

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo y
rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación.**

Chirumpiari, Cusco - 2023

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

Bach. Arom Yoberty LUJAN GUTIERREZ

ASESOR:

Dr. Raúl José PALOMINO MARCATOMA

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A Dios por ser el mediador de todas las bendiciones
Recibidas y metas cumplidas en mi vida.

A mis padres: Bernardo y María por todo el esfuerzo
y dedicación.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y a la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a la Escuela Profesional de Agronomía.

A los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, por haber compartido sus conocimientos que fue la base de mi formación profesional.

Al Dr. Raúl José Palomino Marcatoma, por su apoyo como asesor del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Acidez del suelo	4
1.2.1. <i>Origen de la acidez del suelo</i>	4
1.2.2. <i>Fuentes de acidez en los suelos.</i>	5
1.2.3. <i>Tipos de acidez</i>	6
1.2.4. <i>Efectos de la acidez en el suelo</i>	6
1.2.5. <i>Encalado del suelo</i>	7
1.2.6. <i>Reacciones de la cal en el suelo</i>	7
1.2.7. <i>Efectos de la aplicación de la cal</i>	8
1.2.8. <i>Enmiendas utilizadas en el encalado</i>	8
1.3. El cultivo de maíz amarillo	10
1.3.1. <i>Clasificación Taxonómica</i>	10
1.3.2. <i>Origen del maíz</i>	10

1.3.3.	<i>Importancia de maíz amarillo duro</i>	10
1.3.4.	<i>Descripción botánica</i>	11
1.3.5.	<i>Estados de desarrollo de la planta de maíz</i>	12
1.3.6.	<i>Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de maíz</i>	14
1.3.7.	<i>Manejo del cultivo de maíz</i>	16
1.4.	El cultivo de soya	20
1.4.1.	<i>Clasificación taxonómica</i>	20
1.4.2.	<i>Origen de la soya</i>	20
1.4.3.	<i>Importancia del cultivo de soya</i>	20
1.4.4.	<i>Descripción botánica</i>	21
1.4.5.	<i>Fenología de la soya</i>	22
1.4.6.	<i>Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de soya</i>	23
1.4.7.	<i>Manejo del cultivo de soya</i>	24
CAPITULO II.....		29
METODOLOGÍA.....		29
2.1.	Ubicación del campo experimental	29
2.2.	Características climáticas	29
2.3.	Análisis de suelo.....	30
2.3.1.	<i>Interpretación del análisis de suelo</i>	31
2.4.	Cultivos empleados	32
2.5.	Material encalante	33
2.6.	Tratamientos en estudio	33
2.7.	Duración del experimento	34
2.8.	Características del campo experimental.....	34
2.9.	Instalación y conducción del experimento	36

2.10. Variables en evaluación	37
2.10.1. De las propiedades químicas del suelo	37
2.10.2. Del crecimiento y desarrollo del maíz amarillo	38
2.10.3. Del crecimiento y desarrollo de soya	38
2.10.4. De la relación beneficio/costo del rendimiento de una sucesión maíz amarillo y soya	39
2.11. Diseño experimental y análisis estadístico	39
2.12. Análisis económico	40
2.12.1. Costos de producción (S/. ha).....	40
2.12.2. Precio del producto (S/. kg).....	40
2.12.3. Valor bruto de producción (S/. ha).....	40
2.12.4. Valor neto de producción (S/. ha)	40
2.12.5. Rentabilidad (B/C).....	40
CAPÍTULO III.....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
3.1. De las propiedades químicas del suelo.....	41
3.1.1. Efecto del encalado sobre el pH del suelo	41
3.1.2. Efecto del encalado sobre la materia orgánica del suelo	43
3.1.3. Efecto del encalado sobre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) del suelo.....	44
3.1.4. Efecto del encalado sobre el calcio cambiante ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$)	45
3.1.5. Efecto del encalado sobre el magnesio cambiante ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$).....	47
3.1.6. Efecto del encalado sobre el potasio cambiante ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$)	49
3.1.7. Efecto del encalado sobre el sodio cambiante ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$)	50
3.1.8. Efecto del encalado sobre la acidez total ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$).....	50

3.2. Sobre los caracteres productivos	52
3.2.1. <i>Cultivo de maíz</i>	52
3.2.2. <i>Cultivo de soya</i>	57
3.3. Análisis económico	62
3.3.1. <i>Ingreso bruto (S/. ha)</i>	62
3.3.2. <i>Costo total de producción (S/. ha)</i>	63
3.3.3. <i>Ingreso neto (S/. ha)</i>	64
3.3.4. <i>Rentabilidad</i>	65
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Resultados del análisis de caracterización físico - químico del suelo	31
Tabla 2.2 Niveles de dolomita según el tratamiento en estudio	33
Tabla 2.3 Precio de maíz amarillo y soya en el mercado mayorista Nery García Zarate de Ayacucho.....	40
Tabla 3.1 Análisis de variancia de pH del suelo.....	41
Tabla 3.2 Análisis de variancia del contenido de materia orgánica (%) del suelo	44
Tabla 3.3 Análisis de variancia de C.I.C. del suelo	45
Tabla 3.4 Análisis de variancia de calcio cambiabile después de la cosecha de soya	45
Tabla 3.5 Análisis de variancia de magnesio cambiabile	47
Tabla 3.6 Análisis de variancia de potasio cambiabile	50
Tabla 3.7 Análisis de variancia de sodio cambiabile.....	50
Tabla 3.8 Análisis de variancia de la acidez total del suelo.....	51
Tabla 3.9 Análisis de variancia de altura de planta del cultivo de maíz amarillo duro ..	53
Tabla 3.10 Análisis de variancia del número de mazorcas por planta del cultivo de maíz amarillo duro	54
Tabla 3.11 Análisis de variancia del rendimiento en grano del cultivo de maíz amarillo duro.....	56
Tabla 3.12 Análisis de variancia de altura de planta del cultivo de soya	57
Tabla 3.13 Análisis de variancia del número de vainas por planta de soya.....	59
Tabla 3.14 Análisis de varianza del rendimiento en grano seco de soya.....	60
Tabla 3.15 Rendimiento, precio de venta e ingreso bruto de producción del cultivo de maíz amarillo	62
Tabla 3.16 Rendimiento, precio de venta e ingreso bruto de producción del cultivo de soya	63
Tabla 3.17 Costo directo, indirecto y total de producción del cultivo de maíz amarillo	63
Tabla 3.18 Costo directo, indirecto y total de producción del cultivo de soya.....	64

Tabla 3.19 Ingreso neto de producción del cultivo de maíz amarillo	64
Tabla 3.20 Ingreso neto de producción del cultivo de soya.....	65
Tabla 3.21 Rentabilidad del cultivo de maíz amarillo expresado en beneficio/costo.....	66
Tabla 3.22 Rentabilidad del cultivo de soya expresado en beneficio/costo	66
Tabla 3.23 Rentabilidad del cultivo de maíz amarillo y soya en sucesión expresado en beneficio/costo	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Mapa de ubicación de la parcela experimental	29
Figura 2.2 Climatograma correspondiente al periodo agosto 2023 – mayo 2024 de la estación meteorológica de Ayna San Francisco.....	30
Figura 2.3 Croquis del campo experimental con los tratamientos distribuidos al azar ..	35
Figura 3.1 Prueba de Duncan del efecto del encalado sobre el pH del suelo	42
Figura 3.2 Análisis de tendencia del pH por efecto residual de dolomita	43
Figura 3.3 Prueba de Duncan del calcio cambiante ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$).....	46
Figura 3.4 Análisis de tendencia del calcio cambiante ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$).....	47
Figura 3.5 Prueba de Duncan de magnesio cambiante ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$).....	48
Figura 3.6 Análisis de tendencia del magnesio cambiante del suelo.....	49
Figura 3.7 Prueba de Duncan de la acidez total del suelo	51
Figura 3.8 Análisis de tendencia de la acidez total del suelo	52
Figura 3.9 Prueba de Duncan de la altura de planta (cm) del cultivo de maíz amarillo duro	54
Figura 3.10 Prueba de Duncan del número de mazorcas por planta de maíz amarillo duro	55
Figura 3.11 Prueba de Duncan para el rendimiento (kg/ha) del cultivo de maíz amarillo duro.....	57
Figura 3.12 Prueba de Duncan de altura de planta (cm) del cultivo de soya	58
Figura 3.13 Prueba de Duncan para el número de vainas por planta de soya	60
Figura 3.14 Prueba de Duncan para el rendimiento en grano seco de soya (kg/ha).....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Costos de producción del cultivo de maíz amarillo	75
Anexo 2. Resultados del análisis de caracterización del suelo de la parcela experimental	83
Anexo 3. Resultados del análisis químico del suelo de los tratamientos	84
Anexo 4. Resultado de datos obtenidos de las variables evaluadas	86
Anexo 5. Evidencias fotográficas del cultivo de maíz	88
Anexo 6. Evidencias fotográficas del cultivo de soya.....	91
Anexo 7. Evidencias fotográficas de laboratorio.....	94

RESUMEN

La acidez de los suelos de Chirumpiari es uno de los factores que limitan la producción agrícola, siendo el encalado una respuesta a este problema. En este contexto, se investigó en suelos con pH de 4.77 extremadamente ácidos, incorporando dolomita. Se aplicaron siete dosis dispuestas en el diseño Bloque Completamente al Azar con tres repeticiones y un total de 21 unidades experimentales. En el suelo se evaluó el pH, acidez total, CIC, materia orgánica y bases cambiabiles. En el maíz, altura de planta (cm), número de mazorcas por planta y rendimiento de grano seco ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); en la soya, altura de planta (cm), número de vainas por planta y rendimiento de grano seco ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), y finalmente la utilidad neta. Los resultados muestran que el pH del suelo aumentó a 5.74 con seis t/ha de dolomita, el calcio y magnesio cambiabiles incrementaron a 6.5 y 1.79 $\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ con 6 y 3 t/ha de dolomita, respectivamente; la acidez total disminuye a 0.43 $\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ con 4 t/ha mientras que la materia orgánica, CIC, K y Na no difieren a la aplicación del material encalante. La altura de planta en maíz y soya fue de 275.3 y 89 cm con 4 y 5 t/ha de dolomita; el número de mazorcas es 1.12 con 3 t/ha; número de vainas en soya es 96.3 con 5 t/ha. Los rendimientos de grano seco en maíz fue 4687.5 y en soya 2008.33 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ con 4 y 6 t/ha de dolomita, respectivamente. La mayor rentabilidad obtenida fue S/. 1.30 en la rotación con la dosis de 4 t/ha.

Palabras clave: Dolomita, propiedades químicas, maíz y soya en rotación.

ABSTRACT

The acidity of the soils of Chirumpiari is one of the factors limiting agricultural production, and liming is an answer to the problem. In this context, research was carried out on soils with a pH of 4.77 extremely acid, incorporating dolomite. Seven doses were applied in a completely randomized block design with three replications and a total of 21 experimental units. In the soil, pH, acidity pH, total acidity, CEC, organic matter and exchangeable bases were evaluated in the soil. In corn, plant height (cm), number of ears per plant and dry grain yield ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); in soybean, plant height (cm), number of pods per plant and dry grain yield ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), and finally net profit. The results show that soil pH increased to 5.74 with six t/ha of dolomite, exchangeable calcium and magnesium increased to 6.5 and 1.79 $\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ with 6 and 3 t/ha of dolomite, respectively; total acidity decreased to 0.43 $\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ with 4 t/ha while organic matter, CEC, K and Na did not differ with the application of liming material. Plant height in corn and soybean was 275.3 and 89 cm with 4 and 5 t/ha of dolomite; number of ears was 1.12 with 3 t/ha; number of pods in soybean was 96.3 with 5 t/ha. Dry grain yields in corn were 4687.5 and in soybeans, 2008.33 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ with 4 and 6 t/ha of dolomite, respectively. The highest yield obtained was S/. 1.30 in the rotation with the 4 t/ha dose.

Key words: Dolomite, chemical properties, corn and soybean in rotation.

INTRODUCCIÓN

La acidez de los suelos es uno de los principales factores que limitan la producción agrícola en los suelos tropicales y subtropicales, siendo algunos de los problemas relacionados a la acidez del suelo, la alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas que reducen el crecimiento y rendimiento de las plantas (Elorza, 2000). En el cultivo de maíz la acidez de los suelos repercute en la altura, floración tardía y la formación de mazorcas pequeñas, esto se debe a la alta concentración de aluminio, asociado con deficiencias de fósforo, magnesio, calcio o toxicidad de manganeso que provoca el acortamiento de los entrenudos de las plantas con la consecuente reducción del tamaño (Castañón & Latournerie, 2004). Del mismo modo, en el cultivo de soya, la acidez del suelo repercute en la longitud de la planta, ya que este constituye un factor de estrés al alterar muchos de sus procesos metabólicos, lo que provoca una reducción del crecimiento de la planta, además, reduce el desarrollo radicular y disminuye la población de la bacteria *Bradyrhizobium* que fija el nitrógeno atmosférico induciendo a la disminución en la toma de nutrientes y agua (Elvisa et al. 2018).

Frente a este problema desde tiempos antiguos, las personas han buscado formas naturales de mejorar las condiciones del suelo y proteger los cultivos. Sin embargo, con el avance de la agricultura intensiva, las prácticas químicas han ganado popularidad, desplazando en parte las técnicas tradicionales (Isman, 2006). Es imperativo, por tanto, explorar alternativas sostenibles que no solo mejoren la productividad agrícola, sino que también protejan el medio ambiente y la salud humana (Friedrich, 2008). En este contexto, el encalado es una práctica sostenible que mejora las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de los cultivos y es crucial para promover la agricultura ecológica y sostenible.

Por las consideraciones, se realizó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación en Chirumpiari, Cusco – 2023.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de la dolomita en las propiedades químicas del suelo.
2. Cuantificar la dosis de dolomita en el rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación.
3. Valorar el efecto del encalado en la relación beneficio/costo del rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Rengifo (2014), en su trabajo de investigación “Enmienda orgánica y mineral sobre la fertilidad de un suelo ácido ultisol de la amazonia peruana”, El estudio tuvo como objetivo “evaluar los efectos de las enmiendas calciomagnésicas (magnecal o dolomita) sobre los rendimientos de variedades mejoradas de maíz y soja, para establecer las dosis de aplicación agronómicas y económicas óptimas para su posterior aplicación”. Los resultados indican que “la aplicación de magnecal al suelo ácido mejoró significativamente los rendimientos de la variedad de maíz INIA 602 y de la variedad de soja Cristalina”. Los mayores rendimientos de maíz se alcanzaron con dosis de enmienda de 3, 3,5 y 4 t/ha, resultando en rendimientos de grano de 4057, 4397 y 4659 kg.ha⁻¹, respectivamente. Del mismo modo, para la soja, las dosis de 3, 3,5 y 4 t/ha de magnecal produjeron 1447, 1467 y 1651 kg.ha⁻¹ de grano, respectivamente. Además, la variedad de maíz INIA 602 mostró tolerancia a la acidez del suelo, como lo demuestra su rendimiento satisfactorio en ausencia de encalado, mientras que la variedad de soja Cristalina mostró sensibilidad, con rendimientos marcadamente bajos sin aplicación de cal.

Celis (2003), en su trabajo de investigación titulado “Efecto de diferentes niveles de cal y de humus de lombriz en el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en un suelo ácido del sector de San Juan – Banda de Shilcayo, provincia de San Martín”, El objetivo fue “evaluar el rendimiento de grano de maíz amarillo duro (Variedad M28T) en el sector de San Juan aplicando cuatro niveles de cal y cuatro niveles de humus de lombriz a un suelo ácido”. El estudio concluyó que “el tratamiento de mayor rendimiento comercial fue el T16 (1,5 t/ha de cal y 15 t/ha de humus), alcanzando 1578,83 kg.ha⁻¹, mientras que el testigo rindió 939,56 kg.ha⁻¹, demostrando una diferencia altamente significativa para las dosis de cal y una diferencia significativa entre los niveles de tratamiento de humus, respectivamente”.

Encina (2017), en su trabajo de investigación sobre “escoria básica y carbonato de calcio en la recuperación de un suelo ácido de Tingo María, en maíz (*Zea mays*) PM 213 en invernadero”; observo que el tratamiento con enmienda de carbonato de calcio presentó numéricamente un promedio mayor de diámetro, altura y peso seco, sin embargo, afirma que el rendimiento de la planta no fue directamente proporcional a la dosis de enmienda aplicada.

Torres (2005), en su trabajo de investigación titulado “Efecto residual del encalado en segunda campaña, en el rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max* L.) variedad cristalina en un suelo ultisol en el bajo mayo” cuyos objetivos fueron: “Evaluar el impacto residual de la enmienda de calcio magnesio sobre un cultivo posterior de soja variedad Cristalina, luego de un cultivo inicial de maíz, en un suelo ultisol de Aucaloma, provincia de Lamas, San Martín”, “Determinar la dosis de enmienda de calcio magnesio que sea técnica y económicamente adecuada para ser aplicada por los agricultores en suelos ácidos deteriorados”, Donde se concluyó que: Existen variaciones extremadamente significativas en las dosis de magnecal examinadas; los rendimientos aumentaron con la aplicación de dosis más elevadas. “Los tratamientos T7 (3.0 t/ha), T8 (3.5 t/ha) y T9 (4.0 t/ha) produjeron 1447.00 kg/ha, 1467.00 kg/ha y 1651.00 kg/ha, respectivamente, mostrando resultados superiores en comparación con otros tratamientos e indicando una mayor respuesta del cultivo a la producción a niveles de enmienda superiores a 3 t/ha”. En cuanto al pH, un aumento en la dosis de aplicación de magnecal resultó en valores elevados, demostrando un efecto residual de la enmienda. Para T9 (4.0 t/ha), el valor inicial de pH registrado al inicio de la instalación del cultivo de soja (antes de la siembra) fue de 6.55, que disminuyó a 6.42 después de la cosecha. Esto indica un descenso gradual del pH a lo largo del tiempo, atribuible al agotamiento progresivo tanto del calcio como del magnesio del suelo.

1.2. Acidez del suelo

1.2.1. Origen de la acidez del suelo

Encina (2017) afirma que la acidificación del suelo es un fenómeno natural en el desarrollo del suelo, particularmente pronunciado en lugares con precipitaciones

considerables que lixivian cantidades significativas de bases intercambiables de las capas superiores del suelo.

Millán et al. (2010) manifiestan que la acidificación del suelo en climas tropicales y subtropicales es principalmente el resultado de fuerzas naturales, donde la temperatura y la precipitación contribuyen significativamente a la meteorización de los materiales originales y a la lixiviación de las bases solubilizadas. Además, Rosas et al. (2017) afirman que “la acidificación del suelo se produce debido a la interacción del agua con Al^{+3} , Fe^{+2} , Mn^{+2} y NO_3 , que libera hidrógeno en la solución”. Esto indica que el sitio de intercambio se satura con Al^{+3} , lo que provoca problemas de toxicidad y una menor disponibilidad de nutrientes.

En los últimos años la acidificación de los suelos de zonas tropicales se ha acelerado a causa de las diversas actividades generados por el hombre como la producción agropecuaria, deposición de elementos acidificantes provenientes de la actividad industrial y la incorporación indiscriminada de fertilizantes de fuentes amoniacales. Una de las consecuencias de la reducción del pH es la deficiencia de nutrientes como el de fósforo, molibdeno, calcio y magnesio y cuando los niveles del pH descienden por debajo de 5.5 se manifiesta la toxicidad de aluminio y manganeso en las plantas (Bennardi et al. 2017).

1.2.2. Fuentes de acidez en los suelos.

Zapata (2004) afirma que el proceso de acidificación de los suelos se da durante la pedogénesis, mediante una continua meteorización química, que consiste en una pérdida de cationes como K^{+2} , Na^{+2} y Mg^{+2} e incremento de los cationes metálicos como Al^{+3} , Fe^{+2} y Mn^{+2} los cuales pueden sufrir hidrólisis ácida.

En las zonas de clima templado, este fenómeno se debe a múltiples factores, como la exportación de elementos esenciales desprovistos de reposición natural debido a prácticas de recolección desequilibradas, la erosión hídrica y la lixiviación de las bases, la aplicación de fertilizantes con un elevado índice de acidez y la adopción del laboreo cero, que provoca la acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo (Millán et al., 2010). Asimismo, Bohn (2002) agrega que la fertilización de cultivos con fuentes amoniacales produce acidez mediante la nitrificación, además menciona que los residuos

orgánicos que se descomponen acidifican los suelos mediante la formación de ácidos orgánicos.

Millán et al. (2010) mencionan que la acidez del suelo se origina por las siguientes causas: “Lixiviación de bases, formación de ácidos solubles como ácido carbónico y otros ácidos producto de la acción de los microorganismos, liberación de hidrogeno por las raíces de las plantas al absorber bases, disociación de hidrogeno por los coloides del suelo, hidrólisis del aluminio durante la meteorización de aluminio-silicatos”.

1.2.3. Tipos de acidez

Espinoza & Molina (1999) clasifican la acidez de la siguiente manera:

- ✓ **Acidez activa:** representado por el hidrogeno disociado en la solución y que proviene de diferentes fuentes.
- ✓ **Acidez intercambiable:** representado por el ion hidrogeno y aluminio intercambiable que se encuentran retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas.
- ✓ **Acidez no intercambiable:** representado por el hidrogeno en enlace covalente que “se encuentra en la superficie de los minerales arcillosos de carga variable”.
- ✓ **Acidez potencial:** representado por la acidez intercambiable más la acidez no intercambiable.

1.2.4. Efectos de la acidez en el suelo

Encina (2017) afirma que el pH del suelo afecta significativamente a la disponibilidad de varios nutrientes de las plantas, siendo los valores óptimos de pH para la absorción de nutrientes entre 6 y 7.5.

Rosas et al. (2017) refiere que la acidificación del suelo provoca problemas de toxicidad y disminuye la disponibilidad de nutrientes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y P; además, altera la población y las funciones de los microorganismos responsables de la mineralización de la materia orgánica, lo que se traduce en una disminución de la fertilidad del suelo.

Toledo (2016) menciona que “en los suelos con pH menores a 5.5, los niveles de acidez son tan altos que nutrientes como el calcio, magnesio, fosforo y molibdeno pueden no estar tan disponibles para las plantas, además, algunos nutrientes como el hierro, aluminio y manganeso llegan a volverse tóxicos”. En suelos tropicales con un elevado contenido de coloides, la acidez puede provocar la lixiviación de nutrientes catiónicos como el calcio, el magnesio, el potasio y el amonio, ya que las condiciones ácidas hacen que muchos coloides del suelo tengan carga positiva, inhibiendo así su capacidad para retener cationes.

1.2.5. Encalado del suelo

El encalado es la técnica predominante y eficaz para mejorar la acidez del suelo, incluyendo la adición de sales básicas para neutralizar la acidez resultante de la acumulación de iones H^+ y Al^{+3} , elevando así el nivel de pH del suelo (Calva, 2016).

“Los mecanismos de reacción de las enmiendas facilitan la neutralización de los iones H^+ y Al^{+3} en la solución del suelo a través de los iones OH^- producidos por la interacción de la cal con el agua del suelo, por lo que la cal sólo es efectiva en presencia de humedad en el suelo” (Espinosa & Molina, 2008).

1.2.6. Reacciones del material encalante en el suelo

Cravo et al. (2012) afirman que el efecto neutralizante de los materiales encalantes no es atribuible únicamente al calcio derivado de la disolución del $CaCO_3$, sino más bien a las bases químicas asociadas al CO_3 , OH^- y SiO_3 , ya que el calcio ocupa sitios de intercambio en las superficies de los coloides del suelo y funciona como nutriente para las plantas.

Espinosa y Molina (2008) sostienen que “el OH^- producido por carbonatos, hidróxidos y silicatos neutraliza la acidez del suelo mediante la neutralización de H^+ y la producción de H_2O ”. Afirman además que “mientras el H^+ esté presente en la solución del suelo, el Ca^{++} , CO_3 , HCO_3 , y H_2CO_3 persistirán en la solución, resultando en un aumento del pH debido a la reducción de la concentración de H^+ en el suelo”.

1.2.7. Efectos de la aplicación del material encalante

Calva (2016) dilucida los impactos directos e indirectos del encalado sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

a) Propiedades físicas del suelo

El encalado influye positivamente en la estructura del suelo, ya que las propiedades floculantes de la cal aumentan la agregación de partículas, mejorando así la aireación y el transporte de agua.

b) Propiedades químicas del suelo

El encalado “produce un aumento de los iones OH^- y una reducción de los iones H^+ en la solución del suelo, una disminución de la toxicidad de Al^{+3} , Mn^{+2} y Fe^{+2} , un control de la disponibilidad de fósforo y molibdeno, un aumento de la disponibilidad de calcio y magnesio y un incremento del porcentaje de saturación de bases”.

c) Propiedades biológicas del suelo

“La adición de cal mejora el entorno para los microbios del suelo, aumentando así la mineralización de la materia orgánica y facilitando los procesos de amonificación, nitrificación y fijación del nitrógeno” (Osorno, 2012).

1.2.8. Enmiendas utilizadas en el encalado

Espinosa y Molina (2008) afirman que “entre las sustancias utilizadas para rectificar la acidez del suelo se encuentran los carbonatos, los hidróxidos y los silicatos de calcio y magnesio, que poseen distintas capacidades de neutralización debido a sus distintas propiedades químicas”.

Entre los materiales que se emplean como enmienda Calva (2016), cita los siguientes:

a) Calcita

La calcita, comúnmente conocida como piedra caliza, se compone principalmente de carbonato cálcico y es el agente encalante más utilizado para la corrección de la acidez, ya que es una sustancia natural que se encuentra en casi toda la Tierra. Esta sustancia se

obtiene a partir de piedra caliza pulverizada y tamizada, y en su forma pura contiene un 40% de calcio (Bernier y Alfaro, 2006).

b) Dolomita

Otro de los materiales encalantes más utilizados para la corrección de la acidez es la dolomita, debido a que es un mineral constituido por carbonato de calcio y carbonato de magnesio en un mismo cristal, este material en estado puro contiene 22% de calcio y 13% de magnesio (Jaramillo, 2002).

c) Óxido de calcio

Jaramillo (2002) señala que el óxido de calcio, o cal viva, es un polvo blanco que presenta dificultades de manejo debido a su naturaleza cáustica; en estado puro, está compuesto por 71% de calcio y se genera por calcinación de piedra caliza en hornos intermitentes. La ventaja de este material es su mayor velocidad de respuesta a las partículas, lo que permite modificar rápidamente la acidez del suelo.

d) Hidróxido de calcio

Bernier y Alfaro (2006) afirman que el hidróxido de calcio, conocido como cal apagada o cal hidratada, se produce por la interacción del CaO con el agua, resultando una sustancia blanca difícil de manejar y que reacciona rápidamente con la humedad del suelo, lo que aconseja su pronta introducción. En su forma no adulterada, contiene un 56% de calcio.

e) Óxido de magnesio

El óxido de magnesio es una sustancia que contiene un 60% de Mg, con un potencial superior para neutralizar la acidez en comparación con otros materiales; no obstante, su limitada solubilidad en agua hace necesario molerlo para enmendar eficazmente la acidez del suelo (Jaramillo, 2002).

1.3. El cultivo de maíz amarillo

1.3.1. Clasificación Taxonómica

Acosta (2009) clasifica de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays*

1.3.2. Origen del maíz

Acosta (2009) afirma que “las teorías genéticas sobre el origen del maíz son variadas; sin embargo, perspectivas alternativas designan a México como el principal centro de diversidad genética. De las 50 razas identificadas en México, siete son homólogas en Guatemala, seis en Colombia, cinco en Perú y dos en Brasil”. Esto indica que México ha servido inequívocamente como centro de diseminación de estas razas, de las cuales aproximadamente 27 persisten como variedades endémicas.

1.3.3. Importancia de maíz amarillo duro

“El maíz es un alimento de importancia mundial debido a su alto contenido en proteínas (8 a 10%), ácidos grasos de calidad superior, almidón refinado y sus tallos y hojas, que proporcionan sacarosa, fructosa y forraje rico en nutrientes, incluidos minerales y vitaminas” (Jara et al., 2003).

Además, entre los ocho granos primarios para consumo humano, cerca del 90% del total ingerido consiste en maíz, trigo y arroz. Las preferencias de consumo de estos tres cereales difieren según las zonas continentales (Peña y García, 2014).

Barandiaran (2020) indica que en el año 2018 el maíz fue el segundo cultivo más cultivado a nivel mundial, después del trigo y precediendo al arroz; sin embargo, su

producción superó a ambos cereales debido a una productividad superior, totalizando 1.123,3 millones de toneladas. Estados Unidos y China representaron en conjunto el 55,3% de esta producción, mientras que Brasil y Argentina fueron los productores predominantes en América Latina, con 101 y 56 millones de toneladas, respectivamente. “En el Perú el maíz amarillo duro sembrados en la costa y en la selva, es del tipo dentado y utilizados principalmente para la industria avícola y porcina”. Asimismo, el aumento más significativo de la producción se dio en la costa, pasando de 3.62 t/ha en 1990 a 8.58 t/ha en 2019, mientras que en la selva el incremento fue de 1.58 t/ha en 1990 a 2.87 t/ha en 2019. La disparidad se debe a la tecnología implementada en la costa, incluyendo “la utilización de híbridos y un mejor manejo agronómico del cultivo”. Las condiciones agrometeorológicas son evidentemente más ventajosas, caracterizadas por una mayor radiación solar, menor humedad relativa y un rango de temperatura promedio de 12 a 30°C, lo que promueve una elevada producción de materia seca, a la vez que crea un ambiente perjudicial para la proliferación de enfermedades foliares, además de reducir la incidencia de plagas y malezas. Por el contrario, en la selva se siguen utilizando semillas de variedades de polinización abierta, que requieren menos mantenimiento agronómico y están sujetas a circunstancias ambientales que promueven una mayor prevalencia de plagas y enfermedades, lo que limita la obtención de mayores rendimientos.

1.3.4. Descripción botánica

“El maíz es una especie anual, monocotiledónea, monoica y se caracteriza por poseer los tallos formados por nudos y entrenudos y hojas arregladas en forma alterna que nacen de yemas ubicadas en los nudos” (Barandiaran, 2020).

a) Sistema radicular

Se compone de raíces seminales y adventicias; las primeras emergen de la semilla durante la germinación y son cruciales durante las primeras fases de desarrollo de la plántula hasta que se crea el sistema radicular adventicio permanente. Las raíces adventicias se desarrollan en los primeros entrenudos, cerca de la superficie del suelo, ofreciendo a la planta una estabilización suficiente en el suelo (Barandiaran, 2020).

b) Tallo

Es un eje vertical, alargado y cilíndrico que cumple la triple función de sostener la planta, transportar nutrientes y almacenar carbohidratos. La cantidad de nudos y entrenudos que constituyen el tallo fluctúa en función de la variedad y las condiciones ambientales, y su creación se produce a lo largo de la fase de plántula (Barandiaran, 2020).

c) Hojas

Surgen de yemas situadas en los nudos del tallo, dispuestas alternativamente a lo largo de éste. Cada hoja es un limbo alargado, lanceolado, con nervio central y finas nervaduras paralelas (Barandiaran, 2020).

d) Flores

El maíz es una planta monoica con dos tipos de inflorescencias: la inflorescencia masculina, conocida como panícula, produce polen y está situada en la parte terminal del tallo, mientras que la inflorescencia femenina genera óvulos, con sus flores dispersas a lo largo del tallo (Jara, et al. 2003).

e) Mazorca

Comienza a partir de una yema axilar, que forma un pedúnculo delgado con entrenudos abreviados, del que salen las brácteas, hojas modificadas que envuelven los granos (Barandiaran, 2020).

1.3.5. Estados de desarrollo de la planta de maíz

El crecimiento de la planta de maíz se clasifica en dos fases fenológicas: vegetativa y reproductiva (Barandiaran, 2020).

a) Estado vegetativo

Se inicia con la emergencia de la plántula y finaliza con la aparición de la panoja.

Estado V1: aparece la primera hoja embrionaria, el cual se caracteriza por tener un borde terminal redondeado.

Estado V3: el punto de crecimiento sigue bajo el suelo y es la etapa donde empieza la formación de las hojas y mazorcas que tendrá la planta.

Estado V5: el punto de crecimiento se encuentra al nivel de la superficie del suelo, se completa la formación de las hojas y mazorcas y se inicia la formación de la panoja que tendrá la planta, en este estado la planta tiene un aproximado de 20 cm de altura.

Estado V6: El punto apical con el meristemo de la panícula se sitúa por encima de la superficie del suelo; en esta coyuntura comienza el rápido desarrollo del tallo, lo que se traduce en una mayor necesidad de nutrientes.

Estado V9: La panícula desencadena un crecimiento acelerado, y el tallo persiste en su rápido desarrollo, lo que se traduce en una mayor necesidad de nutrientes y agua.

Estado V12: La cantidad de hileras está predeterminada; sin embargo, el número de granos por hilera sigue sin especificarse. En esta coyuntura, el déficit nutricional y la insuficiencia de agua disminuyen el número potencial de semillas y el tamaño de las mazorcas.

Estado V15: se debe suministrar suficiente agua hasta el estado R1, caso contrario el rendimiento se verá afectado significativamente.

Estado V18: la mazorca es visible y continua con su rápido desarrollo.

Estado VT: en este estado la planta alcanza su máximo tamaño.

b) Estado reproductivo

Estado R1: Los estigmas están siendo polinizados; la falta de agua podría afectar a la polinización.

Estado R2: La espiga alcanza su tamaño máximo, los estigmas comienzan a desecarse, el embrión se hace viable, comienza una rápida acumulación de materia seca y los granos presentan un 85% de humedad.

Estado R3 o estado lechoso: 3 semanas después de la floración, el embrión muestra un rápido crecimiento, con un contenido de humedad del 80%.

Estado R4 o estado pastoso: 4 semanas después de la floración, se han desarrollado hojas embrionarias y raíces seminales, con un contenido de humedad del 70%.

Estado R5 o estado dentado: 7 semanas después de la floración, los granos comienzan a secarse, con un nivel de humedad del 75%.

Estado R6 o estado de la madurez fisiológica: 8 semanas después de la floración, los granos están completamente desarrollados, con un nivel de humedad del 30 al 35%. El maíz ya está preparado para la cosecha.

1.3.6. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de maíz

a) Factores climáticos

Temperatura: La temperatura es un componente agroclimático crítico que influye en el ciclo de vida de las plantas, ya que puede acelerar o inhibir sus actividades metabólicas (Barandiaran, 2020).

Jara et al. (2003) indicaron que la temperatura ideal para el desarrollo del maíz se encuentra entre 13 y 30°C, afectando el ciclo vegetativo; el maíz cultivado en climas más fríos experimenta un ciclo vegetativo extendido, mientras que, en climas más cálidos, el ciclo se abrevia, incluso para variedades idénticas.

Hidalgo (2013) afirma que la producción óptima de maíz requiere temperaturas entre 20 y 30 °C, que varían en función de la fase de desarrollo del cultivo. También señala que la temperatura influye en la fase de floración; las temperaturas que superan los 30°C suelen dar lugar a una inflorescencia masculina más temprana en comparación con la femenina, mientras que las temperaturas inferiores a 20°C conducen a una inflorescencia femenina más temprana que la masculina.

Humedad en el suelo: Hidalgo (2013) sostiene que la demanda de agua durante todo el ciclo de producción del maíz supera los 550 mm, y que los cultivares tempranos necesitan menos agua que los tardíos. Las precipitaciones excesivas durante la fase vegetativa, especialmente en condiciones de suelo pesado, perjudican el crecimiento normal de la planta y su producción.

Barandiaran (2020) afirma que “el periodo crucial para el cultivo, que requiere un suministro adecuado de agua, se produce dos semanas antes de la floración, cuando la panícula comienza a liberar polen y la espiga produce los primeros estigmas, extendiéndose hasta dos semanas después de la floración. La insuficiencia de agua durante esta época puede disminuir significativamente la producción de grano por unidad de superficie”.

Radiación solar: Hidalgo (2013) indica que “el maíz es una de las plantas que tiene un alto nivel de respuesta a los efectos de la luz, de la cual depende principalmente su elevado potencial productivo”. Además, menciona que la fase reproductiva resulta la más sensible, siendo así que una disminución de 90 a 100 de la intensidad lumínica, la fase de la polinización produce la máxima reducción en el rendimiento del grano.

Barandiaran (2020) manifiesta que “la relación entre la radiación solar y el rendimiento del cultivo es directa, es decir, a mayor radiación solar mayor rendimiento y viceversa”.

b) Factores edáficos

Suelo: Jara, et al. (2003) sostienen que “se desarrolla mejor en suelos de textura intermedia (franco y franco arcilloso), con buena cantidad de materia orgánica, bien aireados y profundos”.

Barandiaran (2020) afirma que “el cultivo de maíz en suelos bien drenados y con buena materia orgánica, tiene buenos rendimientos, ya que los suelos profundos y de buena estructura, favorecen el desarrollo del sistema radicular que permite un buen anclaje y facilita la absorción de nutrientes y humedad, además enfatiza que el maíz requiere de suelos de textura franco-arcillosa o suelos francos”.

pH: Hidalgo (2013), menciona que “el maíz requiere preferentemente de suelos neutros, pudiendo desarrollarse en suelos con pH 5.5 a 7.5, tolera medianamente la alcalinidad y es sensible a suelos ácidos con toxicidad de aluminio mayor a 60%”. Sin embargo, Barandiaran (2020) menciona que el rango más apropiado para el cultivo de maíz está entre 5.5 a 6.5 fuera de este rango, la disponibilidad de la mayoría de los elementos químicos disminuye reduciendo la fertilidad del suelo.

Salinidad: Barandiaran (2020) manifiesta que “la presencia de sales a niveles no perjudiciales es normal y beneficioso para el cultivo, sin embargo, valores superiores a 4 mmhos/cm se considera perjudicial para el maíz, ya que, concentraciones mayores en la solución del suelo, disminuyen la capacidad de la planta de tomar agua necesaria para su desarrollo y limita el desarrollo del sistema radicular”.

1.3.7. Manejo del cultivo de maíz

a) Época de siembra

Jara et al. (2003) sostienen que “la época de siembra del maíz varía según la zona de producción y está en función de algunos factores climáticos, como la precipitación, temperatura, luminosidad, humedad, etc”.

b) Preparación del suelo

Barandiaran (2020) destaca que “la preparación del suelo es fundamental para lograr un establecimiento uniforme de las plántulas, lograr un buen desarrollo radicular y mantener la densidad adecuada de plantas, sin embargo, los terrenos mal preparados con terrones grandes y desnivelados causan una emergencia desigual”. Asimismo, Jara et al. (2003) afirma que la preparación y manejo del suelo es la manipulación física, química y/o biológica del suelo, con la finalidad de brindar condiciones adecuadas para la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas.

c) Selección de semilla

Lardizábal (2012) informa que “la selección de semilla es fundamental, ya que de esto depende en gran parte el rendimiento y la rentabilidad del cultivo”. Asimismo, Hidalgo (2013) recomienda “utilizar semillas de buena calidad que sean de la variedad elegida, tamaño uniforme, sana y con alto porcentaje de germinación”.

d) Densidad y profundidad de siembra

Hidalgo (2013) menciona que “la densidad de siembra depende de las características de la semilla, el arquitecto de la planta, la fertilidad natural del suelo, el clima y los recursos disponibles para la adquisición de insumos y manejo del cultivo”. Para el cultivo de maíz amarillo duro, el número de plantas por hectárea oscila entre 50000

a 62000 plantas, además recomienda que la profundidad de siembra varia de 3 a 7 cm, mientras que en suelos pesados es de 5 cm. Sin embargo, en suelos de ladera con pendientes mayores a 15% recomienda una población de 40000 plantas/ha.

e) Fertilización

Hidalgo (2013) refiere que “la aplicación de los fertilizantes se debe realizar en forma racional en base al resultado del análisis del suelo, la semilla utilizada, la necesidad de la planta y la eficiencia económica de su aplicación”. Asimismo, Infante (2010) afirma que “en el cultivo de maíz existen etapas donde se extrae algunos nutrientes en mayor cantidad que otros, presentándose la mayor demanda de nutrientes entre los 30 y 60 días después de la siembra, siendo el más adecuado para la fertilización de los elementos móviles como el nitrógeno en los primeros 30 días”.

Mientras que Jara et al. (2003) mencionan que “en el cultivo de maíz la época oportuna para aplicar los fertilizantes es al momento de la siembra, sin embargo, también se puede aplicar después de la emergencia de las plántulas con la mezcla de 30 o 50% de fuente nitrogenado y 70 o 50 % de fosforo y potasio”. Además, recomienda que “en suelos con problemas de toxicidad o saturación de aluminio mayor a 60%, es necesario realizar encalados con materiales calcáreos con el objetivo de mejorar las condiciones físicas, químicas y estimular la actividad microbiana del suelo”.

Según Parsons (2011) “el cultivo de maíz que produzca cuatro toneladas de granos por hectárea, requiere las siguientes cantidades de elementos esenciales: 110 kg N, 40 kg de P₂O₅, 80 kg de KCl, 7 kg de Ca, 6 kg de Mg y 6 kg de S”. Además, Melgar y Torres (2009) indican que “la primera fertilización se puede realizar al momento de la siembra y recomienda que la fertilización nitrogenada no debe exceder de 80 unidades, además enfatiza lo importante que es utilizar como mínimo 1 tn/ha de guano de pollo o compost, mezclado con los fertilizantes químicos”. De igual modo refieren que “en la segunda fertilización se debe completar toda la dosis requerida de nitrógeno y se debe realizar cuando la planta tiene las 8 hojas completamente extendidas”.

f) Plagas y enfermedades del cultivo de maíz

Plagas: Según Maldonado et al. (2013) “existe un número grande de insectos que atacan al cultivo de maíz, pero son pocos los que causan daños económicos, entre ellos menciona las siguientes plagas: Cogollero (*Spodoptera frugiperda*), barrenador del maíz (*Elasmopalpus lignolellus*), oruga de la espiga del maíz (*Heliothis zea*), trips (*Franklinella williamsi*), gusano alambre (*Agriotes spp.*), gallina ciega (*Phyllophaga spp.*), chicharrita (*Dalbublus maydis* y *Cicadulina spp.*), gusano soldado o medidor (*Mocis spp.*), gusano choclero (*Helicoverpa zea*) y Pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maydis*)”.

Enfermedades: Jara et al. (2003) sostienen que “la enfermedad en el maíz es el resultado de la interacción entre el patógeno y el hospedero y está influenciada por las condiciones ambientales”. Donde menciona las principales enfermedades de importancia económica: Mancha foliar (*Helminthosporium maydis*), Roya (*Puccinia polysora*), Pudrición del tallo (*Erwinia*) y Tizón foliar (*Helminthosporium maydis*)

g) Cosecha y pos cosecha

Estimación del rendimiento antes de la cosecha: Desde el punto de vista de Barandiaran (2020) “el rendimiento está dado por el número y peso de granos cosechados por unidad de superficie, donde el muestreo del campo es fundamental para evitar que nuestra estimación sea sesgada”. El número de muestras dependerá del tamaño y la uniformidad del campo. Además, Jara et al. (2003) mencionan que “la estimación del rendimiento se basa en la realización de muestreos, donde cuanto mayor sea el número, distribución y exactitud de cada muestra, mayor será la precisión de los cálculos y los pronósticos serán más cercanos a la cosecha real”.

Jara et al. (2003) nos muestran el siguiente ejemplo para la estimación del rendimiento de la cosecha.

- ✓ Contar el número de mazorcas en 10 m
Ejemplo: 39 mazorcas (A)
- ✓ Desgranar 5 mazorcas tomadas al azar y sacar el promedio por mazorca
Ejemplo: peso de grano de 5 mazorcas: 930 g
Peso promedio de mazorca: 186 g (B)

- ✓ Área que ocupa los 10 m
10m * 0.8 m = 8 m² (C)
- ✓ Porcentaje de humedad del grano a la cosecha
Ejemplo: 32% (D)
- ✓ Rendimiento estimado
 $(A*B*10/C)*(100-D/86) = \text{kg/ha}$

Cosecha: Jara et al. (2003) refieren que “la cosecha es la última labor de campo en el cultivo, aunque el grano del maíz fisiológicamente está maduro antes de la cosecha”. además, menciona que “la madurez fisiológica del grano se puede apreciar observando la capa negra en la base del grano, uno de los indicadores de esta madurez es el amarillamiento intenso de la planta, seguido de un secamiento ascendente, las mazorcas doblan el pedúnculo y se cuelgan, las brácteas y los granos también se secan”.

Análisis del rendimiento: Barandiaran (2020) manifiesta que “los bajos rendimientos en la cosecha, están ligados a diversos factores como el número de plantas cosechadas, el número de plantas que produjeron mazorcas y las características de las mazorcas cosechadas”.

Post cosecha (secado y almacenamiento): Barandiaran (2020) menciona que “debido a que el maíz amarillo duro es destinado casi en su totalidad a la producción avícola y porcícola, el productor vende su maíz tan pronto lo cosecha”. Por tal razón recomienda que “el desgrane de las mazorcas debe hacerse cuando la humedad del grano este por debajo de 16% para evitar daños al grano, en caso que las mazorcas son cosechadas con alta humedad las mazorcas deben ser tendidas inmediatamente para que pierda humedad y así evitar el aumento de temperatura o calentamiento, ya que este calentamiento es suficiente para crear un ambiente propicio para la proliferación de hongos”.

1.4. El cultivo de soya

1.4.1. Clasificación taxonómica

Guamán (2005) clasifica taxonómicamente a la soya de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Subreino: Angiosperma

Clase: Dicotiledoneas

Orden: rosales

Familia: Leguminosae

Subfamilia: Faboideae

Género: Glicine

Especie: *G. max* (L. merril)

1.4.2. Origen de la soya

Valencia (2006) sostiene que la soya tuvo su origen el oriente asiático China y su domesticación se inició durante la dinastía Chou, sin embargo, es probable que la verdadera domesticación se diera durante la dinastía Shang, de donde se expandió a otros países. Asimismo, Flores et al. (2021) sostiene que “el origen de la soya se centra en el extremo oriente del continente asiático”. Datan los autores que “las primeras referencias de esta especie se remontan en la época del emperador Shennog, quien menciona a la leguminosa en su libro de medicina y explica las grandes bondades que posee”.

1.4.3. Importancia del cultivo de soya

Melgar et al. (2011) menciona que la soya en el ámbito global es el cuarto producto de consumo humano más importante en producción y comercio mundial, además de que es la principal fuente proteica en la alimentación animal. Asimismo, Barces (2011) menciona que “el grano de soya contiene como promedio 20% de aceites y 35% de proteínas, siendo su característica principal su utilización industrial para la extracción del aceite y sus derivados que son destinados en la alimentación humana, además de la extracción del aceite queda la pasta o torta con alto contenido de proteínas generalmente

destinados a la alimentación animal”. En resumen, “la soya es importante por ser la planta leguminosa de mayor volumen de producción en el mundo y la planta que produce proteínas baratas, siendo el consumo directo de la soya para la alimentación humana la utilización de la fuente proteica más barata”.

1.4.4. Descripción botánica

Flores et al. (2021) refieren que “la planta de soya es una herbácea cultivada por semilla, con crecimiento determinado, semideterminado e indeterminado, de porte erguido y alcanza una altura de entre 20 y 150 cm según la variedad y las condiciones del cultivo”.

a) Raíz

El sistema radicular de la soya es predominantemente axial, fasciculado, constituido de una raíz principal de donde emergen raíces secundarias los cuales se forman en varias raíces laterales (Rosas & Young, 1991). Asimismo, Melgar et al. (2011) menciona que el sistema radicular de la soya consta de una raíz principal pivotante, unas importantes raíces secundarios que se ramifican y raíces adventicias muy ramificadas que salen de la base del hipocótilo.

b) Tallo

Barces (2011) manifiesta que “el tallo de la soya es rígido, de crecimiento vertical y se encuentra recubierta por una pelusa de color pardo grisáceo muy fina y espesa”.

c) Hojas

Flores et al. (2021) sostienen que “las hojas son alternas, compuestas, trifoliadas, y con folíolos oval-lanceolados, los cuales caen antes de que las semillas estén maduras”.

d) Inflorescencia

Napes (2011) menciona que “las flores son mariposadas, los cuales se encuentran formando racimos en las axilas de las hojas y su color es normalmente blanco o púrpura”.

e) Frutos

“Son vainas dehiscentes, largas de 2 a 7 cm, ligeramente curvas o a veces rectas, son vellosas de color verde virando, hacia el amarillo paja, amarillo grisáceo o amarillo pardo durante la maduración” (Barces, 2011).

f) Semilla

Barces (2011) destaca que “la semilla tiene forma, color, dimensiones muy variables generalmente redondeadas, así como puede ser ovalada de color pajizo, verde gris pardo, negra, bicolor o variegada”.

1.4.5. Fenología de la soya

De acuerdo con Guamán & Andrade (2005) “el crecimiento de la planta de soya es un proceso fisiológico que comprende un ciclo completo desde la germinación hasta la maduración del grano, donde para un mejor estudio el crecimiento de la soya se divide en dos estadios”. Asimismo, Flores et al. (2021) manifiestan que “el crecimiento óptimo de la planta de soya se da en regiones cálidas y tropicales, sin embargo, esta es muy sensible a la luz y la radiación solar controla el paso del periodo vegetativo a la floración y la velocidad de crecimiento durante la maduración”.

a) Fase vegetativa (V)

Guamán (2005), menciona que “la fase vegetativa comprende desde el momento de la germinación de la semilla, hasta la aparición de los primeros botones florales” y se clasifican de la siguiente manera:

VE: Es la fase que comprende la emergencia de la plántula con cotiledones sobre la superficie del suelo.

VC: planta emergida con cotiledones abiertos y las hojas unifoliadas desarrolladas, 3 a 5 días después de la emergencia.

V1: es la fase donde aparece el primer nudo, primer par de hojas unifoliadas completamente desarrolladas y frente una de la otra.

V2: en esta fase aparece la primera hoja trifoliada

V5: la planta posee cinco nudos sobre el tallo principal con las hojas trifoliadas completamente expandidas.

Vn: enésimo de nudos sobre el tallo principal con hojas completamente expandidas.

b) Fase reproductiva

Inicia con la aparición de los primeros botones florales y termina cuando el grano alcanza su madurez necesaria para su cosecha.

R1: fase donde aparece las flores

R2: comprende la plena floración

R3: empieza el desarrollo de las vainas

R4: elongación completa de las vainas

R5: comprende el inicio de la formación de la semilla

R6: en esta fase la semilla alcanza su máximo tamaño

R7: las semillas empiezan a madurar

R8: las semillas se encuentran en plena madurez

R9: las semillas están en su punto de cosecha

1.4.6. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de soya

a) Factores climáticos

Fotoperiodo: Barces (2011) sostiene que “la soya es un cultivo sensible al fotoperiodo, por ser una planta de días cortos, lo que es un reto para los fitomejoradores buscar cultivares indiferentes a días largos”. El fotoperiodo de la soya es fundamental para planificar la fecha de siembra, de modo que el pleno desarrollo vegetativo debe coincidir con días largos y que el inicio de la floración coincida con días cortos.

Temperatura: Melgar et al. (2011) manifiestan que “la soya se cultiva en climas cálidos en zonas tropicales y templadas”. Además, menciona que “la soya es relativamente

resistente a temperaturas bajas y altas teniendo bajas tasas de crecimiento por encima de 35°C y por debajo de los 18°C, donde para el desarrollo óptimo de la planta la temperatura debe estar por encima de 15°C”. Sin embargo, Barces (2011) menciona que “la soya puede desarrollar bajo un amplio rango de temperatura, donde la temperatura óptima para el desarrollo de la planta se encuentra entre 10 a 30°C”. A temperaturas menores a 10°C la germinación de la planta se retrasa, en cambio cuando la temperatura oscila entre 18 a 25 °C la germinación se acelera. “La floración se retrasa cuando la temperatura promedio es menor de 25°C”.

Iluminación: De acuerdo con Barces (2011) la soya es una planta sensible a la duración del día, es decir, que para la floración se hace indispensable unas determinadas horas de luz.

b) Factores edáficos

Suelo: Barces (2011), señala que “el cultivo de soya puede prosperar en diferentes tipos de suelos, sin embargo, en suelos francos, profundos, fértiles, bien drenados y con buena dotación de calcio se obtiene una mayor productividad”.

pH: Según Barces (2011), “el pH adecuado para el desarrollo óptimo de la soya es de 5.7 a 6.2, además recomienda que en suelos con pH menores a 5.5 deben ser corregidos mediante encalados”.

Humedad: Barces (2011) refiere que “la planta de soya durante su ciclo vegetativo requiere al menos 300 mm”. Sin embargo, Melgar et al. (2011) manifiesta que “el requerimiento de agua para una máxima producción varía entre 450 a 700 mm durante todo el ciclo, además enfatiza que el rendimiento de la soya aumenta con precipitaciones crecientes”.

1.4.7. Manejo del cultivo de soya

a) Preparación del terreno

Barces (2011) manifiesta que “la preparación del terreno debe realizarse inmediatamente después de cosechar el cultivo anterior, a una profundidad de 25 a 30 cm y eliminar bien los terrones grandes y malezas para evitar que las plantas de soya sean

afectadas en su crecimiento inicial”. Asimismo, Olivo (2012) resalta que el cultivo de soya requiere de suelos profundos y bien mullidos.

b) Época de siembra

Soto et al. (2001) sostienen que la clave en la determinación de la época de siembra es la respuesta al fotoperiodo, esto debido a que la soya es una planta de días cortos, es decir, solo va florecer cuando el fotoperiodo sea lo suficientemente corto, además enfatiza que en el trópico las épocas de siembra de soya estarán determinadas por el patrón de las lluvias.

c) Densidad de siembra

Soto et al. (2001) refieren que se obtuvieron rendimientos elevados dejando un distanciamiento de siembra de 50 cm entre surcos y 10 cm entre plantas, con dos plantas por golpe. Sin embargo, manifiestan que el productor puede diseñar su propio sistema de siembra de acuerdo a las facilidades que tenga para realizar las labores agronómicas.

d) Siembra

Soto et al. (2001), recomiendan realizar pruebas de germinación para calcular la cantidad de semillas a usar y así garantizar una adecuada población de plantas. Generalmente la siembra se efectúa con máquinas sembradoras de leguminosas, donde la profundidad de siembra varía con la consistencia del terreno siendo una profundidad óptima de 2 a 4 cm. Sin embargo, Moran et al. (2019) mencionan que la distancia ideal para la soya es de 40 cm entre surcos y 20 cm entre plantas, además resaltan que este método de siembra se emplea en terrenos donde las áreas son pequeñas.

e) Fertilización del cultivo de soya

Flores et al. (2021) manifiestan que el plan de fertilización se debe realizar en base al análisis del suelo y al requerimiento nutricional del cultivo, los cuales son: 220 a 275 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, 50 kg.ha⁻¹ de fósforo, 120 kg.ha⁻¹ de potasio, 60 kg.ha⁻¹ de calcio, 15 kg.ha⁻¹ de magnesio, 15 kg.ha⁻¹ de azufre, 3 kg/ha de zinc, 1 kg.ha⁻¹ de cobre, 0.44 kg.ha⁻¹ de boro y 0.40 kg.ha⁻¹ de molibdeno. Asimismo, Soto et al. (2001) mencionan que los nutrientes esenciales que la planta de soya requiere son N, P, K, S, Ca, Mg, Cu, Mo y Cl,

los cuales en su mayoría son absorbidos del suelo, sin embargo, el nitrógeno en parte es obtenido por la fijación simbiótica de bacterias que se encuentran en los nódulos de las raíces de las plantas. Además, Haro & Pacheco (2004) manifiestan que “normalmente no se abonan con nitrógeno los cultivos de soya, siempre que se inocule las semillas con bacterias fijadoras de nitrógeno, sin embargo, las bacterias no pueden aportar el nitrógeno suficiente para lograr altos rendimientos, por lo que se añade algo de nitrógeno”. Además, recomiendan “realizar un encalado en caso que el suelo sea ácido, ya que aumentara el rendimiento en grano y las bacterias se desarrollarán mejor”.

Cabe mencionar que “la soya con un rendimiento de 3000 kg.ha⁻¹ de granos puede extraer del suelo 205 kg de nitrógeno, 55 kg de fósforo y 135 kg de potasio” (Rojas, 2013).

Nitrógeno: Salvagiotti et al. (2009) mencionan que “las bacterias fijadoras de nitrógeno durante el ciclo del cultivo muestran tres etapas diferentes, donde en la primera etapa que comprende desde la emergencia hasta los 30 días, el aporte de nitrógeno por las bacterias fijadoras es bajo debido a que durante este periodo el aparato nodular se está desarrollando siendo fundamental la fertilización”.

Fósforo: Freire (2018) manifiesta que “para elevar los rendimientos del cultivo de soya, es importante que durante la etapa de formación de vainas el cultivo tenga una buena cobertura de hojas, lo cual depende de la disponibilidad de fósforo en el suelo, ya que las plantas que crecen con bajo contenido de fósforo llegan a la etapa de floración capturando 25% menos de radiación solar, debido a que el fósforo disminuye tanto el tamaño como la aparición de hojas”. Asimismo, Rojas (2013) menciona que “la soya absorbe cerca de la mitad del fósforo que necesita durante los últimos cuarenta días de la estación de crecimiento, en caso que se presente deficiencia en la mitad del ciclo del cultivo se reduce considerablemente el rendimiento proyectado”.

Potasio: Quintanilla (2013), menciona que “la soya absorbe grandes cantidades de potasio. Su deficiencia retarda la maduración, la calidad de la semilla se reduce y la incidencia de enfermedades se aumenta”.

Barraco (2010), recomienda evitar la aplicación de fertilizantes junto con la semilla, debido a que la soya es susceptible a los efectos fitotóxicos generados por la disolución de los fertilizantes.

f) Plagas y enfermedades

Santa Cruz (2011) manifiesta que el cultivo de soya es atacado durante todo su ciclo vegetativo por plagas, estas se presentan en las diferentes fases de acuerdo a la preferencia alimentaria.

Flores et al. (2021) mencionan que, “la clave para evitar que los insectos causen pérdidas económicas es la detección oportuna, el monitoreo y el muestreo de plagas y la cuantificación de daños, lo que permite la toma adecuada de decisiones de manejo”.

Entre las principales plagas encontramos los siguientes: Picudo negro, Picudo gris grande, Gusano cortador, Falso medidor, Gusano militar, Gusano de la soya, Gusano pegador de la hoja, Chinche verde pequeña, Chinche verde de alas café, Chinche marrón, Mosca blanca, Trips, Ácaros y Caracol rayado

Según el INIA (2013), “las principales enfermedades que se presentan en el cultivo de soya son los siguientes: *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium spp.*, *Colletotrichum spp.*, Mancha marrón o Septoriosis, Tizón de la hoja y mancha púrpura de la semilla, Oidio, Mildiu y Roya asiática”.

g) Cosecha y manejo post cosecha

Cosecha: Soto et al. (2001), mencionan que la cosecha se inicia cuando la planta se encuentra en completa madurez, teniendo como indicador el amarillamiento de las hojas y su posterior caída, además resalta que la época ideal para la cosecha de la soya es cuando los granos de soya se encuentren con un porcentaje de humedad entre 14 a 15% y deberá iniciarse cuando las plantas presenten por lo menos un 95% de vainas maduras. Asimismo, Oliveros (2005) manifiesta que uno de los indicadores de cosecha es la defoliación por secado y las vainas tengan una coloración amarillo pálido a marrón y cuando el grano presente un 14 a 15% de humedad.

Almacenamiento: Soto et al. (2001) manifiestan que para el almacenamiento se debe limpiar y secar los granos hasta obtener una humedad inferior a 13%, en este nivel de humedad se podrá almacenar por un año sin ningún problema.

Rendimiento: Olivos (2012) refiere que “los rendimientos del cultivo de soya varían entre 3500 kg.ha⁻¹ a 4000 kg.ha⁻¹”. Así mismo, Napa (2011) argumenta que “el rendimiento depende del potencial genético y de las condiciones de manejo, por lo cual recomienda que la siembra debe ceñirse a las recomendaciones técnicas para lograr mayores beneficios económicos”.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

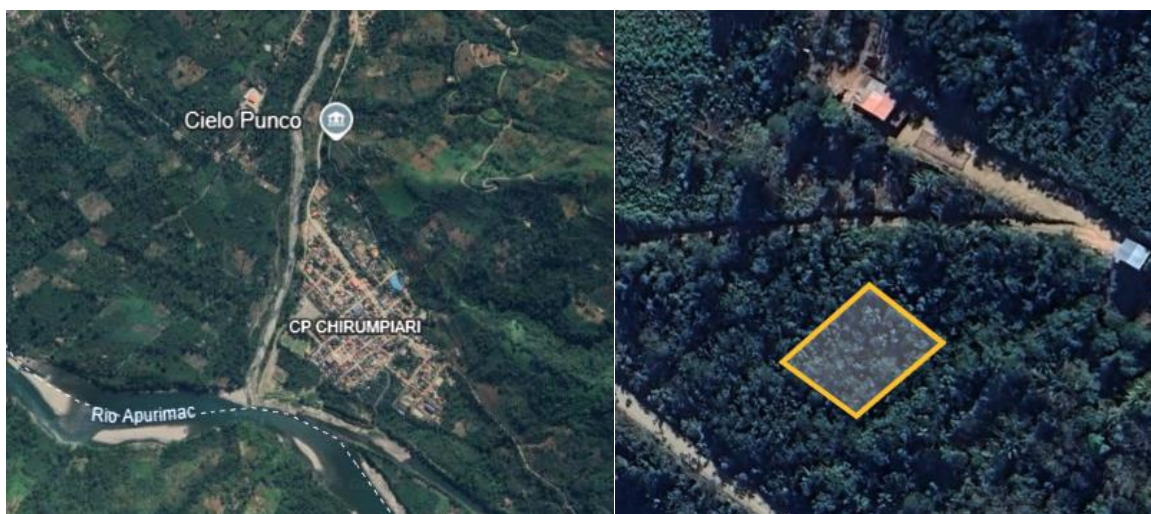
2.1. Ubicación del campo experimental

La investigación se realizó en un suelo ácido de la selva de la localidad de Chirumpiari, ubicada en el departamento de Cusco, provincia de La Convención y distrito de Cielo Punco, cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud sur : 12°49'50"
Longitud oeste : 73°35'10"
Altitud : 746 m.s.n.m.

Figura 2.1

Mapa de ubicación de la parcela experimental



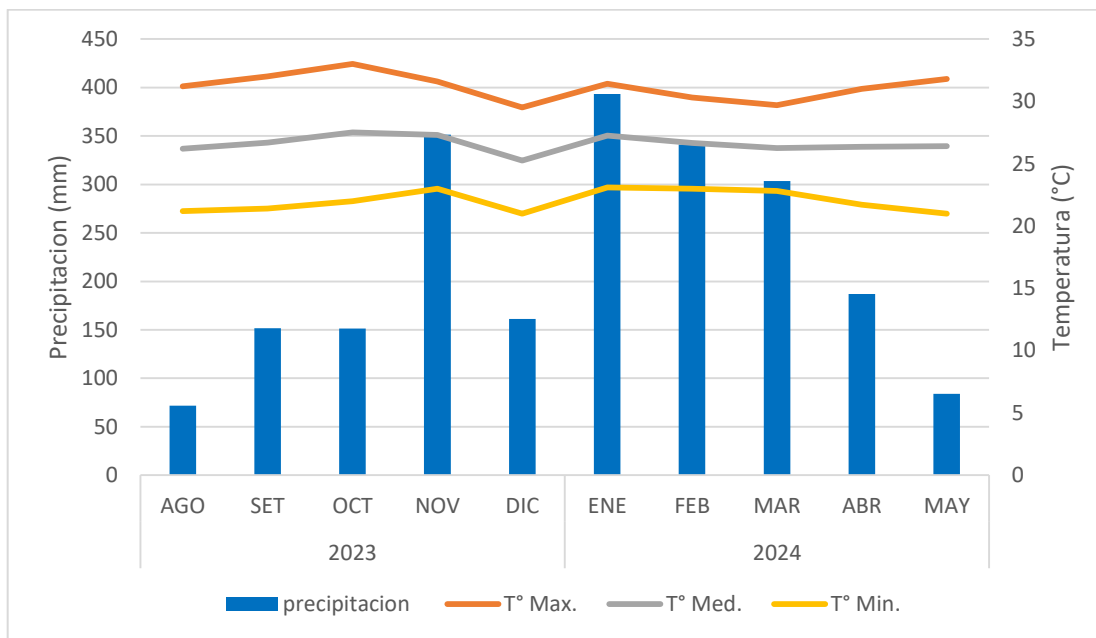
2.2. Características climáticas

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por el Gobierno Regional de Ayacucho, de la estación meteorológica Ayna San Francisco, los cuales corresponden al periodo de crecimiento y desarrollo de los cultivos de maíz amarillo duro y soya en rotación (agosto 2023 – mayo 2024). Durante el periodo, la precipitación total alcanzó 2196.7 mm, siendo noviembre de 2023 a marzo de 2024 los meses más lluviosos. La zona

donde se realizó el trabajo de investigación presento una temperatura media de 26.58 °C y fluctúa entre una máxima de 31.15 °C y una mínima de 22.02 °C, lo que permite un crecimiento acelerado acortando el periodo vegetativo de los cultivos.

Figura 2.2

Climatograma correspondiente al periodo agosto 2023 – mayo 2024 de la estación meteorológica de Ayna San Francisco



2.3. Análisis de suelo

Se tomaron las sub muestras de diferentes puntos de la parcela experimental tomando en cuenta los protocolos de muestreo, los cuales fueron homogenizadas y separadas en cuartos para obtener una muestra representativa de 1 kilogramo de suelo que fue enviada al laboratorio para su respectivo análisis, cuyos resultados e interpretación se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1*Resultados del análisis de caracterización físico - químico del suelo*

Propiedades	Componentes	Valores	Método	Interpretación	
Físicas	Arena (%)	34	Hidrómetro de Bouyoucos		
	Limo (%)	24	Hidrómetro de Bouyoucos		
	Arcilla (%)	42	Hidrómetro de Bouyoucos		
	Clase textural	Arcilloso			
Orgánicas	Materia orgánica (%)	5.19	Walkley Black	Alto	
Químicas	pH (1.1)	4.77	Potenciómetro	Fuertemente ácido	
	C.E. (dS m ⁻¹)	0.07	Conductímetro	No salino	
	CaCO ₃ ⁼ (%)	0.0	Gasometría	Muy bajo	
	N – total (%)	0.26	Semi micro Kjeldahl	Alto	
	P (ppm)	2.39	Olsen modificado	Bajo	
	K (ppm)	78	Morgan Peech (Acetato de Na)	Bajo	
	C.I.C. (Cmol kg ⁻¹)	14.03	Acetato de amonio NH ₄	Medio	
	Ca ⁺⁺ (Cmol kg ⁻¹)	3.9	Acetato de amonio NH ₄	Bajo	
	Mg ⁺⁺ (Cmol kg ⁻¹)	1.22	Acetato de amonio NH ₄	Bajo	
	K ⁺ (Cmol kg ⁻¹)	0.34	Acetato de amonio NH ₄	Medio	
	Na ⁺ (Cmol kg ⁻¹)	0.26	Acetato de amonio NH ₄	Bajo	
	Al ⁺³ +H ⁺ (Cmol kg ⁻¹)	2.88	Titulación		
	% Sat. Bases	41		Bajo	
	Relaciones Catiónicas				
		Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺ (5 - 8)	3.19		Desequilibrio
		Ca ⁺⁺ /k ⁺ (14 - 16)	11.47		Desequilibrio
	Mg ⁺ /K ⁺⁺ (1.8 – 2.5)	3.58		Desequilibrio	

Fuente: Laboratorio AGROLAB - Ayacucho**2.3.1. Interpretación del análisis de suelo****a) Para el cultivo de maíz**

Según los resultados del análisis del suelo, el principal problema es el desbalance catiónico ya que la relación Ca/Mg, Ca/K y Mg/K no se encuentra en el rango esperado. El pH es otro factor limitante por presentar un valor de 4.77 considerado como extremadamente ácido debido a que el cultivo de maíz se desarrolla mejor en suelos con pH que oscilan entre 5.5 a 6.5 (Acosta, 2009). Respecto a la clase textural, esta es arcillosa

y será un problema, debido a que este cultivo para obtener un buen rendimiento requiere de suelos sueltos, bien drenados y con buena materia orgánica (Acosta, 2009). El contenido de materia orgánica es 5.19% que se interpreta como alto lo cual implica efectos benéficos en el suelo y para la planta. La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) es de 14.03 Cmol kg⁻¹ considerado como un valor medio, lo que indica que el suelo tiene una gran capacidad para retener e intercambiar nutrientes. Respecto al contenido de fósforo se reporta 2.39 ppm y el potasio de 78 ppm que se consideran bajos y son los factores de mayor importancia en la nutrición mineral.

b) Para el cultivo soya

Asimismo, el principal factor limitante es el desbalance catiónico. En cuanto al pH la soya se desarrolla mejor en suelos con valores que oscilan entre 5.7 a 6.2, por lo que en suelos con pH menores a 5.5 se recomienda realizar el encalado para mejorar esta condición (Barces, 2011). Respecto a la clase textural, será un problema, debido a que este cultivo requiere de suelos sueltos y bien drenados. El contenido de materia orgánica y C.I.C. favorecerá al buen desarrollo de la planta. Sin embargo, el suelo al tener un bajo contenido de fósforo y potasio limitará el crecimiento y desarrollo adecuado de la planta, manifestándose en el bajo rendimiento que se puede obtener.

2.4. Cultivos empleados

Las semillas de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) variedad Marginal 28 Tropical y las semillas de soya (*Glicine max* L.) variedad Cristalina fueron adquiridos de la empresa “Semillas Arrasco S.A.C.”

a) Maíz amarillo duro variedad Marginal 28 Tropical

Características agronómicas (INIA, 2003).

El ámbito de desarrollo es la selva alta y costa norte del Perú, siendo su rango de adaptación hasta los 1800 m.s.n.m. Es una variedad resistente al acame y tolerante a la sequía, así como a la roya y carbón. Tiene un vigor inicial intermedio, el color de la plántula es verde amarillento, el tamaño de la semilla 11.8 mm, la planta es de forma plana y alargada, el peso de cien granos es 36 gramos, con un número de hileras por mazorca de

14 y el rendimiento experimental es 8000 kg.ha⁻¹ y el rendimiento comercial es de 4000 kg.ha⁻¹.

b) Soya variedad Cristalina

Características agronómicas (Flores et al., 2021).

Es una planta herbácea, de porte erguido que alcanza una altura de 30 a 150 cm, las vainas llegan a medir de 4 a 6 cm los cuales pueden contener de 2 a 4 granos por vaina. El peso de 1000 semillas es 150 gramos, su rango de adaptación es hasta los 1200 m.s.n.m. y tiene un rendimiento promedio de 2200 kg.ha⁻¹.

2.5. Material encalante

El material encalante utilizado en el presente trabajo de investigación fue la dolomita, el cual tiene una composición química de 60% de CaCO₃ y 30% de MgCO₃. Este producto se adquirió de la tienda agropecuaria “Agrovet Antonia”.

2.6. Tratamientos en estudio

Se consideró la aplicación de siete dosis de dolomita con tres repeticiones que permiten 21 unidades experimentales. Los tratamientos se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

Niveles de dolomita según el tratamiento en estudio

Tratamiento	Descripción
T ₁	0 tonelada de dolomita
T ₂	1 tonelada de dolomita
T ₃	2 toneladas de dolomita
T ₄	3 toneladas de dolomita
T ₅	4 toneladas de dolomita
T ₆	5 toneladas de dolomita
T ₇	6 toneladas de dolomita

2.7. Duración del experimento

El trabajo de investigación se desarrolló durante los meses de agosto de 2023 a mayo de 2024, teniendo una duración de 10 meses.

2.8. Características del campo experimental

a) Características del campo experimental del cultivo de maíz amarillo duro

Número de tratamientos con niveles de dolomita	: 07
Número total de tratamientos	: 07
Número total de repeticiones/tratamientos	: 03
Distanciamiento entre plantas	: 0.80 m
Distanciamiento entre surcos	: 0.80 m
Número de unidades experimentales	: 21
Número de plantas por unidad experimental	: 48 plantas
Total de plantas para el experimento	: 1008 plantas
Número de bloques	: 03
Área total del experimento	: 387.6 m ²

b) Características del campo experimental del cultivo de soya

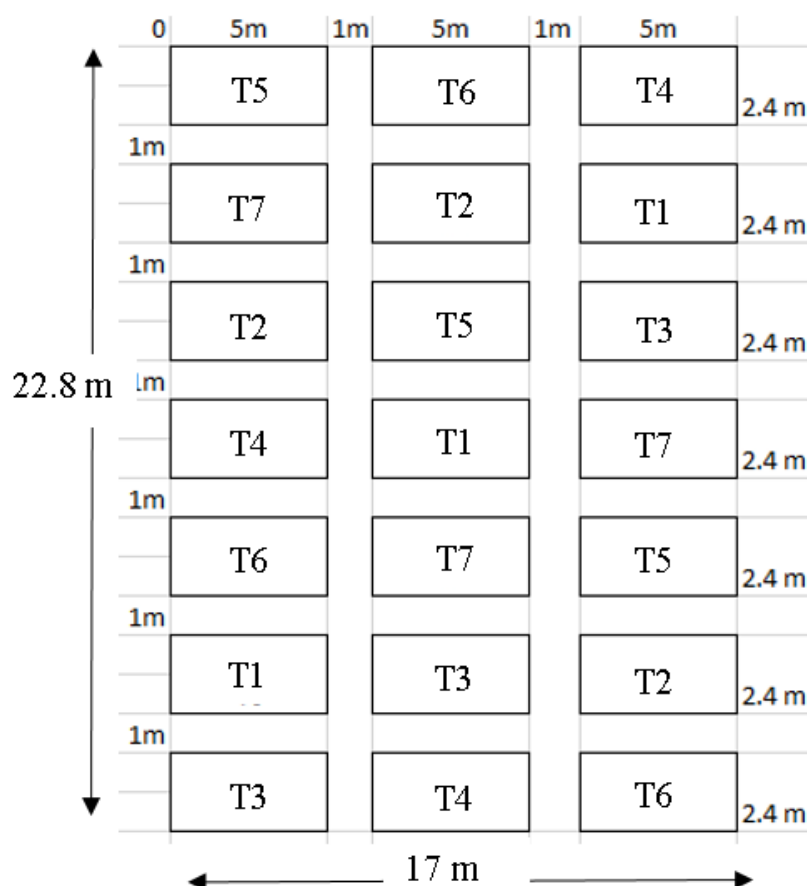
Número de tratamientos con niveles de dolomita	: 07
Número total de tratamientos	: 07
Número total de repeticiones/tratamientos	: 03
Distanciamiento entre plantas	: 0.20 m
Distanciamiento entre surcos	: 0.80 m
Número de unidades experimentales	: 21
Número de plantas por unidad experimental	: 100 plantas
Total de plantas para el experimento	: 2100 plantas
Número de bloques	: 03
Área total del experimento	: 387.6 m ²

c) Croquis de distribución de los tratamientos en investigación

Los tratamientos se ubicaron en tres bloques, cada tratamiento con tres repeticiones distribuidos al azar (figura 2.3).

Figura 2.3

Croquis del campo experimental con los tratamientos distribuidos al azar



d) Descripción de la unidad experimental del cultivo de maíz

La unidad experimental consta de 4 hileras, con un distanciamiento entre hileras y plantas de 0.80 m, donde cada golpe consta de 2 plantas, haciendo un total 48 plantas. Para las evaluaciones de las variables se tomó las dos hileras centrales, considerando efecto borde los dos extremos.

e) Descripción de la unidad experimental del cultivo de soya

La unidad experimental consta de 4 hileras, con un distanciamiento entre hileras de 0.80 m y 0.20 m entre plantas, donde cada golpe consta de 2 plantas, haciendo un total 100 plantas. Para las evaluaciones de las variables se tomó las dos hileras centrales, considerando efecto borde los dos extremos.

2.9. Instalación y conducción del experimento

a) Habilitación y preparación del terreno (20/08/2023)

Se inició el con el desbroce y limpieza de malezas con la finalidad de dejar limpio el campo experimental, donde la preparación del terreno se realizó con la fuerza humana haciendo uso de azadones, con esta labor se buscó mejorar la calidad del suelo y eficiencia de la reacción del material encalante.

b) Demarcación del terreno (02/09/2023)

La delimitación del terreno se realizó de acuerdo con el croquis establecido haciendo uso del cordel, wincha y estacas de madera.

c) Aplicación del material encalante (03/09/2023)

Una vez demarcado las unidades experimentales, se incorporó el material encalante según los niveles establecidos por tratamiento mezclando el suelo con la dolomita de manera minuciosa para mejorar la eficiencia de la reacción del material encalante.

d) Surcado (03/10/2023)

Transcurridos 30 días después de la aplicación del material encalante, se realizó el surcado del campo experimental con azadones de manera manual.

e) Siembra

La siembra del maíz amarillo duro se realizó el 03/10/2023 a 0.80 m entre surcos y plantas y en cada golpe se usó 3 semillas con la finalidad de garantizar 2 plantas. Después de la cosecha se procedió a la siembra de soya el 26/01/2024, el cual se realizó a 0.80 m entre surcos y 0.20 m entre plantas, haciendo uso de 3 semillas por golpe para garantizar 2 plantas.

f) Abonamiento del maíz

El abonamiento se realizó en función al análisis del suelo, donde la dosis de fertilización aplicada fue la siguiente: N ($300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) – P_2O_5 ($172 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) – K_2O ($50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), siendo las fuentes: Urea (46% N), Fosfato di Amónico (18% N y 46 % P_2O_5) y

cloruro de potasio (60% K₂O) respectivamente. El abonamiento se realizó en 2 partes, el primero al momento de la siembra (03/10/2023) y el segundo al momento del control de malezas (18/11/2023). Para el cultivo de soya no se realizó ninguna fertilización, ya que el objetivo fue aprovechar el efecto residual del encalado y fertilizantes.

g) Riego

La parcela se condujo bajo riego de secano y no fueron necesarios riegos suplementarios.

h) Control de malezas (18/11/2023)

El deshierbo se realizó de forma manual, haciendo uso de azadones, todo ello con la finalidad de eliminar la competencia por los nutrientes, agua y luz, además de que las malezas actúan como hospedantes de plagas y enfermedades.

i) Control fitosanitario

Durante el desarrollo del cultivo no se realizó ningún tipo de control fitosanitario, debido a que los daños causados no superaban los índices de daño económico.

j) Cosecha

La cosecha de maíz se realizó el 23/01/2024 cuando los granos alcanzaron la madurez de cosecha el cual se manifestó cuando las plantas y mazorcas empezaron a secar. En el caso de la soya se realizó el 12/05/2024, cuando las plantas y vainas mostraron sequedad.

k) Muestreo de suelos de cada unidad experimental (13/05/2024)

Una vez realizado la cosecha de soya, se hizo la recolección de muestras por cada unidad experimental tomando en cuenta los protocolos de muestreo, los cuales fueron enviadas al laboratorio para su respectivo análisis químico.

2.10. Variables en evaluación

2.10.1. De las propiedades químicas del suelo

Se evaluaron lo siguiente:

- ✓ **pH:** Se midió con un potenciómetro en una relación suelo agua 1:1

- ✓ **Acidez total:** Se determinó por el método de Yuan, extraídos con cloruro de potasio a 1 N.
- ✓ **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Se determinó por la saturación de acetato de amonio (NH₄ OAc, 1N, pH = 7), titulado con formaldehído.
- ✓ **Materia orgánica:** Se determinó por el método de Walkley y Black, por oxidación del carbono con dicromato de potasio (%MO = %C x 1.724).
- ✓ **Bases cambiables:** Se determinó por la saturación de acetato de amonio (NH₄ OAc, 1N, pH = 7).

2.10.2. Del crecimiento y desarrollo del maíz amarillo

Se evaluaron las siguientes variables:

- ✓ **Altura de planta (cm):** Se midió con un flexómetro desde la base hasta el ápice de la planta, a todos aquellos que se encontraban en los dos surcos centrales de cada tratamiento, al momento de la cosecha.
- ✓ **Número de mazorcas por planta:** Se contó el número de mazorcas que posee cada planta de los dos surcos centrales de cada tratamiento.
- ✓ **Peso de granos por planta (g):** Se realizó el pesado con una balanza de precisión una vez cosechada y secada los granos de cada planta de los dos surcos centrales de cada tratamiento.

2.10.3. Del crecimiento y desarrollo de soya

Se evaluaron las siguientes variables:

- ✓ **Altura de planta (cm):** Se midió con un flexómetro desde la base hasta el ápice de la planta, a todos aquellos que se encuentran en los dos surcos centrales de cada tratamiento, al momento de la cosecha.
- ✓ **Número de vainas por planta:** Se realizó el conteo del número de vainas que posee cada planta de los dos surcos centrales de cada tratamiento.

- ✓ **Peso de granos por planta (g):** Se realizó el pesado en una balanza de precisión una vez cosechada y secada los granos de cada planta de los dos surcos centrales de cada tratamiento.

2.10.4. De la relación beneficio/costo del rendimiento de una sucesión maíz amarillo y soya

Se evaluó la utilidad neta, la cual se obtuvo al estimar todos los ingresos generados por la venta del maíz y soya menos los gastos generados en la ejecución del experimento.

2.11. Diseño experimental y análisis estadístico

Los tratamientos fueron dispuestos en el diseño Bloque Completamente al Azar, considerando siete niveles de material encalante y tres repeticiones con un total de 21 unidades experimentales, para los cultivos de maíz y soya respectivamente. Los resultados fueron sometidos al Análisis de Varianza y la prueba de contraste de Duncan ($P > 0.05$).

El modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ij} = u + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Observación del i-esimo tratamiento y el j-esimo bloque

u : promedio de las unidades experimentales

T_i : efecto del I-esimo del encalado

B_j : efecto del j-esimo del bloque

E_{ij} : Error experimental en el I-esimo tratamiento y el j-esimo bloque

Sub índice:

i : 1.2...21 tratamientos

j : 1, 2, 3 bloques

2.12. Análisis económico

2.12.1. Costos de producción (S/. ha)

Los costos de producción fueron estimados tomando en cuenta los costos directos e indirectos durante el proceso productivo de cada tratamiento en estudio.

2.12.2. Precio del producto (S/. kg)

Los precios considerados fueron precios de venta cotizados al por mayor en el mercado mayorista Nery García Zarate de Ayacucho (tabla 2.3).

Tabla 2.3

Precio de maíz amarillo y soya en el mercado mayorista Nery García Zarate de Ayacucho

Producto	Precio por kg
Maíz amarillo	S/. 1.80
Soya	S/. 4.50

2.12.3. Valor bruto de producción (S/. ha)

El valor bruto de producción se obtuvo multiplicando el rendimiento de cada tratamiento (kg/ha) por el precio de venta del producto (S/. kg).

2.12.4. Valor neto de producción (S/. ha)

El valor neto de producción se obtuvo de la diferencia del valor bruto (S/. ha) y el costo total de producción (S/. ha) para cada tratamiento.

2.12.5. Rentabilidad (B/C)

La rentabilidad se obtuvo al dividir el ingreso neto (S/. ha) entre los costos de producción (S/. ha) para cada tratamiento

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. De las propiedades químicas del suelo

3.1.1. Efecto del encalado sobre el pH del suelo

El análisis de variancia de pH del suelo luego del trabajo de campo (tabla 3.1), muestra diferencia estadística altamente significativa en los niveles de dolomita, lo que indica que existen diferencias entre los valores del pH por los tratamientos empleados. Asimismo, existe diferencia altamente significativa en los valores de bloques; esto se debe a diversos factores no controlados, como la topografía del terreno en que se desarrolló el trabajo de investigación que influyó en la escorrentía e infiltración del agua de lluvia, permitiendo que el material encalante aplicado sea alterado en cierta manera.

El coeficiente de variabilidad es de 4.35 %, por lo que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.1

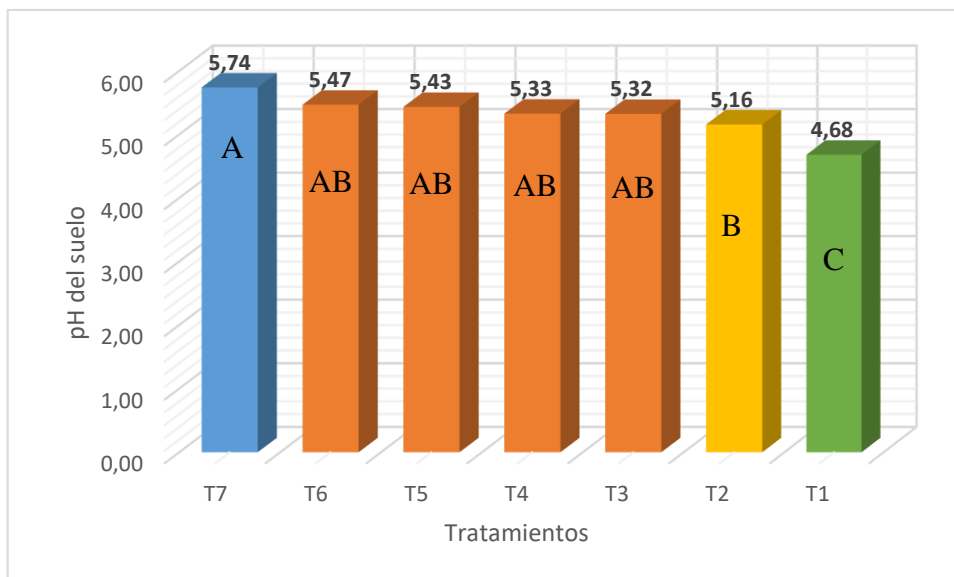
Análisis de variancia de pH del suelo

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	2.71	1.36	25.49	0.0001	**
Niveles de dolomita	6	1.94	0.32	6.06	0.0041	**
Error	12	0.64	0.05			
Total	20	5.29				

C.V. = 4.35 %

Figura 3.1

Prueba de Duncan del efecto del encalado sobre el pH del suelo

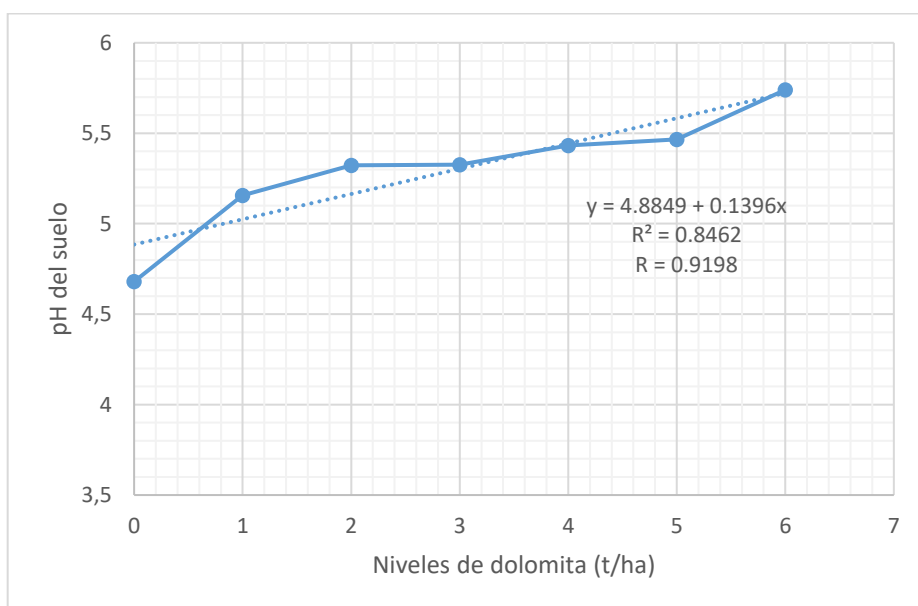


La figura 3.1 muestra la diferencia de las medias de los tratamientos según Duncan. Se observa que todas las dosis de dolomita incrementan el pH del suelo respecto al tratamiento testigo (sin encalar), donde el tratamiento con seis t/ha de material encalante elevó al valor más alto de pH (5.74), sin embargo, no difiere estadísticamente hasta la dosis de 2 t/ha. El tratamiento testigo ocupa la última posición con un pH de 4.68. El efecto del incremento de pH por la aplicación de la enmienda es debido a la reacción de la dolomita que al entrar en contacto con el agua produce un aumento de los iones OH^- reduciendo los iones de H^+ en la solución del suelo, lo que permite un aumento de pH (Calva, 2016). Asimismo, la escasa diferencia estadística entre los tratamientos con enmienda es debido al poder amortiguador del suelo que al poseer un nivel alto de materia orgánica y una CIC media, ha condicionado que cambie la reacción coadyuvada con la cantidad de arcilla presente que son básicamente del tipo 2:1. Los resultados son similares a los que obtuvo Torres (2005), quien en la evaluación que realizó sobre el efecto residual del encalado, informa que todos los niveles de enmienda incrementaron el pH del suelo respecto al tratamiento testigo, siendo el incremento en relación directa a las dosis de material encalante aplicado.

Adicionalmente, se hizo el análisis de tendencia (Figura 3.2), donde se observa mejor ajuste de la información al modelo lineal. El pH del suelo incrementa de manera lineal y positiva a medida que las dosis de dolomita aumentan, así por cada tonelada adicional de material encalante el pH se incrementó en 0.14 unidades en promedio. Por tanto, podemos afirmar con un 84.62 % de certeza que, a mayor cantidad de dolomita, es mayor el incremento del valor del pH. Esto es posible al poder neutralizante de la enmienda, que, al entrar en contacto con el agua del suelo, las sales básicas se disocian y generan cationes y OH^- haciendo posible el incremento del pH (Espinosa & Molina, 1999). Este modelo no nos permite predecir la dosis que logre el mayor valor de pH a una dosis determinada de material encalante. Es posible, que el alto contenido de materia orgánica y una CIC media, permita al suelo resistir al cambio del pH.

Figura 3.2

Análisis de tendencia del pH por efecto residual de dolomita



3.1.2. Efecto del encalado sobre la materia orgánica del suelo

El análisis de variancia del contenido de materia orgánica (tabla 3.2) muestra que no hubo diferencia estadística, lo que indica que no existe diferencia en los valores del contenido de materia orgánica por los tratamientos empleados. Sin embargo, los valores entre bloques presentan diferencias altamente significativas, esto probablemente sea debido a la contribución de restos orgánicos de la cosecha anterior del cultivo de maíz

amarillo y a la actividad que realizan la macro y microfauna edáfica, los mismos que fueron favorecidos por una mejora en el pH del suelo con la aplicación del material encalante (Lummer et al., 2012).

El coeficiente de variabilidad es de 5.03 %, valor dentro del rango aceptado para el trabajo de investigación.

Tabla 3.2

Análisis de variancia del contenido de materia orgánica del suelo

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	2.64	1.32	13.62	0.0008	**
Niveles de dolomita	6	0.62	0.10	1.67	0.4313	ns
Error	12	1.16	0.10			
Total	20	4.42				

C.V. = 5.03%

3.1.3. Efecto del encalado sobre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) del suelo.

La tabla 3.3 del análisis de variancia de C.I.C. del suelo, muestra que no hubo diferencia estadística entre los valores de C.I.C. por los tratamientos empleados. Sin embargo, los valores entre bloques si presentan diferencia estadística altamente significativa. Esta variación es de esperarse debido a la relación directa de la materia orgánica sobre la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Chico, 2019), por lo que la diferencia de valores del contenido de materia orgánica en bloques influyó en la variación de la C.I.C.

El coeficiente de variabilidad es de 7.85 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.3*Análisis de variancia de C.I.C. del suelo*

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	17.35	8.67	8.63	0.0048	**
Niveles de dolomita	6	7.79	1.30	1.29	0.3315	ns
Error	12	12.06	1.01			
Total	20	37.20				

C.V. = 7.85 %**3.1.4. Efecto del encalado sobre el calcio cambiante ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$)**

La tabla 3.4 del análisis de variancia indica que existe diferencia estadística altamente significativa en los niveles de dolomita, lo que indica que existe diferencia entre los valores de calcio cambiante por los tratamientos empleados. Asimismo, muestra que los valores entre bloques presentan diferencia estadística altamente significativa, esta diferencia se debe a la topografía del terreno que influye en la escorrentía e infiltración del agua de lluvia alterando la composición química del suelo.

El coeficiente de variabilidad es de 10.33 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

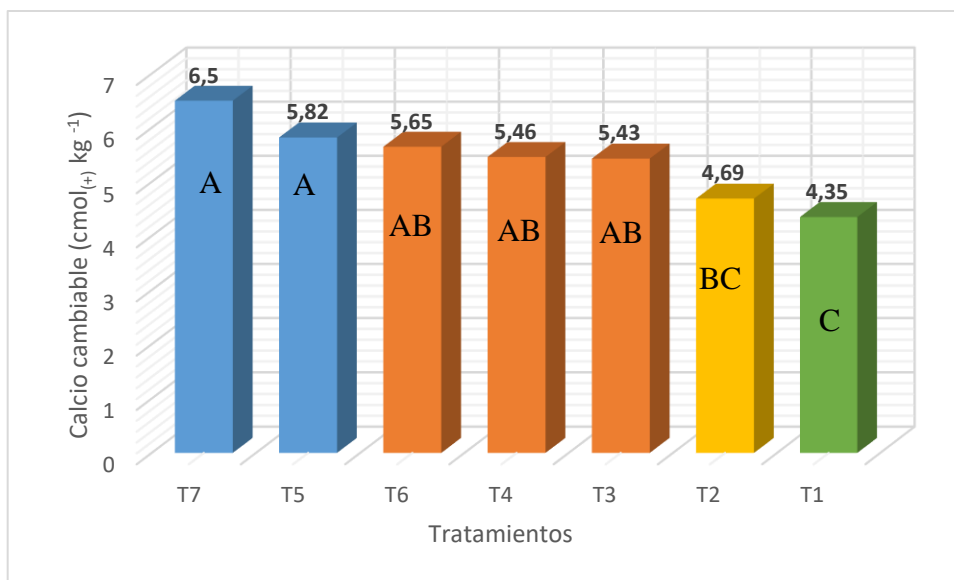
Tabla 3.4*Análisis de variancia de calcio cambiante*

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	21.77	10.88	34.80	0.0001	**
Niveles de dolomita	6	9.21	1.54	4.91	0.0093	**
Error	12	3.75	0.31			
Total	20	34.73				

C.V. = 10.33%

Figura 3.3

Prueba de Duncan del calcio cambiabile ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$)

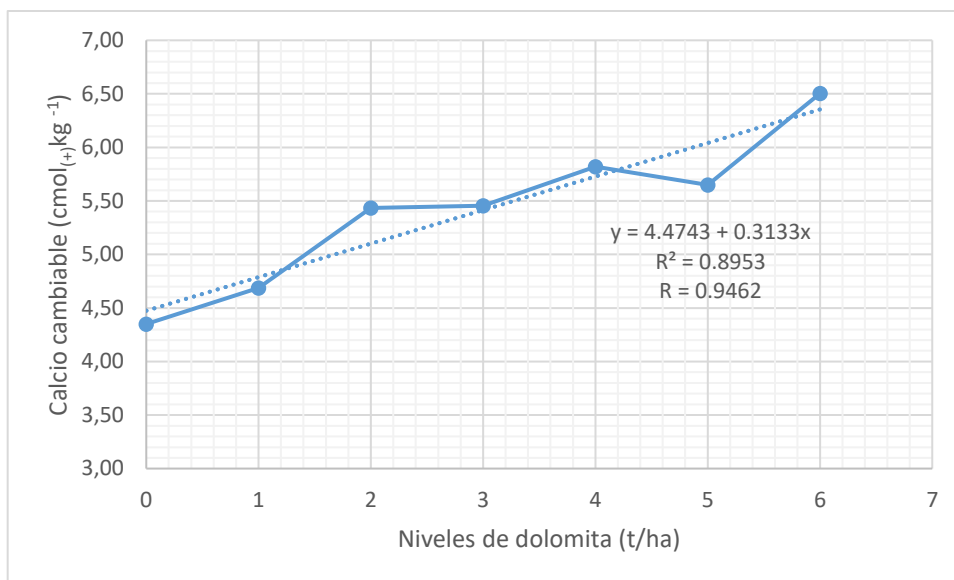


La prueba de Duncan (figura 3.3) muestra la variación del calcio cambiabile en respuesta a los niveles del material encalante aplicado, donde el contenido de calcio aumenta en relación directa al incremento de los niveles de dolomita. Estos resultados son similares a los que obtuvo Rondinel (2021), quien manifiesta que el contenido de calcio cambiabile aumenta proporcionalmente a medida que se incrementa las dosis de dolomita. Los resultados manifestados “podrían ser debido a la incorporación del material encalante con un contenido de 60 % de carbonato de calcio en su composición, lo cual luego de solubilizarse y reaccionar en la solución del suelo, provocó la disociación del carbonato de calcio en sus iones, permitiendo los incrementos de calcio cambiabile en el complejo de cambio” (Calva & Espinosa, 2017).

La figura 3.4 del análisis de tendencia del calcio cambiabile muestra que los valores se ajustan mejor al modelo lineal: $Y = 4.4743 + 0.3133X$, lo que indica que la adición de cada t/ha de dolomita incrementa el contenido de calcio en $0.31 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$. Este incremento se debe a que el material encalante incorporado contiene 60 % de carbonato de calcio en su composición, lo que permitió el aumento del calcio cambiabile a medida que se incrementa las dosis de dolomita.

Figura 3.4

Análisis de tendencia del calcio cambiabile ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$)



3.1.5. Efecto del encalado sobre el magnesio cambiabile ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$)

Al observar la tabla 3.5 del análisis de variancia, se encontró una diferencia estadística significativa en los niveles de dolomita y una diferencia estadística altamente significativa en los valores de bloques. Esta diferencia de valores en los bloques se debe principalmente a la topografía del terreno donde se ejecutó el trabajo de investigación, lo cual influye en la escorrentía e infiltración del agua de lluvia alterando el contenido de magnesio en el suelo.

El coeficiente de variabilidad es de 13.06 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.5

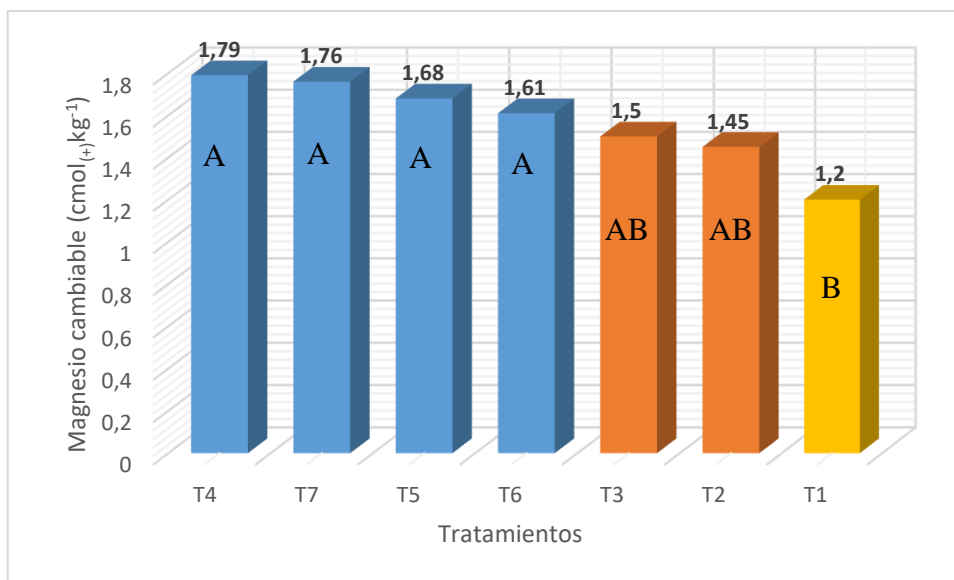
Análisis de variancia de magnesio cambiabile

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	2.26	1.13	26.81	0.0001	**
Niveles de dolomita	6	0.76	0.13	3.01	0.0494	*
Error	12	0.50	0.04			
Total	20	3.52				

C.V. = 13.06 %

Figura 3.5

Prueba de Duncan de magnesio cambiabile ($\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$)



La figura 3.5 de la prueba de Duncan muestra la variación del magnesio cambiabile en respuesta a la aplicación de siete niveles de dolomita, donde los tratamientos con enmienda muestran valores superiores al tratamiento testigo ($1.20 \text{ cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$) siendo estos valores independientes de los niveles de material encalante aplicado; sin embargo, estas no difieren estadísticamente. Este incremento en el contenido de magnesio cambiabile podría ser al aporte de 30 % de carbonato de magnesio contenido en el material encalante que luego de su solubilización contribuyó al incremento en el suelo (Calva & Espinosa, 2017).

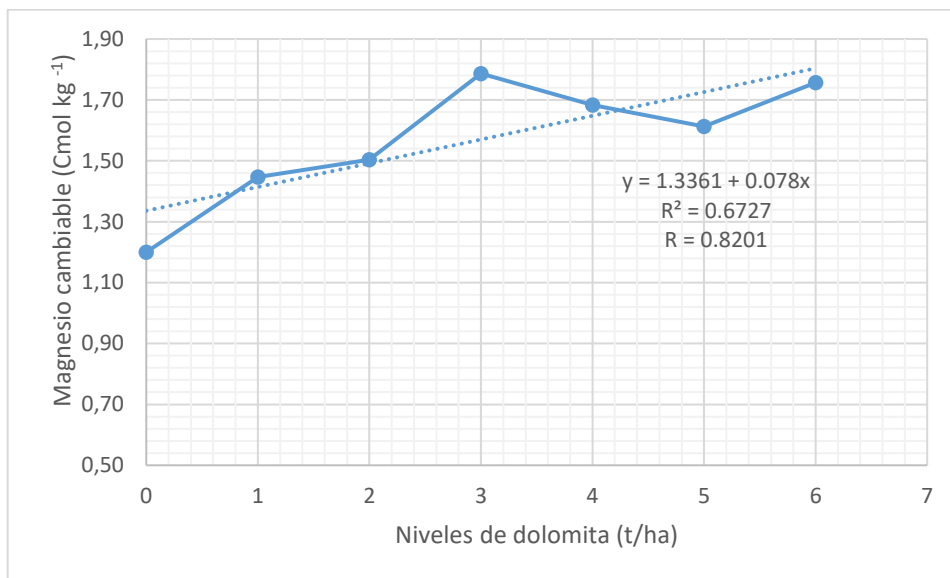
Resultados similares obtuvo Rengifo (2014), en una investigación sobre “Efecto de la aplicación de enmienda orgánica y mineral sobre la fertilidad de un suelo ácido ultisol de la Amazonía Peruana” quien manifiesta que los contenidos de magnesio cambiabile fueron superiores en los tratamientos con aplicación de magnecal respecto al tratamiento sin enmienda.

La influencia de los niveles crecientes de dolomita en el contenido de magnesio cambiabile del suelo (figura 3.6) obedece al modelo lineal: $Y = 1.3361 + 0.078X$, lo que indica que cada t/ha de material encalante permite incrementar el contenido de magnesio en $0.08 \text{ cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$. Esto se debe al contenido de 13.5 % de magnesio en el material

encalante incorporado, por lo que a medida que la dosis de dolomita aumenta el contenido de magnesio también incrementa.

Figura 3.6

Análisis de tendencia del magnesio cambiabile del suelo



3.1.6. Efecto del encalado sobre el potasio cambiabile (cmol (+) kg⁻¹)

La tabla 3.6 del análisis de variancia, muestra que no hubo una diferencia estadística entre los valores del potasio cambiabile por los tratamientos empleados. Lo que indica que la incorporación de dolomita no influye en el contenido de potasio del suelo. Esta respuesta se debe a que el potasio según el análisis de caracterización se encuentra en niveles bajos, por lo que la adición de la enmienda por más que mejoró las condiciones del pH no influye en el contenido de potasio cambiabile.

El coeficiente de variabilidad es de 20.32 %, por lo que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.6*Análisis de variancia de potasio cambiabile*

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	2.3E-03	1.1E-03	0.51	0.6128	ns
Niveles de dolomita	6	0.01	1.0E-03	0.47	0.8169	ns
Error	12	0.03	2.2E-03			
Total	20	0.04				

C.V. = 20.32 %**3.1.7. Efecto del encalado sobre el sodio cambiabile ($cmol_{(+)} kg^{-1}$)**

La tabla 3.7 del análisis de variancia, muestra que no hubo diferencia estadística en los niveles de dolomita, lo que indica que no existe diferencia entre los valores de sodio cambiabile por los tratamientos empleados; este resultado era de esperar debido a que el análisis de caracterización reportó como bajo, además no se incorporó ninguna fuente que altere el contenido de sodio. Sin embargo, los valores entre bloques presentan diferencia altamente significativa, este resultado se debe a factores geográficos que alteran el contenido de un elemento según la topografía.

El coeficiente de variabilidad es de 4.90 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.7*Análisis de variancia de sodio cambiabile*

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	0.01	3.2E-03	13.04	0.0010	**
Niveles de dolomita	6	3.9E-03	6.5E-04	2.63	0.0726	ns
Error	12	3.0E-03	2.5E04			
Total	20	0.01				

C.V. = 4.90%**3.1.8. Efecto del encalado sobre la acidez total ($cmol_{(+)} kg^{-1}$)**

La tabla 3.8 del análisis de variancia, indica que existe diferencia estadística significativa en los niveles de dolomita y una diferencia altamente significativa en bloques. La diferencia en los valores de bloques se debe a la topografía del terreno donde

se ejecutó el presente trabajo de investigación que influyó en la infiltración y escorrentía del agua de lluvia, lo cual alteró la acidez total del suelo.

El coeficiente de variabilidad es de 4.35 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.8

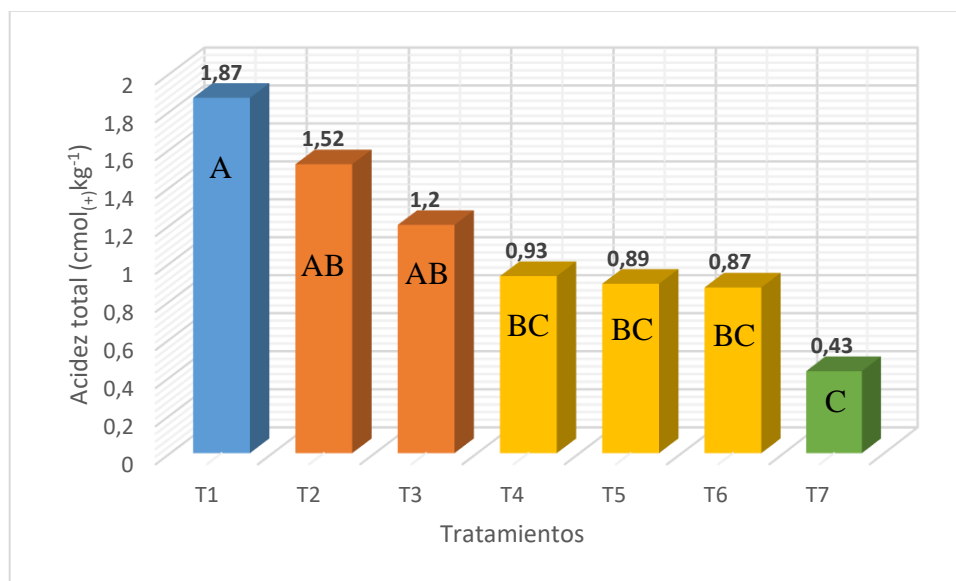
Análisis de variancia de la acidez total del suelo

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	5.46	2.73	18.23	0.0002	**
Niveles de dolomita	6	4.04	0.67	4.50	0.0130	*
Error	12	1.80	0.15			
Total	20	11.29				

C.V. = 4.35%

Figura 3.7

Prueba de Duncan de la acidez total del suelo



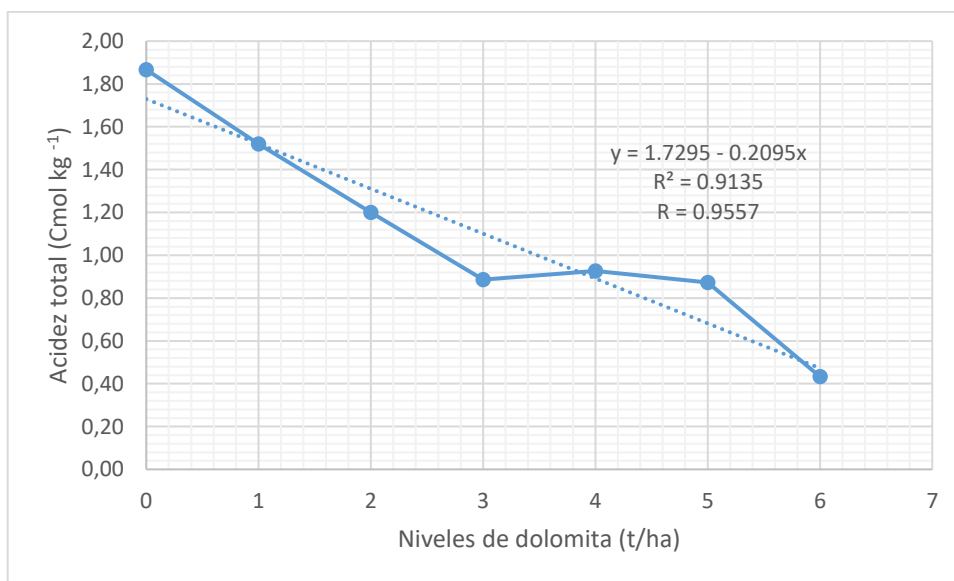
La figura 3.7 de la prueba de Duncan muestra que los valores de acidez total tienen una diferencia significativa, los cuales muestran una relación inversa a los niveles del material encalante aplicado, siendo las variaciones desde 1.87 cmol₍₊₎kg⁻¹ (0.0 t/ha) a 0.43 cmol₍₊₎kg⁻¹ (6.0 t/ha) a medida que los niveles de dolomita aumenta; estos resultados son similares a los que reporta Chico (2019), quien manifiesta que “la acidez total del suelo

presentó una relación inversa frente al aumento de las dosis del encalado”. Asimismo, Calva & Espinosa (2017) resaltan que “la concentración de acidez total del suelo se reduce a medida que se incrementan las dosis de enmienda”. Este efecto es debido a que “el material encalante aplicado al entrar en contacto con el agua del suelo, las sales básicas se disocian y generan cationes y OH^- que reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables” (Espinosa & Molina, 1999).

La figura 3.8 del análisis de tendencia muestra la reducción gradual de la acidez total en respuesta a los niveles de encalado, donde la adición de cada t/ha de dolomita reduce la acidez total del suelo en $0.21 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$. Esta respuesta se debe al poder neutralizante del material encalante, que a medida se incrementa las dosis, la acidez total del suelo disminuye.

Figura 3.8

Análisis de tendencia de la acidez total del suelo



3.2. Sobre los caracteres productivos

3.2.1. Cultivo de maíz

a) Altura de planta (cm)

El análisis de variancia de la altura de planta de maíz amarillo (tabla 3.9) muestra diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos

evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 1.56 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.9

Análisis de variancia de la altura de planta de maíz amarillo duro

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	74.00	37.00	2.06	0.1699	ns
Niveles de dolomita	6	2706.67	451.11	25.14	0.0001	**
Error	12	215.33	17.94			
Total	20	2996.00				

C.V. = 1.56 %

Al efectuar la prueba de Duncan para determinar la influencia de la enmienda en la altura de planta de maíz amarillo (figura 3.9), se observa que todos los niveles aplicados de material encalante, permiten mayor longitud de la parte aérea de las plantas comparativamente al testigo, lo que implica la influencia positiva del material encalante en el crecimiento del maíz. Estos resultados son relativamente coincidentes con los datos que obtuvo Cargua-Chavez, et al., (2025) quienes informan que la altura de planta se vio notablemente influenciado por los diferentes niveles de dolomita aplicado, resaltando desde el punto de vista de optimización, que 2 t/ha de material encalante puede ser suficiente para potenciar el crecimiento del maíz.

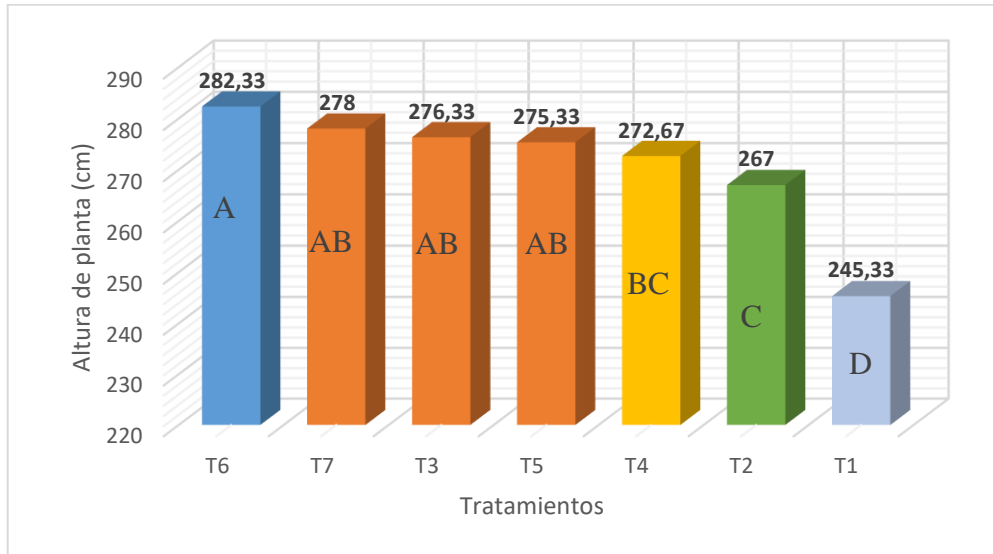
Respecto a la altura de planta de maíz amarillo duro Garbanzo-León et al., (2016) mencionan que, está influenciada por el carácter varietal, sin embargo, la aplicación de enmiendas en suelos ácidos influye notablemente en el crecimiento y desarrollo de la planta al disminuir la acidez del suelo, lo cual incrementa la disponibilidad de nutrientes que la planta aprovecha reflejando en el crecimiento.

Por su parte, en la figura 3.9 se aprecia que todos los tratamientos incluido el testigo, superan el potencial de crecimiento de la variedad Marginal – 28 Tropical que varía de 200 a 220 cm (INIA, 2003). Este resultado probablemente obedezca a las condiciones climáticas favorables, como las precipitaciones constantes y temperaturas adecuadas (25°C – 34°C); además de que el alto contenido de materia orgánica en el suelo,

acompañado de la fertilización que se realizó, influyó en el crecimiento del cultivo de maíz (Altieri, 2004).

Figura 3.9

Prueba de Duncan de la altura de planta (cm) del cultivo de maíz amarillo duro



b) Número de mazorcas por planta

La tabla 3.10, muestra el análisis de variancia del número de mazorcas por planta de maíz amarillo, donde se aprecia que existe diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados.

El coeficiente de variabilidad es de 3.43 %, valor dentro del rango aceptado para el presente trabajo de investigación.

Tabla 3.10

Análisis de variancia del número de mazorcas por planta de maíz amarillo duro

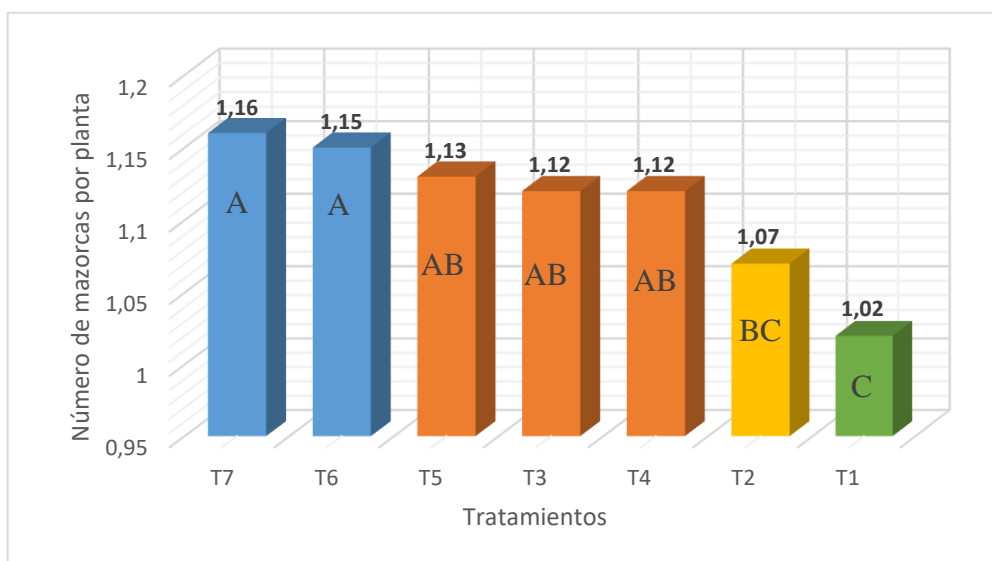
FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	1.3E-03	6.3E-04	0.44	0.6550	ns
Niveles de dolomita	6	0.05	0.01	5.24	0.0073	**
Error	12	0.02	1.4E-03			
Total	20	0.06				

C.V. = 3.43 %

La figura 3.10 muestra la prueba de Duncan para el número de mazorcas por planta del cultivo de maíz amarillo, donde la mayor cantidad de número de mazorcas por planta se obtuvo con la aplicación de 6 t/ha de material encalante, con un valor de 1.16 mazorcas en promedio. En relación a los resultados obtenidos todos los tratamientos presentan índices inferiores al potencial productivo (1.4 mazorcas/planta) del maíz amarillo variedad Marginal – 28 Tropical (INIA, 2003). Sin embargo, estos resultados son similares a los que obtuvo (Astudillo, 2011) quien informó que los tratamientos con aplicaciones de material encalante de 2, 2.5, 3, 3.5 y 4 t/ha presentaron un promedio de mazorcas por planta de 1.05, 1.10, 1.07, 1.16 y 1.19, respectivamente. A pesar del efecto positivo del material encalante sobre la acidez del suelo, que permitió aumentar la disponibilidad de nutrientes, no fue suficiente para que la mayoría de las plantas puedan desarrollar una segunda mazorca (Juárez, 2016).

Figura 3.10

Prueba de Duncan del número de mazorcas por planta de maíz amarillo duro



c) Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Al observar el análisis de variancia del rendimiento en grano de maíz amarillo (tabla 3.11), nos permite ver que existe diferencia estadística altamente significativa entre valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 1.58 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.11*Análisis de variancia del rendimiento en grano seco de maíz amarillo duro*

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	22972.47	11486.24	2.99	0.0881	ns
Niveles de dolomita	6	12371651.79	2061941.96	537.45	0.0001	**
Error	12	46037.95	3836.50			
Total	20	12440662.20				

C.V. = 1.58 %

La figura 3.11 de la prueba de Duncan para el rendimiento en grano de maíz amarillo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), muestra que con la aplicación de 4 t/ha de material encalante se obtuvo el mayor rendimiento con un valor promedio de $4687.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que el rendimiento más bajo presentó el tratamiento testigo (0.0 t/ha) con un valor de $2687.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, lo que significa que a una dosis de 4 t/ha de dolomita el rendimiento de maíz amarillo incrementa hasta 74% respecto al testigo. Cabe resaltar que todos los tratamientos con aplicaciones de dolomita presentan rendimientos superiores al tratamiento sin enmienda. Estos resultados son relativamente coincidentes con los reportados por Rengifo (2014), quien informó que el tratamiento testigo presentó el rendimiento más bajo con un valor promedio de $2695 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que el tratamiento con aplicación de 4 t/ha de material encalante presentó el mayor rendimiento con un valor promedio de $4559 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

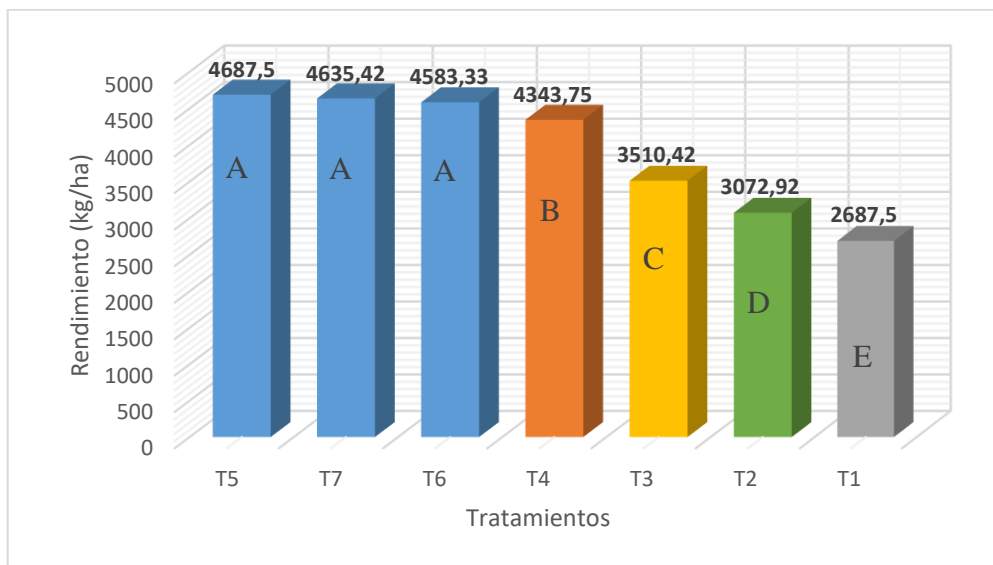
Respecto al rendimiento de maíz amarillo duro Zapata (2004) menciona que el encalado en suelos ácidos además de mejorar la disponibilidad de nutrientes al elevar el pH del suelo, mejora la estructura del suelo y las condiciones de los microorganismos aumentando así la mineralización de la materia orgánica, estos factores benéficos para la planta de maíz permitieron el incremento del rendimiento.

Es importante mencionar el comportamiento de la variedad Marginal – 28 Tropical cuya tolerancia a la acidez del suelo se manifiesta al alcanzar un rendimiento de $2687.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ con el tratamiento sin aplicación de material encalante, corroborando lo mencionado por INIA (2003), que indica su tolerancia a condiciones de acidez. Asimismo, se puede evidenciar que “mejorando las condiciones de pH del suelo mediante la aplicación de material encalante, una dosis adecuada de fertilización y bajo condiciones

de riego, se podría obtener mayores rendimientos de maíz, en suelos como el que se ha efectuado el estudio”.

Figura 3.11

Prueba de Duncan del rendimiento (kg.ha⁻¹) en grano seco de maíz amarillo duro



3.2.2. Cultivo de soya

a) Altura de planta (cm)

La tabla 3.12 muestra el análisis de variancia de la altura de planta de soya, donde se aprecia que existe diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 5.46 %, valor dentro del rango aceptado para el trabajo de investigación.

Tabla 3.12

Análisis de variancia de la altura de planta de soya

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	62.95	31.48	1.94	0.1858	ns
Niveles de dolomita	6	3281.33	546.89	33.76	0.0001	**
Error	12	194.38	16.20			
Total	20	3538.67				

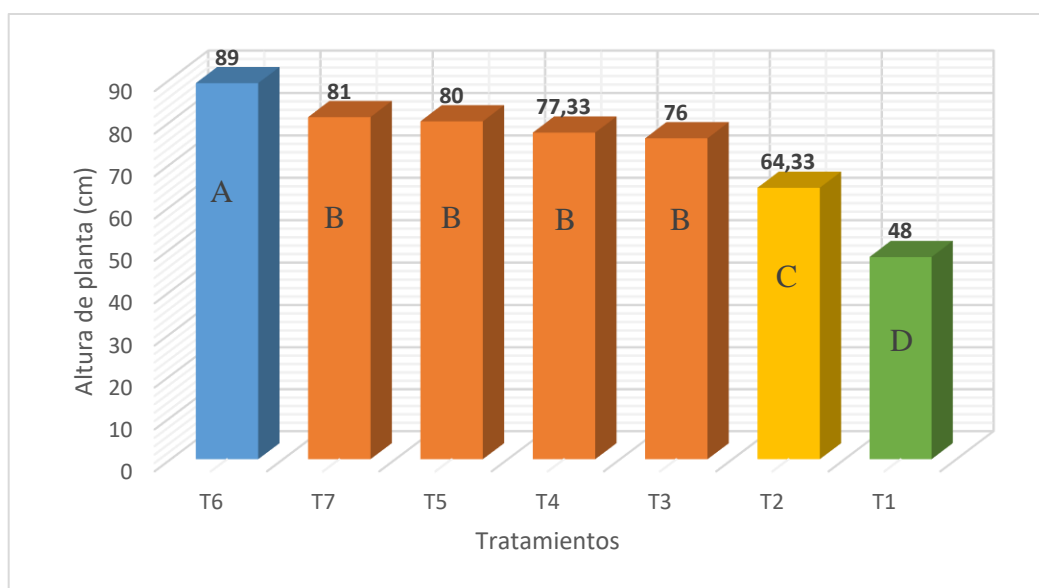
C.V. = 5.46%

Al efectuar la prueba de Duncan para determinar la influencia del encalado en la altura de planta de soya (3.12), se observa que la mayor altura se obtiene con la aplicación de 5 t/ha de material encalante con un valor de 89 cm, lo cual supera en 68% al tratamiento sin enmienda que presento la menor altura de planta con 48 cm. Además, todos los tratamientos con aplicación de dolomita presentan incrementos en la altura de planta respecto al tratamiento testigo, lo que indica el efecto residual positivo de la enmienda aplicada. Estos resultados son similares a los que reportó Torres (2005), quien informó que todos los tratamientos con aplicación del material encalante fueron superiores respecto al tratamiento testigo, variando de 55.17 cm a 72.68 cm de altura.

Respecto a la altura de planta de soya Barces (2011) manifiesta que los factores climáticos y edáficos influyen en el crecimiento, donde en condiciones de temperatura entre 18 y 34 °C y en suelos francos con un pH de 5.5 a 6.2 la variedad Cristalina puede alcanzar hasta 120 cm de altura. Los resultados obtenidos son inferiores al potencial de crecimiento de la variedad cultivada, lo cual es evidente porque según los resultados del análisis de caracterización el suelo presenta una clase textural arcillosa y un pH de 4.68 los cuales fueron mejorados por la aplicación de la enmienda que influyó de manera significativa en el crecimiento respecto al tratamiento testigo.

Figura 3.12

Prueba de Duncan de la altura de planta (cm) del cultivo de soya



b) Número de vainas por planta

El análisis de variancia del número de vainas por planta del cultivo de soya (tabla 3.13), muestra que existe diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 9.69 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.13

Análisis de variancia del número de vainas por planta de soya

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	183.70	91.85	1.55	0.2514	ns
Niveles de dolomita	6	11657.69	1942.95	32.84	0.0001	**
Error	12	710.00	59.17			
Total	20	12551.39				

C.V. = 9.69%

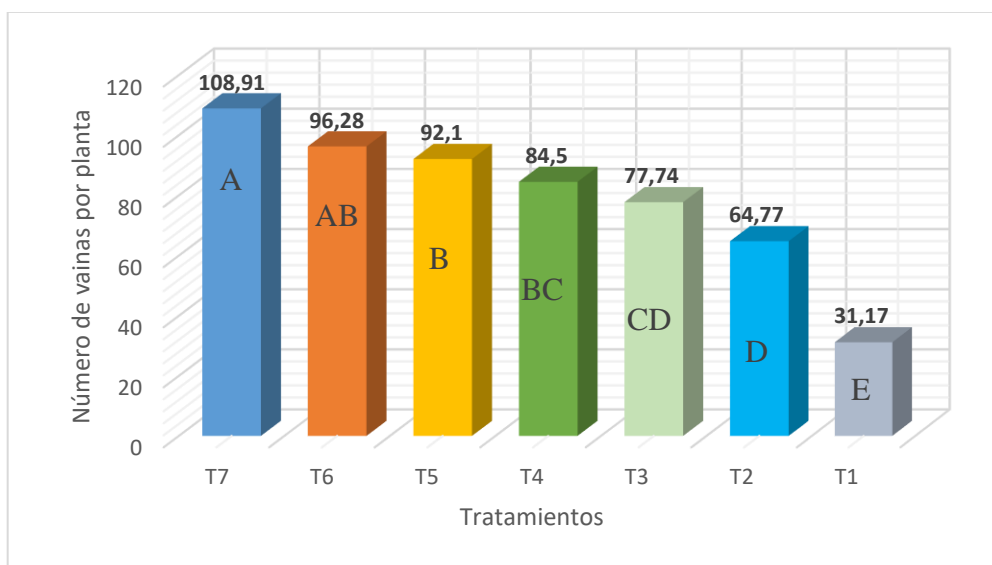
Según la figura 3.13, prueba de Duncan para número de vainas por planta de soya, se observa que el efecto residual del material encalante incrementa de manera significativa el número de vainas por planta, teniendo una relación directa a los niveles de material encalante aplicado, donde la mayor cantidad de número de vainas se obtuvo con la aplicación de 6 t/ha de material encalante con un valor de 108.91 vainas en promedio, lo cual supera en 249% al tratamiento testigo sin enmienda, que obtuvo un valor de 31.17 vainas por planta en promedio; asimismo, con la aplicación de 1 t/ha de dolomita el número de vainas por planta supera en 107% al número de vainas del tratamiento testigo, los cuales son superiores a los resultados que obtuvo Torres (2005), quien manifiesta que el efecto residual del material encalante incrementó de manera significativa el número de vainas por planta, donde la aplicación de 1 t/ha de magnecal superó en 43.31 % al tratamiento testigo (0.0 t/ha). Asimismo, Machetti et al., (2019) en su trabajo de investigación ponen en manifiesto que la aplicación de dolomita en el cultivo de soya incrementó en 70% el número de vainas por planta respecto al tratamiento testigo.

Los resultados obtenidos ponen en evidencia el efecto residual positivo del material encalante aplicado, donde el creciente incremento del número de vainas por

planta probablemente se debe a que la enmienda aplicada en la campaña anterior, mejoró las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, los cuales permitieron a la planta mejorar su potencial productivo (Barces, 2011).

Figura 3.13

Prueba de Duncan para el número de vainas por planta de soya



c) Rendimiento (kg.ha⁻¹)

La tabla 3.14 del análisis de variancia del rendimiento en grano seco de soya, muestra que existe diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 9.19 %, por lo que los datos obtenidos están dentro del rango aceptado para el presente trabajo de investigación.

Tabla 3.14

Análisis de variancia del rendimiento en grano seco de soya

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	102425.60	51212.80	2.29	0.1432	ns
Niveles de dolomita	6	3774449.40	629074.90	28.19	0.0001	**
Error	12	267782.74	22315.23			
Total	20	4144657.74				

C.V. = 9.19 %

La figura 3.14 de la prueba de Duncan para el rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en grano del cultivo de soya, muestra el efecto residual del material encalante, donde todos los tratamientos con enmienda muestran valores superiores al tratamiento testigo (0.0 t/ha) que presento un valor promedio de $762.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que el mayor rendimiento $2008.33 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presentó el tratamiento T7 con la dosis más alta de material encalante 6 t/ha , lo que significa un incremento en el rendimiento de hasta 163% respecto al testigo. Además, se puede observar que a partir de la aplicación de 3 t/ha de material encalante, los rendimientos del cultivo superaron los $1800 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, resultados que son superiores a los reportados por Torres (2005), quien indico que los rendimientos del cultivo de soya por efecto residual del material encalante superaron los $1500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a partir de la aplicación de 3 t/ha .

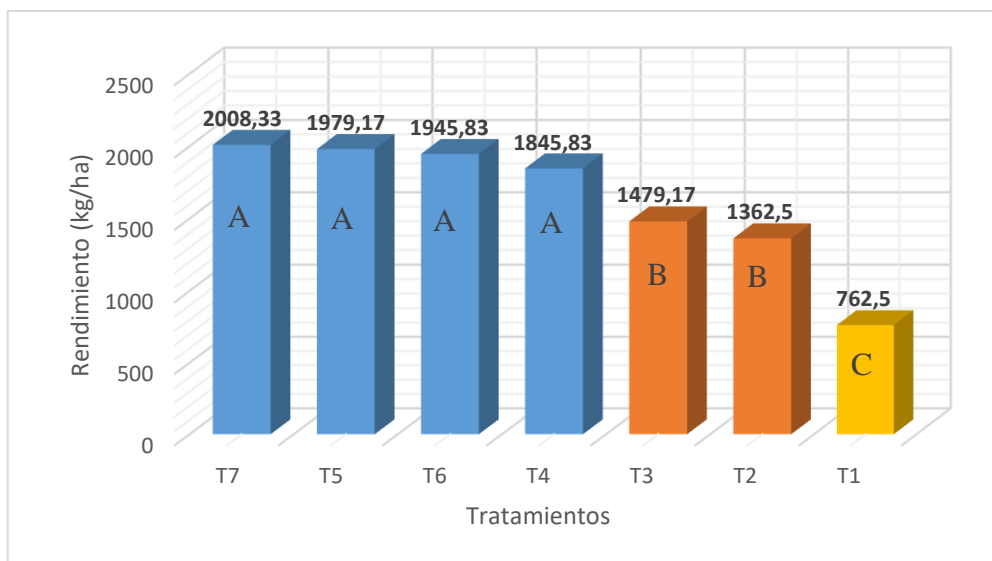
Los incrementos en el rendimiento de soya probablemente sean a las mejoras en las condiciones de pH del suelo, lo que generó una mayor disponibilidad de nutrientes en especial del calcio y magnesio que favoreció el desarrollo radicular, lo cual permitió que la planta aproveche de manera eficiente los nutrientes disponibles, expresando en el incremento de los rendimientos (Juárez, 2016).

Cabe manifestar, que, comparando las respuestas al encalado de los cultivos de maíz y soya, el maíz tuvo un incremento máximo de 74% de rendimiento entre el testigo y la dosis más alta de material encalante, mientras que la soya presentó un incremento de 163% más que el testigo, lo cual demuestra que la soya tuvo una mejor respuesta al encalado.

Es importante mencionar, que para el cultivo de soya no se efectuó fertilización al suelo, esperando el beneficio residual del cultivo anterior.

Figura 3.14

Prueba de Duncan del rendimiento (kg.ha⁻¹) en grano seco de soya



3.3. Análisis económico

3.3.1. Ingreso bruto (S/. ha)

En el cultivo de maíz amarillo el ingreso bruto para cada tratamiento se aprecia en la tabla 3.15, donde el tratamiento T5 presenta mayor rendimiento y por ende mayor ingreso bruto. Sin embargo, en el cultivo de soya el mayor ingreso bruto tuvo el tratamiento T7 con un valor de 9037.49 nuevos soles por hectárea (tabla 3.16).

Tabla 3.15

Rendimiento, precio de venta e ingreso bruto de producción del cultivo de maíz amarillo

Tratamiento	Rendimiento (kg)	Precio (S/. kg)	Ingreso bruto (S/. ha)
T1	2687.5	1.80	4837.50
T2	3072.92	1.80	5531.26
T3	3510.42	1.80	6318.76
T4	4343.75	1.80	7818.75
T5	4687.50	1.80	8437.50
T6	4583.33	1.80	8249.99
T7	4635.42	1.80	8343.76

Tabla 3.16*Rendimiento, precio de venta e ingreso bruto de producción del cultivo de soya*

Tratamiento	Rendimiento (kg)	Precio (S/. kg)	Ingreso bruto (S/. ha)
T1	762.5	4.50	3431.25
T2	1362.50	4.50	6131.25
T3	1479.17	4.50	6656.27
T4	1845.83	4.50	8306.24
T5	1979.17	4.50	8906.27
T6	1945.83	4.50	8756.24
T7	2008.33	4.50	9037.49

3.3.2. Costo total de producción (S/. ha)

En la tabla 3.17 se observa el costo total de producción por hectárea para cada tratamiento del cultivo de maíz amarillo, donde los valores no presentan una diferencia significativa, debido a que el manejo y la conducción de los tratamientos fue igual para todos, con la única diferencia de la incorporación de niveles de dolomita. El tratamiento T7 presenta el mayor costo de producción, debido a la incorporación de mayor cantidad de material encalante. Asimismo, en la tabla 3.18 se observa el costo total de producción por hectárea para cada tratamiento del cultivo de soya, donde los valores son iguales para todos los tratamientos, debido a que se aprovechó el efecto residual del material encalante.

Tabla 3.17*Costo directo, indirecto y total de producción del cultivo de maíz amarillo*

Tratamiento	Costo directo (S/. ha)	Costo indirecto (S/. ha)	Costo total (S/. ha)
T1	3826.50	702.65	4529.15
T2	4276.50	722.65	4999.15
T3	4576.50	752.65	5329.15
T4	4876.50	782.65	5659.15
T5	5176.50	812.65	5989.15
T6	5476.50	842.65	6319.15
T7	5776.50	872.65	6649.15

Tabla 3.18*Costo directo, indirecto y total de producción del cultivo de soya*

Tratamiento	Costo directo (S/. ha)	Costo indirecto (S/. ha)	Costo total (S/. ha)
T1	1355	180.5	1535.5
T2	1355	180.5	1535.5
T3	1355	180.5	1535.5
T4	1355	180.5	1535.5
T5	1355	180.5	1535.5
T6	1355	180.5	1535.5
T7	1355	180.5	1535.5

3.3.3. Ingreso neto (S/. ha)

El ingreso neto de producción del cultivo de maíz se observa en la tabla 3.19, donde el tratamiento T5 presenta el mayor ingreso neto con un valor de S/. 2448.35 por hectárea. Sin embargo, en el cultivo de soya el mayor ingreso neto presento el tratamiento T7 con un valor de S/. 7501.99 por hectárea (tabla 3.20).

Tabla 3.19*Ingreso neto de producción del cultivo de maíz amarillo*

Tratamiento	Ingreso bruto (S/. ha)	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha)
T1	4837.5	4529.15	308.35
T2	5531.26	4999.15	532.11
T3	6318.76	5329.15	989.61
T4	7818.75	5659.15	2159.60
T5	8437.50	5989.15	2448.35
T6	8249.99	6319.15	1930.84
T7	8343.76	6649.15	1694.61

Tabla 3.20*Ingreso neto de producción del cultivo de soya*

Tratamiento	Ingreso bruto (S/. ha)	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha)
T1	3431.25	1535.50	1895.75
T2	6131.25	1535.50	4595.75
T3	6656.27	1535.50	5120.77
T4	8306.24	1535.50	6770.74
T5	8906.27	1535.50	7370.77
T6	8756.24	1535.50	7220.74
T7	9037.49	1535.50	7501.99

3.3.4. Rentabilidad

En la tabla 3.21 se observa el beneficio/costo del cultivo de maíz amarillo, donde ninguno de los tratamientos supera el valor de 1, lo que indica que sembrar solo maíz con una enmienda encalante no es rentable. Sin embargo, en el cultivo de soya es todo lo contrario, todos los tratamientos superan el nuevo sol invertido, siendo el tratamiento T7 con la aplicación de 6 t/ha de material encalante que presentó mayor beneficio/costo con 4.89 nuevos soles (tabla 3.22), lo que nos indica que por cada 1 sol invertido se recupera 4.89 nuevos soles, superando los beneficios a los costos en 3.89 nuevos soles, lo que viene a ser el superávit generado por la producción de una hectárea de soya en sucesión.

Por otro lado, cuando se cultiva maíz amarillo y soya en rotación se aprecia que el tratamiento T5 con aplicación de 4 toneladas de material encalante (tabla 3.23), presenta un mayor beneficio/costo con un valor de 1.30 nuevos soles, lo que indica que es rentable la siembra de maíz amarillo y soya en rotación.

Tabla 3.21*Rentabilidad del cultivo de maíz amarillo expresado en beneficio/costo*

Tratamiento	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha) (Beneficio)	Rentabilidad (B/C)
T1	4529.15	308.35	0.07
T2	4999.15	532.11	0.11
T3	5329.15	989.61	0.19
T4	5659.15	2159.6	0.38
T5	5989.15	2448.35	0.41
T6	6319.15	1930.84	0.31
T7	6649.15	1694.61	0.25

Tabla 3.22*Rentabilidad del cultivo de soya expresado en beneficio/costo*

Tratamiento	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha) (Beneficio)	Rentabilidad (B/C)
T1	1535.5	1895.75	1.23
T2	1535.5	4595.75	2.99
T3	1535.5	5120.765	3.33
T4	1535.5	6770.735	4.41
T5	1535.5	7370.765	4.80
T6	1535.5	7220.735	4.70
T7	1535.5	7501.985	4.89

Tabla 3.23*Rentabilidad del cultivo de maíz amarillo y soya en sucesión expresado en beneficio/costo*

Tratamiento	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha) (Beneficio)	Rentabilidad (B/C)
T1	6064.65	2204.1	0.36
T2	6534.65	5127.86	0.78
T3	6864.65	6110.37	0.89
T4	7194.65	8930.335	1.24
T5	7524.65	9819.115	1.30
T6	7854.65	9151.58	1.17
T7	8184.65	9196.59	1.12

CONCLUSIONES

1. En las propiedades químicas del suelo: El pH, Ca y Mg cambiables, aumentaron sus valores conforme se incrementa la dosis de dolomita, mientras que la acidez total, disminuye. El contenido de materia orgánica, CIC, K y Na cambiables no tuvieron respuesta a la adición de dolomita.
2. En el cultivo de maíz la aplicación de 4 t/ha de dolomita permitió alcanzar el mayor rendimiento ($4687.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), mientras que la altura de planta (282.33 cm) con 5 t/ha y, el mayor número de mazorcas por planta, (1.16) con 6 t/ha. En la soya el mayor rendimiento ($2008.33 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y el mayor número de vainas por planta (108.91), se logró con la aplicación de 6 t/ha de dolomita, mientras la mayor altura de planta (89 cm) con 5 t/ha.
3. El mayor beneficio/costo obtenido en el cultivo de maíz amarillo y soya en rotación fue de 1.30 nuevos soles con la aplicación de 4 t/ha de material encalante.

RECOMENDACIONES

1. Considerar la dolomita como fuente de enmienda en suelos ácidos por su alto efecto benéfico en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
2. Preliminarmente considerar la dosis de 4 tn/ha de dolomita en el encalado de suelos con similares características al presente estudio.
3. Realizar estudios adicionales para evaluar el impacto a largo plazo del encalado en la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de los cultivos en rotación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. EL maíz en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 30 (2), 113-120.
- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1-12.
- Araya, J. F., et al. (2015). *Efecto de enmiendas en el crecimiento del sorgo (Sorghum bicolor L.) en un ultisol bajo invernadero*. Universidad Técnica del Norte.
- Barandiaran, M. (2020). Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro.
- Barraco, M. (2010). Nutrición y fertilización de soja. INTA. Buenos Aires-Argentina.
- Bernal, A. A., Montaña, J. C., Sánchez, R., Albarrán, Y. L., & Forero, F. E. (2014). Evaluación de materiales encalantes y orgánicos sobre los bases intercambiales de un suelo sulfatado ácido en invernadero. *Temas agrarios* , Vol. 19:(1)(3), 13.
- Bernandi, D., Díaz, A., Juan, L. Millán, G., Pellegrini, A. & Vásquez, M. (2017). Evaluación de la capacidad buffer de suelos ácidos de la región Pampeana.
- Bohn, H. (2002). Química de suelo. Grupo Noriega Editores. México.
- Calva, C., & Espinoza, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *04(01)*.
- Castañón, G. y Latournerie, L. (2004). Comportamiento de familias S1 de maíz en distintos pH del suelo.
- Castro, H. & Munevar, O. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinantes de materiales encalantes.
- Celis, M. (2003). Efecto de diferentes niveles de cal y de humus de lombriz en el rendimiento de maíz (*Zea mays L.*) en un suelo ácido del sector de San Juan – Banda de Shilcayo, provincia de San Martín.

- Ceriani, R., et al. (1998). *Efecto del encalado sobre las propiedades químicas del suelo y la productividad de los cultivos*. Fertilizar, 3.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2020). USDA, FAS Grano: Mercados Mundiales y Comercio. Recuperado de <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain-corn-coarsegrains.pdf>
- Duarte Monzón, A. (2019). *Producción de maíz-soja y alteraciones de parámetros químicos del suelo por aplicación de yeso con cal agrícola*. Universidad Nacional de Asunción.
- Echeverría, H. E., et al. (2001). *Efecto del encalado en la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento del maíz*. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 8(1), 1-12.
- Ecobichon, D. J. (2001). *Pesticide use in developing countries*. *Toxicology*, 160(1-3), 27-33.
- Encina, K. (2017). Escoria básica y carbonato de calcio en la recuperación de un suelo ácido de Tingo María, en maíz (*Zea mays*) PM 213 en invernadero.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. Primera edición.
- Flores, D., Osorio, K., Medina, M., Jaramillo, S. & Ortegón, L. (2021). Manual de producción de semilla de calidad de soya en los valles interandinos de Colombia.
- Friedrich, T. (2008). *The role of agrochemicals in sustainable agriculture*. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 43, 245-253.
- Gómez, M. A., et al. (1996). *Efecto del encalado en la producción de maíz en suelos ácidos*. Revista de Ciencias Agrícolas, 19(2), 123-130.
- Guamán, R. (2005). Programa Nacional de Oleaginosas. In Manual del cultivo de Soya. Estación Experimental Boliche. (INIAP). Manual No 60. 2da edición. Guayaquil-Ecuador.
- Guamán, R. y Andrade, C. (2005). Programa Nacional de Oleaginosas. En Manual del cultivo de Soya. Estación Experimental Boliche. (INIAP). Manual No 60. 2da edición. Guayaquil-Ecuador.

- Haro, S., & Pacheco, J. (2013). Respuesta agronómica del cultivo de soya (*Glycine max* L) a la aplicación de cinco bioestimulantes foliares, en el sitio Ventanilla, cantón Ventanas provincia Los Ríos. Tesis de Grado. Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda-Ecuador.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay. (2013). Manual de identificación de enfermedades de la soya.
- Isman, M. B. (2006). *Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual Review of Entomology, 51*, 45-66.
- Millán, G., Vásquez, M., Terminiello, A. & Santos, D. (2010). Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región Pampeana.
- Napa, F. (2011). Selección de cultivares avanzados de soya (*Glycine max* (L) Merrill) por rendimiento y tolerancia a plagas, en la zona de La Esmeralda, Cantón Montalvo, Provincia de Los Ríos
- Oliveros, M. et al. (2005). Recomendaciones para el cultivo de la soya en condiciones de sabana. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado de Monagas. Maturín.
- Olivo, C. (2012). Evaluación agronómica de 16 líneas de soya en la estación experimental pichilingue, Antón Quevedo, Provincia de los Ríos.
- Quintanilla, J. (2013). Efecto de la fertilización fósforo-potásica aplicada al suelo y vía foliar en el rendimiento de dos líneas de soya (*Glycine max*. L. Merrill). Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador.
- Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., García-Casal, M. N. (2014). Producción mundial de maíz, utilización y consumo. Anales de la Academia de Ciencias de Nueva York, 1312 (1).

- Rojas, A. (2013). Aplicación de diferentes fuentes y dosis de fertilizantes fosfatados en el cultivo de soja en un oxisol. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo – Paraguay.
- Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541
- Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/704/1/avt0466.pdf>
- Salvagiotti, F., Capurro, J., & Enrico, J. (2009). El manejo de la nutrición nitrogenada en soja. Para mejorar la producción.
- Santa Cruz. (2011). Cartilla de difusión técnica: Plagas en el cultivo de soja.
- Sarmiento, G. (1984). *Efectos de la acidez del suelo en la disponibilidad de nutrientes para las plantas*. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 10(1), 1-10.
- Sistema Integrado de Estadística Agraria-SIEA. (2020). Encuesta Nacional de Intenciones de Siembra (2019). Ministerio de Agricultura y Riego –MINAGRI. Recuperado de http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/Libro%20Resultado%20ENIS%202019-2020_260719.pdf
- Solano, J. (2013). *Efecto de enmiendas en el crecimiento de plantas de banano en condiciones de vivero*. Universidad Técnica del Norte.
- Solórzano, L. (1974). *Efecto del encalado en la producción de maíz en suelos ácidos*. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 1(1), 1-10.
- Torres, G. (2005). Efecto residual del encalado en segunda campaña, en el rendimiento del cultivo de soja (*Glycine max*) variedad cristalina en un suelo ultisol en el bajo mayo.
- Valencia, R. A. (2006). Origen, taxonomía y morfología de la soja. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1653>.

Vázquez, Mabel, Terminiello, Antonino, Duhour, Andrés, García, Mirta, & Guilino, Facundo. (2009). Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la pradera Pampeana: Asociación con propiedades químicas. *Ciencia del suelo*, 27(1), 67-76. Recuperado en 12 de marzo de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672009000100008&lng=es&tlng=pt.

ANEXOS

Anexo 1. Costos de producción del cultivo de maíz amarillo

Área de producción: 1 ha

Anexo 1.1. Costo de producción del cultivo de maíz amarillo con el tratamiento T1

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS (CD)				3826.50
1.1. Mano de obra				2600.00
1.1.1. Habilitación de terreno				500.00
Desbroce	Jornal	8	50.00	400.00
Limpieza y trazo de terreno	Jornal	2	50.00	100.00
1.1.2. Preparación del terreno				1000.00
Remoción y surcado	Jornal	20	50.00	1000.00
1.1.3. Labores culturales				1000.00
Abonamiento de fondo	Jornal	2	50.00	100.00
Siembra	Jornal	4	50.00	200.00
Segundo abonamiento	Jornal	2	50.00	100.00
Control de malezas	Jornal	4	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	8	50.00	400.00
1.2. Insumos				1226.50
1.2.1. Semilla				150.00
	kg	25	6.00	
1.2.2. Fertilizantes				1076.00
Fosfato di amónico	kg	140	3.30	462.00
Urea	kg	215	2.30	494.50
Cloruro de potasio	kg	50	2.40	120.00
1.2.3. Material encalante				-
Dolomita	-	-	-	-
II. COSTOS INDIRECTOS				677.65
2.1. Materiales y equipos				160.00
Azadón	Unidad	4	25.00	100.00
Cordel	Metros	50	0.20	10.00
Wincha	Unidad	1	50.00	50.00
2.2. Servicios				135.00
Análisis de caracterización	Servicio	1	90.00	90.00
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	45.00	45.00
2.3. Gastos administrativos 5 % CD				191.83
2.4. Improvistos 5 % CD				191.83
III. COSTO TOTAL				4504.15

Anexo 1.2. Costo de producción del cultivo de maíz amarillo con el tratamiento T2

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS (CD)				4276.50
1.1. Mano de obra				2750.00
1.1.1. Habilitación de terreno				500.00
Desbroce	Jornal	8	50.00	400.00
Limpieza y trazo de terreno	Jornal	2	50.00	100.00
1.1.2. Preparación del terreno				1000.00
Remoción y surcado	Jornal	20	50.00	1000.00
1.1.3. Labores culturales				1000.00
Abonamiento de fondo	Jornal	2	50.00	100.00
Siembra	Jornal	4	50.00	200.00
Segundo abonamiento	Jornal	2	50.00	100.00
Control de malezas	Jornal	4	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	8	50.00	400.00
1.1.4. Aplicación de tratamientos				250.00
Encalado	Jornal	5	50.00	250.00
1.2. Insumos				1526.50
1.2.1. Semilla				150.00
	kg	25	6.00	
1.2.2. Fertilizantes				1076.00
Fosfato di amónico	kg	140	3.30	462.00
Urea	kg	215	2.30	494.50
Cloruro de potasio	kg	50	2.40	120.00
1.2.3. Material encalante				300.00
Dolomita	kg	1000	0.30	300.00
II. COSTOS INDIRECTOS				722.65
2.1. Materiales y equipos				160.00
Azadón	Unidad	4	25.00	100.00
Cordel	Metros	50	0.20	10.00
Wincha	Unidad	1	50.00	50.00
2.2. Servicios				135.00
Análisis de caracterización	Servicio	1	90.00	90.00
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	45.00	45.00
2.3. Gastos administrativos 5 % CD				213.83
2.4. Improvistos 5 % CD				213.83
III. COSTO TOTAL				4999.15

Anexo 1.3. Costo de producción del cultivo de maíz amarillo con el tratamiento T3

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS (CD)				4576.50
1.1. Mano de obra				2750.00
1.1.1. Habilitación de terreno				500.00
Desbroce	Jornal	8	50.00	400.00
Limpieza y trazo de terreno	Jornal	2	50.00	100.00
1.1.2. Preparación del terreno				1000.00
Remoción y surcado	Jornal	20	50.00	1000.00
1.1.3. Labores culturales				1000.00
Abonamiento de fondo	Jornal	2	50.00	100.00
Siembra	Jornal	4	50.00	200.00
Segundo abonamiento	Jornal	2	50.00	100.00
Control de malezas	Jornal	4	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	8	50.00	400.00
1.1.4. Aplicación de tratamientos				250.00
Encalado	Jornal	5	50.00	250.00
1.2. Insumos				1826.50
1.2.1. Semilla				150.00
	kg	25	6.00	
1.2.2. Fertilizantes				1076.00
Fosfato di amónico	kg	140	3.30	462.00
Urea	kg	215	2.30	494.50
Cloruro de potasio	kg	50	2.40	120.00
1.2.3. Material encalante				600.00
Dolomita	kg	2000	0.30	600.00
II. COSTOS INDIRECTOS				722.65
2.1. Materiales y equipos				160.00
Azadón	Unidad	4	25.00	100.00
Cordel	Metros	50	0.20	10.00
Wincha	Unidad	1	50.00	50.00
2.2. Servicios				135.00
Análisis de caracterización	Servicio	1	90.00	90.00
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	45.00	45.00
2.3. Gastos administrativos 5 % CD				228.83
2.4. Improvistos 5 % CD				228.83
III. COSTO TOTAL				5329.15

Anexo 1.4. Costo de producción del cultivo de maíz amarillo con el tratamiento T4

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS (CD)				4876.50
1.1. Mano de obra				2750.00
1.1.1. Habilitación de terreno				500.00
Desbroce	Jornal	8	50.00	400.00
Limpieza y trazo de terreno	Jornal	2	50.00	100.00
1.1.2. Preparación del terreno				1000.00
Remoción y surcado	Jornal	20	50.00	1000.00
1.1.3. Labores culturales				1000.00
Abonamiento de fondo	Jornal	2	50.00	100.00
Siembra	Jornal	4	50.00	200.00
Segundo abonamiento	Jornal	2	50.00	100.00
Control de malezas	Jornal	4	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	8	50.00	400.00
1.1.4. Aplicación de tratamientos				250.00
Encalado	Jornal	5	50.00	250.00
1.2. Insumos				2126.50
1.2.1. Semilla				150.00
	kg	25	6.00	
1.2.2. Fertilizantes				1076.00
Fosfato di amónico	kg	140	3.30	462.00
Urea	kg	215	2.30	494.50
Cloruro de potasio	kg	50	2.40	120.00
1.2.3. Material encalante				900.00
Dolomita	kg	3000	0.30	900.00
II. COSTOS INDIRECTOS				722.65
2.1. Materiales y equipos				160.00
Azadón	Unidad	4	25.00	100.00
Cordel	Metros	50	0.20	10.00
Wincha	Unidad	1	50.00	50.00
2.2. Servicios				135.00
Análisis de caracterización	Servicio	1	90.00	90.00
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	45.00	45.00
2.3. Gastos administrativos 5 % CD				243.83
2.4. Improvistos 5 % CD				233.83
III. COSTO TOTAL				5659.15

Anexo 1.5. Costo de producción del cultivo de maíz amarillo con el tratamiento T5

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS (CD)				5176.50
1.1. Mano de obra				2750.00
1.1.1. Habilitación de terreno				500.00
Desbroce	Jornal	8	50.00	400.00
Limpieza y trazo de terreno	Jornal	2	50.00	100.00
1.1.2. Preparación del terreno				1000.00
Remoción y surcado	Jornal	20	50.00	1000.00
1.1.3. Labores culturales				1000.00
Abonamiento de fondo	Jornal	2	50.00	100.00
Siembra	Jornal	4	50.00	200.00
Segundo abonamiento	Jornal	2	50.00	100.00
Control de malezas	Jornal	4	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	8	50.00	400.00
1.1.4. Aplicación de tratamientos				250.00
Encalado	Jornal	5	50.00	250.00
1.2. Insumos				2426.50
1.2.1. Semilla				150.00
	kg	25	6.00	
1.2.2. Fertilizantes				1076.00
Fosfato di amónico	kg	140	3.30	462.00
Urea	kg	215	2.30	494.50
Cloruro de potasio	kg	50	2.40	120.00
1.2.3. Material encalante				1200.00
Dolomita	kg	4000	0.30	1200.00
II. COSTOS INDIRECTOS				722.65
2.1. Materiales y equipos				160.00
Azadón	Unidad	4	25.00	100.00
Cordel	Metros	50	0.20	10.00
Wincha	Unidad	1	50.00	50.00
2.2. Servicios				135.00
Análisis de caracterización	Servicio	1	90.00	90.00
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	45.00	45.00
2.3. Gastos administrativos 5 % CD				258.83
2.4. Improvistos 5 % CD				258.83
III. COSTO TOTAL				5989.15

Anexo 1.6. Costo de producción del cultivo de maíz amarillo con el tratamiento T6

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS (CD)				5476.50
1.1. Mano de obra				2750.00
1.1.1. Habilitación de terreno				500.00
Desbroce	Jornal	8	50.00	400.00
Limpieza y trazo de terreno	Jornal	2	50.00	100.00
1.1.2. Preparación del terreno				1000.00
Remoción y surcado	Jornal	20	50.00	1000.00
1.1.3. Labores culturales				1000.00
Abonamiento de fondo	Jornal	2	50.00	100.00
Siembra	Jornal	4	50.00	200.00
Segundo abonamiento	Jornal	2	50.00	100.00
Control de malezas	Jornal	4	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	8	50.00	400.00
1.1.4. Aplicación de tratamientos				250.00
Encalado	Jornal	5	50.00	250.00
1.2. Insumos				2726.50
1.2.1. Semilla				150.00
	kg	25	6.00	
1.2.2. Fertilizantes				1076.00
Fosfato di amónico	kg	140	3.30	462.00
Urea	kg	215	2.30	494.50
Cloruro de potasio	kg	50	2.40	120.00
1.2.3. Material encalante				1500.00
Dolomita	kg	5000	0.30	1500.00
II. COSTOS INDIRECTOS				722.65
2.1. Materiales y equipos				160.00
Azadón	Unidad	4	25.00	100.00
Cordel	Metros	50	0.20	10.00
Wincha	Unidad	1	50.00	50.00
2.2. Servicios				135.00
Análisis de caracterización	Servicio	1	90.00	90.00
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	45.00	45.00
2.3. Gastos administrativos 5 % CD				273.83
2.4. Improvistos 5 % CD				273.83
III. COSTO TOTAL				6319.15


Anexo 1.7. Costo de producción del cultivo de maíz amarillo con el tratamiento T7

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS (CD)				5776.50
1.1. Mano de obra				2750.00
1.1.1. Habilitación de terreno				500.00
Desbroce	Jornal	8	50.00	400.00
Limpieza y trazo de terreno	Jornal	2	50.00	100.00
1.1.2. Preparación del terreno				1000.00
Remoción y surcado	Jornal	20	50.00	1000.00
1.1.3. Labores culturales				1000.00
Abonamiento de fondo	Jornal	2	50.00	100.00
Siembra	Jornal	4	50.00	200.00
Segundo abonamiento	Jornal	2	50.00	100.00
Control de malezas	Jornal	4	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	8	50.00	400.00
1.1.4. Aplicación de tratamientos				250.00
Encalado	Jornal	5	50.00	250.00
1.2. Insumos				3026.50
1.2.1. Semilla				150.00
	kg	25	6.00	
1.2.2. Fertilizantes				1076.00
Fosfato di amónico	kg	140	3.30	462.00
Urea	kg	215	2.30	494.50
Cloruro de potasio	kg	50	2.40	120.00
1.2.3. Material encalante				1800.00
Dolomita	kg	6000	0.30	1800.00
II. COSTOS INDIRECTOS				722.65
2.1. Materiales y equipos				160.00
Azadón	Unidad	4	25.00	100.00
Cordel	Metros	50	0.20	10.00
Wincha	Unidad	1	50.00	50.00
2.2. Servicios				135.00
Análisis de caracterización	Servicio	1	90.00	90.00
Flete por traslado de materiales	Servicio	1	45.00	45.00
2.3. Gastos administrativos 5 % CD				288.83
2.4. Improvistos 5 % CD				288.83
III. COSTO TOTAL				6649.15

Anexo 1.8. Costo de producción del cultivo de soya para todos los tratamientos

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	SUB TOTAL (S/.)
I. COSTOS DIRECTOS (CD)				1355.00
1.1. Mano de obra				900.00
1.1.1. Habilitación de terreno				100.00
Limpieza de terreno	Jornal	2	50.00	100.00
1.1.3. Labores culturales				800.00
Siembra	Jornal	4	50.00	200.00
Control de malezas	Jornal	4	50.00	200.00
Cosecha	Jornal	8	50.00	400.00
1.2. Insumos				455.00
1.2.1. Semilla				455.00
	kg	70	6.50	
II. COSTOS INDIRECTOS				180.50
2.1. Servicios				45.00
Análisis químico del suelo	Servicio	1	45.00	45.00
2.2. Gastos administrativos 5 % CD				67.75
2.3. Improvistos 5 % CD				67.75
III. COSTO TOTAL				1535.50

Anexo 2. Resultados del análisis de caracterización del suelo de la parcela experimental



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN


ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:


- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Solicitante		Arom Lujan					Fecha		06/06/2023	
Nombre de proyecto		N/A								
Departamento		Cusco		Provincia		La Convención		Distrito		Chirumpani
Localidad		N/A		Altitud		N/A		Coordenadas		N/A

Lab	N° Muestra	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m-1	CaCO ₃ (%)	Nt (%)	MO (%)	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes cambiabiles					% Sat de Bases
									Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺ + H ⁺	
									%	%	%			Cmol (+).kg ⁻¹					
	12200	4.77	0.07	0.0	0.26	5.19	2.39	78	34	24	42	Ar.	14.03	3.9	1.22	0.34	0.26	2.88	41

Lab	N° Muestra	Al Cmol(+) kg-1	Zn ppm	Mn ppm	Fe ppm	B ppm
12200	Paletina	1.74				





Ph. D. MARILENI CERDA GÓMEZ
Responsable de Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = Franco arcillo arenoso; FrAr = Franco arcilloso; FrArL = Franco arcillo limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / ☎ (066) 312049 - 📞 966938028 - 966631889 / 📠 982781298 ✉ agrolab01@yahoo.es - agrolab107@gmail.com

Anexo 3. Resultados del análisis químico de los tratamientos



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL
- AGRICULTURA SUSTENTABLE

Solicitante	Sr. LUJAN GUTIERREZ, Arom Yoberty			Fecha	27/03/2025
-------------	-----------------------------------	--	--	-------	------------

Proyecto	Efecto del encalado en las propiedades químicas y el rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación, Chirumpiari, Cusco, 2023				
----------	--	--	--	--	--

Departamento	Cusco	Provincia	La Convención	Distrito	Ciudad Puno
C.P.	N/A	Altitud (m.s.n.m.)	N/A	Coordenadas	N/A

Lab	N° Muestra Campo	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m-1	CaCO ₃ (%)	Nt (%)	MO (%)	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes cambiables					% Sat de Bases
									Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺ - H ⁺	
									%	%	%			Cmol (+).kg ⁻¹					
13369	T0R1	4.58			0.32	6.39							14.72	2.81	0.84	0.20	0.28	3.22	28
13370	T1R1	4.84			0.31	6.23							13.44	3.83	1.25	0.19	0.30	2.38	41
13371	T2R1	4.88			0.31	6.25							13.12	4.69	1.20	0.25	0.31	1.92	49
13372	T3R1	4.88			0.32	6.34							13.44	4.37	1.23	0.29	0.31	1.24	46
13373	T4R1	5.04			0.33	6.64							13.44	5.15	1.22	0.24	0.28	1.20	51
13374	T5R1	5.09			0.36	7.13							15.68	5.54	1.27	0.28	0.31	1.28	47
13375	T6R1	5.17			0.35	6.97							14.40	5.36	1.35	0.27	0.30	0.82	51
13376	T0R2	4.87			0.29	5.71							12.80	4.36	1.23	0.17	0.31	1.80	47
13377	T1R2	5.00			0.35	6.91							10.72	4.43	1.35	0.18	0.31	1.64	58
13378	T2R2	5.17			0.31	6.28							13.12	4.68	1.43	0.27	0.32	1.18	51
13379	T3R2	5.17			0.32	6.45							11.84	4.88	1.60	0.23	0.31	0.86	59

27/03/2025

 Ph.D. Martha Gerda Gómez
 Responsable de Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = Franco arcillo arenoso; FrArL = Franco arcillo limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 966938028 - 966631889 / 982781298 / agrolab107@gmail.com



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL
- AGRICULTURA SUSTENTABLE

Solicitante		Sr. LUJAN GUTIERREZ, Arom Yoberty										Fecha	27/03/2025						
Proyecto		Efecto del encalado en las propiedades químicas y el rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación, Chirumpani, Cusco, 2024																	
Departamento		Cusco			Provincia			La Convención			Distrito		Cielo Punco						
C.P.		N/A			Altitud (m.s.n.m.)			N/A			Coordenadas		N/A						
N° Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m-1	CaCO ₃ (%)	Nt (%)	MO (%)	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes cambiabiles					% Sat de Bases
Lab	Campo								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺ • H ⁺	
															Cmol (+).kg ⁻¹				
13380	T4R2	5.25			0.32	6.38							12.96	5.52	1.71	0.19	0.30	0.98	60
13381	TSR2	5.30			0.31	6.14							11.84	4.90	1.33	0.26	0.35	0.80	58
13382	T6R2	5.63			0.31	6.17							12.80	5.29	2.01	0.25	0.35	0.48	62
13383	T0R3	4.59			0.27	5.40							13.60	5.88	1.53	0.32	0.36	0.58	59
13384	T1R3	5.63			0.30	5.95							12.48	5.80	1.74	0.21	0.30	0.54	65
13385	T2R3	5.92			0.28	5.68							10.60	6.93	1.88	0.20	0.33	0.50	88
13386	T3R3	5.93			0.29	5.90							10.72	7.12	2.53	0.20	0.35	0.56	95
13387	T4R3	6.01			0.28	5.60							13.12	6.79	2.12	0.26	0.33	0.60	72
13388	TSR3	6.01			0.29	5.79							12.64	6.51	2.24	0.22	0.37	0.54	74
13389	T6R3	6.42			0.28	5.68							10.56	8.06	1.91	0.18	0.35	0.00	99



27/03/2025

Ph.D. Marilén Carda Gómez
Responsable de Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = Franco arcillo arenoso; FrAr = Franco arcilloso; FrArL = Franco arcillo limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / 📞 966938028 - 966631889 / 📠 982781298 ✉ agrolab107@gmail.com

Anexo 4. Resultado de datos obtenidos de las variables evaluadas

Anexo 4.1. Resultados de altura de planta del cultivo de maíz amarillo (cm)

Tratamiento							
Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
I	252.12	264.21	283.41	271.11	276.18	285.37	284.61
II	241.31	266.18	275.24	278.15	277.12	280.27	275.36
III	243.22	271.11	271.35	269.13	273.19	282.23	275.64

Anexo 4.2. Resultados de número de mazorcas del cultivo de maíz amarillo

Tratamiento							
Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
I	1.00	1.08	1.12	1.12	1.16	1.15	1.19
II	1.00	1.12	1.13	1.15	1.08	1.14	1.16
III	1.05	1.00	1.12	1.08	1.16	1.16	1.12

Anexo 4.3. Resultados del rendimiento del cultivo de maíz amarillo (kg/ha)

Tratamiento							
Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
I	2687.50	3062.50	3437.50	4218.75	4625.00	4562.50	4625.00
II	2718.75	3162.35	3500.00	4437.50	4750.00	4531.25	4562.50
III	2656.25	3093.75	3593.82	4375.41	4687.49	4656.71	4718.75

Anexo 4.4. Resultados de altura de planta del cultivo de soya (cm)

Tratamiento							
Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
I	51.31	60.19	79.43	73.21	74.52	90.13	85.52
II	47.24	68.15	77.62	83.16	88.32	89.31	80.64
III	46.14	65.16	72.34	76.11	78.26	88.22	90.42

Anexo 4.5. Resultados del número de vainas por planta del cultivo de soya

Tratamiento							
Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
I	26.39	65.47	74.81	83.12	91.36	105.23	98.59
II	35.42	71.25	70.97	79.08	88.43	82.39	109.51
III	31.71	57.58	87.44	91.29	96.52	101.21	118.64

Anexo 4.6. Resultados del rendimiento del cultivo de soya (kg/ha)

Tratamiento							
Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
I	737.50	1312.50	1350.31	1775.42	1912.49	1862.02	1911.98
II	762.61	1437.37	1525.12	1837.39	1850.17	1662.83	2175.45
III	787.50	1337.41	1562.53	1925.48	2175.32	2312.50	1937.86

Anexo 5. Evidencias fotográficas del cultivo de maíz



Anexo 5.1. Limpieza del terreno



Anexo 5.2. Preparación del terreno



Anexo 5.3. Demarcación del terreno



Anexo 5.4. Incorporación de dolomita



Anexo 5.5. Tratamientos con dolomita



Anexo 5.6. Surcado de los tratamientos



Anexo 5.7. *Siembra*



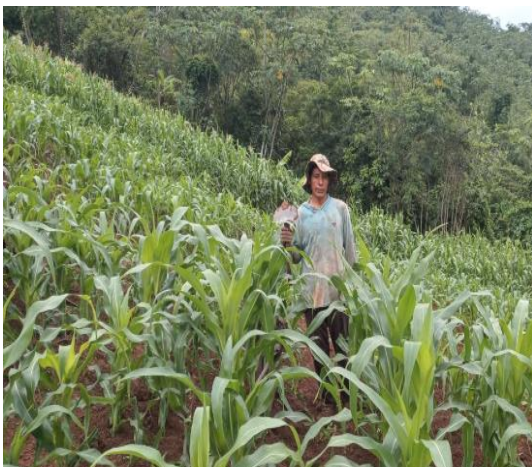
Anexo 5.8. *3 días después de la siembra*



Anexo 5.9. *26 días después de la siembra*



Anexo 5.10. *32 días después de la siembra*



Anexo 5.11. *Deshierbo*



Anexo 5.12. *59 días después de la siembra*



Anexo 5.13. *Formación de mazorca*



Anexo 5.14. *100 días después de la siembra*



Anexo 5.15. *110 días después de la siembra las mazorcas están aptos para la cosecha*



Anexo 5.16. *Diferencia del desarrollo radicular*



Anexo 5.17. *Diferencia del desarrollo de mazorcas*



Anexo 5.18. *Secado de mazorcas*

Anexo 6. Evidencias fotográficas del cultivo de soya



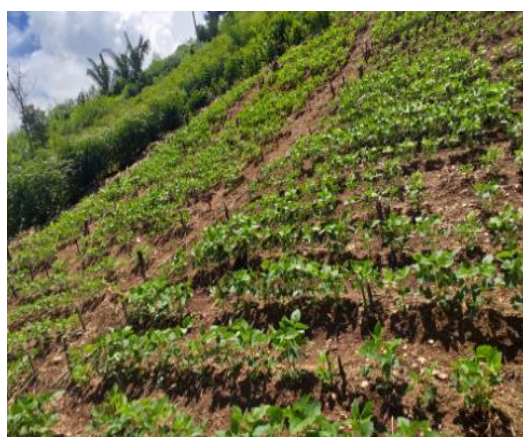
Anexo 6.1. *Limpieza del terreno*



Anexo 6.2. *Siembra*



Anexo 6.3. *6 días después de la siembra*



Anexo 6.4. *20 días después de la siembra*



Anexo 6.5. *45 días después de la siembra*



Anexo 6.6. *55 días después de la siembra*



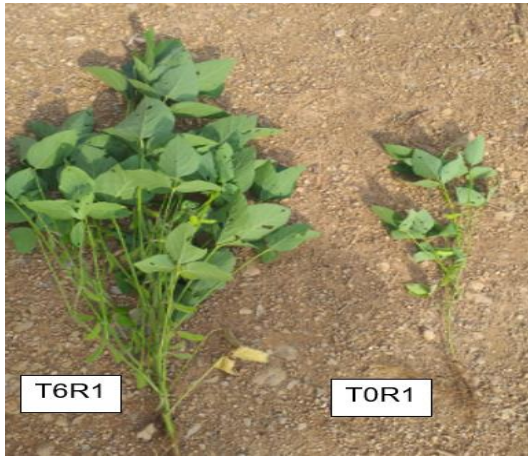
Anexo 6.7. *Cultivo de soya en floración*



Anexo 6.8. *Cultivo de soya en producción*



Anexo 6.9. *Cultivo de soya en condiciones óptimas para la cosecha*



Anexo 6.10. *Diferencia en el desarrollo y producción del cultivo de soya*



Anexo 6.11. *Secado y pesado de soya*

Anexo 7. Evidencias fotográficas de laboratorio



Anexo 7.1. *Muestreo de suelos de los tratamientos*



Anexo 7.2. *Determinación de pH y acidez total de las muestras de los tratamientos*



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. AROM YOBERTY LUJAN GUTIERREZ

R.D. N° 067-2025-UNSCH-FCA-D

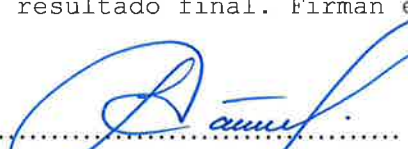
En la ciudad de Ayacucho a los diez días del mes de abril del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa, Dr. Raúl José Palomino Marcatoma como asesor, Ing. Juan Benjamín Girón Molina y el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Efecto del encalado en las propiedades químicas y el rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación. Chirumpiari, Cusco - 2023**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el Bachiller **AROM YOBERTY LUJAN GUTIERREZ**.

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:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa	16	16	16	16
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma	18	17	18	18
Ing. Juan Benjamín Girón Molina	16	15	16	16
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza	16	16	16	16
PROMEDIO GENERAL				17

OBSERVACION: Por acuerdo unánime de los miembros del jurado el titulo del trabajo de investigación debe ser: **Efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo y rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación. Chirumpiari, Cusco - 2023**

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


.....
Dr. Lurquín Marino Zambrano Ochoa
Presidente


.....
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma
Asesor


.....
Ing. Juan Benjamín Girón Molina
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 coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado:

Efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo y rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación. Chirumpiari, Cusco – 2023

Autor : Arom Yoberty LUJAN GUTIERREZ
Asesor : Raúl José PALOMINO MARCATOMA

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **doce (12 %)** 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: 2647004138

Ayacucho, 15 de abril de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Dr. Yuri Gálvez Gestelú
Coordinador de Control de originalidad de

Efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo y rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación. Chirumpiari, Cusco – 2023

por Arom Yoberty LUJAN GUTIERREZ

Fecha de entrega: 15-abr-2025 11:00a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2647004138

Nombre del archivo: TESIS_AGRONOMIA_AROM-LUJAN.TURNITING.docx (35.31M)

Total de palabras: 21420

Total de caracteres: 110735

Efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo y rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación. Chirumpiari, Cusco – 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	4%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	3%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unsch.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.inia.gob.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	bdigital.zamorano.edu	1%
	Fuente de Internet	
6	fr.slideshare.net	<1%
	Fuente de Internet	
7	repositorio.umsa.bo	<1%
	Fuente de Internet	

8

Dagoberto Durán Hernández, Olivia Tzintzun Camacho, Onécimo Grimaldo-Juárez, Daniel González-Mendoza et al. "Compendio Científico en Ciencias Agrícolas y Biotecnología (Vol 2)", Omnia Publisher SL, 2019

Publicación

<1 %

9

repositorio.uteq.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

10

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

11

documentop.com

Fuente de Internet

<1 %

12

www.colpos.mx

Fuente de Internet

<1 %

13

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo y rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación.

Chirumpiari, Cusco – 2023

Effect of liming on soil chemical properties and yield of yellow corn and soybean in rotation. Chirumpiari, Cusco - 2023

Arom Yoberty Lujan Gutierrez¹, Raúl José Palomino Marcatoma²
arom.lujan.01@unsch.edu.pe raul.palomino@unsch.edu.pe

Áreas de investigación: Medio Ambiente

Línea de investigación: Sistemas de Producción Agrícola

RESUMEN

La acidez de los suelos de Chirumpiari limitan la producción del maíz y soya por lo que se investigó el efecto de la dolomita aplicando siete dosis crecientes en la rotación maíz y soya los que fueron dispuestas en el diseño Bloque Completo Randomizado con tres repeticiones con 21 unidades experimentales. En el suelo se evaluó el pH, acidez total, CIC, materia orgánica y bases cambiables; en el maíz, altura de planta, número de mazorcas por planta y rendimiento de grano seco; en la soya, altura de planta, número de vainas por planta y rendimiento de grano seco y, finalmente, la utilidad neta. Los resultados muestran que el pH aumentó a 5.74 con seis t/ha de dolomita, el calcio y magnesio cambiables incrementaron a 6.5 y 1.79 cmol (+) kg⁻¹ con 6 y 3 t/ha de dolomita, respectivamente; la acidez total disminuye a 0.43 cmol (+) kg⁻¹ con 4 t/ha mientras que la materia orgánica, CIC, K y Na no respondieron a la aplicación de dolomita. La altura de planta en maíz y soya fue de 275.3 y 89 cm con 4 y 5 t/ha de dolomita, respectivamente; el número de mazorcas fue 1.12 con 3 t/ha y el número de vainas en soya fue 96.3 con 5 t/ha. Los rendimientos de grano seco en maíz fue 4687.5 y en soya, 2008.33 kg.ha⁻¹ con 4 y 6 t/ha de dolomita, respectivamente. La mayor rentabilidad obtenida fue S/. 1.30 en la rotación con la dosis de 4 t/ha.

Palabras clave: Dolomita, propiedades químicas, maíz y soya en rotación.

ABSTRACT

The acidity of the soils of Chirumpiari limits the production of corn and soybeans, so the effect of dolomite was investigated by applying seven increasing doses in the corn-soybean rotation, which were arranged in a Randomized Complete Block design with three replications and 21 experimental units. In the soil, pH, total acidity, CEC, organic matter and exchangeable bases were evaluated; in corn, plant height, number of ears per plant and dry grain yield; in soybeans, plant height, number of pods per plant and dry grain yield; and finally, net profit. The results show that pH increased to 5.74 with six t/ha of dolomite, exchangeable calcium and magnesium increased to 6.5 and 1.79 cmol (+) kg⁻¹ with 6 and 3 t/ha of dolomite, respectively; total acidity decreased to 0.43 cmol (+) kg⁻¹ with 4 t/ha while organic matter, CEC, K and Na did not respond to dolomite application. Plant height in corn and soybean was 275.3 and 89 cm with 4 and 5 t/ha of dolomite, respectively; ear number was 1.12 with 3 t/ha and pod number in soybean was 96.3 with 5 t/ha. Dry grain yields in corn were 4687.5 and in soybeans, 2008.33 kg ha⁻¹ with 4 and 6 t/ha of dolomite, respectively. The highest yield obtained was S/. 1.30 in the rotation with the 4 t/ha dose.

Keywords: Dolomite, chemical properties, corn and soybean in rotation.

I. INTRODUCCIÓN

La acidez de los suelos es uno de los principales factores que limitan la producción agrícola en los suelos tropicales y subtropicales, siendo algunos de los problemas relacionados a la acidez del suelo, la alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas que reducen el crecimiento y rendimiento de las plantas (Elorza, 2000). En el cultivo de maíz la acidez de los suelos repercute en la altura, floración tardía y la formación de mazorcas pequeñas, esto se debe a la alta concentración de aluminio, asociado con deficiencias de fósforo, magnesio, calcio o toxicidad de manganeso que provoca el acortamiento de los entrenudos de las plantas con la consecuente reducción del tamaño (Castañón & Latournerie, 2004). Del mismo modo, en el cultivo de soya, la acidez del suelo repercute en la longitud de la planta, ya que este constituye un factor de estrés al alterar muchos de sus procesos metabólicos, lo que provoca una reducción del crecimiento de la planta, además, reduce el desarrollo radicular y disminuye la población de la bacteria *Bradyrhizobium* que fija el nitrógeno atmosférico induciendo a la disminución en la toma de nutrientes y agua (Elvisa et al. 2018). Frente a este problema las prácticas químicas como el encalado de los suelos, han ganado popularidad, desplazando en parte las técnicas tradicionales (Isman, 2006). Es imperativo, por tanto, explorar alternativas sostenibles que no solo mejoren la productividad agrícola, sino que también protejan el medio ambiente y la salud humana (Friedrich, 2008). En este contexto, el encalado es una práctica sostenible que mejora las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de los cultivos y es crucial

para promover la agricultura ecológica y sostenible. Por las consideraciones vertidas, se realizó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar el efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación en Chirumpiari, Cusco – 2023.

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de la dolomita en las propiedades químicas del suelo.
2. Cuantificar la dosis de dolomita en el rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación.
3. Valorar el efecto del encalado en la relación beneficio/costo del rendimiento de maíz amarillo y soya en rotación.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación

La investigación se realizó en un suelo ácido de la selva de la localidad de Chirumpiari, ubicada en el departamento de Cusco, provincia de La Convención y distrito de Cielo Punco. Ubicado a 12°49'50" latitud sur, 73°35'10" longitud oeste, a una altitud de 746 m.s.n.m.

2.2. Características del suelo

Los resultados del análisis del suelo, muestran que el principal problema es el desbalance catiónico ya que la relación Ca/Mg, Ca/K y Mg/K no se encuentra en el rango esperado. El pH es otro factor limitante por presentar un valor de 4.77 considerado como extremadamente ácido debido a que el cultivo de maíz se desarrolla mejor en suelos con pH que oscilan entre 5.5 a 6.5 (Acosta, 2009). El contenido de materia orgánica es 5.19% que se interpreta como alto lo cual implica efectos

benéficos en el suelo y para la planta, aunque limitados por la acidez de los suelos. La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) es de 14.03 Cmol kg⁻¹ considerado como un valor medio, lo que indica que el suelo tiene una gran capacidad para retener e intercambiar nutrientes. Respecto al contenido de fósforo se reporta 2.39 ppm y el potasio de 78 ppm que se consideran bajos y son los factores de mayor importancia en la nutrición mineral. La clase textural es arcillosa.

2.3. Material biológico

Se emplearon semillas de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) variedad Marginal 28 Tropical y soya (*Glycine max* L.) variedad Cristalina.

2.4. Material encalante

El material encalante utilizado en el presente trabajo de investigación fue la dolomita, el cual tiene una composición química de 60% de CaCO₃ y 30% de MgCO₃.

2.5. Diseño experimental y análisis estadístico

Los tratamientos fueron dispuestos en el diseño Bloque Completamente al Azar, considerando siete niveles de material encalante y tres repeticiones con un total de 21 unidades experimentales, para los cultivos de maíz y soya respectivamente.

2.6. Tratamientos en estudio

Tabla 2.1.

Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción
T1	0 tonelada de dolomita/ha
T2	1 tonelada de dolomita/ha
T3	2 toneladas de dolomita/ha
T4	3 toneladas de dolomita/ha
T5	4 toneladas de dolomita/ha
T6	5 toneladas de dolomita/ha
T7	6 toneladas de dolomita/ha

2.7. Instalación y conducción del experimento

Habilitación y preparación del terreno

Se inició con el desbroce y limpieza de malezas con la finalidad de dejar limpio el campo experimental el cual se realizó manualmente haciendo uso de azadones procurando un adecuado mullido para buscar una mayor eficiencia de la reacción con el material encalante.

Demarcación del terreno

Se realizó de acuerdo con el croquis establecido previamente, haciendo uso del cordel, wincha y estacas de madera.

Aplicación del material encalante

Una vez demarcado las unidades experimentales, se incorporó el material encalante según los niveles establecidos por tratamiento mezclando el suelo con la dolomita de manera minuciosa para mejorar la eficiencia de la reacción del suelo con el encalante.

Surcado

Transcurridos 30 días después de la aplicación del material encalante, se realizó el surcado del campo experimental con azadones de manera manual de acuerdo a densidad de siembra de los cultivos de maíz amarillo y soya.

Siembra

La siembra del maíz amarillo duro se realizó el 03/10/2023 a 0.80 m entre surcos y plantas y en cada golpe se usó 3 semillas con la finalidad de permitir 2 plantas por golpe. Después de la cosecha se procedió a la siembra de soya (26/01/2024), a 0.80 m entre surcos y 0.20 m entre plantas colocando 3 semillas por golpe para luego dejar las 2 mejores plantas.

Abonamiento del maíz

Se realizó en función al análisis del suelo, donde la dosis de fertilización aplicada fue: 300 kg N ha⁻¹, 172 kg de P₂O₅ ha⁻¹) y 50 kg de K₂O ha⁻¹, siendo las fuentes: Urea (46% N), Fosfato di Amónico (18% N y 46 % P₂O₅)

y Cloruro de potasio (60% K₂O) respectivamente. El abonamiento se realizó en 2 partes, el primero al momento de la siembra del maíz y, el segundo, al momento del control de malezas. Para el cultivo de soya no se realizó ninguna fertilización, considerando que el objetivo fue aprovechar el efecto residual del abonamiento del cultivo anterior.

Riego

Los cultivos se condujeron en condiciones naturales aprovechando las precipitaciones en la campaña agrícola y no fueron necesarios riegos suplementarios.

Control de malezas

El deshierbo se realizó de forma manual, haciendo uso de azadones, con la finalidad de eliminar la competencia por los nutrientes, agua y luz, además de que las malezas actúan como hospedantes de plagas y enfermedades.

Control fitosanitario

Durante el desarrollo del cultivo no se realizó ningún tipo de control fitosanitario, debido a que los daños causados no superaban los índices de daño económico.

Cosecha

La cosecha de maíz se realizó a los 110 días después de la siembra cuando los granos alcanzaron la madurez de cosecha el cual se manifestó cuando las plantas y mazorcas se secaron. En el caso de la soya se realizó a los 108 días después de la siembra, cuando las plantas y vainas mostraron sequedad.

Muestreo de suelos de cada unidad experimental

Una vez realizado la cosecha de soya, se hizo la recolección de muestras por cada unidad experimental tomando en cuenta los protocolos de muestreo, los cuales fueron enviadas al laboratorio para su respectivo análisis químico.

2.8. Variables evaluadas

De las propiedades químicas del suelo

- ✓ pH (unidades de pH)
- ✓ Acidez total en cmol₍₊₎ kg⁻¹
- ✓ Bases cambiables: Calcio, magnesio, potasio y sodio en cmol₍₊₎ kg⁻¹
- ✓ Capacidad de intercambio catiónico en cmol₍₊₎ kg⁻¹
- ✓ Materia orgánica en %

Del crecimiento y desarrollo del maíz amarillo

- ✓ Altura de planta (cm)
- ✓ Número de mazorcas por planta
- ✓ Peso de granos por planta (g)

Del crecimiento y desarrollo de soya

- ✓ Altura de planta (cm)
- ✓ Número de vainas por planta
- ✓ Peso de granos por planta (g)

De la relación beneficio/costo del rendimiento de una sucesión maíz amarillo y soya

- ✓ Utilidad neta

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. De las propiedades químicas del suelo

Efecto del encalado sobre el pH del suelo

El análisis de variancia del pH del suelo (tabla 3.1), muestra diferencia estadística altamente significativa en los niveles de dolomita, lo que indica que existen diferencias en los valores del pH por los tratamientos de encalado empleados con un coeficiente de variabilidad de 4.35 %, que están dentro del rango del error experimental aceptable.

Tabla 3.1

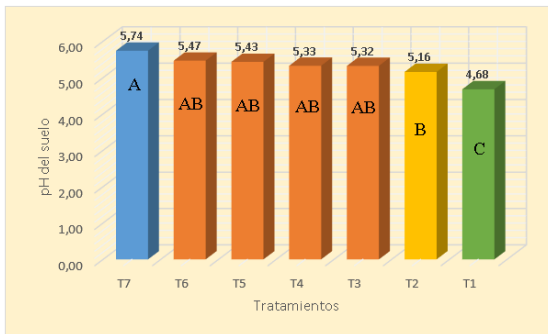
Análisis de variancia de pH del suelo

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	2.71	1.36	25.49	0.0001	**
Niveles de dolomita	6	1.94	0.32	6.06	0.0041	**
Error	12	0.64	0.05			
Total	20	5.29				

C.V. = 4.35 %

Figura 3.1

Prueba de Duncan del efecto del encalado sobre el pH del suelo



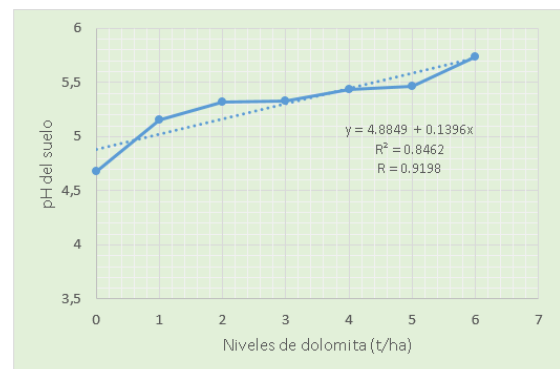
La figura 3.1 muestra que las dosis de dolomita incrementan el pH del suelo respecto al tratamiento testigo (sin encalar), donde el tratamiento con seis t/ha de material encalante elevó al valor más alto de pH (5.74), sin embargo, no difiere estadísticamente hasta la dosis de 2 t/ha. El tratamiento testigo ocupa la última posición con un pH de 4.68. El efecto del incremento de pH por la aplicación de la enmienda es debido a la reacción de la dolomita que al entrar en contacto con el agua produce un aumento de los iones OH^- reduciendo los iones de H^+ en la solución del suelo, lo que permite un aumento de pH (Calva, 2016). Asimismo, la escasa diferencia estadística entre los tratamientos con enmienda es debido al poder amortiguador del suelo que al poseer un nivel alto de materia orgánica y una CIC media, ha condicionado que cambie la reacción coadyuvada con la cantidad de arcilla presente que son básicamente del tipo 2:1. Los resultados son similares a los que obtuvo Torres (2005), quien en la evaluación que realizó sobre el efecto residual del encalado, informa que todos los niveles de enmienda incrementaron el pH del suelo respecto al tratamiento testigo, siendo el incremento en relación directa a las dosis de material encalante aplicado.

Adicionalmente, se hizo el análisis de tendencia (Figura 3.2), donde se observa mejor ajuste de la información al modelo lineal. El

pH del suelo incrementa de manera lineal y positiva a medida que las dosis de dolomita aumentan, así por cada tonelada adicional de material encalante el pH se incrementó en 0.14 unidades en promedio. Por tanto, podemos afirmar con un 84.62 % de certeza que, a mayor cantidad de dolomita, es mayor el incremento del valor del pH. Esto es posible al poder neutralizante de la enmienda, que, al entrar en contacto con el agua del suelo, las sales básicas se disocian y generan cationes y OH^- haciendo posible el incremento del pH (Espinosa & Molina, 1999). Este modelo no nos permite predecir la dosis que logre el mayor valor de pH a una dosis determinada de material encalante. Es posible, que el alto contenido de materia orgánica y una CIC media, permita al suelo resistir al cambio del pH.

Figura 3.2

Análisis de tendencia del pH por efecto residual de dolomita



Efecto del encalado sobre la materia orgánica del suelo

El análisis de variancia (tabla 3.2) muestra que no hubo diferencia estadística e indica que no existe respuesta en los valores del contenido de materia orgánica debido a los tratamientos empleados. Sin embargo, los valores entre bloques presentan diferencias altamente significativas, esto probablemente sea debido a la contribución de restos orgánicos de la cosecha anterior del cultivo de maíz amarillo y a la actividad que realizan la macro y

microfauna edáfica, los mismos que fueron favorecidos por una mejora en el pH del suelo con la aplicación del material encalante (Lummer et al., 2012).

El coeficiente de variabilidad es de 5.03 %, valor dentro del rango aceptado para el trabajo de investigación.

Tabla 3.2

Análisis de variancia del contenido de materia orgánica del suelo

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	2.64	1.32	13.62	0.0008	**
Niveles de dolomita	6	0.62	0.10	1.67	0.4313	ns
Error	12	1.16	0.10			
Total	20	4.42				

C.V. = 5.03%

Efecto del encalado sobre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) del suelo.

La tabla 3.3 del análisis de variancia, muestra que no hubo diferencia estadística entre los valores de la C.I.C. por los tratamientos empleados. Sin embargo, los valores entre bloques si presentan diferencia estadística altamente significativa. Esta variación es de esperarse debido a la relación directa de la materia orgánica sobre la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Chico, 2019), por lo que la diferencia de valores del contenido de materia orgánica en bloques influyó en la variación de la C.I.C.

El coeficiente de variabilidad es de 7.85 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.3

Análisis de variancia de C.I.C. del suelo

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	17.35	8.67	8.63	0.0048	**
Niveles de dolomita	6	7.79	1.30	1.29	0.3315	ns
Error	12	12.06	1.01			
Total	20	37.20				

C.V. = 7.85 %

Efecto del encalado sobre el calcio cambiante ($cmol (+) kg^{-1}$)

La tabla 3.4 del análisis de variancia indica que existe diferencia estadística altamente significativa en los niveles de dolomita, lo que

indica que existe diferencia entre los valores de calcio cambiante por los tratamientos empleados.

El coeficiente de variabilidad es de 10.33 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.4

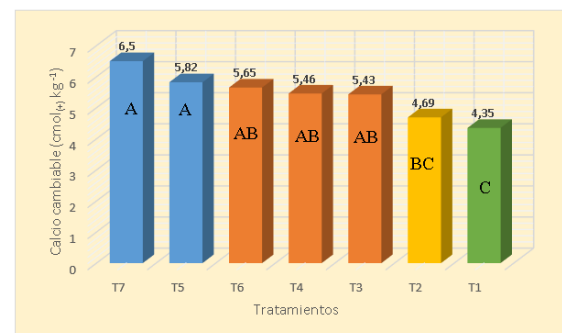
Análisis de variancia de calcio cambiante

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	21.77	10.88	34.80	0.0001	**
Niveles de dolomita	6	9.21	1.54	4.91	0.0093	**
Error	12	3.75	0.31			
Total	20	34.73				

C.V. = 10.33%

Figura 3.3

Prueba de Duncan del calcio cambiante ($cmol (+) kg^{-1}$)



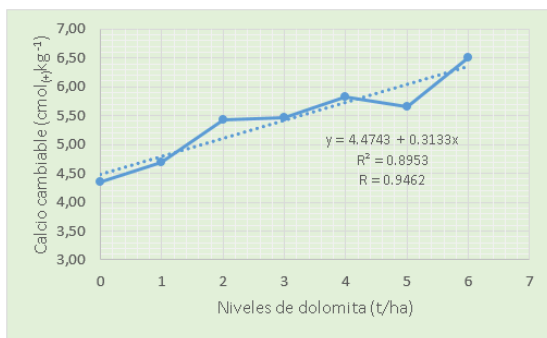
La prueba de Duncan (figura 3.3) muestra la variación del calcio cambiante en respuesta a los niveles del material encalante aplicado, donde el contenido de calcio aumenta en relación directa al incremento de los niveles de dolomita. Estos resultados son similares a los que obtuvo Rondinel (2021), quien manifiesta que el contenido de calcio cambiante aumenta proporcionalmente a medida que se incrementa las dosis de dolomita. Los resultados manifestados podrían ser debido a la incorporación del material encalante con un contenido de 60 % de carbonato de calcio en su composición, lo cual luego de solubilizarse y reaccionar en la solución del suelo, provocó la disociación del carbonato de calcio en sus iones, permitiendo los incrementos de calcio

cambiable en el complejo de cambio (Calva & Espinosa, 2017).

La figura 3.4 del análisis de tendencia muestra que los valores se ajustan mejor al modelo lineal: $Y = 4.4743 + 0.3133X$, lo que indica que la adición de cada t/ha de dolomita incrementa el contenido de calcio en $0.31 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$. Este incremento se debe a que el material encalante incorporado contiene 60 % de carbonato de calcio en su composición, lo que permitió el aumento del calcio cambiante a medida que se incrementa las dosis de dolomita.

Figura 3.4

Análisis de tendencia del calcio cambiante ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$)



Efecto del encalado sobre el magnesio cambiante ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$)

Al observar la tabla 3.5 del análisis de variancia, se encontró una diferencia estadística significativa en los niveles de dolomita y una diferencia estadística altamente significativa en los valores de bloques. Esta diferencia de valores en los bloques se debe principalmente a la topografía del terreno donde se ejecutó el trabajo de investigación, lo cual influye en la escorrentía e infiltración del agua de lluvia alterando el contenido de magnesio en el suelo.

El coeficiente de variabilidad es de 13.06 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.5

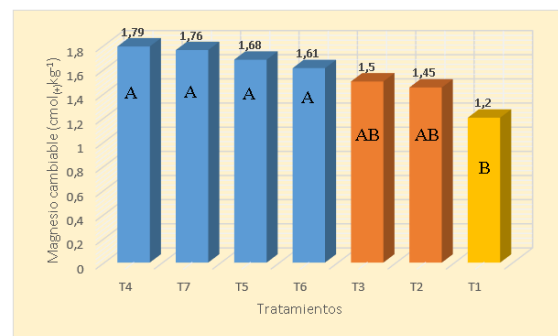
Análisis de variancia de magnesio cambiante

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	2.26	1.13	26.81	0.0001	**
Niveles de dolomita	6	0.76	0.13	3.01	0.0494	*
Error	12	0.50	0.04			
Total	20	3.52				

C.V. = 13.06 %

Figura 3.5

Prueba de Duncan de magnesio cambiante ($\text{cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$)



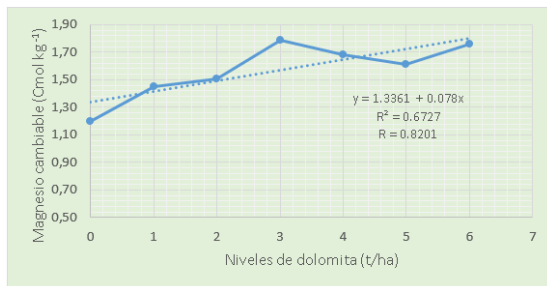
La figura 3.5 de la prueba de Duncan muestra la variación del magnesio cambiante en respuesta a la aplicación de siete niveles de dolomita, donde los tratamientos con enmienda muestran valores superiores al tratamiento testigo ($1.20 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$) siendo estos valores independientes de los niveles de material encalante aplicado; sin embargo, estas no difieren estadísticamente. Este incremento en el contenido de magnesio cambiante podría ser al aporte de 30 % de carbonato de magnesio contenido en el material encalante que luego de su solubilización contribuyó al incremento en el suelo (Calva & Espinosa, 2017). Resultados similares obtuvo Rengifo (2014), en una investigación sobre “Efecto de la aplicación de enmienda orgánica y mineral sobre la fertilidad de un suelo ácido ultisol de la Amazonía Peruana” quien manifiesta que los contenidos de magnesio cambiante fueron superiores en los tratamientos con aplicación de magnecal respecto al tratamiento sin enmienda.

La influencia de los niveles crecientes de dolomita en el contenido de magnesio cambiante del suelo (figura 3.6) obedece al

modelo lineal: $Y = 1.3361 + 0.078X$, lo que indica que cada t/ha de material encalante permite incrementar el contenido de magnesio en $0.08 \text{ cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Esto se debe al contenido de 13.5 % de magnesio en el material encalante incorporado, por lo que a medida que la dosis de dolomita aumenta el contenido de magnesio también incrementa.

Figura 3.6

Análisis de tendencia del magnesio cambiante del suelo



Efecto del encalado sobre el potasio cambiante ($\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$)

La tabla 3.6 del análisis de variancia, muestra que no hubo una diferencia estadística entre los valores del potasio cambiante por los tratamientos empleados. Lo que indica que la incorporación de dolomita no influye en el contenido de potasio del suelo. Esta respuesta se debe a que el potasio según el análisis de caracterización se encuentra en niveles bajos, por lo que la adición de la enmienda por más que mejoró las condiciones del pH no influye en el contenido de potasio cambiante.

El coeficiente de variabilidad es de 20.32 %, por lo que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.6

Análisis de variancia de potasio cambiante

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	2.3E-03	1.1E-03	0.51	0.6128	ns
Niveles de dolomita	6	0.01	1.0E-03	0.47	0.8169	ns
Error	12	0.03	2.2E-03			
Total	20	0.04				

C.V. = 20.32 %

Efecto del encalado sobre el sodio cambiante ($\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$)

La tabla 3.7 del análisis de variancia, muestra que no hubo diferencia estadística en los niveles de dolomita, lo que indica que no existe diferencia entre los valores de sodio cambiante por los tratamientos empleados; este resultado era de esperar debido a que el análisis de caracterización reportó como bajo, además no se incorporó ninguna fuente que altere el contenido de sodio. Sin embargo, los valores entre bloques presentan diferencia altamente significativa, este resultado se debe a factores geográficos que alteran el contenido de un elemento según la topografía.

El coeficiente de variabilidad es de 4.90 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.7

Análisis de variancia de sodio cambiante

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	0.01	3.2E-03	13.04	0.0010	**
Niveles de dolomita	6	3.9E-03	6.5E-04	2.63	0.0726	ns
Error	12	3.0E-03	2.5E04			
Total	20	0.01				

C.V. = 4.90%

Efecto del encalado sobre la acidez total ($\text{cmol}_{(+)} \text{ kg}^{-1}$)

La tabla 3.8 del análisis de variancia, indica que existe diferencia estadística significativa en la acidez total por los niveles de dolomita aplicados y una diferencia altamente significativa en bloques. La diferencia en los valores de bloques se debe a la topografía del terreno donde se ejecutó el presente trabajo de investigación que influyó en la infiltración y escorrentía del agua de lluvia, lo cual alteró la acidez total del suelo.

El coeficiente de variabilidad es de 4.35 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.8

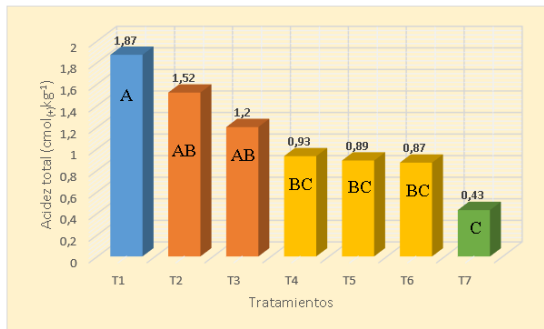
Análisis de variancia de la acidez total del suelo

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	5.46	2.73	18.23	0.0002	**
Niveles de dolomita	6	4.04	0.67	4.50	0.0130	*
Error	12	1.80	0.15			
Total	20	11.29				

C.V. = 4.35%

Figura 3.7

Prueba de Duncan de la acidez total del suelo



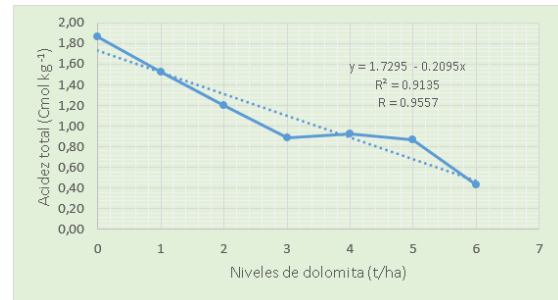
La figura 3.7 muestra que los valores de acidez total tienen una diferencia significativa, los cuales muestran una relación inversa a los niveles del material encalante aplicado, siendo las variaciones desde 1.87 cmol₍₊₎kg⁻¹ (0.0 t/ha) a 0.43 cmol₍₊₎kg⁻¹ (6.0 t/ha) a medida que los niveles de dolomita aumentan; estos resultados son similares a los que reporta Chico (2019), quien manifiesta que la acidez total del suelo presentó una relación inversa frente al aumento de las dosis del encalado. Asimismo, Calva & Espinosa (2017) resaltan que la concentración de acidez total del suelo se reduce a medida que se incrementan las dosis de enmienda. Este efecto es debido a que el material encalante aplicado al entrar en contacto con el agua del suelo, las sales básicas se disocian y generan cationes y OH⁻ que reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables (Espinosa & Molina, 1999).

La figura 3.8 del análisis de tendencia muestra la reducción gradual de la acidez total en respuesta a los niveles de encalado, donde la adición de cada t/ha de dolomita reduce la acidez total del suelo en 0.21 cmol₍₊₎kg⁻¹. Esta

respuesta se debe al poder neutralizante del material encalante, que a medida que se incrementan las dosis, la acidez total del suelo disminuye.

Figura 3.8

Análisis de tendencia de la acidez total del suelo



3.2. Sobre los caracteres productivos

Cultivo de maíz

a) Altura de planta (cm)

El análisis de variancia de la altura de planta de maíz amarillo (tabla 3.9) muestra una diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 1.56 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.9

Análisis de variancia de la altura de planta de maíz amarillo duro

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	74.00	37.00	2.06	0.1699	ns
Niveles de dolomita	6	2706.67	451.11	25.14	0.0001	**
Error	12	215.33	17.94			
Total	20	2996.00				

C.V. = 1.56 %

Al efectuar la prueba de Duncan para determinar la influencia de la enmienda en la altura de planta de maíz amarillo (figura 3.9), se observa que todos los niveles aplicados de material encalante, permiten mayor longitud de la parte aérea de las plantas comparativamente al testigo, lo que implica la influencia positiva del material encalante en el crecimiento del maíz. Estos resultados son relativamente coincidentes con los datos que obtuvo Cargua-Chavez, et al., (2025) quienes

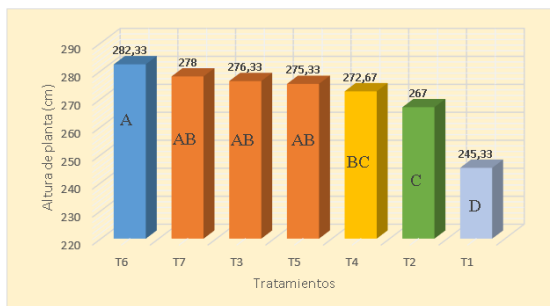
informan que la altura de planta se vio notablemente influenciado por los diferentes niveles de dolomita aplicado, resaltando desde el punto de vista de optimización, que 2 t/ha de material encalante puede ser suficiente para potenciar el crecimiento del maíz.

Respecto a la altura de planta de maíz amarillo duro Garbanzo-León et al., (2016) mencionan que, está influenciada por el carácter varietal, sin embargo, la aplicación de enmiendas en suelos ácidos influye notablemente en el crecimiento y desarrollo de la planta al disminuir la acidez del suelo, lo cual incrementa la disponibilidad de nutrientes que la planta aprovecha reflejando en el crecimiento.

Por su parte, en la figura 3.9 se aprecia que todos los tratamientos incluido el testigo, superan el potencial de crecimiento de la variedad Marginal – 28 Tropical que varía de 200 a 220 cm (INIA, 2003). Este resultado probablemente obedezca a las condiciones climáticas favorables, como las precipitaciones constantes y temperaturas adecuadas (25°C – 34°C); además de que el alto contenido de materia orgánica en el suelo, acompañado de la fertilización que se realizó, influyó en el crecimiento del cultivo de maíz (Altieri, 2004).

Figura 3.9

Prueba de Duncan de la altura de planta (cm) del cultivo de maíz amarillo duro



a) Número de mazorcas por planta

La tabla 3.10, muestra el análisis de variancia del número de mazorcas por planta de maíz amarillo, donde se aprecia que existe diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 3.43 %, valor dentro del rango aceptado para el presente trabajo de investigación.

Tabla 3.10

Análisis de variancia del número de mazorcas por planta de maíz amarillo duro

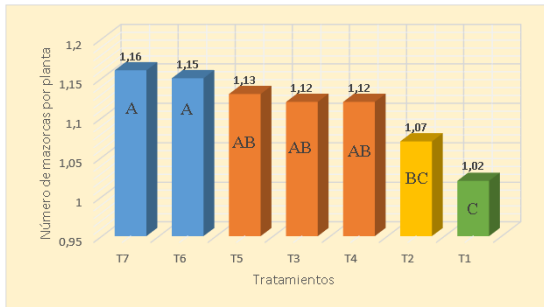
FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	1.3E-03	6.3E-04	0.44	0.6550	ns
Niveles de dolomita	6	0.05	0.01	5.24	0.0073	**
Error	12	0.02	1.4E-03			
Total	20	0.06				

C.V. = 3.43 %

La figura 3.10 muestra la prueba de Duncan para el número de mazorcas por planta del cultivo de maíz amarillo, donde la mayor cantidad de número de mazorcas por planta se obtuvo con la aplicación de 6 t/ha de material encalante, con un valor de 1.16 mazorcas en promedio. En relación a los resultados obtenidos todos los tratamientos presentan índices inferiores al potencial productivo (1.4 mazorcas/planta) del maíz amarillo variedad Marginal – 28 Tropical (INIA, 2003). Sin embargo, estos resultados son similares a los que obtuvo (Astudillo, 2011) quien informó que los tratamientos con aplicaciones de material encalante de 2, 2.5, 3, 3.5 y 4 t/ha presentaron un promedio de mazorcas por planta de 1.05, 1.10, 1.07, 1.16 y 1.19, respectivamente. A pesar del efecto positivo del material encalante sobre la acidez del suelo, que permitió aumentar la disponibilidad de nutrientes, no fue suficiente para que la mayoría de las plantas puedan desarrollar una segunda mazorca (Juárez, 2016).

Figura 3.10

Prueba de Duncan del número de mazorcas por planta de maíz amarillo duro



a) Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Al observar el análisis de variancia del rendimiento en grano de maíz amarillo (tabla 3.11), nos permite ver que existe diferencia estadística altamente significativa entre valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 1.58 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.11

Análisis de variancia del rendimiento en grano seco de maíz amarillo duro

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	22972.47	11486.24	2.99	0.0881	ns
Niveles de dolomita	6	12371651.79	2061941.96	537.45	0.0001	**
Error	12	46037.95	3836.50			
Total	20	12440662.20				

C.V. = 1.58 %

La figura 3.11 de la prueba de Duncan para el rendimiento en grano de maíz amarillo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), muestra que con la aplicación de 4 t/ha de material encalante se obtuvo el mayor rendimiento con un valor promedio de 4687.5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que el rendimiento más bajo presentó el tratamiento testigo (0.0 t/ha) con un valor de 2687.5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, lo que significa que a una dosis de 4 t/ha de dolomita el rendimiento de maíz amarillo incrementa hasta 74% respecto al testigo. Cabe resaltar que todos los tratamientos con aplicaciones de dolomita presentan rendimientos superiores al tratamiento sin enmienda. Estos resultados son relativamente coincidentes con los reportados

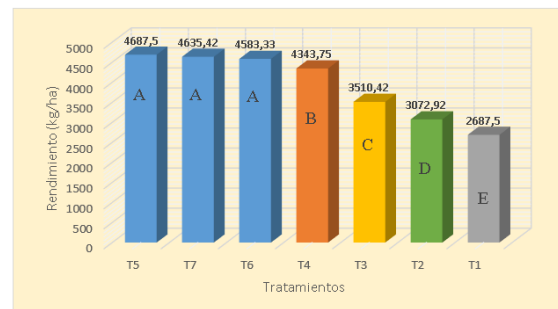
por Rengifo (2014), quien informó que el tratamiento testigo presentó el rendimiento más bajo con un valor promedio de 2695 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que el tratamiento con aplicación de 4 t/ha de material encalante presentó el mayor rendimiento con un valor promedio de 4559 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Respecto al rendimiento de maíz amarillo duro Zapata (2004) menciona que el encalado en suelos ácidos además de mejorar la disponibilidad de nutrientes al elevar el pH del suelo, mejora la estructura del suelo y las condiciones de los microorganismos aumentando así la mineralización de la materia orgánica, estos factores benéficos para la planta de maíz permitieron el incremento del rendimiento.

Es importante mencionar el comportamiento de la variedad Marginal – 28 Tropical cuya tolerancia a la acidez del suelo se manifiesta al alcanzar un rendimiento de 2687.5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ con el tratamiento sin aplicación de material encalante, corroborando lo mencionado por INIA (2003), que indica su tolerancia a condiciones de acidez. Asimismo, se puede evidenciar que mejorando las condiciones de pH del suelo mediante la aplicación de material encalante, una dosis adecuada de fertilización y bajo condiciones de riego, se podría obtener mayores rendimientos de maíz, en suelos como el que se ha efectuado el estudio.

Figura 3.11

Prueba de Duncan del rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) en grano seco de maíz amarillo duro



Cultivo de soya

a) Altura de planta (cm)

La tabla 3.12 muestra el análisis de variancia de la altura de planta de soya, donde se aprecia que existe diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 5.46 %, valor dentro del rango aceptado para el trabajo de investigación.

Tabla 3.12

Análisis de variancia de la altura de planta de soya

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	62.95	31.48	1.94	0.1858	ns
Niveles de dolomita	6	3281.33	546.89	33.76	0.0001	**
Error	12	194.38	16.20			
Total	20	3538.67				

C.V. = 5.46%

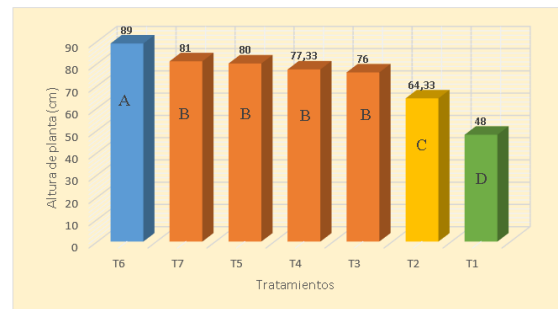
Al efectuar la prueba de Duncan para determinar la influencia del encalado en la altura de planta de soya (3.12), se observa que la mayor altura se obtiene con la aplicación de 5 t/ha de material encalante con un valor de 89 cm, lo cual supera en 68% al tratamiento sin enmienda que presenta la menor altura de planta con 48 cm. Además, todos los tratamientos con aplicación de dolomita presentan incrementos en la altura de planta respecto al tratamiento testigo, lo que indica el efecto residual positivo de la enmienda aplicada. Estos resultados son similares a los que reportó Torres (2005), quien informó que todos los tratamientos con aplicación del material encalante fueron superiores respecto al tratamiento testigo, variando de 55.17 cm a 72.68 cm de altura.

Respecto a la altura de planta de soya Barces (2011) manifiesta que los factores climáticos y edáficos influyen en el crecimiento, donde en condiciones de temperatura entre 18 y 34 °C y en suelos francos con un pH de 5.5 a 6.2 la variedad Cristalina puede alcanzar hasta 120 cm de altura. Los resultados obtenidos son

inferiores al potencial de crecimiento de la variedad cultivada, lo cual es evidente porque según los resultados del análisis de caracterización el suelo presenta una clase textural arcillosa y un pH de 4.68 los cuales fueron mejorados por la aplicación de la enmienda que influyó de manera significativa en el crecimiento respecto al tratamiento testigo.

Figura 3.12

Prueba de Duncan de la altura de planta (cm) del cultivo de soya



b) Número de vainas por planta

El análisis de variancia del número de vainas por planta del cultivo de soya (tabla 3.13), muestra que existe diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 9.69 %, lo que indica que los datos obtenidos están dentro del rango normal del error experimental.

Tabla 3.13

Análisis de variancia del número de vainas por planta de soya

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	183.70	91.85	1.55	0.2514	ns
Niveles de dolomita	6	11657.69	1942.95	32.84	0.0001	**
Error	12	710.00	59.17			
Total	20	12551.39				

C.V. = 9.69%

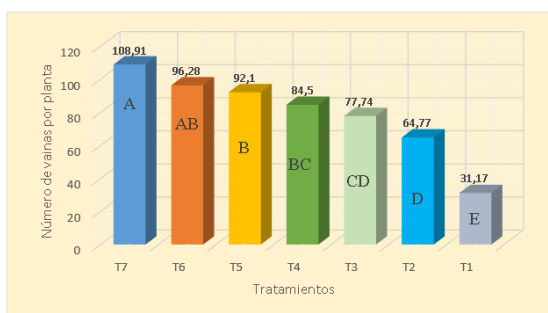
Según la figura 3.13, prueba de Duncan para número de vainas por planta de soya, se observa que el efecto residual del material encalante incrementa de manera significativa el número de vainas por planta, teniendo una relación directa a los niveles de material

encalante aplicado, donde la mayor cantidad de número de vainas se obtuvo con la aplicación de 6 t/ha de material encalante con un valor de 108.91 vainas en promedio, lo cual supera en 249% al tratamiento testigo sin enmienda, que obtuvo un valor de 31.17 vainas por planta en promedio; asimismo, con la aplicación de 1 t/ha de dolomita el número de vainas por planta supera en 107% al número de vainas del tratamiento testigo, los cuales son superiores a los resultados que obtuvo Torres (2005), quien manifiesta que el efecto residual del material encalante incrementó de manera significativa el número de vainas por planta, donde la aplicación de 1 t/ha de magnecal superó en 43.31 % al tratamiento testigo (0.0 t/ha). Asimismo, Machetti et al., (2019) en su trabajo de investigación ponen en manifiesto que la aplicación de dolomita en el cultivo de soya incrementó en 70% el número de vainas por planta respecto al tratamiento testigo.

Los resultados obtenidos ponen en evidencia el efecto residual positivo del material encalante aplicado, donde el creciente incremento del número de vainas por planta probablemente se debe a que la enmienda aplicada en la campaña anterior, mejoró las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, los cuales permitieron a la planta mejorar su potencial productivo (Barces, 2011).

Figura 3.13

Prueba de Duncan para el número de vainas por planta de soya



c) Rendimiento (kg.ha⁻¹)

La tabla 3.14 del análisis de variancia del rendimiento en grano seco de soya, muestra que existe diferencia estadística altamente significativa entre los valores de los tratamientos evaluados. El coeficiente de variabilidad es de 9.19 %, por lo que los datos obtenidos están dentro del rango aceptado para el presente trabajo de investigación.

Tabla 3.14

Análisis de varianza del rendimiento en grano seco de soya

FV	GL	SC	CM	Fc	P-valor	Sig.
Bloque	2	102425.60	51212.80	2.29	0.1432	ns
Niveles de dolomita	6	3774449.40	629074.90	28.19	0.0001	**
Error	12	267782.74	22315.23			
Total	20	4144657.74				

C.V. = 9.19 %

La figura 3.14 de la prueba de Duncan para el rendimiento (kg.ha⁻¹) en grano del cultivo de soya, muestra el efecto residual del material encalante, donde todos los tratamientos con enmienda muestran valores superiores al tratamiento testigo (0.0 t/ha) que presento un valor promedio de 762.5 kg.ha⁻¹, mientras que el mayor rendimiento 2008.33 kg.ha⁻¹ presentó el tratamiento T7 con la dosis más alta de material encalante 6 t/ha, lo que significa un incremento en el rendimiento de hasta 163 % respecto al testigo. Además, se puede observar que a partir de la aplicación de 3 t/ha de material encalante, los rendimientos del cultivo superaron los 1800 kg.ha⁻¹, resultados que son superiores a los reportados por Torres (2005), quien indico que los rendimientos del cultivo de soya por efecto residual del material encalante superaron los 1500 kg.ha⁻¹ a partir de la aplicación de 3 t/ha.

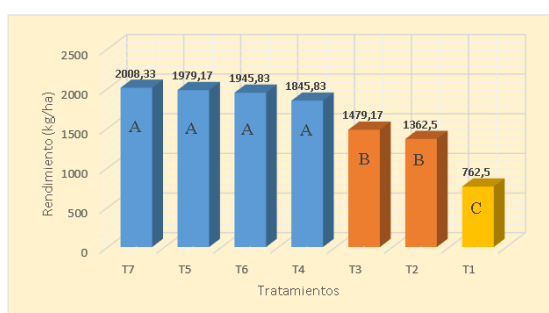
Los incrementos en el rendimiento de soya probablemente sean a las mejoras en las condiciones de pH del suelo, lo que generó una mayor disponibilidad de nutrientes en especial del calcio y magnesio que favoreció el desarrollo radicular, lo cual permitió que la

planta aproveche de manera eficiente los nutrientes disponibles, expresando en el incremento de los rendimientos (Juárez, 2016). Cabe manifestar, que, comparando las respuestas al encalado de los cultivos de maíz y soya, el maíz tuvo un incremento máximo de 74 % de rendimiento entre el testigo y la dosis más alta de material encalante, mientras que la soya presentó un incremento de 163 % más que el testigo, lo cual demuestra que la soya tuvo una mejor respuesta al encalado.

Es importante mencionar, que para el cultivo de soya no se efectuó fertilización al suelo, esperando el beneficio residual del cultivo anterior.

Figura 3.14

Prueba de Duncan del rendimiento (kg.ha⁻¹) en grano seco de soya



3.3. Análisis económico

Rentabilidad

En la tabla 3.21 se observa el beneficio/costo del cultivo de maíz amarillo, donde ninguno de los tratamientos supera el valor de 1, lo que indica que sembrar solo maíz con una enmienda encalante no es rentable. Sin embargo, en el cultivo de soya es todo lo contrario, todos los tratamientos superan el nuevo sol invertido, siendo el tratamiento T7 con la aplicación de 6 t/ha de material encalante que presentó mayor beneficio/costo con 4.89 nuevos soles (tabla 3.22), lo que nos indica que por cada 1 sol invertido se recupera 4.89 nuevos soles, superando los beneficios a los costos en 3.89 nuevos soles, lo que viene a

ser el superávit generado por la producción de una hectárea de soya en sucesión.

Por otro lado, cuando se cultiva maíz amarillo y soya en rotación se aprecia que el tratamiento T5 con aplicación de 4 toneladas de material encalante (tabla 3.23), presenta un mayor beneficio/costo con un valor de 1.30 nuevos soles, lo que indica que es rentable la siembra de maíz amarillo y soya en rotación.

Tabla 3.21

Rentabilidad del cultivo de maíz amarillo expresado en beneficio/costo

Tratamiento	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha) (Beneficio)	Rentabilidad (B/C)
T1	4529.15	308.35	0.07
T2	4999.15	532.11	0.11
T3	5329.15	989.61	0.19
T4	5659.15	2159.6	0.38
T5	5989.15	2448.35	0.41
T6	6319.15	1930.84	0.31
T7	6649.15	1694.61	0.25

Tabla 3.22

Rentabilidad del cultivo de soya expresado en beneficio/costo

Tratamiento	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha) (Beneficio)	Rentabilidad (B/C)
T1	1535.5	1895.75	1.23
T2	1535.5	4595.75	2.99
T3	1535.5	5120.765	3.33
T4	1535.5	6770.735	4.41
T5	1535.5	7370.765	4.80
T6	1535.5	7220.735	4.70
T7	1535.5	7501.985	4.89

Tabla 3.23

Rentabilidad del cultivo de maíz amarillo y soya en rotación expresado en beneficio/costo

Tratamiento	Costo total de producción (S/. ha)	Ingreso neto (S/. ha) (Beneficio)	Rentabilidad (B/C)
T1	6064.65	2204.1	0.36
T2	6534.65	5127.86	0.78
T3	6864.65	6110.37	0.89
T4	7194.65	8930.335	1.24
T5	7524.65	9819.115	1.30
T6	7854.65	9151.58	1.17
T7	8184.65	9196.59	1.12

CONCLUSIONES

1. En las propiedades químicas del suelo: El pH, Ca y Mg cambiables, aumentaron sus valores conforme se incrementa la dosis de dolomita, mientras que la acidez total, disminuye. El contenido de materia orgánica, CIC, K y Na cambiables no tuvieron respuesta a la adición de dolomita.
2. En el cultivo de maíz la aplicación de 4 t/ha de dolomita permitió alcanzar el mayor rendimiento (4687.5 kg.ha⁻¹), mientras que la altura de planta (282.33 cm) con 5 t/ha y, el mayor número de mazorcas por planta, (1.16) con 6 t/ha. En la soya el mayor rendimiento (2008.33 kg.ha⁻¹) y el mayor número de vainas por planta (108.91), se logró con la aplicación de 6 t/ha de dolomita, mientras la mayor altura de planta (89 cm) con 5 t/ha.
3. El mayor beneficio/costo obtenido en el cultivo de maíz amarillo y soya en rotación fue de 1.30 nuevos soles con la aplicación de 4 t/ha de material encalante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. EL maíz en Cuba. Cultivos Tropicales, 30 (2), 113-120.
- Barces, J., (2011). Manejo agronómico del cultivo de soya (*Glycine Max* (L) merril), en la región San Martín.
- Calva, S., (2016). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo ácido de Loreto, Orellana.
- Calva, C., & Espinoza, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. 04(01).
- Cargua-Chávez, J., Aguila-Lombeida, M., Moreno-Armijos, L., Intriago-Loor, K., Párraga-Vera, A., Cedeño-García, G., Avellan-Cedeño, B., López-Álava, G. & Ormaza-Cedeño, K. (2025). Efecto del encalado en el rendimiento forrajero y rentabilidad del maíz INIAP 543 – QPM en un suelo andisol de Ecuador.
- Chico, C., (2019). Evaluación del cambio en la capacidad de intercambio iónico de suelos ácidos por efecto del encalado.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. Primera edición.
- Torres, G. (2005). Efecto residual del encalado en segunda campaña, en el rendimiento del cultivo de soya (*Glycine max*) variedad cristalina en un suelo ultisol en el bajo mayo.
- Garbanzo-León, G., Molina-Rojas, E. & Cabalceta-Aguilar, G. (2016). Efecto de la aplicación de enmiendas líquidas en el suelo y en el crecimiento de maíz bajo condiciones de invernadero.

- Instituto Nacional de Innovación Agraria,
(2003). Ficha técnica del cultivo de
maíz amarillo duro variedad Marginal
28 Tropical.
- Juárez Contreras, L. D. P. (2016). Efecto de
dos enmiendas cálcicas y dos abonos
orgánicos en el rendimiento de la
especie forrajera *Setaria sphacelata*,
Molinopampa, Chachapoyas,
Amazonas-2015.
- Machetti, N., Pellegrini, A., Gutiérrez, N.,
Giraud, R., Tropeano, F., Fernández,
F., Vázquez, M. & Cosentino, D.
(2019). Efecto del encalado sobre las
propiedades químicas y físicas del
suelo y sobre el rendimiento de soja
(*Glycine Max*).
- Rengifo, C., (2014). Efecto de la aplicación de
enmienda orgánica y mineral sobre la
fertilidad de un suelo ácido ultisol de
la Amazonía peruana.
- Rondinel, P. (2024). Enmienda cálcica, silícica
y fuentes fosfóricas en características
químicas y productividad de suelo
ácido de selva. Pichari, Cusco 2021.
- Zapata H., R. D. (2004). La química de la
acidez del suelo. [Versión Pdf]. Ed.
Cargraphics. Medellín, Cali,
Colombia. 208:12, 113-123pp.