácilmente por las raíces de la planta. Una pequeña cantidad de potasio se convierte en parte de la materia orgánica del suelo, por lo que la mayoría es almacenada en el suelo gracias a la adsorción y la fijación. Los iones de potasio llevan una carga positiva y por eso son absorbidos en los coloides del suelo. En la mayoría de los suelos minerales, unos pocos kilogramos de potasio están disueltos en la solución de una hectárea de suelo en cualquier momento. Por el contrario, varios cientos de kilogramos por hectárea de potasio intercambiable ocupan los sitios de intercambio de catión. (p. 17)

Plaster (1982, como se citó en Ruiz, 2015) manifiesta que “también puede ser fijado por ciertas arcillas 2:1, atrapado entre las capas 2:1 este potasio puede ser liberado lentamente si el nivel del mismo de la solución del suelo disminuye” (p. 17).

Worthen y Edmundo (1959, como se citó en Ruiz, 2015) recomiendan “considerar la capa del subsuelo (capa arable), al interpretar los análisis de suelos, para hacer recomendaciones respecto a la aplicación de fertilizantes” (p. 17).

Movimiento en el suelo

Según Morales (1975, como se citó en Ruiz, 2015), sobre el movimiento del potasio en el suelo menciona que:

El potasio se mueve con más rapidez por el suelo que el fósforo, pero con menos rapidez que el nitrógeno. Debido a que el potasio es retenido en la arcilla u otros coloides, es móvil en suelos de textura fina y se lixivia con más facilidad en los suelos arenosos. La mayoría de las capturas de potasio de la planta se produce por difusión. Debido a que el elemento se mueve con más rapidez que el fósforo, la colocación del fertilizante es menos decisiva. La disponibilidad de potasio es influenciada por factores edafológicos como son el material parental y condiciones climáticas. (p. 18)

El potasio en la planta

Plaster (1982, como se citó en Ruiz, 2015) expresa que el potasio es un nutriente clave de la planta, refiere que el potasio es uno de los elementos primordiales de mayor consumo de las plantas, además también indica que los compuestos inorgánicos de las plantas contienen potasio, que es necesario para muchos procesos biológicos de este modo, el potasio participa en el intercambio de gases necesario para la fotosíntesis y la transpiración. Siendo varios los motivos de importancia de este elemento como:

- El potasio es importante para el desarrollo y maduración de frutas como las manzanas y los tomates, ya que contribuye al movimiento de los azúcares producidos por la fotosíntesis dentro de la planta.
- Del mismo modo, el potasio es necesario para el crecimiento adecuado de los cultivos de raíces y tubérculos.
- El potasio equilibra los efectos del nitrógeno, por lo que para muchos cultivos se recomienda una cierta cantidad de potasio para un nitrógeno determinado.

Este aumento de la dureza mejora las cosechas de varias maneras:

Las plantas bien provistas de potasio tienen fuertes tallos que son menos propensos al encamado. En el maíz, una reducción del encamado también se produce por el mayor número de raíces en el cuello, las plantas bien nutridas combaten la enfermedad. El potasio reduce las enfermedades como el mildiu de la soja, la cenicilla del tabaco y las manchas foliares, el potasio hace que las plantas sean más resistentes al invierno y menos propensas a ser dañadas por las heladas, el potasio, por su regulación de la estoma, influye en el porcentaje de transpiración. Una planta con un buen suministro de potasio transpira menos y eso mejora el empleo de suministro de agua. (p. 67)

1.6.2. El calcio

El calcio en el suelo

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Ruiz (2015), sobre el calcio menciona que:

La mayor parte del calcio nativo en el suelo se encuentra asociado a feldespatos, piroxenos, anfíboles, micas y minerales arcillosos. Además, los suelos contienen otros minerales cálcicos como la calcita y dolomita en suelos derivados de calizas y en forma de anhidrita y yeso en la superficie de los suelos de zonas áridas y semiáridas. (p. 19)

De acuerdo a Ritchey et al (1991) menciona que “el bajo nivel de este elemento en los horizontes de los oxisoles en la región central de Brasil limita el crecimiento de las plantas, gravitando en esto, más que la presencia de niveles de Al”.

Worthen (1959, como se citó en Ruiz, 2015) con respecto a la cantidad de calcio señala que “el calcio de un suelo está relacionado con su pH y con la cantidad de arcilla y humus. A igualdad de pH, un suelo que contenga mucha arcilla y humus tendrá más calcio que un suelo sea pobre en arcilla y humus. Las cargas negativas retienen calcio. Siempre que las lluvias sean de 625 milímetros anuales o más, el agua arrastra calcio a través del perfil del suelo. Al disminuir la lluvia, es también menor la pérdida de calcio durante el proceso de formación del suelo. Los suelos pueden ser ácidos en la capa superficial, pero tener un subsuelo neutro, pudiendo haber una capa donde se haya acumulado cal”. (p. 20)

Plaster (1982, como se citó en Ruiz, 2015) con respecto a la cantidad de calcio señala que:

Indica que el calcio proviene de la meteorización de minerales comunes como el feldespato, la caliza y el yeso. Estos materiales son tan comunes en la mayoría de los suelos contienen suficiente calcio para suministrar gran parte de las necesidades de la planta. El calcio ni se fija al suelo ni es retenido en la materia orgánica. Es el principal ocupante del complejo de intercambio de catión el almacenaje de calcio depende de la capacidad de intercambio de catión. La deficiencia de calcio no es normal, y se encuentran generalmente en suelos ácidos o arenosos lixiviados. Un suelo seco o un exceso de potasio pueden inhibir la captura de calcio. (p. 20)

El calcio en la planta

Worthen (1959) indica que “una cantidad adecuada de calcio contrarresta el efecto de las sustancias tóxicas que se forman dentro de las plantas. Cuando estas contienen suficiente calcio, dichas sustancias son inofensivas”.

Plaster (1992) manifiesta que “el calcio es el tercer nutriente más usado. Principalmente las plantas usan calcio para construir las paredes celulares. Una fina capa de pectato de calcio le da fortaleza a las paredes de la célula. La consistencia de las manzanas viene del pectato de calcio en las células de la fruta”.

Plaster (1992, como se citó en Ruiz, 2015) con respecto a el calcio en la planta manifiesta que:

Debido a que el calcio hace paredes de la célula más fuertes, las plantas lo necesitan más donde se dividen más rápidamente en la raíz y en los extremos del retoño. El calcio también controla mucho el pH del suelo y ayuda a la agregación. Por último, el calcio juega un papel en la formación de proteínas y el movimiento de hidratos de carbono en las plantas. El calcio, estando relativamente inmóvil en la planta, puede ser difícil que alcance partes de la planta de desarrollo rápido como la nueva vegetación, ápices de la raíz y brotes y frutas. Las deficiencias de calcio aparecen normalmente en las frutas y hortalizas donde la parte comestible puede recibir suministros inadecuados de calcio. (p. 20)

1.6.3. El magnesio

El magnesio en el suelo

Fassbender y Bornemisza (1987, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto al magnesio en el suelo indican que:

El contenido de magnesio total en los suelos no calcáreos varía entre 0.1 – 0.2 %. La mayor fracción del elemento se encuentra asociada con algunos minerales primarios como la biotita la augita y la hornablenda y con otros secundarios, como la montmorillonita. Entre los silicatos, se sabe que el olivino, la biotita, los piroxenos y los anfíboles muestran contenidos altos de magnesio. Las rocas calcáreas y especialmente las dolomitas, que contienen este elemento como carbonato, se caracterizan por formar suelos hasta con el 2% de Mg total. En los suelos de regiones áridas, a veces se presentan acumulaciones de MgSO₄. Una pequeña parte de Mg se asocia con la materia orgánica del suelo. En los suelos ácidos de los trópicos, con frecuencia, se requiere la aplicación de este elemento, especialmente para cultivos de café, que tienen altas necesidades del mismo. (p. 21)

Según Sánchez y colaboradores (1985), refiere que “en Ultisoles cultivados de Amazonia, el P y Mg vuelven deficientes los suelos durante el segundo año; ello debido a sus bajas reservas meteorizables y mineralizables”.

Plaster (1982, como se citó en Ruiz, 2015) con respecto al magnesio en el suelo señala que:

El magnesio es meteorizado de minerales como un catión. Sin embargo, la arcilla retiene el magnesio de una forma menos resistente que el calcio, por lo que es lixiviado más fácilmente. A consecuencia de esto, los suelos con bajo contenido de magnesio son más comunes que los suelos con bajo contenido de calcio. Los suelos toscos fuertemente lixiviados son más propensos a necesitar fertilización con magnesio, especialmente si se han tratado con cal de bajo contenido de magnesio. Altos niveles de potasio del suelo pueden también inducir a escasez de magnesio en las plantas.

El magnesio en la planta

Worthen y Edmundo (1959, como se citó en Ruiz, 2015) con respecto al magnesio

en la planta indica que:

El magnesio es absorbido en forma de ion Mg^{++} es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila por lo que su importancia es evidente. Parece estar al metabolismo del fosforo y es considerado específico en la activación de numerosos sistemas enzimáticos. Es un elemento móvil y se traslada rápidamente de las partes viejas a las jóvenes en casos de deficiencia; en consecuencia, el síntoma aparece a menudo en primer lugar en las hojas más bajas. En muchas especies la deficiencia se muestra como clorosis entre los nervios de las hojas, en la cual solamente los nervios permanecen verdes. La clorofila da a las plantas verdes la capacidad de utilizar la energía del sol para formar proteínas, hidratos de carbono y grasas de estructura compleja, a partir de elementos químicos simples.

Zavaleta (1992) indica que “el magnesio evita la clorosis. Es un activador de las enzimas y favorece la formación de azúcares”.

Plaster (1982, como se citó en Ruiz, 2015) manifiesta que el magnesio se parece al calcio químicamente y en su acción en el suelo además añade que:

El magnesio es un componente esencial de la clorofila, con un átomo de magnesio en el centro de cada molécula. El magnesio también ayuda a atrapar otros elementos, especialmente el fósforo. Al igual que el potasio, el magnesio activa muchos sistemas enzimáticos importantes. El magnesio participa en la síntesis de proteínas, carbohidratos, grasas y muchos otros compuestos. Las plantas con niveles bajos de magnesio son menos tolerantes a la sequía, el frío y las enfermedades. Los signos obvios de deficiencia de clorofila incluyen clorosis y coloración amarillenta de las hojas, comenzando en las hojas más viejas. (p. 22)

1.7. EL AZUFRE

El azufre en el suelo

Fassbender y Bornemisza (1992, como se citó en Ruiz, 2015) con respecto al azufre en el suelo manifiesta que:

El contenido de azufre de los suelos varía para suelos inorgánicos entre 0.02 y 0.2%. Los suelos orgánicos presentan a veces hasta el 1% de azufre. En los suelos de las zonas áridas existen niveles considerables superiores de azufre, debido a la

acumulación de sulfatos, o al acenso (por capilaridad) de aguas subterráneas ricas en ellas, o como resultado del contenido de sulfatos en las aguas de riego aplicadas. (p. 22)

De acuerdo a Fox (1968, como se citó en Ruiz, 2015), con respecto al azufre en el suelo manifiesta que:

Para que se dé una adsorción apreciable de sulfato, se requieren tres condiciones que son: la presencia de superficies que reaccionen, la existencia de un ambiente químico favorable y la existencia de sulfato en la solución del suelo. Las cantidades de sulfato adsorbido pueden ser muy altas, especialmente, especialmente cuando se abona fuertemente y cuando la concentración de sesquióxidos en el suelo es alta. En estas condiciones, Fox observo que en 11 suelos fuertemente meteorizados la adsorción aumentaba con la profundidad esta aproximadamente 100cm; también constato que en 120cm, incluidos los anteriores, diez de los once suelos contenían más de 4000 Kg. de sulfato. (p. 22)

El azufre en la planta

Plaster (1982, como se citó en Ruiz, 2015) con respecto al azufre en la planta manifiesta que:

Las cosechas necesitan menos azufre que otros macronutrientes, pero es todavía un nutriente decisivo. Algunas proteínas incluyen azufre y es necesario para producir clorofila. Ayuda a la nodulación de las leguminosas y la producción de semillas de todas las plantas. En conjunto, el azufre mejora los contenidos de proteína y clorofila, la tolerancia al estrés, la nutrición mineral y la aparición de los productos de la planta. Los sabores picantes de la cebolla derivan de los compuestos de azufre. (p. 24)

Zavaleta (1992, como se citó en Ruiz, 2015) afirma que “es un constituyente de las proteínas y de las enzimas. Los signos aparentes resultantes de los bajos niveles de clorofila incluyen la clorosis y el amarilleo de la hoja, empezando con las hojas más viejas”.

1.8. INFORMACIÓN GENERAL DEL CULTIVO DE CACAO

1.8.1. Centro de origen y antecedentes históricos

El cacao (*Theobroma cacao* L), es una especie endémica de América del Sur cuyo centro de origen está localizado en la región comprendida entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo, tributarios del río Amazonas. En esta región se han encontrado los más diversos tipos de frutos, algunos parecidos a la variedad 'Criollo', denominados "criollos de montaña", "amelonados" grandes como la variedad 'Nacional' del Ecuador, "angoletas" parecidos a los clones Parinaris y otros tipos de "amelonados". (Soria, 1970, p. 54)

Se ha señalado que el centro primario de diversidad del cacao se encuentra en la región nororiental de Perú; sin embargo, la existencia de una gran diversidad de poblaciones silvestres y nativas dispersos en la región central y sur de la Amazonia alta, apoyaría la hipótesis de que el centro de origen no solo estaría confinado a dicha región, sino que además incluiría la región centro y suroriental del Perú, i.e., las cuencas de los ríos Huallaga, Ucayali y Urubamba (García, 2000).

Desde la década del '60 se estableció que la región de domesticación del cacao fue en Centroamérica. La domesticación por los indígenas de Centroamérica, se realizó durante la época pre-colombina siendo cultivado desde el siglo VI. Ellos lo utilizaban como bebida y también como moneda en sus transacciones. Después que México fuera conquistado por los españoles, las variedades de cacao 'Criollo' de América Central, fueron introducidos primero en la región del Caribe y Venezuela y después a las Filipinas, Indonesia, India y Madagascar. (Toxopeus, 1985)

El cultivo de los Forasteros del Bajo Amazonas, particularmente del cacao "amelonado" empezó en Brasil en el siglo XVIII. En 1822, el cacao "amelonado" fue introducido al África, Santo Tomás y después a Ghana, Nigeria y Costa de Marfil. Los híbridos entre 'Criollo' x 'Forasteros', denominados 'Trinitarios', aparecieron en Trinidad alrededor del año 1,800 (Eskes & Lanaud, 2001)

1.8.2. Taxonomía

El "padre de la taxonomía", el sueco Carolus Linneo clasifica la planta como "Theobroma cacao", cuyo nombre puede dividirse en tres partes: Theos, del griego "dios",

Broma, del griego "alimento", y Cacao, del azteca cacaoatl.

La clasificación botánica más aceptada para el cacao es la siguiente:

Reino	: Plantae (plantas)
Subreino	: Tracheobionta (plantas vasculares)
División	: Magnoliophyta (plantas con flores, angiospermas)
Clase	: Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Orden	: Málvales
Familia	: Sterculiaceae
Género	: Theobroma
Especie	: Cacao L

1.8.3. Requerimientos del cultivo de cacao

Condiciones edafoclimáticas

a. Precipitación

El cacao es una planta muy sensible a la falta de humedad del suelo. Por este motivo, es importante distribuir adecuadamente las precipitaciones a lo largo del año. Considere un mínimo de 100 mm/mes y una precipitación anual de 1.200 a 2.800 mm/año. La precipitación óptima para el cacao está entre 1.600 y 2.500 mm. Distribuido durante todo el año. La distribución de las precipitaciones determina la campaña del cacao, que incluye cuatro etapas: latencia, germinación, floración y cosecha.

b. Humedad relativa

Está en relación directa con la distribución de las lluvias y debe ser mayor al 70% bajo las condiciones del VRAE la humedad relativa oscila entre el 70% a 80%.

c. Temperatura

La temperatura media anual debe ser alrededor de los 25°C. El efecto de temperaturas bajas se manifiesta en la velocidad de crecimiento vegetativo, desarrollo de fruto y en grado en la intensidad de floración (menor intensidad). Así mismo, controla la actividad de las raíces y de los brotes de la planta. La temperatura para el cultivo de cacao debe estar entre los valores siguientes: mínima de 23°C, máxima de 32°C y óptima de 25°C.

d. Luminosidad

Para plantaciones ya establecidas, se observa que durante la etapa de crecimiento la planta se ve favorecido por un 60% de luminosidad, en la etapa de fructificación se observa mayor producción de frutos con un 50% de luminosidad.

e. Sombreamiento

El cacao suele ser un cultivo pobre. El propósito de dar sombra al comienzo de la plantación es reducir la cantidad de radiación que llega a los cultivos, reducir la actividad de los cultivos y protegerlos de los vientos que pueden dañarlos. El sombreado se puede reducir al 25 o 30% al establecer cultivos. Para que las plantas se desarrollen bien y limiten el crecimiento de malas hierbas, la luz debe rondar el 50% durante los primeros cuatro años de vida de la planta.

f. Altitud

La altitud está en relación directa con la temperatura, a medida que aumenta la altitud disminuye la temperatura. El rango óptimo se encuentra en los 250 - 900 msnm; fuera de este límite las plantas para las condiciones del VRAE sufren alteraciones fisiológicas que afectan el potencial productivo lo que se refleja en un' menor rendimiento y baja rentabilidad para el productor.

g. Viento

En las plantaciones expuestas continuamente a vientos fuertes se produce la defoliación o caída prematura de hojas. En plantaciones donde la velocidad del viento es del orden de 4 m/seg., y con muy poca sombra, es frecuente observar defoliaciones fuertes. Comparativamente, en regiones con velocidades de viento del 1 a 2 m/seg. no se observa dicho problema.

Requerimiento de Suelo

a. Suelo

Los suelos más adecuados para el cacao son los suelos aluviales, arcillosos y profundos con subsuelos permeables (arcillo-arenosos y arenosos-arcillosos). No se recomiendan los suelos arenosos ya que no pueden retener la cantidad mínima de agua necesaria para cubrir las necesidades hídricas de la planta. Los suelos negros son generalmente mejores porque se degradan menos. Otra característica es que el subsuelo

de la raíz pivotante debe ser lo suficientemente profundo y fácil de penetrar.

b. Profundidad

La profundidad del suelo es uno de los factores que determina la cantidad de agua almacenada en el suelo y disponible para las plantas. Zonas donde las precipitaciones superan los 3.0 mm. La profundidad efectiva a considerar es de 1,00 m, lo que garantiza un anclaje estable de la planta y al mismo tiempo un adecuado suministro de agua a las raíces. Sin embargo, se recomienda considerar una profundidad mínima de 1,50 m en zonas con estación seca larga. De esta forma podrás aumentar el suministro de agua a las raíces.

c. pH del suelo

Es una de las características más importantes de los suelos porque contribuye a regular la velocidad de descomposición de la materia orgánica, así como la disponibilidad de los elementos nutritivos. El cacao se desarrolla eficientemente cuando el pH se encuentra en el rango de 5.5 a 6.5; permitiendo obtener buenos rendimientos.

d. Drenaje

Está determinado por las condiciones climáticas del lugar, la topografía, la susceptibilidad del área a sufrir inundación y la capacidad intrínseca del suelo para mantener una adecuada retención de humedad y disponer de una adecuada aireación. Existen problemas de drenaje interno por disposición de texturas en el perfil del suelo.

e. Materia orgánica

La materia orgánica es uno de los elementos que ayudan a nutrir el suelo y con ello las plantas. Su contenido en el suelo afecta las condiciones físicas y biológicas de las plantaciones. Además, favorece la estructura del suelo, facilitando su desmenuzamiento. Al mismo tiempo, previene la descomposición de las partículas del suelo por la lluvia. Otro componente importante de la materia orgánica son los nutrientes de los microelementos del suelo, que participan activamente en la formación y el desarrollo del suelo. Un producto de la descomposición de la materia orgánica del suelo es el humus, que es un depósito de calcio, magnesio y potasio.

f. Topografía

Este es otro factor importante para el establecimiento de plantaciones de cacao. Esto se debe a que la dureza del terreno impide la mecanización y el uso de tecnología moderna. Además, estas zonas se ven constantemente erosionadas por la acción de las lluvias, un problema muy grave que lleva al establecimiento de plantaciones de cacao. Pérdida de la capa superior del suelo. Para evitarlo, se deben implementar medidas de protección del suelo como barreras vivas, barreras muertas, plantaciones en curvas planas y cubiertas vegetales. En general, en pendientes superiores al 15% las actividades agrícolas son manuales. En pendientes más pequeñas se pueden utilizar máquinas y tecnología moderna. Se ha observado una menor incidencia de moniliosis (*Moniliophthora roreri*) en terrenos con una pendiente inferior al 15%.

1.9. EL TOMATE COMO CULTIVO INDICADOR

INFOAGRO (2008), El tomate tiene una raíz pivotante (corta y débil), una raíz accesoria (muchas y fuertes), y una raíz adventicia en la que se sitúan pelos absorbentes especializados en absorber agua y nutrientes, una corteza y un cilindro central en el que se encuentra el xilema (grupo de xilema) señala que hay recipientes especiales para el transporte de nutrientes). La zona superior o en empalizada dentro del parénquima contiene abundantes cloroplastos.

Sia.huaral.org (1995), los mejores suelos para el cultivo de tomates son los suelos arcillosos, silíceos, ricos en materia orgánica y sueltos con un pH de 5,5 a 7,2. No resiste la inmersión. Lo más destacable del fondo es que la especie es algo tolerante a la salinidad. Por tanto, se puede cultivar en suelos ligeramente salinos y regar con agua ligeramente salina. Por estas razones, se seleccionó como una planta que puede extraer fácilmente nutrientes del suelo porque tiene alta capacidad fotosintética y está clasificada como planta C4, y porque es una planta con alta extracción de nutrientes. Se elimina demasiado rápido para determinar el estado de nutrientes del suelo analizado.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. LUGAR DEL EXPERIMENTO

Para el presente trabajo de investigación se tomaron muestras de suelo de parcelas representativas con cultivo de cacao de 08 comunidades del distrito de Canayre, provincia de Huanta, región Ayacucho. La ejecución del trabajo experimental se llevó a cabo en “el invernadero del Área de Investigación en Suelos del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias” de la UNSCH, en Ayacucho a 2760 m.s.n.m.

Ubicación política

Región : Ayacucho
Departamento : Ayacucho
Provincia : Huanta
Distrito : Canayre
Localidad : Canayre

Ubicación geográfica

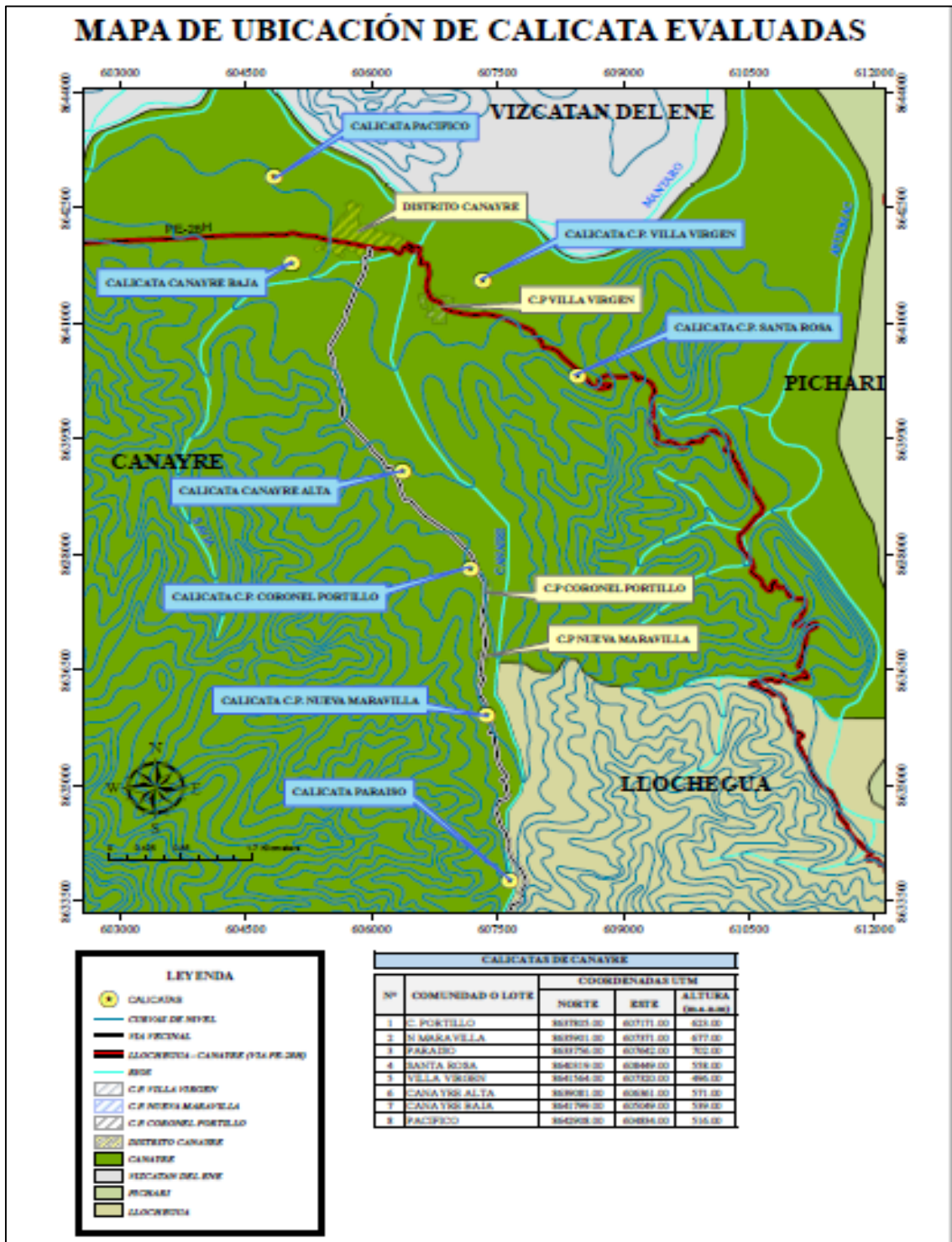
Tabla 2.1.

Ubicación de coordenadas geográficas de obtención de muestras de suelos.

Comunidad	Coordenadas UTM		
	Norte	Este	Altitud (msnm)
C. PORTILLO	8637805	607171	623
N MARAVILLA	8635901	607371	677
PARAISO	8633744	607798	702
VILLA VIRGEN ALTA	8640319	608449	558
VILLA VIRGEN BAJA	8641564	607320	496
CANAYRE ALTA	8639081	606361	571
CANAYRE BAJA	8641799	605049	539
PACIFICO	8642908	604834	516

Figura 2.1.

Mapa referencial del distrito de Canayre



2.2. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

2.2.1. Suelos utilizados en el experimento

La muestra del suelo se recolectó de ocho anexos en el Distrito de Canayre, Provincia de Huanta – Ayacucho, se detalla a continuación:

1. **Suelo de Coronel Portillo.** Se caracteriza porque “presenta un relieve ondulado ligeramente accidentada, con escorrentía superficial media, con una profundidad de 0.9m”.
2. **Suelo de Nueva maravilla.** Se caracteriza porque “presenta un relieve suave, con escorrentía superficial media, con una profundidad de 0.8 m”.
3. **Suelo de Paraíso.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve plano a ondulado, con drenaje casi superficial y una profundidad de 0.6m”.
4. **Suelo de Villa Virgen Alta.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve ondulado, drenaje superficial medio y con profundidad de 1.4m”.
5. **Suelo de Villa Virgen Baja.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve ondulado a suave, con drenaje superficial y una profundidad de 1.2m”.
6. **Suelo de Canayre Alta.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve ondulado a suave, con drenaje moderado y una profundidad de 0.8m”.
7. **Suelo de Canayre Baja.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve casi llano, con drenaje superficial y una profundidad de 0.7m”.
8. **Suelo de Pacífico.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve ondulado a suave, con drenaje superficial y una profundidad de 1.2m”.

2.2.2. Muestreo y preparación del suelo

“Las muestras de suelo se recogieron de ocho lugares seleccionados que son representativos para el cultivo de cacao, se obtuvo de una profundidad de 0.30m., recogiendo aproximadamente 60 kg de tierra; asimismo se tomó muestras del perfil del suelo para el estudio de caracterización. Posteriormente se trasladó las muestras a la ciudad de Ayacucho y se procedió a secarlas al aire libre, para proseguir con la molienda, tamizado y almacenamiento para su posterior análisis”.

2.2.3. Instalación del experimento en el invernadero:

Macetas; cabe mencionar que ya se viene realizando este tipo de experimento con suelos de diferentes cultivos, es por ello que Ruiz (2015) de acuerdo a su experiencia recomienda, por ello se sigue su criterio donde:

Se empleó lata de 1 kg de capacidad de 15cm de alto x 10cm de diámetro, en el fondo de cada maceta se colocó una capa de grava de 1 cm de espesor, sobre el cual se depositó 0.9 kg de suelo seco al aire y tamizado con malla de 4mm de diámetro. (p. 43)

Cultivo; cabe mencionar que ya se viene realizando este tipo de experimento con suelos de diferentes cultivos, es por ello que Ruiz (2015) de acuerdo a su experiencia recomienda. por ello se sigue su criterio donde:

Se empleó como planta indicadora, el tomate (*Lycopersicon esculentum*), variedad “Río Grande” por ser sensible a la deficiencia de nutrientes y manifestar síntomas característicos a carencia de elementos esenciales. Además, se consideró la capacidad del cultivo para obtener un buen crecimiento bajo condiciones restringidas, especialmente cuando crecen varias plantas por maceta. (p. 43)

Niveles de nutrientes; cabe mencionar que ya se viene realizando este tipo de experimento con suelos de diferentes cultivos, es por ello que Ruiz (2015) de acuerdo a su experiencia recomienda, por ello se sigue su criterio donde:

La aplicación de los nutrientes se efectuó a partir de reactivos químicos en solución en lugar de abono comercial para evitar en lo posible contaminaciones y aumentar su solubilidad, una vez establecido el equilibrio de los nutrientes con el suelo. Para obtener la solución acuosa se disolvieron los reactivos en 1L de agua destilada que permitió aplicar 5 ml a cada maceta 3 días antes de la siembra con el fin de establecer un periodo de equilibrio entre el fertilizante y el suelo. (p. 44)

Los niveles y fuentes de nutrientes utilizados se muestran en la Tabla 2.2, cuyas dosis se establecieron de acuerdo a lo recomendado por (Ibáñez & Aguirre, 1983).

Tabla 2.2.

Niveles y Fuentes de Nutrientes

Nutriente	NIVELES		REACTIVO	FUENTE
	Kg.ha ⁻¹	ppm		
N	300	150	CO(NH ₂) ₂	Úrea
P	360	180	NaH ₂ PO ₄ .H ₂ O	Fosfato de sódio
K	200	100	KCl	Cloruro de potasio
S	200	100	S	Flor de azufre
Ca	100	50	CaCl ₂	Cloruro de calcio
Mg	20	10	MgCl ₂	Cloruro de magnesio
Fe	10	5	EDDHA-Fe	Secuestrene
Cu	2	1	CuCl ₂ .2H ₂ O	Cloruro de cobre
Zn	10	5	ZnCl ₂	Cloruro de zinc
Mo	10	5	((NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	Molibdato de amonio
B	3	1.5	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Borato de sodio

Fuente: Ibáñez y Aguirre 1983

Siembra; cabe mencionar que ya se viene realizando este tipo de experimento con suelos de diferentes cultivos, es por ello que Ruiz (2015) de acuerdo a su experiencia recomienda, por ello se sigue su criterio donde:

Se procedió a sembrar 10 semillas de tomate por maceta para mayor seguridad, una vez que las plántulas alcanzaron una altura adecuada (5cm), se procedió al desahíje, dejando 05 plántulas por maceta; en algunos suelos se presentaron problemas de endurecimiento del suelo, por la misma naturaleza de las fuentes de nutrientes aplicadas que fueron en forma de sales, además por ser demasiado arcilloso algunos de ellos. (p. 44)

Riego; se realizaron riegos interdiarios utilizando agua desionizada procurando mantener la humedad a capacidad de campo.

Control fitosanitario; se realizó “aproximadamente a los 25 días del transplante se detectó el ataque de la enfermedad fungosa denominada “Chupadera” (*Rhizoctonia sp*) la que fue controlada mediante la aplicación de fungicida”.

Cosecha; cabe mencionar que ya se viene realizando este tipo de experimento con suelos de diferentes cultivos, es por ello que Ruiz (2015) de acuerdo a su experiencia recomienda, por ello se sigue su criterio donde:

La cosecha se realizó a los 60 días siendo después de la siembra, cuando las plántulas de tomate mostraron síntomas característicos de deficiencia de algunos nutrientes; el día 15 de noviembre del 2022, se procedió a cortar desde la base del cuello de la planta para luego depositarlos en bolsas de papel, las cuales se sometieron a secado en estufa hasta peso constante (aproximadamente 24 horas) para la determinación de materia seca en cada unidad experimental, utilizando una balanza analítica.

2.2.4. Técnicas analíticas utilizadas en los análisis de suelos

El análisis físico químico se realizó en “el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNSCH”, cuyos métodos empleados se indican a continuación:

✓ **pH** “Método potenciómetro”.

- ✓ **Materia Orgánica** “Se determinó por oxido-reducción, según el método propuesto por Walkley – Black”.
- ✓ **Fosforo** “El fósforo disponible se determinó por el método de Bray kurtz I”.
- ✓ **Potasio** “El potasio disponible se determinó mediante el método turbidimétrico Morgan Peech”.
- ✓ **Ca y Mg** “Por complexometría (EDTA)”.
- ✓ **CIC** “Por destilación, método de acetato de amonio”.
- ✓ **H y Al** “Por valoración método de Yuan”.
- ✓ **Determinación de la textura (arena, limo y arcilla)** – “Por el método del hidrómetro de Bouyoucus”.

2.3. VARIABLES EN ESTUDIO

“Se realizó el análisis de suelo y el rendimiento de materia seca a los 60 días después de la siembra, una vez que las mismas mostraron síntomas de deficiencia específica de los nutrientes”.

2.4. TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE

Un método rápido y sencillo propuesto por Martini (1970, como se citó en Ruiz, 2015) para “evaluar la fertilidad de los suelos es la del elemento faltante. Este método fue uno de los primeros diseños experimentales empleados en la caracterización de la fertilidad de los suelos” (p. 45). Ibañez (1976, como se citó en Ruiz, 2015) añade que “desde que Salm–Horstmar la utilizó en el invernadero y Georges Ville la puso en práctica en el campo 1870, muchos otros investigadores han hecho uso extensivo en esta técnica con bastante éxito” (p. 45).

Ruiz (2015), de acuerdo a los resultados obtenidos de su investigación titulada “Evaluación del estado nutricional de suelos con cultivo de café (*Coffea arábica*) del distrito de Anco – La Mar, Ayacucho” refiere que:

En vista de que en la técnica del elemento faltante se aplican todos los nutrientes menos el elemento en cuestión, este diseño se presta para trabajar en el invernadero, donde el volumen del suelo utilizado es pequeño y las deficiencias nutricionales suelen aparecer con facilidad. Además, se aplican muy bien a suelos pobres donde las deficiencias y desbalances nutricionales. (p. 46)

2.5. TRATAMIENTOS

En el presente trabajo experimental se ha considerado ocho comunidades, de los cuales se eligió el campo más representativo de cada zona; se han asignado nueve tratamientos distribuidos al azar con tres repeticiones (Tabla 2.3).

Tabla 2.3.

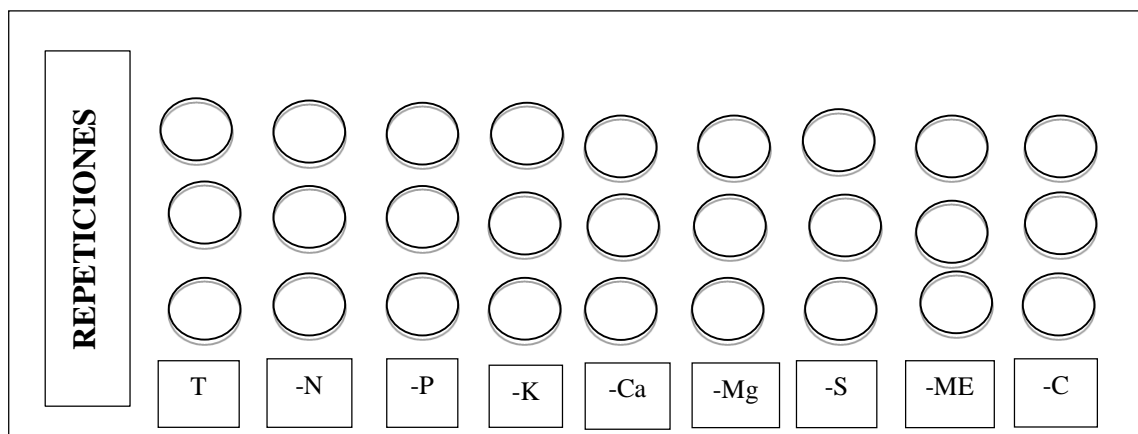
Tratamientos empleando la técnica del elemento faltante

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS
T	“Control o testigo, sin nutrientes”.
-N	“Con todos los nutrientes, menos nitrógeno”.
-P	“Con todos los nutrientes, menos fósforo”.
-K	“Con todos los nutrientes, menos potasio”.
-Ca	“Con todos los nutrientes, menos calcio”.
-Mg	“Con todos los nutrientes, menos magnesio”.
-S	“Con todos los nutrientes, menos azufre”.
-ME	“Con todos los nutrientes, menos el cobre, zinc, fierro, molibdeno y boro”.
C	“Con todos los nutrientes”.

La distribución de las macetas que constituyen las unidades experimentales se dispuso de acuerdo al croquis que se indica a continuación:

Figura 2.2.

Distribución de las macetas para conducción del experimento



2.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

“Para el análisis estadístico del rendimiento de materia seca se utilizó el Diseño Completamente Randomizado con 9 tratamientos x 3 repeticiones que hacen un total de 27 unidades experimentales; para cada localidad en estudio”.

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = “Observación que pertenece al i-ésimo tratamiento de la j-ésima repetición”.

μ = “Efecto medio (parámetro)”.

T_i = “Efecto del i-ésimo tratamiento (parámetro)”.

ϵ_{ij} = “Desviación al azar del i-ésimo tratamiento perteneciente de la j-ésima repetición (error experimental)”.

Tabla 2.4.

Modelo del análisis de varianza (ANVA)

F. Variación	G. L.	S. C.	C. M.	Fc	Pr > F
Tratamientos	t-1				
Error	t(r-1)				
Total	txr-1				

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DEL ANÁLISIS DE LOS SUELOS

3.1.1. Suelo de Coronel Portillo

En la Tabla 3.1, se muestran los resultados del análisis de caracterización del perfil del suelo de Canayre. La interpretación tendrá mayor énfasis en la capa superficial y se realiza sobre la base de lo indicado por Ibáñez y Aguirre (1983) complementado por Guerrero (1998)

Teuscher et al. (1980, como se citó en Ruiz, 2015), realiza hincapié con respecto al pH donde indica que:

Respecto al pH en los diferentes horizontes, presentan una reacción fuertemente ácida a moderadamente ácido; esta propiedad química tiene un efecto indirecto sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas al afectar de modo notable la asimilación de los nutrientes y ejercer influencia en la estructura del propio suelo. La magnitud de la lixiviación es el factor principal involucrado al determinar si el suelo formado será o no ácido. La lluvia transporta las bases cambiabes hacia abajo más allá del alcance de las raíces de las plantas. Así en aquellas regiones que tienen una lluvia anual cercana o mayor a 1000 mm, tienen un porcentaje elevado de suelos ácidos. La acidez de estos suelos puede deberse a una o más de las razones siguientes: Lixiviación a causa de lluvia intensa, Origen del suelo de material ácido, Empleo de fertilizantes formadores de ácido y Acción microbiológica. (p. 49)

Teuscher et al. (1980, como se citó en Ruiz, 2015), realiza hincapié con respecto al pH donde indica que:

En el área de estudio la erosión predominó en relieves ondulados con pendientes pronunciadas, por lo que la lixiviación de bases de intercambio es la principal

causa del deterioro gradual y las reacciones concomitantes de acidez del suelo. El contenido de materia orgánica es del 2,87%, lo que se traduce de bajo a alto. Estos datos son consistentes con niveles totales de nitrógeno que varían de bajos a altos. El elemento no está presente en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades de los cultivos y las pruebas biológicas revelan deficiencias en las propiedades. El nitrógeno se obtiene de la materia orgánica, pero en condiciones ácidas las actividades beneficiosas de los microorganismos del suelo se ven afectadas negativamente. (p. 49)

Tabla 3.1.

Análisis de caracterización de los suelos con cultivo de cacao de las parcelas representativas de las ocho comunidades.

Comunidades	Hz.	Fracciones (%)			Clase Textural	pH (agua)	C.E. (dS/m)	M.O. (%)	N-total (%)	P-disp (ppm)	K-disp (ppm)	Cationes cambiabiles (cmol.kg ⁻¹)					C.I.C. (cmol.kg ⁻¹)
		Arena	Limo	Arcilla								Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺	
Coronel Portillo	Ap	55.8	27.0	17.2	Fr-Ao	5.73	1.98	2.87	0.14	6.3	20.8	3.04	1.04	0.11	0.0	0.0	11.5
Nueva Maravilla	Ap	41.8	36.0	22.2	Fr	5.54	1.52	2.48	0.12	5.2	51.7	2.00	0.80	0.26	0.0	0.0	11.0
Paraíso	Ap	49.1	23.6	27.3	Fr-Ar-Ao	5.55	1.40	3.13	0.15	5.0	39.6	5.12	1.92	0.20	0.2	0.1	16.7
Villa Virgen Alta	Ap	57.1	27.6	15.3	Fr-Ao	6.51	1.18	4.18	0.21	17.0	57.7	4.96	2.32	0.30	0.0	0.0	12.4
Villa Virgen Baja	Ap	41.8	38.0	20.2	Fr	6.38	0.92	3.27	0.16	3.9	47.6	5.04	1.44	0.24	0.0	0.0	16.6
Canayre Alta	Ap	41.8	34.0	24.2	Fr	5.94	0.65	1.31	0.06	8.5	41.6	2.24	0.88	0.21	0.0	0.0	9.0
Canayre Baja	Ap	49.1	33.6	17.3	Fr	5.99	2.39	2.35	0.12	1.2	43.6	3.52	1.44	0.22	0.0	0.0	12.3
Pacífico	Ap	65.1	21.6	13.3	Fr-Ao	7.06	2.37	4.31	0.21	16.4	42.3	3.84	1.12	0.22	0.0	0.0	13.0

Fuente: "Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar – PIPG-FCA-UNSCH".

Tal como mencionan Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015) menciona que:

Las transformaciones más importantes en los procesos de la mineralización y la humificación son de naturaleza bioquímica. Un factor externo importante en estos procesos es el pH; según nuestros datos, es de esperar limitadas actuaciones de las bacterias y actinomicetos aunque los hongos presentan un buen desarrollo dentro de límites de pH más amplios. La temperatura podría tener un rol determinante en la descomposición y mineralización ya que se encuentran próximos al ideal o superior de los valores óptimos. El contenido de fósforo disponible es 6.3 ppm que se califican como muy bajos, este elemento es uno de los factores limitantes más importantes en los suelos de selva. Aún con las condiciones ambientales favorables (temperatura y humedad), el pH condiciona una muy lenta entrega de nutrimentos de la materia orgánica. Un proceso importante de mencionar es la adsorción de fosfatos, que se trata de un proceso de transformación de P que ocurre junto con el de la precipitación de fosfatos, los que analítica y matemáticamente no se pueden diferenciar. En el caso de los suelos en estudio adquiere mayor importancia la capacidad de fijación del P que correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica que explica finalmente los valores tan bajos de P disponible. (p. 54)

Añade también Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015) mencionando que:

El Potasio disponible es muy bajo; el comportamiento y tenor de potasio de los suelos ácidos de selva es regularmente bajo debido a que su contenido está controlado especialmente por las condiciones climáticas; es decir, se reporta percolación a través del perfil del suelo, pérdidas por erosión y subsiguiente escorrentía superficial que es característico en las zonas de vida con pendiente fuerte. Los valores bajos se deben probablemente a la posibilidad de pérdidas de potasio por la percolación del agua a través del suelo y/o el arrastre de las partículas superficiales del suelo, como consecuencia de la erosión hídrica; además por problemas de fijación por las arcillas de estos suelos. Estos procesos son de gran importancia para el balance de los elementos nutritivos, especialmente de las bases K, Ca y Mg. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es medio a bajo. La CIC está determinada por los coloides del suelo y comprende tanto a los coloides orgánicos como a los inorgánicos o minerales. Conviene recordar esto porque en cualquier suelo fértil

ambos tipos están presentes y desempeñan funciones de interés vital. La presencia de alto contenido de materia orgánica en la capa superficial resulta en una CIC media debido al predominio del coloide orgánico. La absorción de los iones por las plantas, están determinados por la CIC; cualquier ion que se encuentre libre en la solución del suelo, de inmediato puede ser empleado para la nutrición vegetal, pero es un hecho bien conocido que las raíces de las plantas, de ningún modo dependen exclusivamente de las influencias externas para poder hacer que los nutrimentos sean aprovechables por ellas. Experimentos cuidadosamente realizados han demostrado que las plantas pueden extraer los elementos nutritivos del suelo en cantidades que, en definitiva, exceden a las que están presentes en la solución del suelo. Esto puede explicarse tan solo si uno acepta la teoría de que las raíces de las plantas en desarrollo, a causa de su íntimo contacto con los coloides del suelo, entran directamente al intercambio catiónico. (p. 55)

Urbano (1989, como se citó en Ruiz, 2015) aporta de acuerdo a las investigaciones realizadas que:

El análisis del contenido de bases cambiables lo constituye las relaciones catiónicas; enfatizamos en las relaciones Ca/Mg, Ca/K y Mg/K cuyos rangos normales son 5 a 8, 14 a 16 y 1.8 a 2.5 respectivamente. De manera general, se observa que no guardan equilibrio entre estos cationes que son los más abundantes en los suelos. Este hecho demuestra que se producen antagonismos o competencia en la absorción de nutrientes y trae consigo deficiencias de algunos de ellos. Algunas prácticas agronómicas son necesarias en estos suelos para restablecer el equilibrio catiónico mediante la práctica del encalado y la fertilización. En cuanto a algunas propiedades físicas, entre ellas de la textura, se ha podido verificar que el perfil del suelo tiene una clase textural gruesa a fina. Esta aptitud condiciona algunos aspectos de labranza, manejo y conservación de suelos y características físico-químicas. Por ejemplo, en las mismas condiciones de mineralización de la materia orgánica, la composición granulométrica puede influir sobre este proceso; así resultaría que, bajo condiciones similares, un suelo arcilloso tendría mayor contenido de materia orgánica. Esto se debe a la formación de complejos órgano minerales y a la mayor posibilidad de que se presenten malas condiciones de aireación que no favorezcan la mineralización. (p. 56)

3.1.2. Suelo de Nueva Maravilla

En la Tabla 3.1, se presentan los resultados del análisis característico del perfil del suelo de Nueva Maravilla. En cuanto al valor del pH de los diferentes horizontes, provocan una reacción fuertemente ácida; Esta propiedad química afecta indirectamente al crecimiento y desarrollo de las plantas, influyendo significativamente en la absorción de nutrientes y en la estructura del propio suelo. (Teuscher et al., 1980, como se citó en Ruiz, 2015)

Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015), refiere con respecto a los suelos erosionados que “la erosión está dominada por pendientes onduladas y pronunciadas en el área de estudio, por lo que la razón principal de la alcalinización gradual del suelo y la reacción ácida resultante del suelo es la lixiviación de bases intercambiables”.

El contenido de materia orgánica es de 2.48%, lo que se interpreta como medio o bajo; Estos datos son consistentes con un contenido total de nitrógeno de moderado a bajo. Como se mencionó, es cierto que el suelo de esta zona tiene un contenido orgánico promedio, pero debido a las condiciones climáticas favorables de la zona, este cambia rápidamente, provocando que se destruya rápidamente. “Un factor externo importante en estos procesos es el pH. La temperatura puede jugar un papel crucial en la descomposición y mineralización, ya que están cerca o por encima del valor óptimo” (Fassbender & Bornemisza, 1987 como se citó en Ruiz, 2015). El fósforo disponible es de 5,2 ppm, el cual se clasifica como muy bajo y este elemento es uno de los principales factores limitantes en los suelos de bosques selváticos.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es bajo. La presencia de bajo contenido de materia orgánica resulta en una CIC baja debido al coloide orgánico. Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015), refiere con respecto a la absorción de iones menciona que:

La absorción de los iones por las plantas, están determinados por la CIC; cualquier ion que se encuentre libre en la solución del suelo, de inmediato puede ser empleado para la nutrición vegetal, pero es un hecho bien conocido que las raíces de las plantas, de ningún modo dependen exclusivamente de las influencias externas para poder hacer que los nutrientes sean aprovechables por ellas. Las relaciones catiónicas se observan que no guardan equilibrio entre ellos, este hecho demuestra que se

producen antagonismos o competencia en la absorción de nutrientes y trae consigo deficiencias de algunos de ellos. (p. 57)

Urbano (1989, como se citó en Ruiz, 2015) aporta de acuerdo a las investigaciones realizadas que:

En cuanto a algunas propiedades físicas, entre ellas de la textura, se ha podido verificar que el perfil del suelo tiene una clase textural fina a media. Esta aptitud condiciona algunos aspectos de labranza, manejo y conservación de suelos y características físico-químicas. Por ejemplo, en las mismas condiciones de mineralización de la materia orgánica, la composición granulométrica puede influir sobre este proceso; así resultaría que, bajo condiciones similares, un suelo arcilloso tendría mayor contenido de materia orgánica. Esto se debe a la formación de complejos organominerales y a la mayor posibilidad de que se presenten malas condiciones de aireación que no favorezcan la mineralización. (p. 58)

3.1.3. Suelo de Paraíso

En la Tabla 3.1, Se presentan los resultados del análisis característico del perfil del suelo Paraíso. El pH de los diferentes horizontes es una reacción moderadamente ácida que afecta indirectamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos, afectando significativamente la disponibilidad de nutrientes. (Teuscher et al., 1980, como se citó en Ruiz, 2015).

Dado que en el área de estudio predomina el relieve ondulado con pendientes suaves, la erosión es un factor importante, por lo que la lixiviación de bases intercambiables conduce a un paulatino deterioro del suelo y el consiguiente deterioro del suelo.

La materia orgánica es 3.13% que se interpretan como medio a bajo de acuerdo a la interpretación de Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015) “cabe resaltar que la materia orgánica disminuye con la profundidad del suelo, debido que la principal fuente proviene de los residuos vegetales, que se incorporan en la parte superficial”.

El nivel de fósforo disponible es de 5,0 ppm, lo que se clasifica como muy bajo. Este elemento es uno de los factores limitantes más importantes en los suelos selváticos. Un proceso importante a mencionar es la sorción de fosfato, un proceso de conversión de fósforo

que ocurre con la precipitación de fosfato. En los suelos estudiados, la quimisorción tiene una importancia cada vez mayor, lo que se correlaciona significativamente con los niveles de aluminio y hierro presentes en el suelo, lo que indica que los valores P finales disponibles son muy bajos. Hay muy poco potasio disponible. El comportamiento y contenido de potasio en suelos ácidos de bosques de montaña suelen ser menores. Esto se debe a que su contenido está controlado, entre otras cosas, por las condiciones climáticas, el tipo de suelo y el contenido de arcilla. Los valores bajos probablemente se deban a una potencial pérdida de potasio por arrastre de partículas superficiales del suelo como resultado de la infiltración de agua y/o erosión hídrica a través del suelo, además de problemas de fijación con la arcilla del suelo. estos pisos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es moderada. El contenido promedio de materia orgánica en la capa superficial afecta la CIC, pero el mayor contenido de arcilla tipo 1:1 conduce a valores más bajos de CIC. Como resultado de esto, estos suelos tienen un potencial de fertilidad moderado y se agotan fácilmente de bases intercambiables por lixiviación, lo que lleva a un predominio de acidez en el suelo. Aunque los rangos normales para las relaciones de cationes Ca/Mg, Ca/K y Mg/K son 5-8, 14-16 y 1,8-2,5 respectivamente, se observa un desequilibrio. Indica que existe antagonismo o competencia por la ingesta de nutrientes, lo que resulta en algunas deficiencias de nutrientes. Por tanto, es necesario restablecer el equilibrio catiónico mediante encalado y fertilización.

Urbano (1989, como se citó en Ruiz, 2015) aporta de acuerdo a las investigaciones realizadas que:

En cuanto a algunas propiedades físicas, entre ellas de la textura, se ha podido verificar que el perfil del suelo tiene una clase textural media. Esta aptitud condiciona algunos aspectos de labranza, manejo y conservación de suelos y características físico-químicas. Por ejemplo, en las mismas condiciones de mineralización de la materia orgánica, la composición granulométrica puede influir sobre este proceso; así resultaría que, bajo condiciones similares, un suelo arcilloso tendría mayor contenido de materia orgánica. Esto se debe a la formación de complejos organominerales y a la mayor posibilidad de que se presenten malas condiciones de aireación que no favorezcan la mineralización. (p. 62)

3.1.4. Suelo de Villa Virgen Alta

En la Tabla 3.1, se muestran los resultados de la caracterización del perfil del suelo de Villa Virgen Alta. En cuanto al pH de las diferentes capas, muestra una reacción

ligeramente ácida. Esta propiedad química afecta en gran medida la absorción de nutrientes y afecta indirectamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. (Teuscher & otros, 1980)

El contenido de materia orgánica es 4.18% que se interpretan como alto a medio; estos datos armonizan con el tenor alto a medio de nitrógeno total. Tal como mencionan Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015) indica que:

La temperatura podría tener un rol determinante en la descomposición y mineralización ya que se encuentran próximos al ideal o superior de los valores óptimos. Cabe resaltar que la capa superficial del suelo presenta un alto contenido de materia orgánica, el cual, por las características de la misma, le dará buenas condiciones físicas, químicas y biológicas al suelo, el cual repercutirá en el mejor desarrollo y crecimiento de los cultivos. (p. 64)

El nivel de fósforo disponible es de 17,0 ppm, clasificado como medio a bajo. Este elemento es uno de los factores limitantes más importantes en los suelos selváticos. Incluso si las condiciones ambientales (temperatura y humedad) son favorables y la capa superficial es rica en materia orgánica, la liberación de nutrientes de la materia orgánica es muy lenta debido al valor del pH. La capacidad de fijación de fósforo, que se correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica, explica los bajísimos valores finales de fósforo disponible en los suelos investigados. Potasio disponible bajo. El comportamiento y contenido de potasio en suelos ácidos selváticos suele ser siempre bajo ya que su contenido está controlado especialmente por las condiciones climáticas. Sin embargo, tanto el contenido de materia orgánica como la condición física del suelo indican un contenido promedio de potasio. Estos procesos son muy importantes para el equilibrio de los nutrientes, especialmente de las bases Ca, Mg y K. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de moderada a baja. La absorción de iones por parte de las plantas está determinada por la CIC. Todos los iones contenidos libremente en la solución del suelo están fácilmente disponibles para la nutrición de las plantas. Sin embargo, es un hecho bien conocido que las raíces de las plantas nunca dependen únicamente de influencias externas para disponer de nutrientes. El análisis del contenido de base intercambiable está determinado por las relaciones catiónicas. En general, se ha observado que existe un desequilibrio entre estos cationes más abundantes en el suelo. Este hecho indica que existe oposición o competencia en la absorción de nutrientes, resultando en una deficiencia de

algunos de los nutrientes. Estos suelos requieren algunas medidas agronómicas para restablecer el equilibrio catiónico mediante cal y fertilización.

Urbano (1989, como se citó en Ruiz, 2015) aporta de acuerdo a las investigaciones realizadas que “en cuanto a la textura, el perfil del suelo tiene una clase textural gruesa; que le proporciona al suelo condiciones adecuadas para favorecer el crecimiento y desarrollo de los cultivos”.

3.1.5. Suelo de Villa Virgen Baja

En la Tabla 3.1, se muestran los resultados del análisis de caracterización del perfil del suelo de Villa Virgen Baja. En cuanto al pH presentan una reacción fuertemente ácida a ligeramente ácido; cabe mencionar que el pH influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo cual se hace notable en la planta ya que disminuye la asimilación de nutrientes, se añade a esta afirmación que presenta efectos directos de toxicidad del Aluminio y Hierro, también ejerce una influencia en la estructura del propio suelo. (Teuscher et al., 1980, como se citó en Ruiz, 2015)

El contenido de materia orgánica es 3.27 % que se interpretan como medio a nivel bajo; estos datos armonizan con el tenor medio a bajo de nitrógeno total. Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015) menciona que:

Si bien el nitrógeno proviene de la materia orgánica, bajo condiciones ácidas las actividades beneficiosas de los microorganismos del suelo son afectados desfavorablemente. Tal como mencionan, las transformaciones más importantes en los procesos de la mineralización y la humificación son de naturaleza bioquímica. Un factor externo importante en estos procesos es el pH; según nuestros datos, es de esperar limitadas actuaciones de las bacterias y actinomicetes aunque los hongos presentan un buen desarrollo dentro de límites de pH más amplios. (p. 66)

El nivel de fósforo disponible es de 3,9 ppm, lo que se clasifica como muy bajo. Este elemento es uno de los factores limitantes más importantes en los suelos selváticos. Incluso en condiciones ambientales favorables (temperatura y humedad), la liberación de nutrientes de la materia orgánica es muy lenta debido al valor del pH. Un proceso importante a mencionar es la adsorción de fosfato, un proceso de conversión de fósforo que ocurre con la precipitación de fosfato.

Más importante para los suelos estudiados es la capacidad de fijación de fósforo, que se correlaciona fuertemente con el contenido de materia orgánica, y la presencia de aluminio, que en última instancia explica los bajísimos valores de fósforo disponible. Potasio disponible bajo. El comportamiento y contenido de potasio en suelos selváticos ácidos suele estar determinado por el hecho de que está controlado, entre otras cosas, por las condiciones climáticas. Es decir, se ha informado de infiltración desde perfiles de suelo, pérdidas por erosión y posterior escurrimiento superficial característico de hábitats en pendiente. Estos procesos son muy importantes para el equilibrio de los nutrientes, especialmente de las bases K, Ca y Mg.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es moderada. La CIC está determinada por los coloides del suelo e incluye coloides tanto orgánicos como inorgánicos o minerales. La presencia de niveles intermedios de material orgánico en la capa superficial da como resultado una CIC intermedia debido al predominio de coloides orgánicos. La absorción de iones por parte de las plantas está determinada por la CIC. Todos los iones contenidos libremente en la solución del suelo están fácilmente disponibles para la nutrición de las plantas. Sin embargo, es un hecho bien conocido que las raíces de las plantas nunca dependen únicamente de influencias externas para disponer de nutrientes. El análisis del contenido de base intercambiable se basa en las relaciones catiónicas. Énfasis en las relaciones Ca/Mg, Ca/K y Mg/K. Los rangos típicos son 5-8, 14-16 y 1,8-2,5 respectivamente. Generalmente se observa que están desequilibrados o desequilibrados. Este hecho indica que existe oposición o competencia en la absorción de nutrientes, resultando en una deficiencia de algunos de los nutrientes. Estos suelos requieren algunas medidas agronómicas para restablecer el equilibrio catiónico mediante cal y fertilización.

Urbano (1989, como se citó en Ruiz, 2015) aporta de acuerdo a las investigaciones realizadas que “en cuanto a algunas propiedades físicas, entre ellas de la textura, se ha podido verificar que el perfil del suelo tiene una clase textural media (Franco). Esta aptitud condiciona algunos aspectos de labranza, manejo y conservación de suelos y características físico-químicas”.

3.1.6. Suelo de Canayre Alta

En la Tabla 3.1., se muestran los resultados del análisis de caracterización del perfil del suelo de Canayre Alta. Respecto al pH en los diferentes horizontes es moderadamente

ácida a fuertemente ácida; cabe mencionar que el pH influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo cual se hace notable en la planta ya que disminuye la asimilación de nutrientes, se añade a esta afirmación que presenta efectos directos de toxicidad del Aluminio y Hierro, también ejerce una influencia en la estructura del propio suelo. (Teuscher et al., 1980, como se citó en Ruiz, 2015)

La cantidad de lixiviación es un factor importante para determinar si el suelo formado se vuelve ácido o no. La lluvia arrastra bases variables fuera del alcance de las raíces de las plantas. Por tanto, las zonas con una precipitación anual de 1000 mm o más tienen un alto porcentaje de suelos ácidos. Estas acides del suelo pueden deberse a una o más lixiviaciones de fuertes lluvias, fuentes de sustancias ácidas en el suelo, uso de fertilizantes productores de ácido y acción microbiana.

En el área de estudio, la erosión dominó el relieve ondulado con pendientes pronunciadas, por lo que la lixiviación de bases intercambiables fue el factor principal en la degradación gradual del suelo y la consiguiente respuesta de acidez del suelo.

El contenido de materia orgánica es 1.31% que se interpretan como bajo; este dato armoniza con el tenor bajo de nitrógeno total. Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015), si bien “el nitrógeno proviene de la materia orgánica, bajo condiciones ácidas las actividades beneficiosas de los microorganismos del suelo son afectados desfavorablemente”.

Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015), refiere con respecto al nitrógeno que:

Un factor externo importante en estos procesos es el pH; según nuestros datos, es de esperar limitadas actuaciones de los microorganismos principales responsables de la descomposición y mineralización de la materia orgánica con la consecuente liberación de elementos minerales. La temperatura podría tener un rol determinante en la descomposición y mineralización ya que se encuentran próximos al ideal o superior de los valores óptimos. (p. 57)

El contenido de fósforo disponible es de 8.5 ppm que se califican como muy bajos, Fassbender y Bornemisza (1987 como se citó en Ruiz, 2015), refiere con respecto al fosforo que:

Este es uno de los factores limitantes más importantes en los suelos selváticos. Un proceso importante a mencionar es la sorción de fosfato. Este es un proceso de conversión de P que ocurre con la precipitación de fosfato y no se puede distinguir analítica ni matemáticamente. En los suelos estudiados, la capacidad de fijación de fósforo adquirió importancia y se correlacionó fuertemente con el contenido de aluminio, hierro, manganeso y materia orgánica, lo que explica los bajísimos valores finales de fósforo disponible. (p. 57)

Potasio disponible bajo. Probablemente esto se deba a que su contenido depende especialmente de las condiciones climáticas. Se ha informado de infiltración desde perfiles de suelo, pérdidas por erosión y posterior escorrentía superficial característica de hábitats de pendientes pronunciadas. La pérdida de potasio también es posible debido a la absorción de partículas superficiales del suelo como resultado de la infiltración de agua a través del suelo y la erosión hídrica. Los problemas de reparación que provocan estas arcillas para suelos también se deben. (Fassbender & Bornemisza, 1987 como se citó en Ruiz, 2015)

Baja capacidad de intercambio catiónico (CEC). Un bajo contenido orgánico da como resultado una CIC baja debido al predominio de coloides orgánicos. La absorción de iones por parte de las plantas está determinada por la CIC.

El análisis del contenido de bases intercambiables consta de relaciones de cationes como Ca/Mg, Ca/K y Mg/K, con rangos típicos de 5-8, 14-16 y 1,8-2,5 respectivamente. Generalmente se ha observado que el equilibrio entre estos cationes no se mantiene. Este hecho indica que existe oposición o competencia en la absorción de nutrientes y que algunos de los nutrientes son deficientes. Estos suelos requieren algunas medidas agronómicas para restablecer el equilibrio catiónico mediante encalado y/o fertilización.

Urbano (1989, como se citó en Ruiz, 2015) aporta de acuerdo a las investigaciones realizadas que “la textura del perfil del suelo tiene una clase textural de media (Franco y franco arcillosa). Esta aptitud condiciona algunos aspectos de labranza, manejo y conservación de suelos y características físico-químicas”.

3.1.7. Suelo de Canayre Baja

En la Tabla 3.1., muestra los resultados del análisis del perfil de suelo de Canayre Baja. En cuanto al pH de las distintas capas, presentan una respuesta de moderadamente ácida a ligeramente ácida. Esta propiedad química afecta indirectamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, tiene un impacto significativo en la absorción de nutrientes e influye fuertemente en la estructura del propio suelo. (Teuscher et al., 1980)

“En la zona en estudio, al dominar un relieve ondulado con laderas con pendiente llana, la lixiviación de bases cambiables es la principal causa de la paulatina desbasificación de los suelos y la consecuente reacción ácida de los suelos”.

El contenido de materia orgánica es de 2,35%, lo que se interpreta como moderado a bajo. Estos datos son consistentes con niveles moderados a bajos de nitrógeno total. Como señalaron Fassbender y Bornemisza (1987), el pH es un factor externo importante en estos procesos. Nuestros datos sugieren un efecto limitado de los principales microorganismos involucrados en la descomposición y mineralización de la materia orgánica, lo que resulta en la liberación de elementos inorgánicos. La temperatura puede desempeñar un papel importante a la hora de acercar o superar los niveles ideales de descomposición y petrificación. El nivel de fósforo disponible es de 1,2 ppm, lo que se clasifica como muy bajo. Este elemento es uno de los factores limitantes más importantes en los suelos selváticos. Un proceso importante a mencionar es la sorción de fosfato. Este es un proceso de conversión de P que ocurre con la precipitación de fosfato y no se puede distinguir analítica ni matemáticamente. En los suelos estudiados, la capacidad de fijación de fósforo adquirió importancia y se correlacionó fuertemente con el contenido de aluminio, hierro, manganeso y materia orgánica, lo que explica los bajísimos valores finales de fósforo disponible. Potasio disponible bajo. Probablemente esto se deba a su particular dependencia de las condiciones climáticas. Se ha informado de infiltración desde perfiles de suelo, pérdidas por erosión y posterior escorrentía superficial característica de hábitats de pendientes pronunciadas. La pérdida de potasio también es posible debido a la absorción de partículas superficiales del suelo como resultado de la infiltración de agua a través del suelo y la erosión hídrica. También se debe a los problemas de fijación que provoca la arcilla en estos suelos. Baja capacidad de intercambio catiónico (CEC). Un bajo contenido orgánico da como resultado una CIC baja debido al predominio de coloides orgánicos.

Urbano (1989, como se citó en Ruiz, 2015) aporta de acuerdo a las investigaciones realizadas que “la absorción de iones por parte de las plantas está determinada por la CIC. La textura del perfil del suelo tiene una clase textural de media (Franco y franco arcillosa arenosa). Esta aptitud condiciona algunos aspectos de labranza, manejo y conservación de suelos y características físico-químicas”.

3.1.8. Suelo de Pacífico

En la Tabla 3.1., se muestran los resultados del análisis de caracterización del perfil del suelo de Pacífico. “El pH en los diferentes horizontes es de reacción ligeramente ácido a neutro; esta propiedad química tiene un efecto indirecto sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas al afectar de modo notable la asimilación de los nutrientes”. (Teuscher et al., 1980)

En el área de estudio, la erosión es un factor importante debido a la topografía, y la lixiviación de bases intercambiables es la principal causa de la degradación gradual del suelo y la resultante reacción ácida del suelo. El contenido de materia orgánica fue del 4,31%, lo que se traduce de mayor a menor en relación con el contenido total de nitrógeno. El elemento no está presente en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades de los cultivos y las pruebas biológicas revelan deficiencias en las propiedades. El nitrógeno se obtiene de la materia orgánica, pero en condiciones ácidas las actividades beneficiosas de los microorganismos del suelo se ven afectadas negativamente. Como señalaron Fassbender y Bornemisza (1987), las temperaturas cercanas o superiores a las ideales pueden desempeñar un papel importante en la descomposición y petrificación. El nivel de fósforo disponible es de 16,4 ppm, clasificado como medio a bajo. Este elemento es uno de los factores limitantes más importantes en los suelos selváticos. Incluso en condiciones ambientales favorables (temperatura y humedad), la liberación de nutrientes de la materia orgánica es muy lenta debido al valor del pH.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de moderada a baja. La CIC está determinada por los coloides del suelo e incluye coloides tanto orgánicos como inorgánicos o minerales. Experimentos cuidadosos han demostrado que las plantas pueden, en última instancia, extraer nutrientes del suelo en cantidades que exceden las presentes en la solución del suelo. Esto sólo puede explicarse aceptando la teoría de que las raíces de las plantas en desarrollo entran directamente en el intercambio catiónico porque están en estrecho contacto

con el coloide del suelo. En cuanto a la textura, se encontró que el perfil del suelo tiene una clase de textura fina (arcillosa). Esta idoneidad determina varios aspectos del cultivo, del manejo y conservación del suelo y de las propiedades fisicoquímicas. Por ejemplo, bajo las mismas condiciones de petrificación de la materia orgánica, la composición granulométrica puede afectar este proceso. Esto indica un mayor contenido de materia orgánica en suelos arcillosos en condiciones similares.

Probablemente esto se deba a la formación de complejos organominerales y malas condiciones de aireación que no favorecen la petrificación (Urbano, 1989).

3.2. IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEFICIENTES EN LOS SUELOS A TRAVÉS DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

Se procedió a realizar el análisis de varianza para los tratamientos en estudio en las diferentes localidades (Tabla 3.2), se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para el sitio, el tratamiento (elemento faltante) y la interacción sitio-tratamiento, con niveles de nutrientes en diferentes sitios expuestos a la presencia o ausencia de nutrientes de macro y microelementos, lo que sugiere que existe una diferencia. el coeficiente de variación es del 4,64%. El coeficiente de variación es una medida de qué tan bueno es su experimento y le brinda confianza en sus resultados.

Tabla 3.2.

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

FV	GL	SC	CM	FC	Pr >Fc
Suelo (S)	7	72.37	10.34	648.56	<0.0001 **
Tratamientos (T)	8	224.90	28.11	1763.47	<0.0001 **
Interacción (S x T)	56	37.10	0.66	41.56	<0.0001 **
Error	154	2.30	0.02		
Total	225	336.67			

C.V. = 4.64 %

3.2.1. Suelo de Coronel Portillo

Tabla 3.3.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Coronel Portillo

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	32.41	4.05	178.48	<0.0001 **
Error	18	0.41	0.02		
Total	26	32.82			

C.V. = 4.13 %

En la Tabla 3.3, se muestra el ANVA donde se encontró una diferencia estadística altamente significativa para los rendimientos de materia seca de los suelos de Coronel Portillo con un coeficiente de variación de 4.13% para los tratamientos estudiados, lo que indica que los datos experimentales obtenidos se encuentran dentro del rango de error aceptable. Por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para confirmar que la producción de materia seca probablemente se deba a los efectos de los nutrientes utilizados.

Tabla 3.4.

Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Coronel Portillo.

Tratamiento	Materia Seca (g)	ALS (D)
- Ca	6,22	a
- ME	4,02	b
- S	4,00	b
- K	3,81	b
- Mg	3,78	b
C	3,44	c
- P	2,54	d
- N	2,53	d
T	2,47	d

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 3.4) reveló diferencias significativas entre tratamientos. -Ca supera a otros tratamientos. No son estadísticamente diferentes y superan a los tratamientos -ME, -S, -K y -Mg, pero tampoco son estadísticamente

diferentes entre los tratamientos -P, -N y T. El proceso sin calcio (-Ca) es el proceso que arroja la mayor producción promedio de materia seca con un 95% de certeza. Por otro lado, los tratamientos -P, -N y testigo son los que presentan menores rendimientos promedio de materia seca. En consecuencia, la evidencia lleva a concluir que en promedio los elementos N y P son los elementos más deficientes que limitan la producción agrícola en la ciudad de Coronel Portillo.

3.2.2. Suelo de Nueva Maravilla

Tabla 3.5.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Nueva maravilla.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	33.36	4.17	362.34	<0.0001 **
Error	18	0.21	0.01		
Total	26	33.56			

C.V. = 4.38 %

En la Tabla 3.5, se muestra el ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo Nueva Maravilla. Encontrándose una alta diferencia significativa con un coeficiente de variación de 4.389%, lo cual es aceptable. De acuerdo a estos datos podemos concluir que la producción de materia seca se vio influenciada por los nutrientes utilizados.

Tabla 3.6.

Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Nueva Maravilla.

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)	
- ME	3,48	a	
C	3,36	a	b
- Ca	3,24		b
- Mg	2,98		c
- S	2,92		c
- K	2,64		d
- N	2,54		d
- P	0,50		e
T	0,39		e

Utilizando la prueba de contraste de Duncan (Tabla 3.6), no se encontraron diferencias significativas entre los siguientes tratamientos. -ME y C, que son superiores a otros tratamientos. Tampoco hay diferencia entre los tratamientos -Mg y -S, que son superiores a cualquiera de los tratamientos. El tratamiento libre de oligoelementos (-ME) proporciona la mayor producción promedio de materia seca con un 95 % de confianza. Por otro lado, el tratamiento-P y el control son los que presentan menores rendimientos promedio de materia seca. De esto se puede concluir que, en promedio, P. es el factor limitante más deficiente de la producción agrícola en la ciudad de Nueva Maravilla.

3.2.3. Suelo de Paraíso

Tabla 3.7.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Paraíso.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	37.18	4.65	473.72	<0.0001 **
Error	18	0.18	0.01		
Total	26	37.36			

C.V. = 3.67 %

En la Tabla 3.7, se muestra el ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Paraíso, encontrándose una alta diferencia significativa con un coeficiente de variación de 3.67%, lo cual es aceptable. De acuerdo a estos datos podemos concluir que el rendimiento de materia seca se vio influenciada por los nutrientes utilizados.

Tabla 3.8.

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Paraíso.

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)	
- ME	3,81	a	
- Mg	3,67	a	b
- S	3,54		b
- Ca	3,35		c
C	3,34		c
- K	3,06		d
- N	2,15		e
- P	0,68		f
T	0,66		f

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 3.8) no reveló diferencias significativas entre los siguientes tratamientos. -ME y -Mg son superiores a otros tratamientos. Por otro lado, -Mg y -S tampoco muestran diferencias entre los tratamientos y son superiores a los tratamientos. El tratamiento libre de oligoelementos (-ME) proporciona la mayor producción promedio de materia seca con un 95% de confianza. Por otro lado, el tratamiento-P y el control son los que presentan menores rendimientos promedio de materia seca. En consecuencia, los resultados permiten concluir que, en promedio, P. es el factor limitante más deficiente de la producción agrícola en la ciudad de Paraíso.

3.2.4. Suelo de Villa Virgen Alta

Tabla 3.9.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Villa Virgen Alta.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	29.66	3.71	108.25	<0.0001 **
Error	18	0.62	0.03		
Total	26	30.27			

C.V. = 5.24 %

La tabla 3.9 muestra el ANVA para el rendimiento de materia seca del suelo Santa Rosa. Se encontró una diferencia estadística altamente significativa para los tratamientos investigados con un coeficiente de variación del 5,24%, lo que indica que los datos corresponden a los valores experimentales obtenidos en suelo. El margen de error que se permite. Por lo tanto, podemos especular que la producción de materia seca probablemente se deba al efecto de los nutrientes agregados al suelo.

Tabla 3.10.

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Villa Virgen Alta.

Tratamiento	Materia Seca (g)	ALS (D)
- Mg	5,14	a
- Ca	4,67	b
C	3,96	c
- S	3,91	c
- ME	3,87	c
- K	3,52	d
- N	2,86	e
- P	1,98	f
T	1,88	f

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 3.10) mostró que el tratamiento sin magnesio (-Mg) fue superior a otros tratamientos, al igual que el tratamiento sin calcio (-Ca). Los tratamientos C, -S y -ME son superiores al tratamiento, por lo que no existe una diferencia significativa entre ellos. El Tratamiento P y Control tuvieron los rendimientos promedio de materia seca más bajos. De lo anterior se puede concluir que, en promedio, el elemento limitante más deficiente en la producción agrícola en la localidad de Vila Virgen Alta es P.

3.2.5. Suelo de Villa Virgen Baja

Tabla 3.11.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Villa Virgen Baja.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	22.25	2.78	549.62	<0.0001 **
Error	18	0.09	0.01		
Total	26	22.34			

C.V. = 3.88 %

La Tabla 3.11 muestra el ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Villa Virgen Baja, encontrándose una alta diferencia significativa con un coeficiente de variación de 3.88%, lo cual es aceptable. De acuerdo a estos datos podemos concluir que

el rendimiento de materia seca del suelo Villa Virgen se vio influenciada por los nutrientes utilizados.

Tabla 3.12.

Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Villa Virgen Baja.

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)
- Ca	2,84	a
C	2,76	a
- ME	2,75	a
- N	2,47	b
- S	1,97	c
- K	1,51	d
- N	1,28	e
- P	0,48	f
T	0,41	f

De la prueba de contraste de Duncan (Tabla 3.12), podemos ver que los tratamientos -Ca, C y -ME son superiores a estos tratamientos, por lo que no hay diferencias significativas entre ellos. Por lo tanto, se puede decir que en promedio los elementos P y N son los más deficientes, limitando la producción de cultivos en la localidad de Villa Virgen Baja.

3.2.6. Suelo de Canayre Alta

Tabla 3.13.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Canayre Alta.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	42.99	5.37	304.37	<0.0001 **
Error	18	0.32	0.02		
Total	26	43.31			

C.V. = 5.77 %

En la Tabla 3.13 se muestra el ANVA de rendimiento de materia seca del suelo mejorado, donde se observó una diferencia estadística muy significativa con un coeficiente de variación del 5.77% para los tratamientos estudiados, lo que indica que los

datos experimentales obtenidos se encuentran dentro de límites aceptables. margen de error. Por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para confirmar que la producción de materia seca probablemente se debe al efecto de los nutrientes aplicados.

Tabla 3.14.

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Canayre Alta.

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)	
- Ca	4,60	a	
- Mg	2,97	b	
- ME	2,88	b	
- K	2,60	c	
- S	2,38	c	d
- N	2,36	d	
C	2,35	d	
- P	0,30	e	
T	0,26	e	

De la prueba de contraste Duncan (Tabla 3.14), se observa que el tratamiento sin calcio es superior estadísticamente a los demás tratamientos, mientras que entre los tratamientos –Mg y –ME no existe diferencia significativa, siendo estos superiores a los demás tratamientos entre los tratamientos, siendo estos superiores a los tratamientos –P y Testigo las cuales no se diferencian entre ellos. En consecuencia, podemos establecer que, en promedio, el elemento más deficiente y que limita la producción de los cultivos en la localidad de Canayre Alta es el P, seguido del N, S y K respectivamente

3.2.7. Suelo de Canayre Baja

Tabla 3.15.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Canayre Baja.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	38.75	4.84	556.75	<0.0001 **
Error	18	0.16	0.01		
Total	26	38.91			

C.V. = 3.85 %

En la Tabla 3.15 se muestra el ANVA del rendimiento de materia seca del suelo Canayre Baja, donde se observó una diferencia estadística muy significativa con un coeficiente de variación del 3.85% para los tratamientos estudiados, lo que indica que los datos de los resultados de los ensayos obtenidos se encuentran dentro de límites aceptables. margen de error. Así, se puede argumentar que la formación de materia seca probablemente se deba al efecto de los nutrientes aplicados. Al existir diferencia estadística entre tratamientos se realizó la prueba de contraste de Duncan.

Tabla 3.16.

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Canayre Baja.

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)			
- S	3,85	a			
- ME	3,69	b			
C	3,08		d		
- Mg	2,95		d	d	
- Ca	2,90			d	
- K	2,56				e
- N	1,96				f
- P	0,43				g
T	0,38				g

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 3.16) mostró que el tratamiento libre de azufre (-S) fue superior a los demás tratamientos, al igual que el tratamiento libre de ME. Estos superaron a los tratamientos -P y control, que tuvieron los rendimientos promedio de materia seca más bajos. Por lo tanto, se puede decir que los elementos P y N son los más deficientes en promedio y limitan la producción de cultivos en la ciudad de Canaire Baja.

3.2.8. Suelo de Pacífico

Tabla 3.17.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Pacífico.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	25.41	3.18	177.92	<0.0001 **
Error	18	0.32	0.02		
Total	26	25.73			

C.V. = 4.59 %

La tabla 3.17 muestra el ANVA para el rendimiento de materia seca en suelos del Pacífico. Los tratamientos investigados muestran una diferencia estadística altamente significativa con un coeficiente de variación del 4.59%, lo que indica que los datos experimentales obtenidos se encuentran dentro del rango de error aceptable. Por lo tanto, se puede inferir que la producción de materia seca probablemente se debió al efecto de los nutrientes utilizados. Debido a diferencias estadísticas entre tratamientos, se realizaron imágenes de Duncan.

Tabla 3.18.

Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Pacífico.

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)	
- S	4,01	a	
- ME	3,77	b	
- Ca	3,66	b	c
- Mg	3,53		c
- K	3,22		d
C	2,94		e
- N	2,54		f
- P	1,34		g
T	1,21		g

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 3.18) muestra que el tratamiento sin azufre (-S) supera a los demás tratamientos, así como los tratamientos sin -ME y -Ca superan a los demás tratamientos. Estos superaron a los tratamientos -P y control, que tuvieron los rendimientos promedio de materia seca más bajos. En consecuencia, se puede concluir que, en promedio, el fósforo y el nitrógeno son los elementos más deficientes que limitan la producción agrícola en la Cuenca del Pacífico.

3.3. IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEFICIENTES EN LOS SUELOS POR TRATAMIENTO A TRAVÉS DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

Se realizó la prueba de significación a los resultados obtenidos de cada tratamiento, esto con fines de mayor entendimiento para el presente trabajo de investigación:

3.3.1. Tratamiento testigo (T)

La tabla 3.19, muestra alta significación estadística en los suelos testigo, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión.

Tabla 3.19.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento testigo en los diferentes suelos.

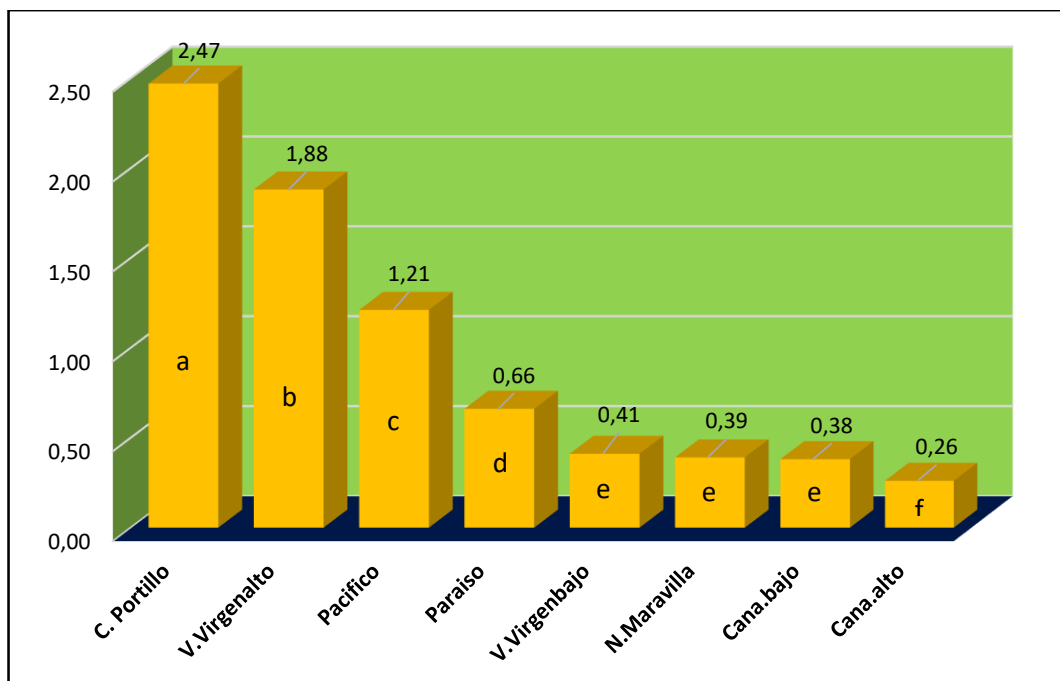
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	14.16	2.02	448.31	<0.0001 **
Error	16	0.07	0.0045		
Total	23	14.23			

C.V. = 7.02 %

Los rendimientos de materia seca de control reflejan diferencias en la fertilidad natural del suelo. Los suelos de Coronel Portillo son naturalmente más fértiles que los de otras localidades y, ante todo, ricos en minerales. Los suelos de Vila Virgen Baja, Nueva Maravilla y Canaire Baja con bajas reservas minerales no son diferentes.

Figura 3.1.

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



3.3.2. Tratamiento sin nitrógeno (-N)

La tabla 3.20 muestra alta significación estadística en los suelos sin N, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Tabla 3.20.

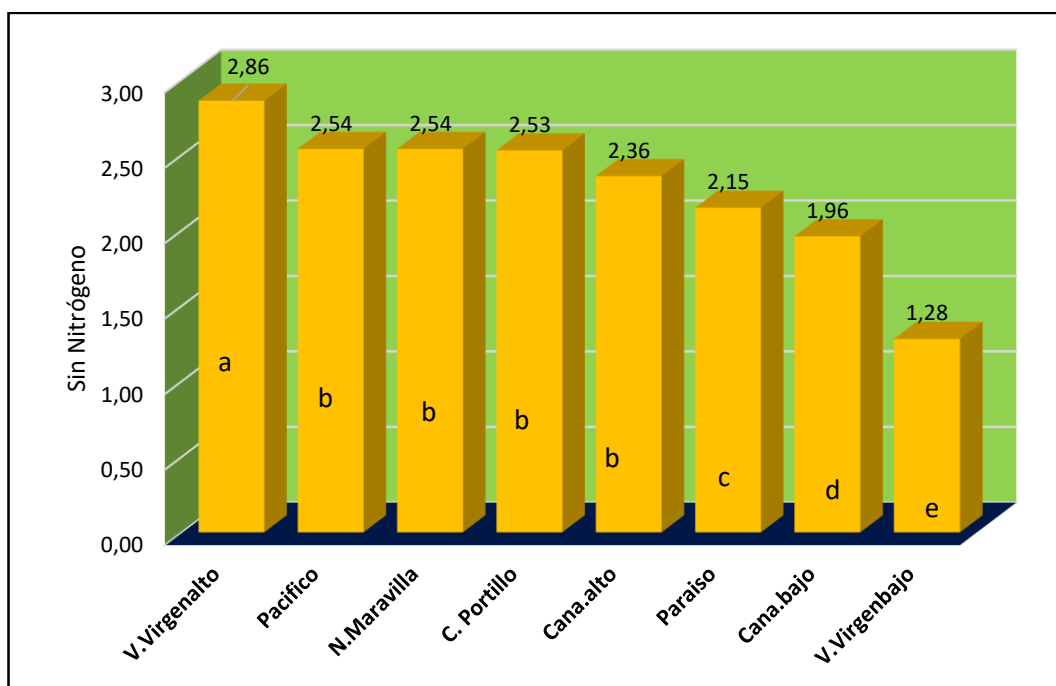
Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin nitrógeno (-N) en los diferentes suelos.

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	4.98	0.71	28.43	<0.0001 **
Error	16	0.40	0.03		
Total	23	5.38			

C. V. = 6.94 %

Figura 3.2.

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



La respuesta al tratamiento sin nitrógeno, es variable en los 08 suelos. El suelo de Villa Virgen Alta es el más deficiente en nitrógeno, seguido de los suelos Canayre Baja y Paraíso respectivamente.

3.3.3. Tratamiento sin fósforo (-P)

Tabla 3.21.

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

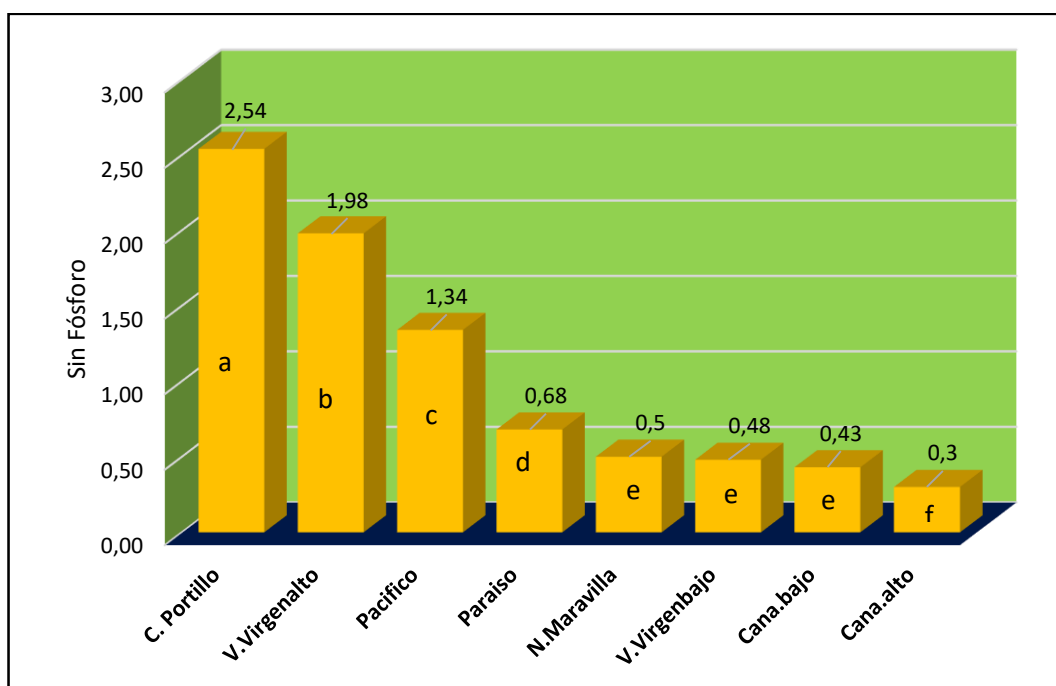
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	14.66	2.09	337.80	<0.0001 **
Error	16	0.10	0.01		
Total	23	14.76			

C.V. = 7.63 %

La tabla 3.21 muestra alta significación estadística en los suelos sin P, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 3.3.

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



De la figura 3.3, podemos indicar que el suelo de Coronel Portillo tiene mejor respuesta a la no aplicación de fósforo, siendo superior a los demás, se puede indicar entonces que puede deberse a que en el análisis de suelo arrojó niveles bajos de fósforo disponible en los suelos en estudio, el cual se ve directamente influenciada en los tratamientos de no aplicación de este elemento. En tal sentido podemos indicar que la

mayoría de suelos estudiados del distrito de Canayre son muy deficientes en fósforo, el cuál sería el elemento más limitante en la producción del cultivo de cacao.

3.3.4. Tratamiento sin potasio (-K)

Tabla 3.22.

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

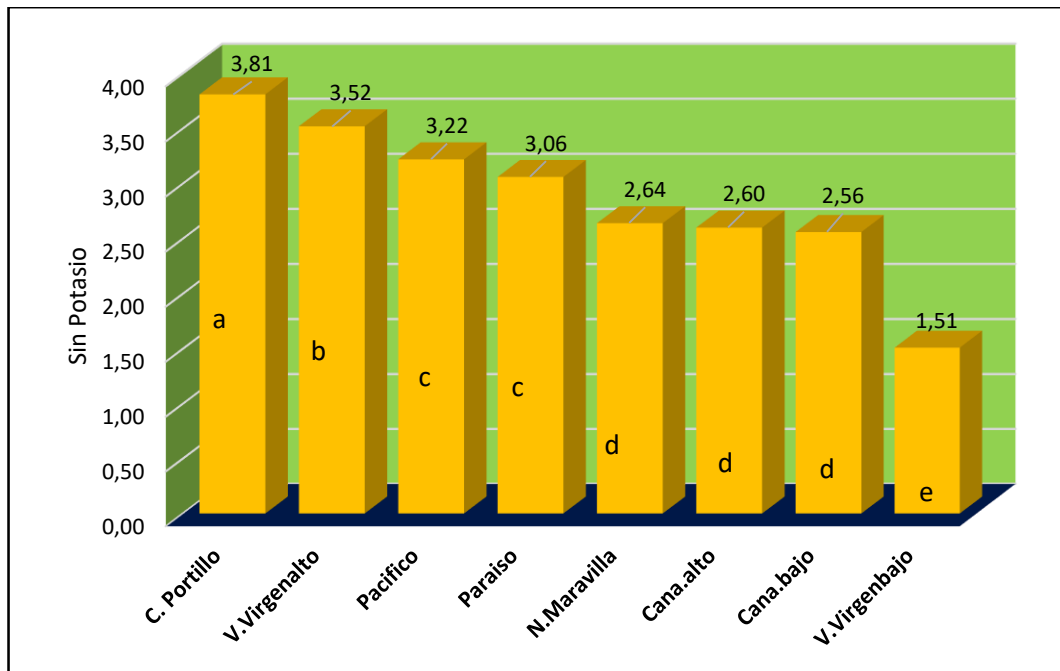
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	10.59	1.51	160.49	<0.0001 **
Error	16	0.15	0.01		
Total	23	10.74			

C.V. = 3.39 %

La tabla 3.22 muestra alta significación estadística en los suelos sin K, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 3.4.

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



En la figura 3.4, se muestra la prueba de contraste Duncan, en el que se puede apreciar, la respuesta al tratamiento sin potasio, se diferencian en todos los suelos, sin

diferencia entre los suelos de Nueva Maravilla, Canayre Alto y Canayre Baja; probablemente debido a que dichos suelos presentan bajo contenido de potasio disponible, debido a que en la selva se presenta una alta precipitación que genera que los suelos tienen arcillas fijadoras de K.

3.3.5. Tratamiento sin azufre (-S)

Tabla 3.23.

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

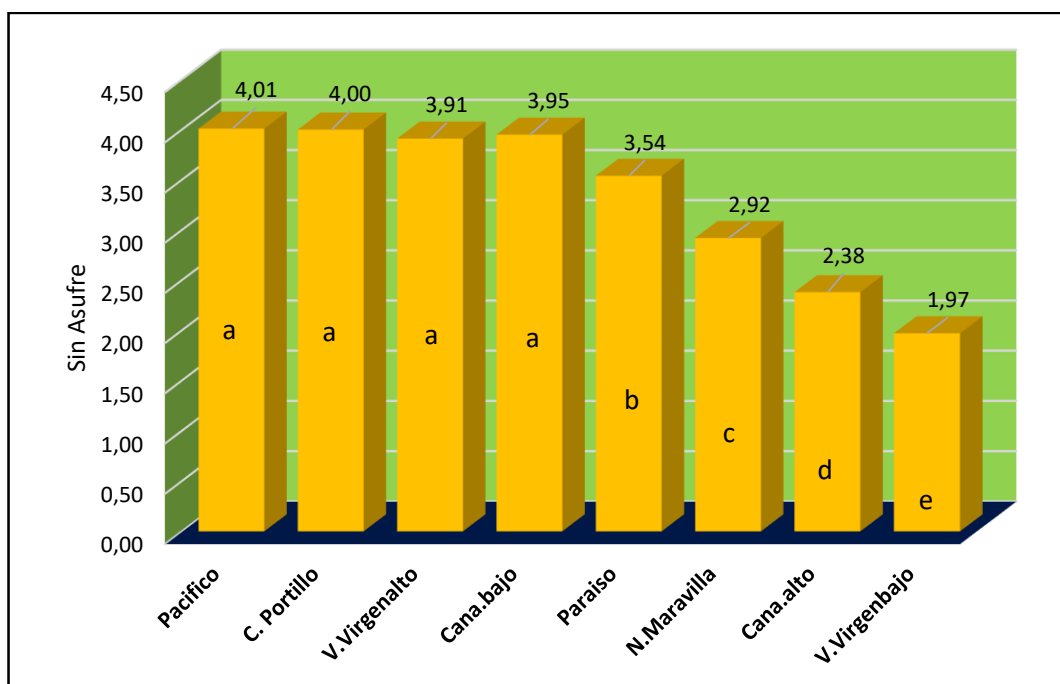
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	13.41	1.92	131.00	<0.0001 **
Error	16	0.23	0.01		
Total	23	13.65			

C.V. = 3.63 %

La tabla 3.23 muestra alta significación estadística en los suelos sin S, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 3.5.

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



En la figura 3.5 observamos la respuesta del cultivo a la no adición de azufre en los diferentes suelos, podemos aseverar que las respuestas a su no adición se reflejen en forma variable en la producción de materia seca. El suelo de Villa Virgen Alta seguido de Canayre Baja presenta mayor deficiencia en azufre que los demás suelos.

3.3.6. Tratamiento sin calcio (-Ca)

Tabla 3.24.

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

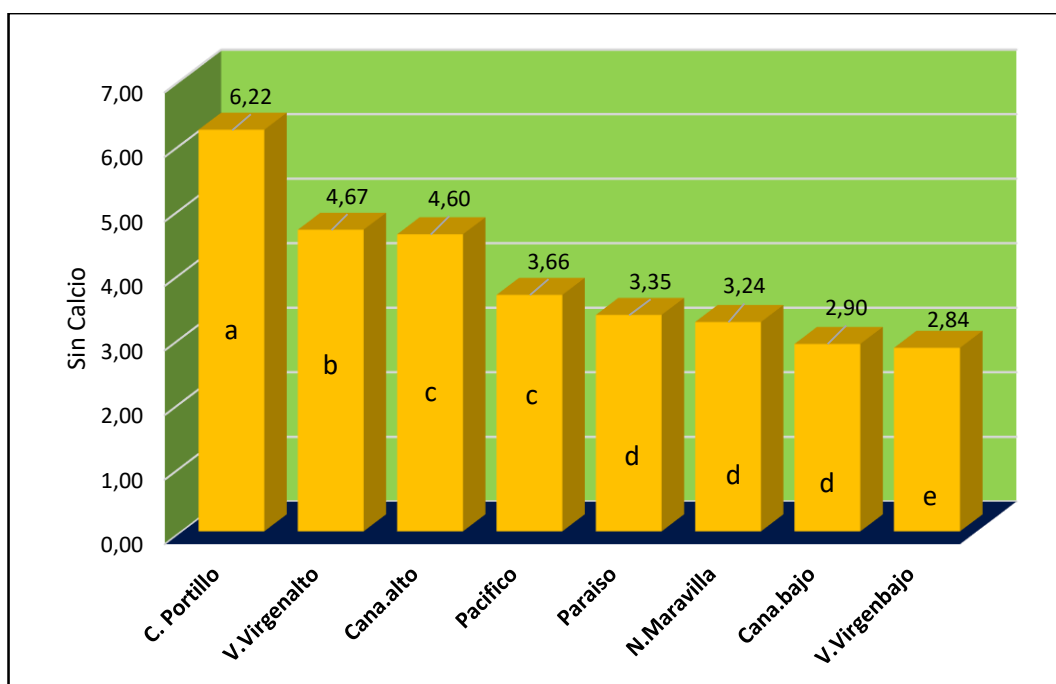
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	28.04	4.01	226.98	<0.0001 **
Error	16	0.28	0.02		
Total	23	28.33			

C.V. = 3.38 %

La tabla 3.24 muestra alta significación estadística en los suelos sin Ca, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 3.6.

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



La respuesta de los suelos a este tratamiento ha sido variable debido a su nivel en el suelo de los cuales podemos indicar que:

Los suelos S4, S2 y S6 no se diferencian entre sí, siendo superiores a los demás suelos, asimismo entre los suelos S2, S6, S1, S3 y S5 no existe diferencia, lo mismo ocurre entre los suelos S1, S3, S5 y S7; estas variaciones en el rendimiento de materia seca, se debe probablemente al nivel de calcio en dichos suelos, que se encuentran en rango variable por las mismas condiciones edafológicas y climáticas de la zona en estudio.

3.3.7. Tratamiento sin magnesio (-Mg)

Tabla 3.25.

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

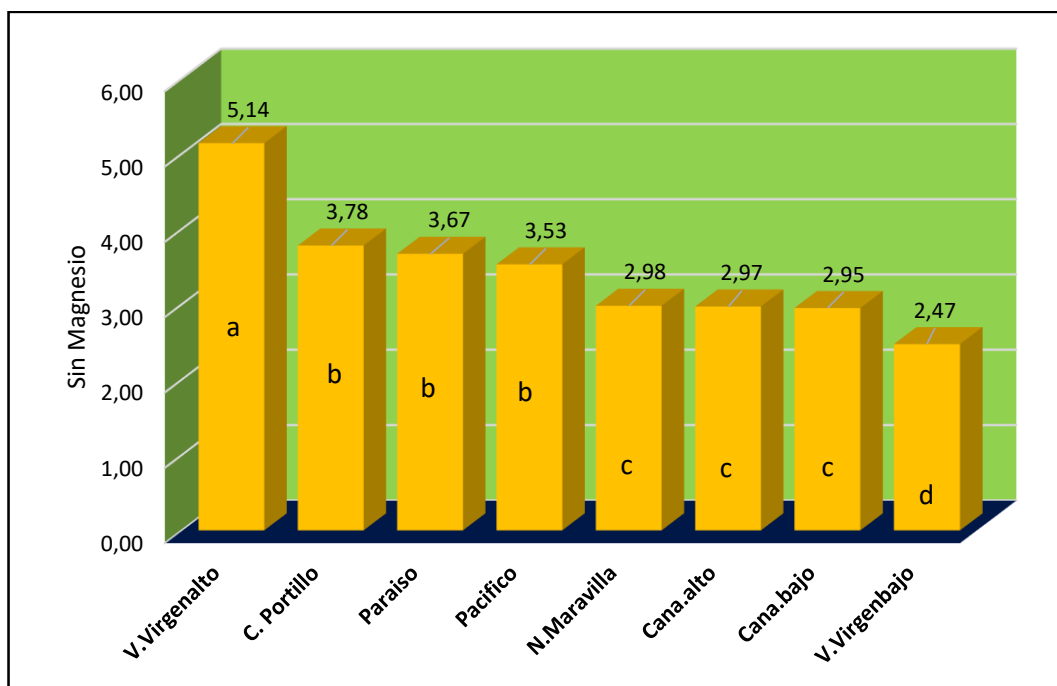
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	14.05	2.01	75.70	<0.0001 **
Error	16	0.42	0.03		
Total	23	14.47			

C.V. = 4.74 %

La tabla 3.25 muestra alta significación estadística en los suelos sin Mg, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 3.7.

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



Los suelos responden de manera diferente a los tratamientos. En este caso, el suelo de Vila Virgen Alta es superior a los demás y responde al tratamiento con la mayor producción media de materia seca por su alto contenido en este nutriente. Los pisos S6, S2 y S5 no se diferencian entre sí. De manera similar, los suelos S5, S7 y S1 son mejores que el suelo S3, por lo que no hay diferencia entre ellos. Según las consideraciones anteriores, funciona de manera similar a ningún tratamiento con calcio.

3.3.8. Tratamiento sin microelementos (-ME)

Tabla 3.26.

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

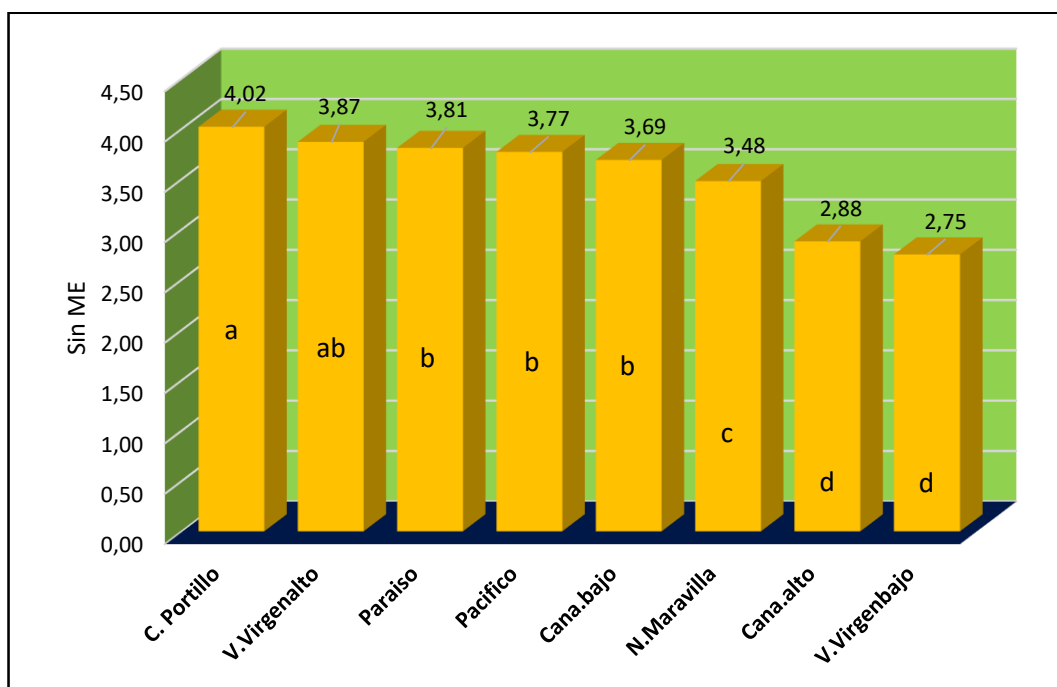
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	4.63	0.66	61.40	<0.0001 **
Error	16	0.17	0.01		
Total	23	4.80			

C.V. = 2.94 %

La tabla 3.26 muestra alta significación estadística en los suelos sin ME, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 3.8.

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



Los suelos S4, S1 y S6 son superiores a los demás suelos, por lo que no existe diferencia significativa entre los suelos, pero los suelos S1, S6, S2, S5, S3 y S7 se diferencian entre sí en términos de producción de materia seca. No. El contenido de oligoelementos está relacionado con el contenido de materia orgánica en el suelo y su reacción. Teniendo en cuenta los puntos anteriores, el suelo puede contener suficientes oligoelementos para satisfacer las necesidades del cultivo.

3.3.9. Tratamiento completo (C)

Tabla 3.27.

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento completo (C) en los diferentes suelos.

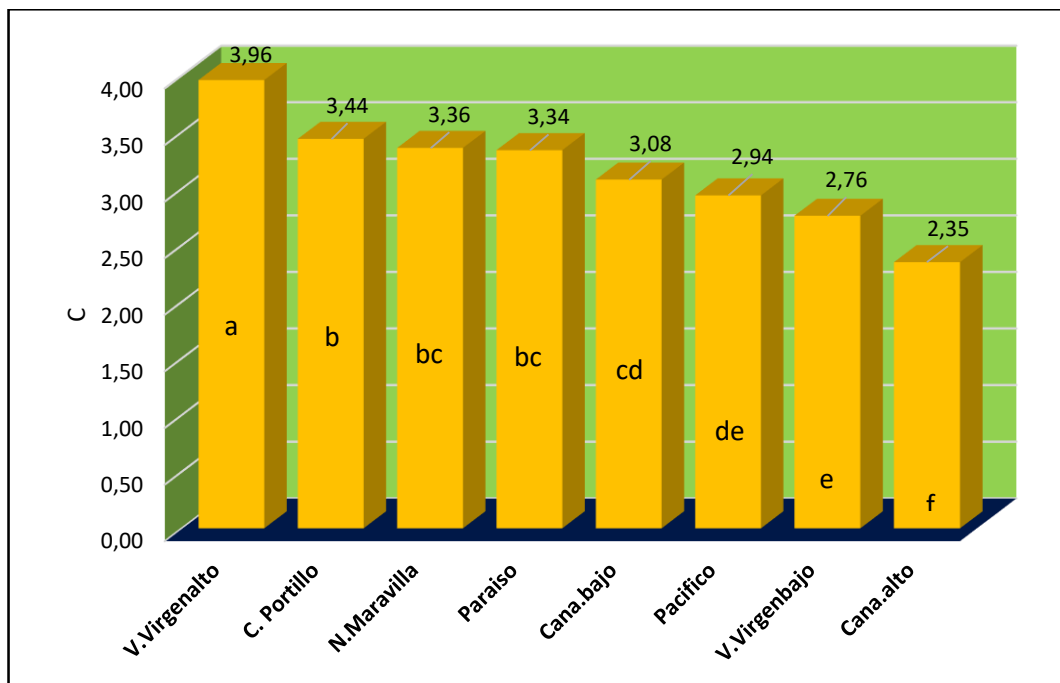
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	4.94	0.71	24.58	<0.0001 **
Error	16	0.46	0.03		
Total	23	5.40			

C.V. = 5.37 %

La tabla 3.27 muestra alta significación estadística en los suelos con todos los nutrientes (C), permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 3.9.

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



El aumento de los rendimientos está directamente relacionado con el contenido de nutrientes naturales, que también influye en la adición de nutrientes mediante el procesamiento. En este sentido, el suelo de Buena Gana es superior a otros suelos, aunque

la fertilidad natural es excelente, pero aún inadecuada, y la suplementación de nutrientes es absolutamente necesaria para mejorar el rendimiento. Los suelos S6, S2, S5, S1 y S7 no se diferencian entre sí y superan al suelo S3. No hay diferencia en el rendimiento de materia seca entre los suelos S7 y S3, que es inferior a otros suelos.

Un factor importante a considerar en estos suelos es el pH. Para valores muy ácidos, el pH afecta más o menos a la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo.

Los resultados de producción de materia seca de los tratamientos de suelo y análisis químicos son relevantes, ya que los rendimientos más bajos se obtienen de los tratamientos carentes de P, S, N, K, Ca, Mg y ME. El orden de las deficiencias de nutrientes en los suelos estudiados es generalmente el siguiente: P>S>N>K>Ca>Mg>ME. La falta de cationes intercambiables como calcio y magnesio se debe principalmente a la pendiente topográfica y a la precipitación, lo que provoca una fuerte escorrentía para la lixiviación de estos dos nutrientes, mientras que el potasio queda secuestrado en la arcilla por separado de la lixiviación.

CONCLUSIONES

Los resultados encontrados en el presente trabajo de investigación permiten arribar a las conclusiones siguientes:

1. Los suelos del distrito de Canayre, específicamente los suelos con cultivo de cacao tienen un nivel de fósforo disponible bajo, nitrógeno total de medio a bajo, potasio disponible muy bajo, con relaciones catiónicas desbalanceadas.
2. Se establece el orden de deficiencia siguiente: P>S>N>K>Ca>Mg>ME, para las 08 comunidades evaluadas con cultivo de cacao.
3. Con respecto al nivel nutricional de los suelos en los suelos con cultivo de cacao en el distrito de Canayre está influenciado por la acidez de los mismos, ya que afecta en la disponibilidad del P, S, Ca y Mg. El fósforo es el más limitante en el crecimiento y desarrollo de la planta indicadora.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a las consideraciones y resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se recomienda:

1. Realizar más estudios de caracterización de suelos de diferentes cultivos predominantes del distrito de Canayre, con la finalidad de tener una base de datos con información de los suelos del distrito.
2. Al ser el fósforo el elemento más limitante en los suelos, es necesario realizar un mapeo de la disponibilidad de fosforo en los suelos del distrito, esto con la finalidad de calcular el nivel crítico en los suelos del Valle Río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUCKMAN H. y BRADY N. (1985). Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial UTEHA. México 590 p.
- BLACK, F. (1975). Relaciones Suelo - Planta. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires. 420 p.
- CHAMINADE, R. " Recherches sur la fertilité et la fertilisation des sols en régions tropicales ". Agro-tropicale (France) 1972.
- DEVLIN, R. (1970) Fisiología vegetal. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 614 p.
- DOMINGUEZ A. (1989). Tratado de Fertilizantes. Edit. Mundi Prensa. Madrid. 601 p.
- ESTRADA, J. (1986) Curso de nutrición mineral de las plantas. UNA La Molina. Lima - Perú. 196 p.
- EDWARD J. PLASTER. (1982). La Ciencia del suelo y su manejo. Editores Delmar. 404p.
- ESKES, B; & C. LANAUD. (2001). Cocoa. In: Tropical Plant Breeding. Charrier et. al., (eds) CIRAD, France.
- FASSBENDER, H. (1993). Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2da edición. Turrialba, Costa Rica.
- 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^{ta} edición. Editorial IICA. San José – Costa Rica. 350p.
- GARCÍA, C. L. (2000). Grupos y variedades de cacao. Cultivo del cacao en la amazonia peruana. (Arca, M, ed.) INIA, Lima - Perú.
- INFOAGRO. (2008), en su página Web:
http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate_3.htm.
<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>.
- IBAÑEZ, R.A. (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. Vol 1, 1976 pp.
- PALOMINO, R. (1987) Estado nutricional de algunos suelos agrícolas de la provincia de Huamanga, Cangallo, Víctor Fajardo y Vilcashuamán del departamento de Ayacucho. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de ciencias Agrarias-UNSCH. Ayacucho Perú.

- PERALTA (2003), *Caracterización morfogénica y estado nutricional de suelos agrícolas de Chiara Ayacucho, con énfasis en zonas paperas*
- RAMIRESZ, G.E." Retención del sulfato y relación fósforo- sulfato en suelos de Costa Rica" Tesis Mg.Sc Turrialba Costa Rica, ILCA-OEA, 1974.
- RUIZ (2015), “*Evaluación del estado nutricional de suelo con cultivo de café (Coffea arabica) del distrito de Anco – La Mar, Ayacucho*” [Tesis para obtención de título – Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga] http://209.45.73.22/bitstream/UNSCH/902/1/Tesis%20Ag1140_Rui.pdf
- SORIA, V. J. (1970). Principal varieties of cacao cultivated in tropical America. Cocoa Growers. Bulletin, N° 15, pp: 12-21.
- TISDALE y NELSON. (1987). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Edit. UTEHA. México. 498 p.
- THOMPSON, L. (1974). El suelo y su fertilidad. Edit. Reverte. Madrid. 356p.
- TOXOPECUS, H. (1985) Botany, types and populations. Chap. 2 In: Cocoa. 4 th. Ed. (Wood & Lass, eds.) Longman Tropical Agriculture Series. U. K.
- WORTHEN, E.L y ALDRICH, S.R. " Suelos agrícolas, su conservación y fertilización". Trad. Luis de la Loza, Edit. UTEHA, México, 1965.
- YANASUPO (2011), “*Estado nutricional de algunos suelos agrícolas del distrito de Ayna San Francisco, Departamento de Ayacucho*” informe de práctica pre profesional para obtención de Grado de Bachiller.
- ZAVALETA, A. (1992) El suelo en relación con la producción. CONCYTEC. Lima, Perú.
<http://www.minag.gob.pe/cafe.shtml>
<http://www.rincondelvago.com/cafe.html>
<http://www.regionsanmartin.gob.pe>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la evaluación del rendimiento de materia seca de tomate por cada localidad y elemento faltante

N°	SUELO	REPETICION	T	sin P	sin N	Sin K	Sin Ca	Sin Mg	Sin S	Sin ME	C
1	PARAISO	I	0,72	0,74	2,14	2,97	3,42	3,67	3,42	3,88	3,22
		II	0,57	0,59	2,13	3,24	3,21	3,62	3,54	3,72	3,45
		III	0,68	0,72	2,17	2,98	3,42	3,72	3,66	3,84	3,34
2	PACIFICO	I	1,14	1,22	2,44	3,19	3,53	3,62	4,22	3,77	3,19
		II	1,24	1,47	2,61	3,17	3,65	3,45	3,88	3,73	2,68
		III	1,25	1,34	2,58	3,29	3,81	3,51	3,92	3,82	2,96
3	CANAYRE BAJA	I	0,36	0,42	1,84	2,56	2,82	2,78	3,85	3,63	3,15
		II	0,39	0,46	1,97	2,46	2,93	2,94	3,74	3,75	3,03
		III	0,4	0,42	2,07	2,67	2,94	3,12	3,96	3,68	3,06
4	VILLA VIRGEN ALTA	I	1,77	1,87	2,54	3,66	4,49	4,89	3,92	3,97	4,09
		II	1,94	2,07	3,11	3,49	4,87	4,98	3,86	3,88	3,85
		III	1,92	2,01	2,94	3,42	4,64	5,54	3,94	3,76	3,94
5	CORONEL PORTILLO	I	2,45	2,54	2,36	3,84	6,13	3,66	3,87	3,96	3,32
		II	2,38	2,44	2,73	3,76	6,24	3,75	3,96	4,25	3,71
		III	2,58	2,64	2,51	3,82	6,28	3,94	4,16	3,85	3,28
6	CANAYRE ALTA	I	0,18	0,22	2,45	2,57	4,54	2,86	2,53	2,81	2,22
		II	0,29	0,33	2,11	2,68	4,82	2,95	2,33	2,98	2,36
		III	0,32	0,35	2,52	2,55	4,44	3,1	2,28	2,86	2,48
7	VILLA VIRGEN BAJA	I	0,39	0,47	1,32	1,45	2,81	2,39	1,96	2,68	2,69
		II	0,41	0,45	1,24	1,55	2,76	2,48	1,87	2,82	2,86
		III	0,44	0,51	1,29	1,53	2,96	2,53	2,08	2,76	2,74
8	NUEVA MARAVILLA	I	0,38	0,48	2,56	2,75	3,25	3,07	2,98	3,39	3,29
		II	0,36	0,49	2,44	2,53	3,34	2,98	2,86	3,48	3,61
		III	0,42	0,52	2,62	2,65	3,14	2,88	2,91	3,56	3,17

Anexo 2. Panel fotográfico de la toma de muestras y procesamiento a nivel de invernadero

Figura A1: Extracción de muestra en Coronel Portillo



Figura A2: Tratamiento del elemento faltante con suelo de Coronel Portillo



Figura A3. Extracción de muestras en Nueva Maravilla



Figura A4: Tratamiento del elemento faltante con suelo de Nueva Maravilla



Figura A5. Extracción de muestras en Paraíso



Figura A6: Tratamiento del elemento faltante con suelo de Paraíso



Figura A7. Extracción de muestras en Villa Virgen Alta



Figura A8: Tratamiento del elemento faltante con suelo de Villa Virgen Alta



Figura A9. Extracción de muestras en Villa Virgen Baja



Figura A10: Tratamiento del elemento faltante con suelo de Villa Virgen Baja



Figura A11. Extracción de muestra en Canayre Alta



Figura A12: Tratamiento del elemento faltante con suelo de Canayre Alta



Figura A13. Extracción de muestras en Canayre Baja



Figura A14: Tratamiento del elemento faltante con suelo de Canayre Baja



Figura A15. Extracción de muestras en Pacífico



Figura A16: Tratamiento del elemento faltante con suelo de Pacífico



Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de Cacao en el Distrito de Canayre – Huanta – Ayacucho. 2022

Hugo Ferrua Ruiz¹

hugo.ferrua.01@unsch.edu.pe¹

Juan Benjamín Girón Molina²

juan.giron@unsch.edu.pe²

Área de Investigación en Biodiversidad

Línea de investigación en Sistemas de Producción Agrícola

Facultad de Ciencias Agrarias – UNSCH^{1,2}

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la fertilidad de los suelos con cultivo de cacao del distrito de Canayre – Huanta, mediante la técnica del elemento faltante. Se planteó con el objetivo de: Determinar el nivel de macroelementos en algunos suelos con cultivo de cacao del distrito de Canayre e Identificar los elementos nutritivos deficientes en los suelos en estudio y su estado nutricional a través de la producción de materia seca de *Lycopersicon sculentum*. De acuerdo a los resultados de análisis de suelo se encontró que el fósforo disponible de los suelos con cultivo de cacao se encuentra en un nivel muy bajo, nitrógeno total de medio a bajo, potasio disponible muy bajo, con relaciones catiónicas desbalanceadas. El nivel nutricional de los suelos en estudio está influenciado por la acidez de los mismos, ya que afecta en la disponibilidad del P, S, Ca y Mg. El fósforo es el factor más limitante para el crecimiento y desarrollo de las plantas indicadoras. El orden de los defectos es P>S>N>K>Ca>Mg>ME. El mayor rendimiento de materia seca de todos los tratamientos se obtuvo en el suelo de la localidad de Coronel Portillo, seguido de Pacífico, el cual presenta un mejor estado nutrimental en comparación con los suelos de las otras localidades. Se obtuvo mayor rendimiento de materia seca con el tratamiento sin microelementos (-ME) y sin magnesio (-Mg). Con lo que respecta al tratamiento sin fósforo (-P) se comporta de manera contraria al tratamiento anterior, seguido de sin azufre (-S), sin nitrógeno (-N), sin potasio (-K) y sin calcio (-Ca).

Palabras clave: fertilidad de suelo, cultivo, cacao, nutrición.

ABSTRACT

In the present investigation, the fertility of soils with cocoa cultivation in the Canayre - Huanta district was evaluated, using the missing element technique. It was proposed with the objective of: Determine the level of macroelements in some soils with cocoa cultivation in the district of Canayre and Identify the deficient nutritional elements in the soils under study and their nutritional status through the production of dry matter of *Lycopersicum sculentum*. According to the results of soil analysis, it was found that the available phosphorus of soils with cocoa cultivation is at a very low level, total nitrogen is medium to low, available potassium is very low, with unbalanced cationic relations. The nutritional level of the soils under study is influenced by their acidity, since it affects the availability of P, S, Ca and Mg. Phosphorus is the most limiting factor for the growth and development of indicator plants. The order of the defects is P>S>N>K>Ca>Mg>ME. The highest dry matter yield of all treatments was obtained in the soil of the town of Coronel Portillo, followed by Pacífico, which has a better nutritional status compared to the soils of the other towns. A higher dry matter yield was obtained with the treatment without microelements (-ME) and without magnesium (-Mg). Regarding the treatment without phosphorus (-P), it behaves in the opposite way to the previous treatment, followed by without sulfur (-S), without nitrogen (-N), without potassium (-K) and without calcium (-Ca). .

Keywords: soil fertility, cultivation, cocoa, nutrition.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la fertilidad del suelo es una tarea compleja, ya que los suelos exhiben una variedad de propiedades físicas, químicas y biológicas. Estas propiedades les permiten apoyar el crecimiento y desarrollo de las plantas y proporcionar nutrientes. Un método para evaluar el estado físico-químico del suelo es el análisis del suelo, cuya información es necesaria para implementar un plan de fertilización. Esta información debe ir acompañada de un análisis foliar para verificar que lo que se echa al suelo se refleja en la planta y por tanto en el producto. (Black, 1975)

Palomino (1987), en su trabajo de investigación titulada “*Estado nutricional de algunos suelos agrícolas de la provincia de Huamanga, Cangallo, Víctor Fajardo y Vilcashuamán del departamento de Ayacucho*” menciona que:

El inadecuado manejo de los suelos, asimismo del cultivo de cacao, hace que estos cultivos tengan bajos rendimientos, principalmente debido a la baja fertilidad de los suelos. Una de las causas podría atribuirse a la baja disponibilidad de nutrientes de los suelos por diversas causas como la acidez, el tipo de material originario, la textura del suelo, condiciones climáticas, entre otros. (p. 56)

Todo esto está relacionado con los bajos precios de los productos, los problemas de comercialización, los altos precios de los fertilizantes y la baja disponibilidad de estas materias primas en la región. Para gestionar adecuadamente estos suelos y aumentar la producción en beneficio de los productores de cacao, es importante evaluar los tipos de suelo y sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

La presente investigación evaluó la fertilidad del suelo de diferentes anexos del Distrito de Canayre – Huanta, que cuenta como cultivo base el cacao, mediante la técnica del elemento faltante que es un método biológico rápido.

El experimento se basó a lo señalado por Ibañez y Aguirre (1976), mediante la técnica de “comparar los rendimientos de un cultivo cuando se hizo disponible un elemento en ese suelo mediante la fertilización versus el rendimiento del mismo cultivo, cuando solo se ha empleado la fertilidad natural de ese suelo”.

Objetivo general

Evaluar la fertilidad de los suelos con cultivo de cacao en el distrito de Canayre.

Objetivos específicos

- 1 Determinar el nivel de fertilidad de suelos con cultivo de cacao - distrito de Canayre.
- 2 Identificar los elementos nutritivos deficientes en los suelos en estudio.
- 3 Relacionar propiedades químicas de suelos a través de la producción de materia seca.

METODOLOGÍA

LUGAR DEL EXPERIMENTO

Para el presente trabajo de investigación se tomaron muestras de suelo de parcelas representativas con cultivo de cacao de 08 comunidades del distrito de Canayre, provincia de Huanta, región Ayacucho. La ejecución del trabajo experimental se llevó a cabo en “el invernadero del Área de Investigación en Suelos del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias” de la UNSCH, en Ayacucho a 2760 m.s.n.m.

Ubicación política

Región : Ayacucho
Departamento : Ayacucho
Provincia : Huanta
Distrito : Canayre
Localidad : Canayre

Ubicación geográfica

Comunidad	Coordenadas UTM		
	Norte	Este	Altitud (msnm)
C. PORTILLO	8637805	607171	623
N MARAVILLA	8635901	607371	677
PARAISO	8633744	607798	702
VILLA VIRGEN ALTA	8640319	608449	558
VILLA VIRGEN BAJA	8641564	607320	496
CANAYRE ALTA	8639081	606361	571
CANAYRE BAJA	8641799	605049	539
PACIFICO	8642908	604834	516

INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

Suelos utilizados en el experimento

La muestra del suelo se recolectó de ocho anexos en el Distrito de Canayre, Provincia de Huanta – Ayacucho, se detalla a continuación:

- 1. Suelo de Coronel Portillo.** Se caracteriza porque “presenta un relieve ondulado ligeramente accidentada, con escorrentía superficial media, con una profundidad de 0.9m”.
- 2. Suelo de Nueva maravilla.** Se caracteriza porque “presenta un relieve suave, con escorrentía superficial media, con una profundidad de 0.8 m”.
- 3. Suelo de Paraíso.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve plano a ondulado, con drenaje casi superficial y una profundidad de 0.6m”.

4. **Suelo de Villa Virgen Alta.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve ondulado, drenaje superficial medio y con profundidad de 1.4m”.
5. **Suelo de Villa Virgen Baja.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve ondulado a suave, con drenaje superficial y una profundidad de 1.2m”.
6. **Suelo de Canayre Alta.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve ondulado a suave, con drenaje moderado y una profundidad de 0.8m”.
7. **Suelo de Canayre Baja.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve casi llano, con drenaje superficial y una profundidad de 0.7m”.
8. **Suelo de Pacífico.** Se caracteriza porque “Presenta un relieve ondulado a suave, con drenaje superficial y una profundidad de 1.2m”.

VARIABLES EN ESTUDIO

Se realizó el análisis de suelo y el rendimiento de materia seca a los 60 días después de la siembra, una vez que las mismas mostraron síntomas de deficiencia específica de los nutrientes.

TÉCNICA DEL ELEMENTO FALTANTE

Un método rápido y sencillo propuesto por Martini (1970, como se citó en Ruiz, 2015) para “evaluar la fertilidad de los suelos es la del elemento faltante. Este método fue uno de los primeros diseños experimentales empleados en la caracterización de la fertilidad de los suelos” (p. 45). Ibañez (1976, como se citó en Ruiz, 2015) añade que “desde que Salm–Horstmar la utilizó en el invernadero y Georges Ville la puso en práctica en el campo 1870, muchos otros investigadores han hecho uso extensivo en esta técnica con bastante éxito” (p. 45).

Ruiz (2015), de acuerdo a los resultados obtenidos de su investigación titulada “Evaluación del estado nutricional de suelos con cultivo de café (*Coffea arábica*) del distrito de Anco – La Mar, Ayacucho” refiere que:

En vista de que en la técnica del elemento faltante se aplican todos los nutrientes menos el elemento en cuestión, este diseño se presta para trabajar en el invernadero, donde el volumen del suelo utilizado es pequeño y las deficiencias nutricionales suelen aparecer con facilidad. Además, se aplican muy bien a suelos pobres donde las deficiencias y desbalances nutricionales. (p. 46)

TRATAMIENTOS

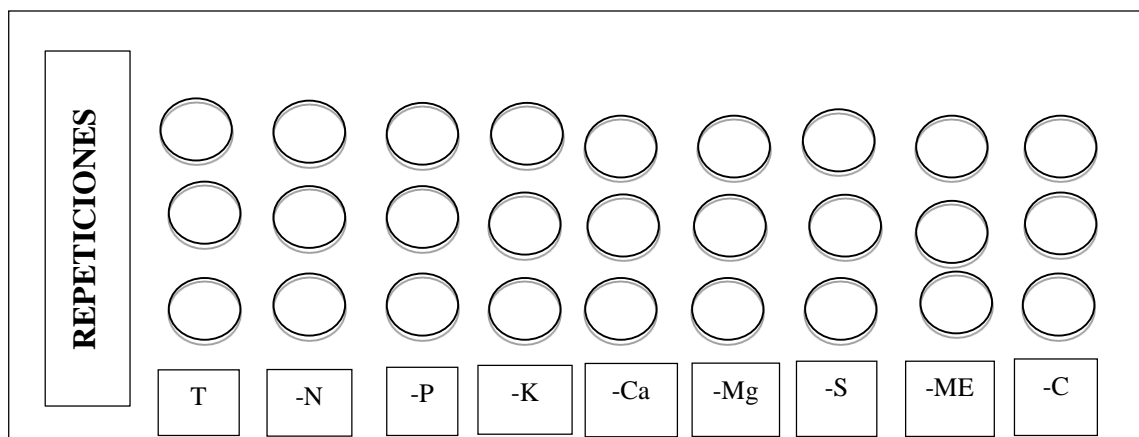
En el presente trabajo experimental se ha considerado ocho comunidades, de los cuales se eligió el campo más representativo de cada zona; se han asignado nueve tratamientos distribuidos al azar con tres repeticiones.

Tratamientos empleando la técnica del elemento faltante

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS
T	“Control o testigo, sin nutrientes”.
-N	“Con todos los nutrientes, menos nitrógeno”.
-P	“Con todos los nutrientes, menos fósforo”.
-K	“Con todos los nutrientes, menos potasio”.
-Ca	“Con todos los nutrientes, menos calcio”.
-Mg	“Con todos los nutrientes, menos magnesio”.
-S	“Con todos los nutrientes, menos azufre”.
-ME	“Con todos los nutrientes, menos el cobre, zinc, fierro, molibdeno y boro”.
C	“Con todos los nutrientes”.

La distribución de las macetas que constituyen las unidades experimentales se dispuso de acuerdo al croquis que se indica a continuación:

Distribución de las macetas para conducción del experimento



DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico del rendimiento de materia seca se utilizó el Diseño Completamente Randomizado con 9 tratamientos x 3 repeticiones que hacen un total de 27 unidades experimentales; para cada localidad en estudio.

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = “Observación que pertenece al i-ésimo tratamiento de la j-ésima repetición”.

μ = “Efecto medio (parámetro)”.

τ_i = “Efecto del i-ésimo tratamiento (parámetro)”.

ϵ_{ij} = “Desviación al azar del i-ésimo tratamiento perteneciente de la j-ésima repetición (error experimental)”.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DEL ANÁLISIS DE LOS SUELOS

Tabla 1

Análisis de caracterización de los suelos con cultivo de cacao de las parcelas representativas de las ocho comunidades

Comunidades	Hz.	Fracciones (%)			Clase Textural	pH (agua)	C.E. (dS/m)	M.O. (%)	N-total (%)	P-disp (ppm)	K-disp (ppm)	Cationes cambiabiles (cmol.kg ⁻¹)					C.I.C. (cmol.kg ⁻¹)
		Arena	Limo	Arcilla								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	
Coronel Portillo	Ap	55.8	27.0	17.2	Fr-Ao	5.73	1.98	2.87	0.14	6.3	20.8	3.04	1.04	0.11	0.0	0.0	11.5
Nueva Maravilla	Ap	41.8	36.0	22.2	Fr	5.54	1.52	2.48	0.12	5.2	51.7	2.00	0.80	0.26	0.0	0.0	11.0
Paraiso	Ap	49.1	23.6	27.3	Fr-Ar-Ao	5.55	1.40	3.13	0.15	5.0	39.6	5.12	1.92	0.20	0.2	0.1	16.7
Villa Virgen Alta	Ap	57.1	27.6	15.3	Fr-Ao	6.51	1.18	4.18	0.21	17.0	57.7	4.96	2.32	0.30	0.0	0.0	12.4
Villa Virgen Baja	Ap	41.8	38.0	20.2	Fr	6.38	0.92	3.27	0.16	3.9	47.6	5.04	1.44	0.24	0.0	0.0	16.6
Canayre Alta	Ap	41.8	34.0	24.2	Fr	5.94	0.65	1.31	0.06	8.5	41.6	2.24	0.88	0.21	0.0	0.0	9.0
Canayre Baja	Ap	49.1	33.6	17.3	Fr	5.99	2.39	2.35	0.12	1.2	43.6	3.52	1.44	0.22	0.0	0.0	12.3
Pacifico	Ap	65.1	21.6	13.3	Fr-Ao	7.06	2.37	4.31	0.21	16.4	42.3	3.84	1.12	0.22	0.0	0.0	13.0

Fuente: "Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar – PIPG-FCA-UNSCH".

IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEFICIENTES EN LOS SUELOS A TRAVÉS DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

Se procedió a realizar el análisis de varianza para los tratamientos en estudio en las diferentes localidades (Tabla 2), se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para el sitio, el tratamiento (elemento faltante) y la interacción sitio-tratamiento, con niveles de nutrientes en diferentes sitios expuestos a la presencia o ausencia de nutrientes de macro y microelementos, lo que sugiere que existe una diferencia, el coeficiente de variación es del 4,64%. El coeficiente de variación es una medida de qué tan bueno es su experimento y le brinda confianza en sus resultados.

Tabla 2

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

FV	GL	SC	CM	FC	Pr >F _c
Suelo (S)	7	72.37	10.34	648.56	<0.0001 **
Tratamientos (T)	8	224.90	28.11	1763.47	<0.0001 **
Interacción (S x T)	56	37.10	0.66	41.56	<0.0001 **
Error	154	2.30	0.02		
Total	225	336.67			

C.V. = 4.64 %

Suelo de Coronel Portillo

Tabla 3.

Análisis de varianza de rendimiento de materia seca (g/maceta) para suelo de Coronel Portillo

F. Variación	G.L	SC	CM	F _c	Pr>F _c
Tratamientos	8	32.41	4.05	178.48	<0.0001 **
Error	18	0.41	0.02		
Total	26	32.82			

C.V. = 4.13 %

En la Tabla 3, se muestra el ANVA donde se encontró una diferencia estadística altamente significativa para los rendimientos de materia seca de los suelos de Coronel Portillo con un coeficiente de variación de 4.13% para los tratamientos estudiados, lo que indica que los datos experimentales obtenidos se encuentran dentro del rango de error aceptable. Por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para confirmar que la producción de materia seca se deba a los efectos de los nutrientes utilizados.

Tabla 4

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Coronel Portillo

Tratamiento	Materia Seca (g)	ALS (D)
- Ca	6,22	a
- ME	4,02	b
- S	4,00	b
- K	3,81	b
- Mg	3,78	b
C	3,44	c
- P	2,54	d
- N	2,53	d
T	2,47	d

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 4) reveló diferencias significativas entre tratamientos. -Ca supera a otros tratamientos. No son estadísticamente diferentes y superan a los tratamientos -ME, -S, -K y -Mg, pero tampoco son estadísticamente diferentes entre los tratamientos -P, -N y T. El proceso sin calcio (-Ca) es el proceso que arroja la mayor producción promedio de materia seca con un 95% de certeza. Por otro lado, los tratamientos -P, -N y testigo son los que presentan menores rendimientos promedio de materia seca. En consecuencia, la evidencia lleva a concluir que en promedio los elementos N y P son los elementos más deficientes que limitan la producción agrícola en la ciudad de Coronel Portillo.

Suelo de Nueva Maravilla

Tabla 5

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para suelo de Nueva maravilla

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	33.36	4.17	362.34	<0.0001 **
Error	18	0.21	0.01		
Total	26	33.56			

C.V. = 4.38 %

En la Tabla 5, se muestra el ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo Nueva Maravilla. Encontrándose una alta diferencia significativa con un coeficiente de variación de 4.389%, lo cual es aceptable. De acuerdo a estos datos podemos concluir que la producción de materia seca se vio influenciada por los nutrientes utilizados.

Tabla 6*Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Nueva Maravilla*

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)			
- ME	3,48	a			
C	3,36	a	b		
- Ca	3,24		b		
- Mg	2,98			c	
- S	2,92			c	
- K	2,64				d
- N	2,54				d
- P	0,50				e
T	0,39				e

Utilizando la prueba de contraste de Duncan (Tabla 6), no se encontraron diferencias significativas entre los siguientes tratamientos. -ME y C, que son superiores a otros tratamientos. Tampoco hay diferencia entre los tratamientos -Mg y -S, que son superiores a cualquiera de los tratamientos. El tratamiento libre de oligoelementos (-ME) proporciona la mayor producción promedio de materia seca con un 95 % de confianza. Por otro lado, el tratamiento-P y el control son los que presentan menores rendimientos promedio de materia seca. De esto se puede concluir que, en promedio, P. es el factor limitante más deficiente de la producción agrícola en la ciudad de Nueva Maravilla.

Suelo de Paraíso**Tabla 7***Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Paraíso*

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	37.18	4.65	473.72	<0.0001 **
Error	18	0.18	0.01		
Total	26	37.36			

C.V. = 3.67 %

En la Tabla 7, se muestra el ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Paraíso, encontrándose una alta diferencia significativa con un coeficiente de variación de 3.67%, lo cual es aceptable. De acuerdo a estos datos podemos concluir que el rendimiento de materia seca se vio influenciada por los nutrientes utilizados.

Tabla 8*Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Paraíso*

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)			
- ME	3,81	a			
- Mg	3,67	a	b		
- S	3,54		b		
- Ca	3,35			c	
C	3,34			c	
- K	3,06				d
- N	2,15				e
- P	0,68				f
T	0,66				f

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 8) no reveló diferencias significativas entre los siguientes tratamientos. -ME y -Mg son superiores a otros tratamientos. Por otro lado, -Mg y -S tampoco muestran diferencias entre los tratamientos y son superiores a los tratamientos. El tratamiento libre de oligoelementos (-ME) proporciona la mayor producción promedio de materia seca con un 95% de confianza. Por otro lado, el tratamiento-P y el control son los que presentan menores rendimientos promedio de materia seca. En consecuencia, los resultados permiten concluir que, en promedio, P. es el factor limitante más deficiente de la producción agrícola en la ciudad de Paraíso.

Suelo de Villa Virgen Alta

Tabla 9

Análisis de varianza de rendimiento de materia seca (g/maceta) para suelo de Villa Virgen Alta

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	29.66	3.71	108.25	<0.0001 **
Error	18	0.62	0.03		
Total	26	30.27			

C.V. = 5.24 %

La tabla 9 muestra el ANVA para el rendimiento de materia seca del suelo Santa Rosa. Se encontró una diferencia estadística altamente significativa para los tratamientos investigados con un coeficiente de variación del 5,24%, lo que indica que los datos corresponden a los valores experimentales obtenidos en suelo. El margen de error que se permite. Por lo tanto, podemos especular que la producción de materia seca probablemente se deba al efecto de los nutrientes agregados al suelo.

Tabla 10

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Villa Virgen Alta

Tratamiento	Materia Seca (g)	ALS (D)
- Mg	5,14	a
- Ca	4,67	b
C	3,96	c
- S	3,91	c
- ME	3,87	c
- K	3,52	d
- N	2,86	e
- P	1,98	f
T	1,88	f

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 10) mostró que el tratamiento sin magnesio (-Mg) fue superior a otros tratamientos, al igual que el tratamiento sin calcio (-Ca). Los tratamientos C, -S y -ME son superiores al tratamiento, por lo que no existe una diferencia significativa entre ellos. El Tratamiento P y Control tuvieron los rendimientos

promedio de materia seca más bajos. De lo anterior se puede concluir que, en promedio, el elemento limitante más deficiente en la producción agrícola en la localidad de Vila Virgen Alta es P.

Suelo de Villa Virgen Baja

Tabla 11

Análisis de varianza de rendimiento de materia seca (g/maceta) para suelo de Villa Virgen Baja

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	22.25	2.78	549.62	<0.0001 **
Error	18	0.09	0.01		
Total	26	22.34			

C.V. = 3.88 %

La Tabla 11 muestra el ANVA del rendimiento de materia seca para el suelo de Villa Virgen Baja, encontrándose una alta diferencia significativa con un coeficiente de variación de 3.88%, lo cual es aceptable. De acuerdo a estos datos podemos concluir que el rendimiento de materia seca del suelo Villa Virgen se vio influenciada por los nutrientes utilizados.

Tabla 12

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Villa Virgen Baja

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)			
- Ca	2,84	a			
C	2,76	a			
- ME	2,75	a			
- N	2,47		b		
- S	1,97			c	
- K	1,51				d
- N	1,28				e
- P	0,48				f
T	0,41				f

De la prueba de contraste de Duncan (Tabla 12), podemos ver que los tratamientos -Ca, C y -ME son superiores a estos tratamientos, por lo que no hay diferencias significativas entre ellos. Por lo tanto, se puede decir que en promedio los elementos P y N son los más deficientes, limitando la producción de cultivos en la localidad de Villa Virgen Baja.

Suelo de Canayre Alta

Tabla 13

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Canayre Alta

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	42.99	5.37	304.37	<0.0001 **
Error	18	0.32	0.02		
Total	26	43.31			

C.V. = 5.77 %

En la Tabla 13 se muestra el ANVA de rendimiento de materia seca del suelo mejorado, donde se observó una diferencia estadística muy significativa con un coeficiente de variación del 5.77% para los tratamientos estudiados, lo que indica que los datos experimentales obtenidos se encuentran dentro de límites aceptables, margen de error. Por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para confirmar que la producción de materia seca probablemente se debe al efecto de los nutrientes aplicados.

Tabla 14

Prueba de Duncan ($p=0.05$) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Canayre Alta

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)	
- Ca	4,60	a	
- Mg	2,97	b	
- ME	2,88	b	
- K	2,60		c
- S	2,38		c d
- N	2,36		d
C	2,35		d
- P	0,30		e
T	0,26		e

De la prueba de contraste Duncan (Tabla 14), se observa que el tratamiento sin calcio es superior estadísticamente a los demás tratamientos, mientras que entre los tratamientos –Mg y –ME no existe diferencia significativa, siendo estos superiores a los demás tratamientos entre los tratamientos, siendo estos superiores a los tratamientos –P y Testigo las cuales no se diferencian entre ellos. En consecuencia, podemos establecer que, en promedio, el elemento más deficiente y que limita la producción de los cultivos en la localidad de Canayre Alta es el P, seguido del N, S y K respectivamente

Suelo de Canayre Baja

Tabla 15

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Canayre Baja

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	38.75	4.84	556.75	<0.0001 **
Error	18	0.16	0.01		
Total	26	38.91			

C.V. = 3.85 %

En la Tabla 15 se muestra el ANVA del rendimiento de materia seca del suelo Canayre Baja, donde se observó una diferencia estadística muy significativa con un coeficiente de variación del 3.85% para los tratamientos estudiados, lo que indica que los datos de los resultados de los ensayos obtenidos se encuentran dentro de límites aceptables margen de error. Así, se puede argumentar que la formación de materia seca probablemente se deba al efecto de los nutrientes aplicados. Al existir diferencia estadística entre tratamientos se realizó la prueba de contraste de Duncan.

Tabla 16

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Canayre Baja

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)				
- S	3,85	a				
- ME	3,69		b			
C	3,08			d		
- Mg	2,95			d	d	
- Ca	2,90				d	
- K	2,56				e	
- N	1,96				f	
- P	0,43					g
T	0,38					g

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 16) mostró que el tratamiento libre de azufre (-S) fue superior a los demás tratamientos, al igual que el tratamiento libre de ME. Estos superaron a los tratamientos -P y control, que tuvieron los rendimientos promedio de materia seca más bajos. Por lo tanto, los elementos P y N son los más deficientes en promedio y limitan la producción de cultivos en la ciudad de Canaire Baja.

Suelo de Pacífico

Tabla 17

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el suelo de Pacífico

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Tratamientos	8	25.41	3.18	177.92	<0.0001 **
Error	18	0.32	0.02		
Total	26	25.73			

C.V. = 4.59 %

La tabla 17 muestra el ANVA para el rendimiento de materia seca en suelos del Pacífico. Los tratamientos investigados muestran una diferencia estadística altamente significativa con un coeficiente de variación del 4.59%, lo que indica que los datos experimentales obtenidos se encuentran dentro del rango de error aceptable. Por lo tanto, se puede inferir que la producción de materia seca probablemente se debió al efecto de los nutrientes utilizados. Debido a diferencias estadísticas entre tratamientos, se realizaron imágenes de Duncan.

Tabla 18

Prueba de Duncan (p=0.05) del rendimiento de materia seca (g/maceta). Pacífico

Tratamiento	Materia seca (g)	ALS (D)				
- S	4,01	a				
- ME	3,77		b			
- Ca	3,66		b	c		
- Mg	3,53			c		
- K	3,22				d	
C	2,94				e	
- N	2,54				f	
- P	1,34					g
T	1,21					g

La prueba de contraste de Duncan (Tabla 18) muestra que el tratamiento sin azufre (-S) supera a los demás tratamientos, así como los tratamientos sin -ME y -Ca superan a los demás tratamientos. Estos superaron a los tratamientos -P y control, que tuvieron los rendimientos promedio de materia seca más bajos. En consecuencia, se puede concluir que, en promedio, el fósforo y el nitrógeno son los elementos más deficientes que limitan la producción agrícola en la Cuenca del Pacífico.

IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DEFICIENTES EN LOS SUELOS POR TRATAMIENTO A TRAVÉS DEL RENDIMIENTO DE MATERIA SECA

Tratamiento testigo (T)

La tabla 19, muestra alta significación estadística en los suelos testigo, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión.

Tabla 19

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento testigo en los diferentes suelos

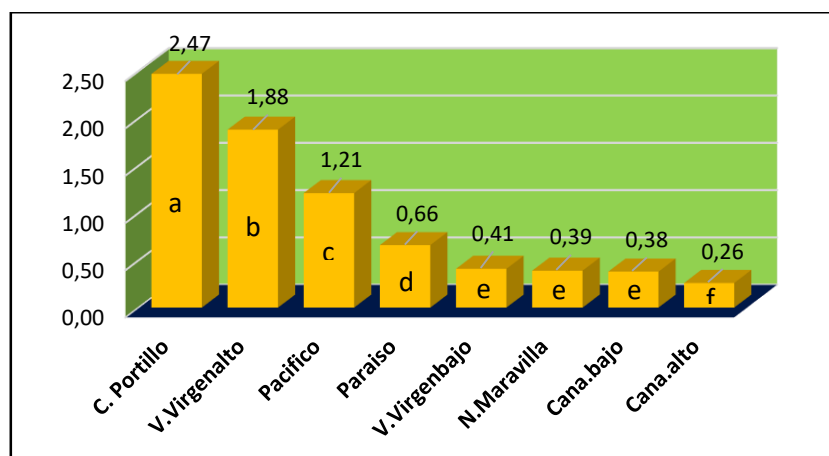
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	14.16	2.02	448.31	<0.0001 **
Error	16	0.07	0.0045		
Total	23	14.23			

C.V. = 7.02 %

Los rendimientos de materia seca de control reflejan diferencias en la fertilidad natural del suelo. Los suelos de Coronel Portillo son naturalmente más fértiles que los de otras localidades y, ante todo, ricos en minerales. Los suelos de Vila Virgen Baja, Nueva Maravilla y Canaire Baja con bajas reservas minerales no son diferentes.

Figura 1

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



Tratamiento sin nitrógeno (-N)

La tabla 3.20 muestra alta significación estadística en los suelos sin N, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Tabla 20

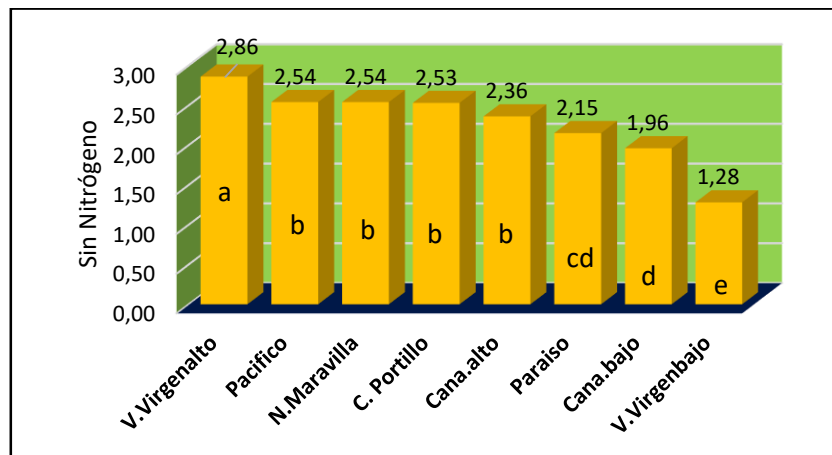
Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin nitrógeno (-N) en los diferentes suelos

F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	4.98	0.71	28.43	<0.0001 **
Error	16	0.40	0.03		
Total	23	5.38			

C. V. = 6.94 %

Figura 2

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



La respuesta al tratamiento sin nitrógeno, es variable en los 08 suelos. El suelo de Villa Virgen Alta es el más deficiente en nitrógeno, seguido de los suelos Canayre Baja y Paraíso respectivamente.

Tratamiento sin fósforo (-P)

Tabla 21

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin fósforo (-P) en los diferentes suelos

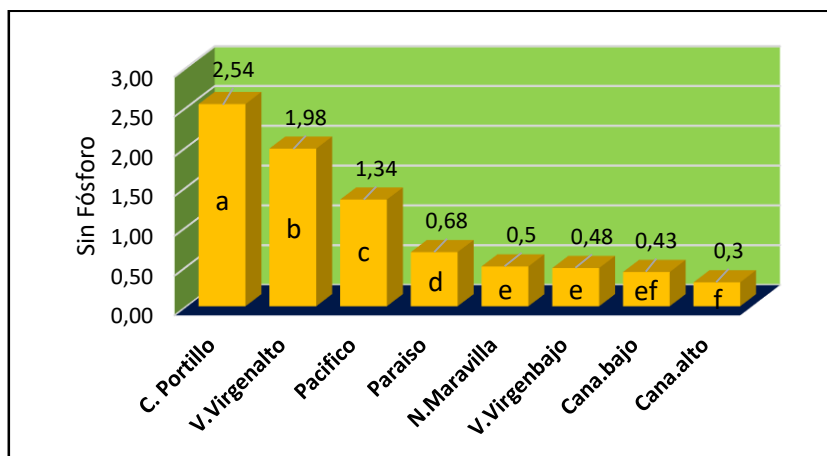
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	14.66	2.09	337.80	<0.0001 **
Error	16	0.10	0.01		
Total	23	14.76			

C.V. = 7.63 %

La tabla 21 muestra alta significación estadística en los suelos sin P, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 3

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



De la figura 3, podemos indicar que el suelo de Coronel Portillo tiene mejor respuesta a la no aplicación de fósforo, siendo superior a los demás, se puede indicar entonces que puede deberse a que en el análisis de suelo arrojó niveles bajos de fósforo disponible en los suelos en estudio, el cual se ve directamente influenciada en los tratamientos de no aplicación de este elemento. En tal sentido podemos indicar que la mayoría de suelos estudiados del distrito de Canayre son muy deficientes en fósforo, el cuál sería el elemento más limitante en la producción del cultivo de cacao.

Tratamiento sin potasio (-K)

Tabla 22

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin potasio (-K) en los diferentes suelos

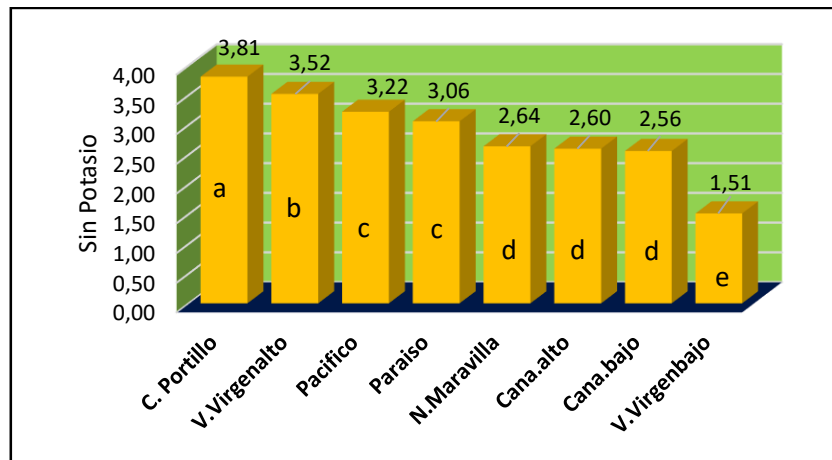
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	10.59	1.51	160.49	<0.0001 **
Error	16	0.15	0.01		
Total	23	10.74			

C.V. = 3.39 %

La tabla 22 muestra alta significación estadística en los suelos sin K, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 4

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



En la figura 4, se muestra la prueba de contraste Duncan, en el que se puede apreciar, la respuesta al tratamiento sin potasio, se diferencian en todos los suelos, sin diferencia entre los suelos de Nueva Maravilla, Canayre Alto y Canayre Baja; probablemente debido a que dichos suelos presentan bajo contenido de potasio disponible, debido a que en la selva se presenta una alta precipitación que genera que los suelos tienen arcillas fijadoras de K.

Tratamiento sin azufre (-S)

Tabla 23

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin azufre (-S) en los diferentes suelos

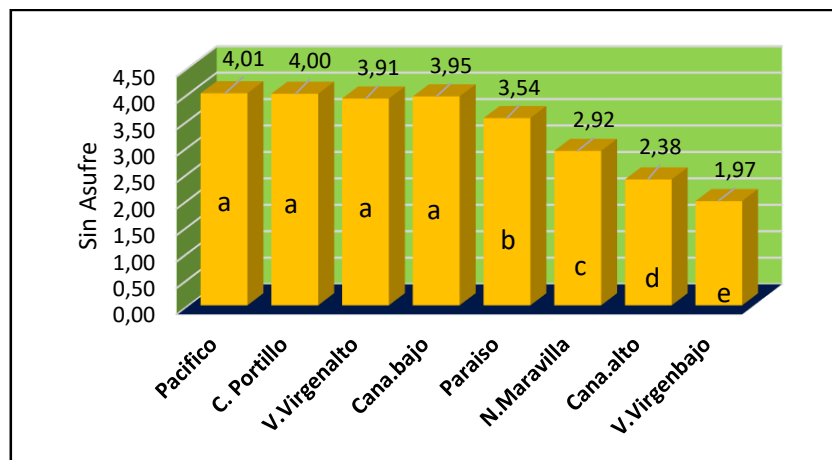
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	13.41	1.92	131.00	<0.0001 **
Error	16	0.23	0.01		
Total	23	13.65			

C.V. = 3.63 %

La tabla 23 muestra alta significación estadística en los suelos sin S, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 5

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



En la figura 5 observamos la respuesta del cultivo a la no adición de azufre en los diferentes suelos, podemos aseverar que las respuestas a su no adición se reflejen en forma variable en la producción de materia seca. El suelo de Villa Virgen Alta seguido de Canayre Baja presenta mayor deficiencia en azufre que los demás suelos.

Tratamiento sin calcio (-Ca)

Tabla 24

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

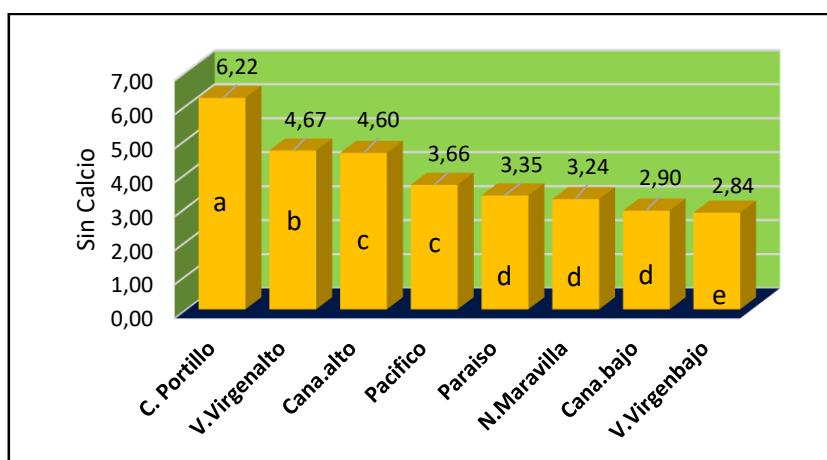
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	28.04	4.01	226.98	<0.0001 **
Error	16	0.28	0.02		
Total	23	28.33			

C.V. = 3.38 %

La tabla 24 muestra alta significación estadística en los suelos sin Ca, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 6

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



La respuesta de los suelos a este tratamiento ha sido variable debido a su nivel en el suelo de los cuales podemos indicar que:

Los suelos S4, S2 y S6 no se diferencian entre sí, siendo superiores a los demás suelos, asimismo entre los suelos S2, S6, S1, S3 y S5 no existe diferencia, lo mismo ocurre entre los suelos S1, S3, S5 y S7; estas variaciones en el rendimiento de materia seca, se debe probablemente al nivel de calcio en dichos suelos, que se encuentran en rango variable por las mismas condiciones edafológicas y climáticas de la zona en estudio.

Tratamiento sin magnesio (-Mg)

Tabla 25

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin magnesio (-Mg) en los diferentes suelos

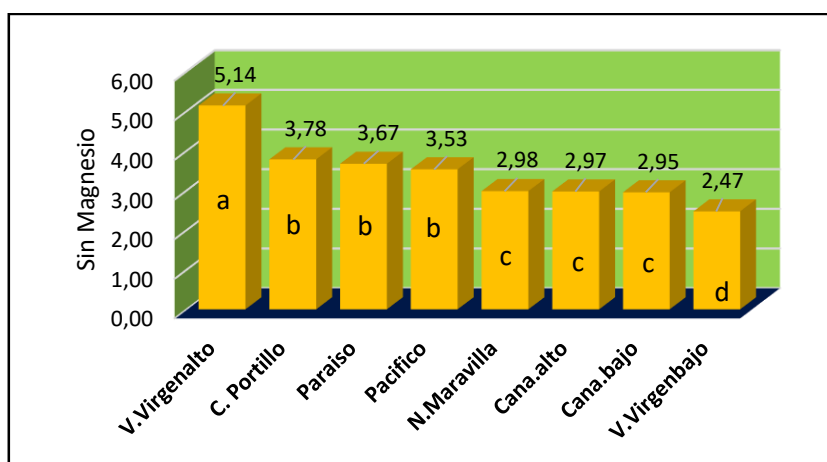
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	14.05	2.01	75.70	<0.0001 **
Error	16	0.42	0.03		
Total	23	14.47			

C.V. = 4.74 %

La tabla 25 muestra alta significación estadística en los suelos sin Mg, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 7

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



Los suelos responden de manera diferente a los tratamientos. En este caso, el suelo de Vila Virgen Alta es superior a los demás y responde al tratamiento con la mayor producción media de materia seca por su alto contenido en este nutriente. Los pisos S6, S2 y S5 no se diferencian entre sí. De manera similar, los suelos S5, S7 y S1 son mejores que el suelo S3, por lo que no hay diferencia entre ellos. Según las consideraciones anteriores, funciona de manera similar a ningún tratamiento con calcio.

Tratamiento sin microelementos (-ME)

Tabla 26

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento sin microelementos (-ME) en los diferentes suelos

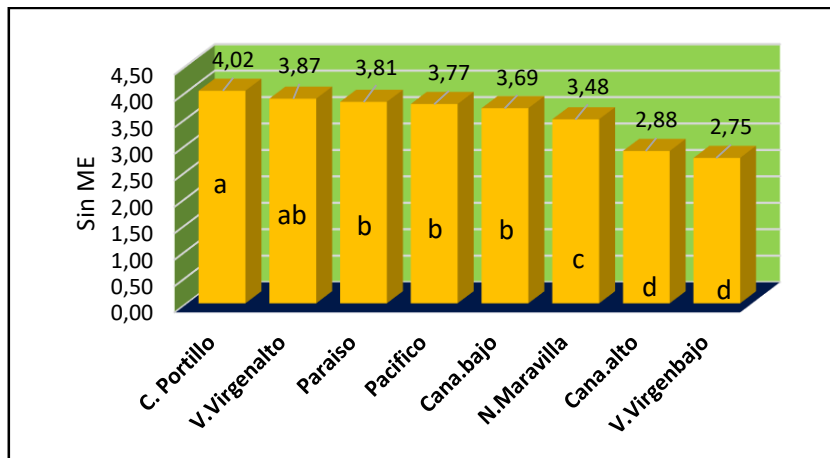
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	4.63	0.66	61.40	<0.0001 **
Error	16	0.17	0.01		
Total	23	4.80			

C.V. = 2.94 %

La tabla 26 muestra alta significación estadística en los suelos sin ME, permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 8

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



Los suelos S4, S1 y S6 son superiores a los demás suelos, por lo que no existe diferencia significativa entre los suelos, pero los suelos S1, S6, S2, S5, S3 y S7 se diferencian entre sí en términos de producción de materia seca. No. El contenido de oligoelementos está relacionado con el contenido de materia orgánica en el suelo y su reacción. Teniendo en cuenta los puntos anteriores, el suelo puede contener suficientes oligoelementos para satisfacer las necesidades del cultivo.

Tratamiento completo (C)

Tabla 27

Análisis de varianza del rendimiento de materia seca (g/maceta) para el tratamiento completo (C) en los diferentes suelos

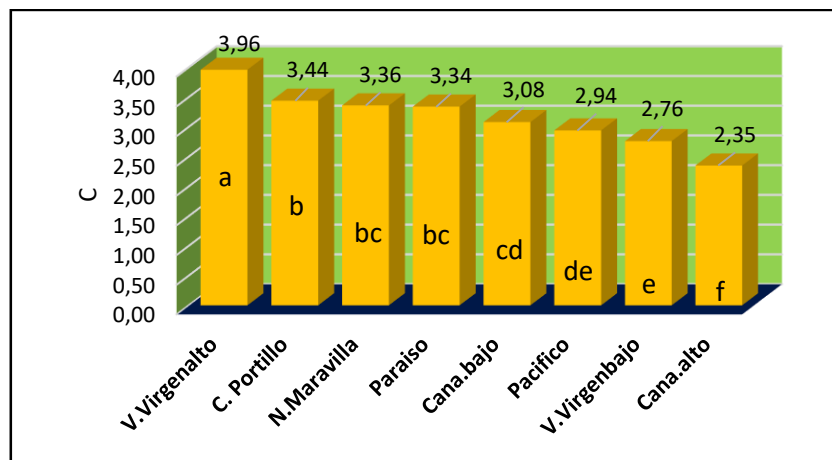
F. Variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>Fc
Suelos	7	4.94	0.71	24.58	<0.0001 **
Error	16	0.46	0.03		
Total	23	5.40			

C.V. = 5.37 %

La tabla 27 muestra alta significación estadística en los suelos con todos los nutrientes (C), permitiéndonos efectuar la prueba de contraste de Duncan. El coeficiente de variación es un valor de buena precisión para el experimento.

Figura 9

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



El aumento de los rendimientos está directamente relacionado con el contenido de nutrientes naturales, que también influye en la adición de nutrientes mediante el procesamiento. En este sentido, el suelo de Buena Gana es superior a otros suelos, aunque la fertilidad natural es excelente, pero aún inadecuada, y la suplementación de nutrientes es absolutamente necesaria para mejorar el rendimiento. Los suelos S6, S2, S5, S1 y S7 no se diferencian entre sí y superan al suelo S3. No hay diferencia en el rendimiento de materia seca entre los suelos S7 y S3, que es inferior a otros suelos.

Un factor importante a considerar en estos suelos es el pH. Para valores muy ácidos, el pH afecta más o menos a la disponibilidad de nutrientes presentes en el suelo.

Los resultados de producción de materia seca de los tratamientos de suelo y análisis químicos son relevantes, ya que los rendimientos más bajos se obtienen de los tratamientos carentes de P, S, N, K, Ca, Mg y ME. El orden de las deficiencias de nutrientes en los suelos estudiados es generalmente el siguiente: $P>S>N>K>Ca>Mg>ME$. La falta de cationes intercambiables como calcio y magnesio se debe principalmente a la pendiente topográfica y a la precipitación, lo que provoca una fuerte escorrentía para la lixiviación de estos dos nutrientes, mientras que el potasio queda secuestrado en la arcilla por separado de la lixiviación.

CONCLUSIONES

1. Los suelos del distrito de Canayre, específicamente los suelos con cultivo de cacao tienen un nivel de fósforo disponible bajo, nitrógeno total de medio a bajo, potasio disponible muy bajo, con relaciones catiónicas desbalanceadas.
2. Se establece el orden de deficiencia siguiente: P>S>N>K>Ca>Mg>ME, para las 08 comunidades evaluadas con cultivo de cacao.
3. Con respecto al nivel nutricional de los suelos en los suelos con cultivo de cacao en el distrito de Canayre está influenciado por la acidez de los mismos, ya que afecta en la disponibilidad del P, S, Ca y Mg. El fósforo es el más limitante en el crecimiento y desarrollo de la planta indicadora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLACK, F. (1975). Relaciones Suelo - Planta. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires.420 p.
- IBAÑEZ, R.A. (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. Vol 1, 1976 pp.
- PALOMINO, R. (1987) Estado nutricional de algunos suelos agrícolas de la provincia de Huamanga, Cangallo, Víctor Fajardo y Vilcashuamán del departamento de Ayacucho. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de ciencias Agrarias-UNSCH. Ayacucho Perú.
- RUIZ (2015), “*Evaluación del estado nutricional de suelo con cultivo de café (Coffea arábica) del distrito de Anco – La Mar, Ayacucho*” [Tesis para obtención de título – Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga] http://209.45.73.22/bitstream/UNSCH/902/1/Tesis%20Ag1140_Rui.pdf

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****Bach. HUGO FERRUA RUIZ****R.D. N° 337-2023-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los catorce días del mes de agosto del año dos mil veintitrés, siendo las dieciocho horas con cinco minutos, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Señor Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Dr. Juan Ramiro Palomino Malpartida, los miembros del jurado conformado por el M.Sc Walter Augusto Mateu Mateo, Ing. Juan Benjamín Girón Molina como asesor, M.Sc Alex Lázaro Tineo Bermúdez y el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, actuando como secretario docente el Mtro. Ennio Chauca Retamozo para recibir la sustentación de la Tesis titulada: **Evaluación de la fertilidad del suelo con cultivo de Cacao en el Distrito de Canayre - Huanta - Ayacucho. 2022**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el Bachiller **HUGO FERRUA RUIZ**.

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:

El título se modifica por consenso a: **Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de Cacao en el Distrito de Canayre - Huanta - Ayacucho. 2022**.


Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
M.Sc Walter Augusto Mateu Mateo	17	16	17	17
Ing. Juan Benjamín Girón Molina	16	15	16	16
M.Sc Alex Lázaro Tineo Bermúdez	15	15	15	15
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza	15	15	16	15
PROMEDIO GENERAL				16

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


.....
M.Sc Walter Augusto Mateu Mateo
Presidente


.....
Ing. Juan Benjamín Girón Molina
Asesor


.....
M.Sc Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Jurado


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



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; hacen constar que el trabajo titulado;

Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de Cacao en el Distrito de Canayre – Huanta – Ayacucho. 2022

Autor : Hugo Ferrua Ruiz

Asesor : Juan Benjamín Girón 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: 2166549267

Ayacucho, 14 de setiembre de 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias


M. Sc. Walter A. Mateu Mateo
Pdte. Comisión Turnitin - FCA

Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de Cacao en el Distrito de Canayre – Huanta – Ayacucho. 2022

por Hugo Ferrua Ruiz

Fecha de entrega: 14-sep-2023 09:51p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2166549267

Nombre del archivo: TESIS_HUGO_FERRUA_FINAL.docx (5.53M)

Total de palabras: 22740

Total de caracteres: 118229

Evaluación de la fertilidad de suelos con cultivo de Cacao en el Distrito de Canayre – Huanta – Ayacucho. 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	17%
2	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	www.minagri.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	www.engormix.com Fuente de Internet	<1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9

dspace.utb.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

10

repositorio.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

11

idoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

12

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo