UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Agronomía

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO

"EFECTO SINÉRGICO DEL N/S EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ AMILÁCEO VARIEDAD LOCAL *(Zea mays* L.*)* EN EL CENTRO POBLADO EL CHOLOCAL, DISTRITO DE CACHACHI, PROVINCIA CAJABAMBA"

Presentado por

BACHILLER: **MARIN ANIBAL CALLA TANTA**

ASESOR: **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA**

CAJAMARCA – PERÚ

2025

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. **Investigador:** Marin Anibal Calla Tanta
   DNI: 48092627
   Escuela Profesional/Unidad UNC: Agronomía
2. **Asesor:** Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
3. **Facultad/Unidad UNC:** Ciencias Agrarias
4. **Grado académico o título profesional:**

   ☐Bachiller ☒Título profesional ☐Segunda especialidad

   ☐Maestro ☐Doctor

5. **Tipo de Investigación:**

   ☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional

   ☐ Trabajo académico

6. **Título de Trabajo de Investigación**: "EFECTO SINÉRGICO DEL N/S EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ AMILÁCEO VARIEDAD LOCAL *(Zea mays L.)* EN EL CENTRO POBLADO EL CHOLOCAL, DISTRITO DE CACHACHI, PROVINCIA CAJABAMBA"
7. **Fecha de evaluación:** 17/05/2025
8. **Software antiplagio:** ☒**TURNITIN** ☐ **URKUND (OURIGINAL)** ***(*)***
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 16%
10. **Código Documento:** oid:3117:460085088
11. **Resultado de la Evaluación de Similitud**: 16%

    ☒**APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 20/05/2025

Firma y/o Sello
Emisor Constancia

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
26620894

** En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los ocho días del mes de mayo del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 169-2025-FCA-UNC, de fecha 22 de abril del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTO SINÉRGICO DEL N/S EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ AMILÁCEO VARIEDAD LOCAL (*Zea mays* L.) EN EL CENTRO POBLADO EL CHOLOCAL, DISTRITO DE CACHACHI, PROVINCIA CAJABAMBA"**, realizada por el Bachiller **MARIN ANIBAL CALLA TANTA** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las once horas y cinco minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las doce horas y quince minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Isidro Rimarachín Cabrera
PRESIDENTE

Dr. Wilfredo Poma Rojas
SECRETARIO

Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres José y Esperanza y mis hermanos. Este logro lleva el eco de su amor, su sacrificio y sus enseñanzas. Cada palabra escrita en estas páginas es un reflejo de su esfuerzo, de sus sacrificios silenciosos, y de la fuerza con la que me han impulsado a alcanzar mis sueños.

Esta victoria es nuestra.

MARIN CALLA TANTA

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme sabiduría y guiarme por el buen sendero de la vida

A mis padres, por su amor incondicional y por ser mis pilares más fuertes. Este éxito es tanto suyo como mío.

A mis hermanos, quienes han sido mis compañeros de vida y mis más grandes aliados. Gracias por sus palabras de aliento.

Al Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia, mi más sincero agradecimiento por su valiosa orientación, apoyo y paciencia durante todo este proceso. Su compromiso fue fundamental para que este proyecto se hiciera realidad.

¡Gratitud Eterna!

MARIN CALLA TANTA

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO **Página**

RESUMEN **1**
SUMMARY **2**

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN **3**
1.1 Descripción del problema 4
1.2 Formulación del problema 4
1.3 Justificación 5
1.4 Objetivos de la investigación 6
1.4.1 Objetivo General 6
1.4.2 Objetivos Específicos 6
1.5 Hipótesis 6

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA **7**
2.1 Antecedentes 7
2.2 Marco teórico 10
2.2.1 Origen y distribución del maíz (Zea mays L.) 10
2.2.2 Clasificación taxonómica del maíz 10
2.2.3 Descripción Botánica del maíz 10
2.2.4 Requerimientos climáticos del maíz 11
2.2.4 Suelo 12
2.2.5 Requerimiento nutricional 13
2.2.6 Fertilización 13
2.2.7 Efecto sinérgico entre nitrógeno y azufre 15
2.3 Definición de términos 16

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS **17**
3.1 Ubicación del experimento 17
3.2 Materiales 18
3.3 Análisis de suelo 18
3.4 Variables 19

3.5 Metodología 19
3.5.1 Conducción del terreno *19*
3.5.2 Parámetros de Evaluación *21*
3.5.3 Descripción de tratamientos y diseño experimental *22*
3.5.4 Distribución de las parcelas y bloques *23*

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25
4.1 Análisis estadístico de características agronómicas del cultivo de maíz 25
4.1.1 Altura de planta *26*
4.1.2 Número de mazorcas por planta *30*
4.1.3 Peso de mazorcas (kg ha-1) con brácteas *33*
4.1.4 Peso de mazorcas (kg ha-1) sin brácteas *38*
5.1.1 Longitud (cm) de mazorca *43*
5.1.2 Diámetro de mazorcas *48*
5.1.3 Peso de grano por mazorca *51*

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 55
5.1 Conclusiones 55
5.2 Recomendación 55

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA 57
ANEXOS 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla **Título** **Página**

Tabla 1 Dosis de N, P, K, S por ha-1 ..... **22**

Tabla 2 Dosis de tratamientos que se utilizaron en el estudio **22**

Tabla 3 Cálculo de dosis utilizados en gramos por cada tratamiento **23**

Tabla 4 Medidas de campo experimental **23**

Tabla 5 Resultados de altura de planta, numero de mazorcas, peso de mazorcas con brácteas, peso de mazorcas sin brácteas, longitud y diámetro de mazorcas y peso de granos por mazorca. **25**

Tabla 6 Prueba de Tukey para la altura (m) de planta **26**

Tabla 7 Análisis de varianza para la altura (m) de planta **27**

Tabla 8 Número de mazorcas por planta **30**

Tabla 9 Análisis de varianza para el número de mazorcas por planta **31**

Tabla 10 Prueba de Tukey para el peso (kg ha-1) de mazorcas con brácteas **33**

Tabla 11 Análisis de varianza para el peso (kg ha-1) de mazorcas con brácteas **34**

Tabla 12 Prueba de Tukey para el peso (kg ha-1) de mazorcas sin brácteas **38**

Tabla 13 Análisis de varianza para el peso (kg ha-1) de mazorcas sin brácteas **39**

Tabla 14 Prueba de Tukey para la longitud (cm) de mazorcas sin brácteas **43**

Tabla 15 Análisis de varianza para la longitud de mazorcas sin brácteas **45**

Tabla 16 Prueba de Tukey para el diámetro de mazorcas sin brácteas **48**

Tabla 17 Análisis de varianza para el diámetro de mazorcas sin brácteas **49**

Tabla 18 Prueba de Tukey para el peso de granos por mazorca **51**

Tabla 19 Análisis de varianza para el peso de granos por mazorca **52**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura **Título** **Página**

Figura 1 Ubicación del área de estudio **.....17**

Figura 2 *Resultado de análisis de suelos* **.....18**

Figura 3 Distribución de tratamientos **.....24**

Figura 4 Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en la altura de planta **.....28**

Figura 5 Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en el rendimiento de mazorcas con brácteas **.....35**

Figura 6 Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en el rendimiento de mazorcas sin brácteas **.....41**

Figura 7 Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en la longitud de mazorcas sin brácteas **.....46**

Figura 8 Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en el diámetro de mazorcas sin brácteas **.....50**

Figura 9 Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en el peso de granos por mazorca**.....53**

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar efecto sinérgico del N/S en el rendimiento del cultivo de maíz amiláceo variedad local (*Zea mays* L.) en el centro poblado El Cholocal, distrito de Cachachi, provincia Cajabamba. Se utilizaron tres dosis de nitrógeno N (160 kg ha-1, 200 kg ha-1 y 240 kg ha-1), dos dosis de azufre S (3 kg ha-1, 5 kg ha-1) y un testigo. La distribución de los tratamientos fue: T1 (160 kg ha-1 ha N – 3 kg ha-1 S), T2 (160 kg ha-1 ha N – 5 kg ha-1 S) T3 (200 kg ha-1 ha N – 3 kg ha-1 S), T4 (200 kg ha-1 ha N – 5 kg ha-1 S), T5 (240 kg ha-1 ha N – 3 kg ha-1 S), T6 (240 kg ha-1 ha N – 5 kg ha-1 S). Se utilizó el diseño de tres bloques completamente al azar. Cada tratamiento se distribuyó en parcelas de 36 plantas cada uno. En la cosecha se evaluaron las variables: altura de planta, número de mazorcas por planta, peso de mazorca con brácteas y sin brácteas, diámetro y longitud de mazorcas y peso de granos. El tratamiento T2, origino una mayor altura de planta, con un promedio 3.55 metros. El número de mazorcas se mantuvo constante en los tratamientos y testigo. El mayor rendimiento de mazorcas con brácteas se obtuvo con el tratamiento T5, con un peso de 15299.00 kg ha-1. El mayor rendimiento de mazorcas sin brácteas se obtuvo con el tratamiento T5, con peso de 11516.67 kg ha-1. El tratamiento T5 genero la mayor longitud de la mazorca con un valor de 33.08 cm. El mayor diámetro se obtuvo con el tratamiento T5 con un valor de 5.74 cm. En el peso de granos se obtuvo el mayor rendimiento con el tratamiento T5 con un peso promedio de 312.00 g.

Palabras claves: Maíz, nitrógeno, azufre, sinergismo, rendimiento, peso de mazorcas.

SUMMARY

The objective of the research was to evaluate the synergistic effect of N/S on the yield of local variety starchy corn (Zea mays L.) in the Cholocal town center, Cachachi district, Cajabamba province. Three doses of nitrogen N (160 kg ha-1, 200 kg ha-1 and 240 kg ha-1), two doses of sulfur S (3 kg ha-1, 5 kg ha-1) and a control were used. The distribution of the treatments was: T1 (160 kg ha-1 ha N – 3 kg ha-1 S), T2 (160 kg ha-1 ha N – 5 kg ha-1 S) T3 (200 kg ha-1 ha N – 3 kg ha-1 S), T4 (200 kg ha-1 ha N – 5 kg ha-1 S), T5 (240 kg ha-1 ha N – 3 kg ha-1 S), T6 (240 kg ha-1 ha N – 5 kg ha-1 S). The design of three completely randomized blocks was used. Each treatment was distributed in plots of 36 plants each. At harvest, the variables were evaluated: plant height, number of ears per plant, weight of ears with and without bracts, diameter and length of ears, and grain weight. Treatment T2 caused a greater plant height, with an average of 3.55 meters. The number of ears remained constant in the treatments and control. The highest yield of ears with bracts was obtained with treatment T5, with a weight of 15299.00 kg ha-1. The highest yield of ears without bracts was obtained with treatment T5, with a weight of 11516.67 kg ha-1. The T5 treatment generated the greatest length of the cob with a value of 33.08 cm. The largest diameter was obtained with the T5 treatment with a value of 5.74 cm. In grain weight, the highest yield was obtained with the T5 treatment with an average weight of 312.00 g.

Keywords: Corn, nitrogen, sulfur, synergism, yield, cob weight.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo (Simon y Golik, 2018)

El maíz se cultiva en una variedad de condiciones agroecológicas, desde las zonas tropicales hasta las templadas, siendo uno de los principales productos agrícolas en países como Estados Unidos, China, Brasil y México (FAO, 2020).

En el Perú, la producción de maíz amiláceo tiene lugar en casi la totalidad de los departamentos del país; no obstante, el 86% de la producción nacional se concentra en nueve departamentos, Cusco (21%), Apurímac (16%), Huancavelica (10%), Cajamarca (9%), La Libertad (8%), Ayacucho (7%), Piura (5%), Huánuco (5%) y Junín (5%) (MIDAGRI, 2023).

El comportamiento productivo de este cultivo depende en gran medida de la interacción de factores como el tipo de suelo, las condiciones climáticas, el manejo agronómico, y el uso de insumos, tales como los fertilizantes, que son fundamentales para garantizar la disponibilidad de nutrientes esenciales para su desarrollo (Bermúdez et al., 2020).

Los rendimientos están condicionados por factores genéticos y nutricionales, en especial de nitrógeno (N), la aplicación incorrecta puede afectar el rendimiento del grano o causar daños ambientales (López et al., 2022)

1.1 Descripción del problema

El maíz (*Zea mays* L.) amiláceo, como uno de los cultivos más consumidos y comercializados en todo el mundo, es fundamental para la seguridad alimentaria, especialmente en países en desarrollo donde constituye la base de la alimentación de millones de personas. Sin embargo, la capacidad productiva del maíz está limitada por diversos factores agronómicos, entre los que destacan las deficiencias nutricionales, que afectan directamente el rendimiento y la calidad del grano (FAO, 2020).

En el caso específico de la región andina, la falta de una nutrición adecuada en los cultivos de maíz es uno de los problemas recurrentes que enfrentan los pequeños y medianos agricultores. En muchas de estas zonas, las deficiencias de nitrógeno y azufre en los suelos son comunes debido a la baja fertilidad natural, el manejo insuficiente de fertilizantes y la limitada accesibilidad a tecnologías de fertilización eficiente (Vera *et al*., 2019).

En el centro poblado El Cholocal, ubicado en el distrito de Cachachi, provincia Cajabamba una de las preocupaciones de los agricultores es la baja producción que obtienen, el cual, condiciona sus ingresos económicos y calidad de vida. Los productores han venido buscando diferentes posibilidades para incrementar el rendimiento. Una de las alternativas para obtener mejores rendimientos, es determinar el efecto sinérgico que se puede obtener entre el nitrógeno y azufre.

1.2 Formulación del problema

¿Existe efecto sinérgico entre el nitrógeno y el azufre para incrementar el rendimiento de maíz amiláceo *(Zea mayz* L.*)* en el centro poblado El Cholocal, distrito de Cachachi, provincia Cajabamba?

1.3 Justificación

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el propósito de incrementar el rendimiento del cultivo de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) variedad local, mediante la aplicación conjunta de tres dosis de nitrógeno y dos dosis de azufre. Esta zona presenta rendimientos bajos a pesar del esfuerzo de los agricultores, lo cual afecta directamente su economía y seguridad alimentaria.

A través de esta investigación, se busca identificar cuál de las combinaciones genera una respuesta positiva en el rendimiento, evaluando variables agronómicas claves como el número de mazorcas, altura de planta, peso de mazorcas, diámetro y longitud de mazorcas y peso del grano.

Este estudio será de gran utilidad para los productores de la zona, ya que les brindará información práctica sobre cómo mejorar sus sistemas de fertilización. Asimismo, los resultados podrán ser considerados por instituciones públicas y privadas interesadas en fortalecer la producción agrícola local y fomentar prácticas más eficientes y sostenibles.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Determinar el efecto sinérgico del N/S en el rendimiento del cultivo de maíz amiláceo variedad local (*Zea mays* L.) en el centro poblado El Cholocal, distrito de Cachachi, provincia Cajabamba.

1.4.2 Objetivos Específicos

Determinar el efecto sinérgico de tres dosis de nitrógeno (N) y dos dosis de azufre (S) en el rendimiento del cultivo de maíz amiláceo variedad local (*Zea mays* L.) en el centro poblado El Cholocal, distrito de Cachachi, provincia Cajabamba.

Determinar el efecto sinérgico de tres dosis de nitrógeno (N) y dos dosis de azufre (S) en del cultivo de maíz amiláceo variedad local (*Zea mays* L.) en el centro poblado El Cholocal, distrito de Cachachi, provincia Cajabamba, en los parámetros: altura de planta, número de mazorcas, peso de mazorcas con brácteas, peso de mazorcas sin brácteas, longitud de mazorcas, diámetro de mazorcas y peso granos por mazorca.

1.5 Hipótesis

La aplicación de nitrógeno y azufre en efecto sinérgico incrementa el rendimiento del cultivo de maíz amiláceo variedad local *(Zea mayz* L.*)* en el centro poblado el Cholocal, distrito de Cachachi, Provincia Cajabamba.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

Barrios et al. (2019), en un estudio realizado en Venezuela, evaluaron el “efecto de la fertilización nitroazufrada sobre el rendimiento y la calidad de tres genotipos de maíz con diferentes texturas de endospermo”. El experimento se llevó a cabo bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que el híbrido con endospermo semidentado (blando), DK-5277, alcanzó el mayor rendimiento (10.274 kg ha^{-1}) al aplicarse una dosis de fertilización de 200 kg ha^{-1} de nitrógeno (N) y 50 kg ha^{-1} de azufre (S). Los autores concluyeron que todos los genotipos evaluados lograron sus máximos rendimientos bajo el tratamiento con N200S50, lo que evidencia el efecto positivo de la interacción entre estos dos nutrientes en el cultivo de maíz.

Salazar e Inguilán (2013), en un estudio realizado en Nariño, Colombia, evaluaron el efecto del azufre sobre el rendimiento del maíz (Zea mays L.) en suelos de Pupiales. El experimento se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar, con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados indicaron que el tratamiento SAM100 (Sulfato de Amonio a 100 kg ha^{-1}) presentó una diferencia estadísticamente significativa respecto a los demás tratamientos, alcanzando el mayor rendimiento con 3701,45 kg ha^{-1}. Asimismo, los tratamientos SAM50, S100 y S50 también mostraron rendimientos destacados, con 3205,79; 2776,34 y 2440,29 kg ha^{-1}, respectivamente, siendo estadísticamente similares entre ellos y distintos del resto. Los autores concluyeron que las plantas fertilizadas con Sulfato de Amonio y Azufre elemental, en ambas dosis evaluadas, registraron los mejores resultados en variables de crecimiento como la altura de planta y el número de nudos.

Silva (2021), en su proyecto de investigación realizado en Cieneguillo, Sullana, ““Aplicación de tres dosis de nitrógeno en dos densidades de siembra para maíz amiláceo *(Zea*

mays L.) Cieneguillo, Sullana -2019". el experimento se diseñó bajo un enfoque de bloques completos al azar. Los resultados revelaron que la combinación de 200 kg ha^{-1} de nitrógeno y una densidad de siembra de 93 750 plantas ha^{-1} resultó en el mayor rendimiento de grano seco, alcanzando 7 935 kg ha^{-1}. Asimismo, se encontraron diferencias altamente significativas entre las dosis de nitrógeno, con un rendimiento de 7 722 kg ha^{-1} para la dosis más alta, y entre las densidades de siembra, que alcanzaron un máximo de 7 407 kg ha^{-1}. El estudio concluyó que la adecuada combinación de estos factores agronómicos mejora de manera significativa la productividad del maíz amiláceo, destacándose especialmente la interacción entre la dosis de nitrógeno y la densidad de siembra.

Castro (2018), en su investigación realizada en el Valle del Medio Piura, evaluó "Momentos de aplicación de la fertilización nitrogenada a base de sulfato de amonio en el cultivo de maíz choclo (*Zea mays* L.) en el valle del medio Piura" El estudio se utilizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar. Los resultados demostraron que los momentos más efectivos para la aplicación del nitrógeno fueron a los 15 días después de la siembra, así como en el momento del deshierbe y el aporque. Bajo estas condiciones, se obtuvo el mayor rendimiento en peso de choclo, alcanzando 16 887 kg ha^{-1}, y también se observó el mayor número de choclos por hectárea, con un promedio de 74 740 unidades. Estos hallazgos sugieren que la correcta temporalización de la fertilización nitrogenada es crucial para maximizar el rendimiento en el cultivo de maíz choclo.

Pérez (2004), en su proyecto de investigación en Ucayali "Influencia de niveles de azufre en el rendimiento de choclo y grano de maíz ACP (*Zea mays* L.) con dos densidades de siembra en un entisols" utilizando el diseño experimental de bloques completos al azar. Los tratamientos con nitrógeno y potasio (NK) más azufre (S) lograron rendimientos de 6.59 a 6.49 t ha^{-1}, superiores al control sin fertilizar (4.49 t ha^{-1}). En cuanto al rendimiento de choclo, la densidad de 50 000 plantas ha^{-1} alcanzó 12.98 t ha^{-1} y 41 296 choclos, superando a la densidad de 41

666 plantas ha^{-1} (11.74 t ha^{-1} y 35 786 choclos). Para el grano, los tratamientos con NK y azufre variaron entre 13.03 y 12.95 t ha^{-1}, mientras que el control sin fertilizar presentó 9.37 t ha^{-1}. Además, el contenido de proteína en el grano seco aumentó del 5.0 % en el control al 9.4 % con 20 kg de S ha^{-1}, representando un incremento del 4.4 %. Se concluyó que la densidad de 50 000 plantas ha^{-1} es la más adecuada para optimizar la producción.

Cabrera (2023). En su tesis realizada en Cajamarca en “Microorganismos eficaces en la productividad de maíz choclero inía 603 (*Zea mays* L.) en la estación experimental agraria – baños del inca, Cajamarca” Para ello, utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos. Los resultados obtenidos indicaron que el abonamiento químico, junto con la aplicación de microorganismos eficaces (EM) combinados con 20 kg ha^{-1} de P, así como la mezcla de EM y E (efectivos), presentaron efectos similares sobre el rendimiento de maíz. El estudio concluyó que el mayor rendimiento en maíz amiláceo INIA 603 se obtuvo al aplicar el tratamiento con abonamiento químico para completar la dosis de N - P_2O_5 - K_2O, alcanzando un rendimiento de 2 773.73 kg ha^{-1}.

Vásquez (2019) En su proyecto desarrollado en la provincia de Cutervo titulada “Efecto de tres dosis de fertilización en el rendimiento de tres variedades de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) en tres localidades del distrito de Cutervo, 2016-2017”, Utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con nueve tratamientos y tres repeticiones. La variedad local alcanzó los mayores rendimientos con las dosis de 110-50-40 y 105-48-34 de NPK, obteniendo 8.19 y 7.26 t ha^{-1}, respectivamente, seguida de la variedad INIA 603 con 7.01 t ha^{-1}. La variedad INIA-601, sin fertilización, solo logró 5.01 t ha^{-1}. En cuanto a las localidades, Valle Conday presentó los mejores rendimientos (9.03 y 7.90 t ha^{-1}), seguida de Lirio Bajo (7.85 t ha^{-1}), mientras que Chaquil registró los más bajos (4.58, 3.93 y 3.31 t ha^{-1}).

2.2 Marco teórico

2.2.1 Origen y distribución del maíz (Zea mays L.*)*

El maíz es considerado uno de los cultivos más antiguos y se cultiva en las partes altas de México, así como en las zonas altoandinas de Sudamérica, principalmente en Perú, Ecuador y Bolivia. El grano de estas variedades está compuesto casi en su totalidad por almidón de textura suave y ligera, aunque también es altamente susceptible al ataque de insectos (INIA, 2021).

2.2.2 Clasificación taxonómica del maíz

Quispe (2023). Lo clasifica de la siguiente manera

Reino: Plantae
División: Angiospermae
Clase: Monocotyledoneae
Subclase: Commelinidae
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Subfamilia: Panicoideae
Tribu: Androponeae
Género: Zea
Especie: Zea mays

2.2.3 Descripción Botánica del maíz

Raíces. Son fasciculadas, proporciona a la planta un anclaje perfecto, suelen sobresalir nudos de las raíces adventicias a nivel del suelo, además provee a la planta de alimentos (INATEC, 2018)

Tallos. Sirve de soporte a hojas, flores y furtos, la función es transportar, sales minerales desde la raíz hasta la parte aérea de la planta. se compone de una pared de haces vasculares, epidermis protectora y una médula con tejido esponjoso de color blanco (Obando, 2019)

Hojas. Las hojas, se disponen de manera alterna a lo largo del tallo y cada hoja consiste en la lámina foliar de forma alargada y lanceolada, que posee una marcada nervadura central y venas delgadas paralelas; la vaina foliar, que rodea el entrenudo; y el cuello o lígula que une a la lámina y a la vaina (INIA, 2021)

Inflorescencia. Es monoica posee flores femeninas y masculinas en la misma planta, pero de forma separada. La flor masculina está ubicada en la parte alta de la planta y tiene forma de panícula. La flor femenina es la que se convertirá en mazorca y está situada en la parte media de la planta (Urbina, 2015)

Mazorca. Es compacta y protegida por un conjunto de hojas transformadas y en la mayor parte de los casos éstas las cubren por completo (Ortigoza et al., 2019)

2.2.4 Requerimientos climáticos del maíz

Temperatura. Requiere temperaturas máximas entre 18°C y 21°C en los meses de producción. En fases de crecimiento vegetativo, puede tolerar temperaturas mínimas de hasta 3°C; sin embargo, a temperaturas entre 1°C y -2°C el cultivo es resistente, pero con una reducción significativa en la producción de grano. En fases de maduración las heladas meteorológicas no afectan al cultivo si los granos cuentan con el 60% de materia seca (Senamhi, 2021)

Agua. Es considerada como el vehículo de transporte y distribución de elementos nutritivos, absorbidos por las raíces, para el interior de la planta interviniendo directamente en la reacción fotosintética y formación de fotosintatos. La falta de agua en las primeras etapas del cultivo, puede resultar en la reducción del número de plantas por hectárea. El momento crítico

del cultivo, que demanda suficiente disponibilidad de agua, es dos semanas antes de la floración, antes que la panoja comience a liberar polen, y la mazorca emita los primeros estigmas; hasta dos semanas después de la floración. La falta de agua en este periodo, puede reducir drásticamente la producción de grano por unidad de superficie. (INIA, 2021)

Radiación Solar. La relación entre la radiación solar y el rendimiento del cultivo es directa, es decir, a mayor radiación solar, mayor rendimiento y viceversa. Por esa razón, resulta imprescindible lograr que la población de plantas en un campo de maíz, una vez que alcancen su máximo tamaño, capture casi totalmente la luz solar. Para ello, se debe verificar que, al mediodía, cuando los rayos de sol se proyectan casi verticalmente sobre la tierra y no se vea que caen en la superficie del terreno (INIA, 2021)

2.2.4 Suelo

Características Físicas. El maíz se adapta muy bien a todo tipo de suelo, sin embargo, para su adecuado crecimiento y desarrollo, suelos con valores de pH entre 6 y 7 son los adecuados. Rinde más en suelos profundos, ricos en materia orgánica y con buen drenaje. Los suelos aptos para hacer agricultura están compuestos en gran parte por partículas de origen mineral como arena, limo y arcilla (45 %), agua (25 %), aire (25 %) y materia orgánica (5 %); pero la proporción de estos componentes es variable. En conjunto, la proporción en que se encuentran estos tres tipos de partículas le dan al suelo una textura determinada, es por ello la presencia de suelos esencialmente con textura arenosa, limosa y arcillosas. A medida que el contenido de materia orgánica aumenta se mejora la estructura del suelo, ya que esta interviene como aglomerante y estabilizadora de las partículas del suelo, mejorando su capacidad de retención de agua (INIA, 2021).

Acidez o Alcalinidad del Suelo. Tanto la acidez como la alcalinidad se miden a través del pH, que expresa la actividad de los iones hidrógeno en una solución. El pH afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, así como a muchos procesos del suelo. Se mide en una escala de 0 a 14, clasificando a los suelos como suelos extremadamente ácidos (pH < 4.5), fuertemente ácidos (4.5 a 5.5), medianamente ácidos (5.6 a 6), ligeramente ácido (6.1 a 6.5), neutros (6.6 a 7.3), medianamente bácicos (7.4 a 7.8), básicos (7.9 a 8.4), ligeramente alcalinos (8.5 a 9), alcalinos (9.1 a 10) y fuertemente alcalinos (pH > 10) (Edafología, 2020)

Un suelo óptimo para la agricultura es aquel que tiene un pH entre 5.5 y 7. Sin embargo, el rango de los suelos agrícolas de la sierra del país se ubica generalmente entre 4 y 10, referida a los valles interandinos altos y zonas intermedias, ubicados ente 2 200 y 4 000 m s. n. m (INIA, 2021).

El rango más apropiado de pH del suelo depende del cultivo, siendo que para el cultivo del maíz está entre 5.5 y 6; fuera de este rango, la disponibilidad de la mayoría de los elementos químicos disminuye o también pueden estar en cantidades excesivas produciendo toxicidad, reduciendo en ambos casos la fertilidad del suelo (INIA, 2021).

2.2.5 Requerimiento nutricional

Se debe identificar la edad o etapas de desarrollo de la planta, para saber qué cantidad de nutriente necesita en cada una de ellas. Los altos rendimientos del cultivo exigen concentraciones mayores de estos elementos, que en el caso del cereal son los principales: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Zinc, Azufre, Calcio y Magnesio, la deficiencia de cualquiera de estos elementos tiene el potencial de reducir el desarrollo y rendimiento del cultivo (Del Monte, 2017)

El número de granos por unidad de superficie, influido por la tasa de crecimiento del cultivo en la etapa de floración, es el principal factor que determina el rendimiento del maíz. Para maximizar la productividad, es necesario que el cultivo alcance un desarrollo fisiológico adecuado

durante la floración, caracterizado por una cobertura total del suelo y una conversión eficiente de la radiación solar en biomasa. Además, la disponibilidad de nutrientes desde fases tempranas particularmente a partir de las cinco o seis hojas favorece el crecimiento foliar y la eficiencia fotosintética. Por ello, conocer los requerimientos nutricionales del cultivo y la oferta del suelo es fundamental para una fertilización eficiente (García, 2005).

2.2.6 Fertilización

Aguirre (2017). La fertilización es importante especialmente cuando se emplea hibrido o cultivares mejorados para aprovechar al máximo su alta capacidad de rendimiento.

Nitrógeno (N). Entre los elementos esenciales para el cultivo de maíz es el nitrógeno (N), es importante que las plantas en desarrollo tengan un suministro suficiente de dicho, ya que dependerá de éste el rendimiento que se obtenga, y es importante que la planta no tolere de escasez o excesos del mismo (Pereira, et al. 2023)

Es el elemento que da vigor a las plantas, favorece la fotosíntesis, el crecimiento y la acumulación de proteínas en el grano. El N en el suelo se encuentra en forma orgánica, y para ser absorbido por la planta es necesario la mineralización de los residuos orgánicos, la cual es realizada por microorganismos del suelo. Su absorción se realiza en todo el ciclo vegetativo, sin embargo, es mayor en la etapa de floración. Por esta razón, se recomienda aplicarlo en forma fraccionada, para el mejor aprovechamiento por la planta (INIA, 2021)

Fosforo (P). El fósforo, forma parte de la estructura celular e interviene en el transporte de energía, por lo que su requerimiento es mayor durante las fases iníciales del crecimiento, donde la actividad celular es intensa, y en tejidos con gran actividad metabólica. El fósforo es tomado por las plantas como H2PO, y se acumula en la planta de maíz en la misma relación con que acumula materia seca. Se estima que, al momento de la cosecha, alrededor del 75 % del fósforo total acumulado en la planta, está en el grano (INIA, 2021)

Potasio (K). El potasio, es un elemento usado por la planta en grandes cantidades y es esencial para un crecimiento vigoroso. Su presencia está relacionada a una mejor estructura celular, pero no forma parte de algún compuesto orgánico de la planta (INIA, 2021)

Azufre (S). El azufre es un componente vital de cada célula viviente y forma parte de varios aminoácidos, como la cistina. Sin él, las plantas no pueden desempeñar sus funciones básicas. Es un macromineral y se clasifica como un mineral secundario, debido a las cantidades que necesitan las plantas y los animales, pero es imprescindible para las proteínas que requieren las plantas, como parte de su estructura y de algunas hormonas y aceites (Quispe Cusi et al., 2016)

El S es un componente importante de la Ferredoxina, que participa en importantes procesos fisiológicos y bioquímicos en las plantas tales como fotosíntesis, síntesis de glutamato, fijación de nitrógeno y reducción de nitratos. El azufre es un macronutriente, que deben estar disponibles en relativamente grandes cantidades para garantizar crecimiento del cultivo (Canales et al., 2021)

Se presenta en el suelo en forma inorgánica (sulfatos y sulfitos) y orgánica, como componente de la materia orgánica. A pesar de ser absorbido en la forma oxidada, es reducido en el interior de la planta formando aminoácidos y enzimas, sobre todo en la clorofila (INIA, 2021)

2.2.7 Efecto sinérgico entre nitrógeno y azufre

Un nivel de suficiencia de azufre es clave para mejorar el uso del nitrógeno por las plantas. Al igual que en potasio, niveles deficitarios de azufre ocasionan una acumulación de nitratos, aminoácidos y aminas debido a la reducción de la biosíntesis de proteínas, que causa una menor conversión de compuestos nitrogenados a proteínas. Dichos compuestos nitrogenados solubles, en los tejidos vegetales ejercen un efecto negativo en la absorción de nitrógeno por la raíz. El azufre y el nitrógeno son sinérgicos y se deben aplicar al mismo tiempo al igual que potasio. El

azufre favorece el aprovechamiento y la absorción de una mayor cantidad de nitrógeno por kilogramo de fertilizante nitrogenado aplicado. Muy pocas veces se aplica azufre, esto hace que la eficiencia de absorción del nitrógeno sea baja y las dosis de aplicación incrementen, al igual que los costos. Además, se contribuye a la contaminación del ambiente (Intagri, 2016)

El azufre (S) y el nitrógeno (N) son componentes esenciales que forman parte de la estructura de enzimas y proteínas de reserva en los granos. La fuente principal de estos nutrientes es la materia orgánica, cuyos contenidos han caído en las últimas décadas como consecuencia del proceso de agriculturización con uso de labranzas. Además, los altos rendimientos obtenidos como consecuencia de la intensificación agrícola, ha puesto de relieve la fertilización con azufre, la cual forma parte de los planes de fertilización de los principales cultivos (Fertilizar, 2013).

2.3 Definición de términos

Efecto sinérgico. Interacción positiva entre factores como nutrientes o microorganismos que, al combinarse, producen un resultado superior al de sus efectos individuales (COMPO EXPERT, 2025).

Rendimiento. Es uno de los datos más importantes a la hora de determinar la producción agrícola, tanto para ajustar sus estrategias comerciales, como para adecuar las logísticas de cosecha y postcosecha (Vargas et. al, 2022)

Fertilizantes. Técnica de cultivo busca aplicar enmiendas o fertilizantes (orgánicos e inorgánicos) al suelo o a la planta para obtener altos rendimientos y frutos de calidad, minimizando el impacto ambiental y reduciendo costos (García, 2015).

Maíz amiláceo. Maíz con alto contenido de almidón, utilizado principalmente para la producción de harina y almidón industrial (FAO, 2020).

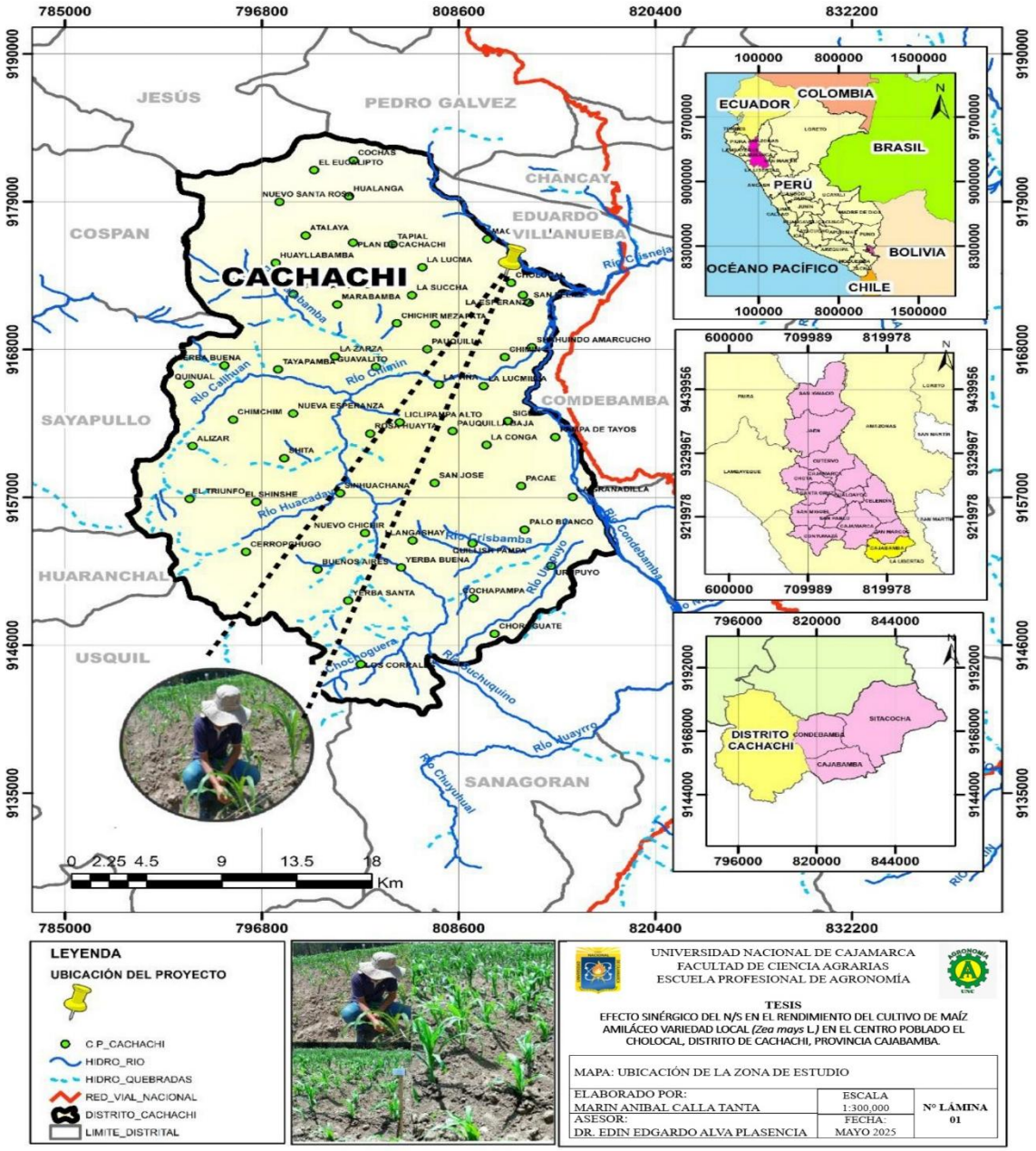
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El trabajo de investigación fue realizado en el centro poblado el Cholocal, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba a una altitud de 2045 m.s.n.m.

Figura 1

Ubicación del área de estudio.



3.2 Materiales

De campo

Palana, machete, lampa, wincha, balanza, baldes, libreta de apuntes, lapicero, cámara fotográfica, teléfono celular, estacas, cordel, etiquetas.

Biológico

Semilla de maíz amiláceo *(Zea maíz* L.*)*

De Gabinete

Laptop, vernier, hojas bom, balanza, calculadora, lapiceros, lápiz, borrador, teléfono.

Insumos

Urea, Superfosfato triple, Cloruro de potasio, azufre, insecticidas para controlar plagas, fungicida para controlar enfermedades.

3.3 Análisis de suelo

Figura 2

Resultado de análisis del suelo

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU2015-BI-24	--	--	--	--	--
Matriz Analizada			Suelo	•	•	•	•	•
Fecha de Muestreo			2024-08-16	•	•	•	•	•
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			17:00	•	•	•	•	•
Condición de la muestra			Conservada	•	•	•	•	•
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			PARCELA 1	•	•	•	•	•
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
pH.	unid. pH	0,1	7,9	•	•	•	•	•
Acidez Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,5	••	•	•	•	•	•
Aluminio Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,5	••	•	•	•	•	•
Carbonato De Calcio Equivalente	%	0,5	18,3	•	•	•	•	•
Materia Organica	%	0,1	3,3	•	•	•	•	•
Fósforo Disponible	mg/kg	0,5	9,8	•	•	•	•	•
Conductividad Electrica	mS/m	1,0	20,0	•	•	•	•	•
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/g	0,1	1,8	•	•	•	•	•
Potasio disponible (*)	mg/kg	0,5	56,7	•	•	•	•	•

Nota: resultados emitidos por la institución INIA Baños del Inca - Cajamarca

3.4 Variables

3.4.1 Variables independientes

Nitrógeno (N)

Azufre (S)

3.4.2 Variables dependientes

Rendimiento. Número de mazorcas por planta, peso de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso de granos por mazorca.

3.5 Metodología

3.5.1 Conducción del terreno

Preparación del Terreno. Las labores necesarias para la preparación del terreno se llevaron a cabo en diferentes etapas en el mes de julio 2024. Iniciando con el recojo de restos de la cosecha anterior, dejando así el terreno en óptimas condiciones para la primera arada.

se realizaron dos aradas, con la finalidad de dejar bien preparado el terreno (libre de terrones, desniveles, bien mullido, profundidad aproximada de 30 cm.), estas labores se realizaron de forma mecanizada.

Selección de Semilla. Esta actividad se realizó una semana antes de llevar a cabo la siembra, seleccionando los granos con mejores condiciones, los cuales fueron cosechados la campaña anterior.

Preparación de Surcos. Días antes de preparar los surcos se realizó un riego a todo el campo experimental, con la finalidad de mantener húmedo el terreno hasta el momento de la siembra, el cual, ayudo en el proceso de germinación. Los surcos se realizaron en dirección a la puesta del sol, coincidiendo con el largo de cada bloque. La distancia entre surco de 80 cm y entre golpes 50 cm. Esta labor se llevó a cabo con la ayuda de una yunta.

Distribución de Campo Según (DBCA). Esta actividad se llevó a cabo una vez realizado el surcado y siembra. Utilizamos wincha, rafia y estacas.

Siembra. La siembra se realizó el 18 de agosto del 2024, de acuerdo a la distribución de cada uno de los tratamientos. En esta etapa se aplicó un 20% de N y el 100% de P, K y S. La siembra se realizó por golpes y entre golpe hubo una distancia de 50.00 cm y entre surcos 80 cm. Luego de eso se aplicó un riego.

Riegos. Los riegos se realizaron cada 7 días cuando hubo ausencia de lluvias. En presencia de lluvias no se realizaron riegos.

Desahije. Se realizó juntamente con el deshierbo, cuya finalidad fue quitar exceso de plantas o reponer en los golpes donde hubo ausencia.

Deshierbo y Aporque. se realizó de forma manual cuando la planta de maíz tuvo altura de 50 cm aproximadamente. El propósito del deshierbo fue para controlar malezas que hacían competencia al cultivo en la absorción de nutrientes. El aporque consistió en colocar tierra alrededor de cada planta con la finalidad de dar mayor soporte y evitar el acame por la presencia de vientos. En esta labor también se aplicó el otro porcentaje del N, es decir el 80%.

Fertilización. La fertilización se realizó de manera directa en dos aplicaciones. 20% de N durante la siembra y 80% al deshierbo, por otra parte, P, K y S se aplicaron el 100% a la siembra. Se utilizaron 3 dosis de N (160 kg/ha, 200 kg/ha y 240 kg/ha) fosforo (110 kg/ha) potasio (100 kg/ha) y dos dosis de azufre (3 kg/ha y 5 kg/ha)

Control de Plagas y Enfermedades. Se realizaron monitoreos constantes con la finalidad de identificar plagas y enfermedades a tiempo y de esta manera realizamos un control adecuado sobre el cogollero *(Spodoptera frugiperda)* que estaban ocasionando daños a algunas plantas. Utilizamos el insecticida de ingrediente activo Alfa-Cipermetrina.

Cosecha*.* La cosecha se realizó cuando el grano se encuentra en estado de choclo a los 97 días después de la siembra.

3.5.2 Parámetros de Evaluación

Altura de Planta. El proceso de medición se realizó desde la base de la planta (nivel del suelo) hasta la panoja o flor masculina, cuando se realizó la cosecha de mazorcas.

Diámetro de Mazorca. La medida del diámetro se llevó a cabo en gabinete, para esto utilizamos un vernier. Se tomaron medidas de 4 mazorcas seleccionadas al azar de cada uno de los tratamientos. Realizada esta actividad se procedió a sumar los datos obtenidos y dividir para obtener un promedio homogéneo.

Longitud de Mazorca. Para realizar la medición de la longitud nos apoyamos con la ayuda de un vernier. Tomamos las 4 mazorcas seleccionadas para obtener el diámetro, los 4 datos obtenidos los sumamos y lo dividimos entre 4, de esta manera obtuvimos un promedio de manera homogénea.

Peso de Mazorcas. El peso se realizó de dos formas. Un peso con la presencia de brácteas y otro peso sin la presencia de brácteas. Las mazorcas pesadas fueron las misma que se utilizaron para medir diámetro y longitud. Luego pesamos cada una de las mazorcas en sus diferentes condiciones y procedimos a sumar los datos obtenidos para luego dividirlos y obtener un promedio homogéneo. Para esta actividad se utilizó una balanza.

Peso de Granos. Para realizar esta actividad primero desgranamos cada una de las mazorcas. Luego procedimos a pesar solo granos, dejando a un lado la coronta. Sumamos los pesos lo dividimos y obtuvimos el promedio.

Rendimiento. Este dato se obtuvo una vez realizado el peso de mazorca y granos. Estos datos fueron llevados a hectárea logrando determinar el rendimiento para cada uno de los tratamientos. Luego realizamos comparaciones entre tratamientos y testigo.

3.5.3 Descripción de tratamientos y diseño experimental

En este estudio se empleó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con 6 tratamientos y 1 testigo, siendo un total 7 tratamientos, el cual consto de 3 repeticiones, siendo distribuidos al azar en cada unidad experimental dentro de cada uno de los bloques.

Tabla 1

Dosis de N, P, K, S por ha-1

N (kg ha-1)	P2O5 (kg ha-1)	K2O2 (kg ha-1)	S (kg ha-1)
160	110	100	0
200	110	100	3
240	110	100	5

Nota: La tabla muestra las dosis de N y S

Tabla 2

Dosis de tratamientos que se utilizaron en el estudio

Factores	Niveles	Tratamientos
Nitrógeno (N)	(160 kg ha-1)	T0: Sin fertilización
	(200 kg ha-1)	T1: 160 Kg - 110 Kg - 100 Kg - 3 Kg
	(240 kg ha-1)	T2: 160 Kg - 110 Kg - 100 Kg - 5 Kg
		T3: 200 Kg - 110 Kg - 100 Kg - 3 Kg
Azufre (S)	(3 kg ha-1)	T4: 200 Kg - 110 Kg - 100 Kg - 5 Kg
	(5 kg ha-1)	T6: 240 Kg - 110 Kg - 100 Kg - 3 Kg
		T7: 240 Kg - 110 Kg - 100 Kg - 5 Kg

Nota. Muestra de cómo serán distribuidos todos los tratamientos.

Tabla 3

Cálculo de dosis utilizados en gramos por cada tratamiento

CÁLCULO DE DOSIS PARA CADA TRATAMIENTO					
Fertilizante	**Dosis**	**kg ha-1**	**gr/parcela**	**Plantas por parcela**	**gr/ planta**
Nitrógeno (Urea)	**1**	160	500	36	13.9
	2	200	626	36	17.4
	3	240	752	36	20.9
Fósforo (Super fosfato triple)	**1**	110	378	36	10.5
	2	110	378	36	10.5
	3	110	378	36	10.5
Potasio (Cloruro de potasio)	**1**	100	241	36	6.7
	2	100	241	36	6.7
	3	100	241	36	6.7
Azufre	**1**	3	5,4	36	0.15
	2	5	9,0	36	0.25

3.*5.4 Distribución de las parcelas y bloques*

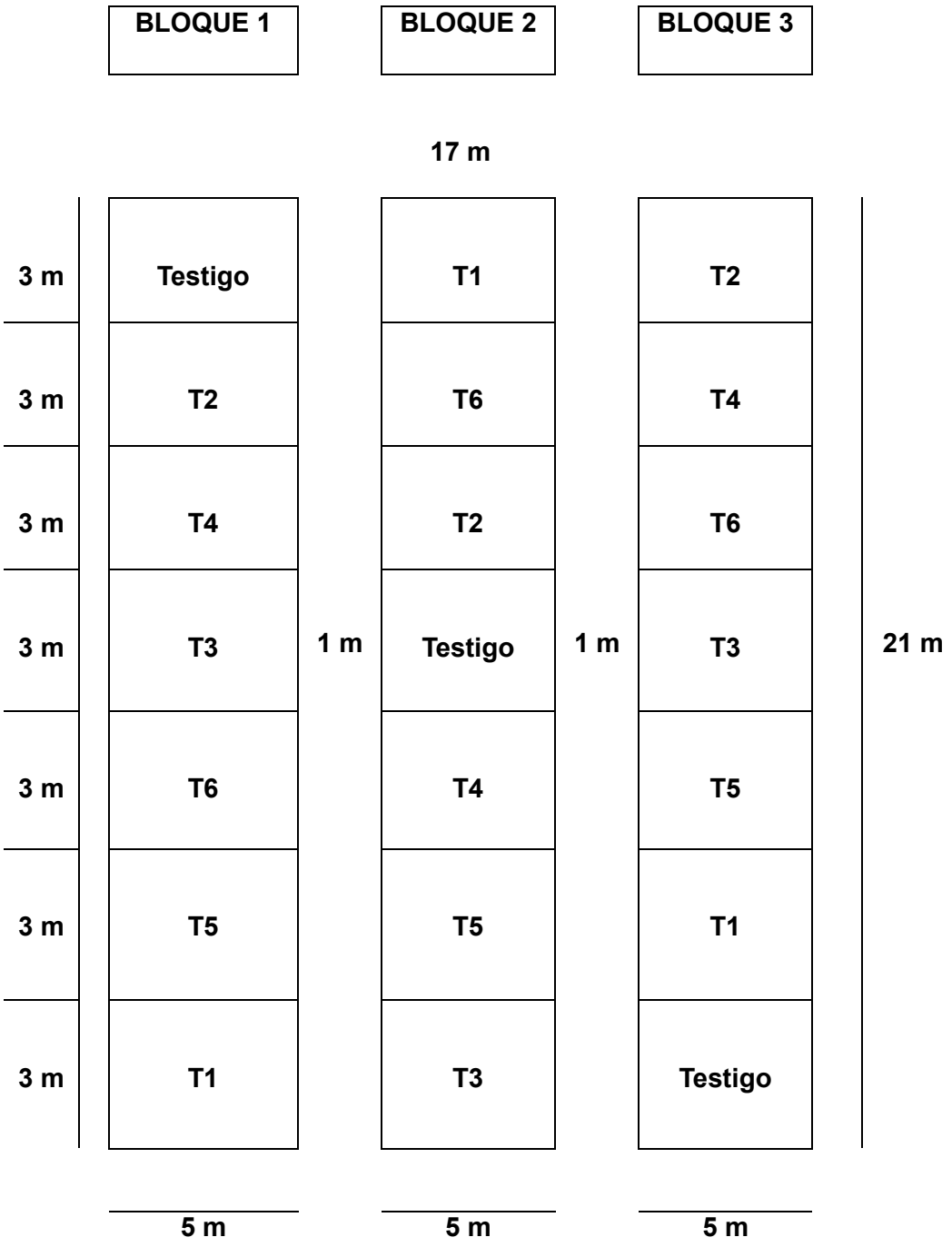
Tabla 4

Medidas de campo experimental

Bloques		
Numero de bloques	3	
Largo de bloque	21	m
Ancho de bloque	5	m
Superficie de bloque	105	m2
Parcelas experimentales		
Largo	3	m
Ancho	5	m
Área total	15	m2
Numero de parcelas por bloque	7	
Surcos		
Cantidad de surcos por parcela	6	
Espacio entre surcos	0.8	m
Espacio entre plantas	0.50	m
Número de plantas por parcela	36	Unidad

Figura 3

Distribución de tratamientos



CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis estadístico de características agronómicas del cultivo de maíz

Tabla 5

Resultados de altura de planta, numero de mazorcas, peso de mazorcas con brácteas, peso de mazorcas sin brácteas, longitud y diámetro de mazorcas y peso de granos por mazorca.

TRATAMIENTOS	Altura de planta (m)	Número de Mazorcas por planta (u)	Peso de mazorca con bráctea (g)	Peso de mazorca sin bráctea (g)	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Peso de granos por mazorca (g)
T1 (160 kg N 3 kg S)	3.23	1	349.8	200.2	15.7	5.0	142.4
T2 (160 kg N 5 kg S)	3.55	1	378.4	209.2	26.2	5.0	147.8
T3 (200 kg N 3 kg S)	3.14	1	424.7	300.0	28.5	5.4	209.8
T4 (200 kg N 5 kg S)	3.44	1	598.1	425.8	31.6	5.5	260.4
T5 (240 kg N 3 kg S)	3.48	1	637.4	479.8	33.1	5.7	312.0
T6 (240 kg N 5 kg S)	3.07	1	510.6	321.7	29.4	5.1	206.3
Testigo	2.9	1	246.4	148.4	14	4.8	103.7

En la Tabla 5 se presentan las siete variables evaluadas: altura de planta, número de mazorcas por planta, peso de mazorcas con brácteas, peso de mazorcas sin brácteas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de granos por mazorca. Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos T4 (200 kg ha^{-1} de N y 5 kg ha^{-1} de S) y T5 (240 kg ha^{-1} de N y 3 kg ha^{-1} de S), mientras que el testigo presentó los valores más bajos en todas las variables. Estos resultados coinciden con lo reportado por Sánchez et al. (2019), quienes encontraron los mayores rendimientos (10 274 kg ha^{-1}) al aplicar una fertilización de N200 - S50, con un incremento del 42,2 % respecto al testigo, en comparación con aumentos del 39,8 % y 38,7 % en los genotipos córneo y semicórneo, respectivamente.

4.1.1 Altura de planta (m)

Tabla 6

Prueba de Tukey para la altura de planta (m)

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha-1)	Azufre (kg ha-1)	Altura de planta (m)	Agrupación
T2	160	5	3.55	A
T5	240	3	3.48	A
T4	200	5	3.44	A
T1	160	3	3.23	B
T3	200	3	3.14	B
T6	240	5	3.08	B
Testigo			2.95	C

La tabla 6, muestra los resultados de la prueba de Tukey para la altura de planta donde indica que el testigo, que no recibió fertilización, obtuvo un promedio de altura de 2.95 m, ubicándose en el grupo C, lo que indica un menor crecimiento en comparación con todos los tratamientos que sí recibieron fertilización. Las combinaciones de nitrógeno y azufre que se encuentran en los grupos A y B presentan un efecto superior al del testigo, demostrando que la aplicación de estos nutrientes contribuye significativamente al aumento de la altura de las plantas. Las combinaciones del grupo A (T2, T5, y T4) muestran los mayores promedios de altura, todos superiores a 3.40 metros. Esto refleja que la adición de fertilizantes, independientemente de la dosis específica dentro de este grupo, genera un crecimiento considerablemente mayor que el observado en el tratamiento testigo.

Por su parte, las combinaciones del grupo B también superan significativamente al testigo, aunque con promedios de altura ligeramente menores que las combinaciones del grupo A. Las dosis de los tratamientos (T1, T3 y T6) presentan alturas promedio entre 3.08 y 3.23 m, lo que evidencia un efecto positivo de la fertilización, aunque no tan pronunciado como en los tratamientos del grupo A.

Tabla 7

Análisis de varianza para la altura de planta (m)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	0.0133	2	0.0067	2.1932	0.1542
Tratamientos	0.9243	6	0.1540	50.8233	0.0000
Nitrógeno (N)	0.0438	2	0.0219	6.3494	0.0132
Azufre (S)	0.0221	1	0.0221	6.3913	0.0265
N*S	0.5116	2	0.2558	74.1498	0.0000
Error	0.0364	12	0.0030		
Total	0.9739	20			

CV = 1.68 %

El análisis de varianza realizado para evaluar la altura de planta en el cultivo de maíz amiláceo indico que la interacción del nitrógeno (N) con el azufre (S) es significativa, ya que el valor de significación (p-valor = 0.0000) es menor al 0.05. Este resultado indica que el efecto combinado de ambos nutrientes tiene un impacto sinérgico en la altura de las plantas, lo que significa que la respuesta de la altura de planta depende de la combinación específica de las dosis aplicadas.

Por otro lado, se observa que la fuente de variación correspondiente a los tratamientos sí presenta un efecto altamente significativo sobre la altura de las plantas, ya que el valor de significación (p-valor =0.0000) es menor al 0.05. Esto indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, esto indica que tanto las combinaciones como como el testigo generan resultados distintos, o al menos uno de los tratamientos se asemeja al testigo respecto a la altura de planta.

Al descomponer el efecto de los tratamientos en sus componentes principales, se identificó que tanto el nitrógeno (N) como el azufre (S) presentan efectos significativos de manera independiente, dado que el valor de significación para cada factor fue de 0.0132 y 0.0265,

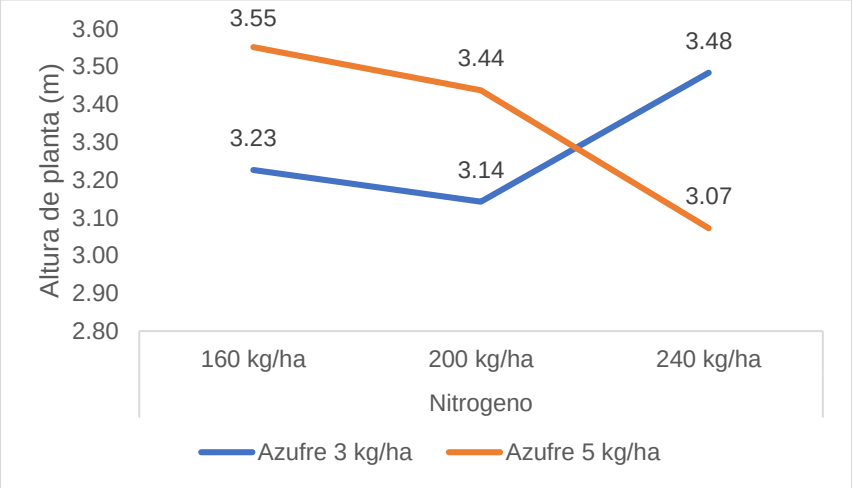
respectivamente, menor al 0.05. Esto implica que ambos nutrientes, por separado, contribuyen de manera importante al incremento en la altura de las plantas, destacando la relevancia de la fertilización adecuada para optimizar el desarrollo vegetativo del maíz amiláceo.

Los bloques no presentan un efecto significativo, dado que su valor de significación (p-valor = 0.1542) es mayor al umbral de significancia. Esto indica que las diferencias entre las repeticiones no son estadísticamente relevantes para la variable evaluada, lo que indica una adecuada homogeneidad en las condiciones experimentales.

El coeficiente de variación (CV) es de 1.68 %, lo que se considera adecuado para el experimento realizado. Este valor refleja una baja variabilidad de los resultados de la altura de planta de maíz dentro de cada tratamiento evaluado, lo que indica una buena confiabilidad de los resultados obtenidos respecto para esta variable.

Figura 4

Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en la altura de planta (m)



La Figura 4 muestra el efecto del nitrógeno en combinación con 3 kg ha^{-1} de azufre. Se observa una tendencia ascendente en la altura de planta al incrementar la dosis de nitrógeno: de 3.23 m con 160 kg ha^{-1} de N, a 3.14 m con 200 kg ha^{-1}, y alcanzando 3.48 m con 240 kg ha^{-1}.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Pereira et al. (2023), quienes, al aplicar 70 y 105 kg ha^{-1} de nitrógeno en maíz, obtuvieron un incremento en la altura de planta de 0.34 m, evidenciando el efecto positivo del nitrógeno sobre el desarrollo vegetal.

Esto indica que, a medida que se incrementa la dosis de nitrógeno en combinación con una dosis inferior de azufre a las utilizadas, el crecimiento de las plantas tiende a aumentar, lo que evidencia una respuesta positiva del cultivo ante la fertilización nitrogenada cuando la dosis de azufre es constante y relativamente baja.

Por otro lado, cuando la dosis de azufre se incrementa a 5 kg ha-1, el patrón es diferente. En este caso, la mayor altura promedio (3.55 metros) se obtiene con la dosis más baja de nitrógeno (160 kg ha-1), mientras que el promedio disminuye ligeramente a 3.44 metros con 200 kg ha-1 de nitrógeno y cae aún más a 3.07 metros con 240 kg ha-1 de nitrógeno. Este comportamiento indica que, a dosis altas de azufre, el efecto del nitrógeno sobre la altura de las plantas es menos evidente, e incluso podría existir una respuesta negativa a dosis excesivas de nitrógeno en combinación con altos niveles de azufre. López et al. (2018) sobre la fertilización de cultivos de trigo indica que, el aumento de nitrógeno en combinación con azufre puede resultar en una mayor altura de las plantas, aunque a niveles muy elevados de nitrógeno (como los 200-240 kg ha-1), la tasa de absorción de otros nutrientes como el fósforo y el potasio puede verse afectada. Asimismo, Oliveira et al. (2009) observó que, si bien existe una respuesta lineal del crecimiento en función de las dosis de nitrógeno, esta tendencia puede invertirse cuando se aplican cantidades excesivas.

La interacción entre nitrógeno y azufre es evidente al comparar los dos niveles de azufre (3 kg ha-1 y 5 kg ha-1) en cada nivel de nitrógeno. Con 160 kg ha-1 de nitrógeno, el aumento de la dosis de azufre de 3 kg ha-1 a 5 kg ha-1 resulta en un incremento significativo en la altura promedio de la planta, de 3.23 a 3.55 metros. Sin embargo, con 240 kg ha-1 de nitrógeno, el aumento de la dosis de azufre produce el efecto contrario, reduciendo la altura promedio de 3.48

a 3.07 metros. Este comportamiento indica una interacción compleja entre ambos nutrientes, donde la combinación específica de dosis es crucial para maximizar el crecimiento de las plantas, esto tiene relación con lo que menciona Castro (2020), que, la mayor altura de planta se consiguió cuando se aplicó 348 kg ha-1 de Urea + 250 kg ha-1 de Sulfato de Amonio. + 250 kg ha-1 de Sulfato de Magnesio; así mismo mientras que con estos mismos niveles también se logró la mayor concentración de clorofila y proteínas.

Salazar e Inguilán (2012) Muestran que al aplicar SAM 100 kg ha-1 (21 N – 24 S) obtuvieron un valor promedio de 215.5 cm de altura, seguido por los tratamientos donde se aplicaron SAM 50 kg ha-1 (21 N – 24 S), S 100 13 y S 50) que resultaron similares entre sí con valores de 201.8, 202.15 y 194.7 cm respectivamente. Finalmente, el tratamiento testigo presento los valores de menos altura promedio con 117 centímetros.

4.1.2 Número de mazorcas por planta (u)

Tabla 8

Número de mazorcas por planta (u)

Tratamientos	Nitrógeno (kg ha-1)	Azufre (kg ha-1)	Mazorcas por planta (u)
T1	160	3	1
T2	160	5	1
T3	200	3	1
T4	200	5	1
T5	240	3	1
T6	240	5	1
Testigo			1

Tabla 9

Análisis de varianza para el número de mazorcas por planta (u)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	0.0654	2	0.0327	2.400	0.1328
Tratamientos	0.0817	6	0.0136	1.000	0.4682
Nitrógeno (N)	0.0191	2	0.0095	0.698	0.5169
Azufre (S)	0.0000	1	0.0000	0.000	0.9999
N*S	0.0572	2	0.0286	2.100	0.1652
Error	0.1634	12	0.0136		
Total	0.3868	20			

CV = 11.23 %

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el número de mazorcas por planta indica que ninguna de las fuentes de variación evaluadas, incluyendo los bloques, los tratamientos, el nitrógeno (N), el azufre (S) ni la interacción entre ambos factores (N*S), presenta un efecto significativo sobre la variable analizada, ya que los valores de significación (p-valor) en todos los casos son mayores al 0.05. Este resultado indica que los factores evaluados, tanto de manera individual como en su interacción, no lograrán generar más mazorcas en comparación con el tratamiento testigo.

Los resultados del número de mazorcas por planta muestran que no hubo diferencias entre los tratamientos aplicados y el testigo, manteniéndose en todos los casos un promedio de 1 mazorca por planta. Este comportamiento es consistente con el análisis de varianza (ANOVA) realizado, el cual indicó que ninguna de las fuentes de variación ni los factores nitrógeno (N) y azufre (S) de manera independiente, ni su interacción presentó efectos significativos sobre esta variable, con p-valores superiores a 0.05 en todos los casos.

El coeficiente de variación obtenido es de 11.23 %, lo que se considera adecuado para el experimento realizado. Este valor refleja una variabilidad regular del número de mazorcas por planta dentro de cada tratamiento evaluado, lo que indica una buena confiabilidad de los resultados obtenidos respecto para esta variable.

El número de mazorcas por planta se mantuvo constante tanto en el tratamiento testigo como en las combinaciones que aplicaron entre 160 y 240 kg ha-1 de nitrógeno y 3 o 5 kg ha-1 de azufre. Esto evidencia que las dosis de fertilización aplicadas no generaron cambios relevantes en la capacidad productiva de las plantas en términos del número de mazorcas formadas, esto tiene relación con reportes de, Muedas Quispe (2019) que, al incrementar las dosis de nitrógeno el número de mazorcas aumenta a dosis de 100 kg de nitrógeno, a dosis mayores de nitrógeno el número de mazorcas disminuye. El tratamiento sin nitrógeno presenta 1.536 mazorcas, a una dosis de 100 kg de nitrógeno tiene 1.60 mazorcas, a una dosis de 200 kg de nitrógeno tiene 1.541 mazorcas y a una dosis de 300 kg de nitrógeno tiene 1.53 mazorcas.

Pero esto no contrasta con lo que reportan, Salazar y Inguilán (2012) que, al realizar la aplicación SAM 100 kg ha-1 (21%N – 24%S), obtuvieron un promedio de 2.5 mazorcas. Los tratamientos SAM 50 kg ha-1 (21%N – 24%S), S100, S50, Yeso 100 y Yeso 50 y Testigo resultaron estadísticamente similares, con valores de: 2.25, 2, 1.8, 1.65, 1.5 y 1.3 respectivamente.

4.1.3 Peso de mazorcas con brácteas (kg ha-1)

Tabla 10

Prueba de Tukey para el peso de mazorcas con brácteas (kg ha-1)

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha-1)	Azufre (kg ha-1)	Rendimiento (kg ha-1)	Agrupación
T5	240	3	15299.00	A
T4	200	5	14355.00	A
T6	240	5	12252.33	B
T3	200	3	10192.67	C
T2	160	5	9082.33	D
T1	160	3	8388.00	D
	Testigo		5912	E

Tabla 10, muestra la prueba de Tukey para el peso de mazorca con brácteas muestra que el tratamiento testigo, que no recibió fertilización, presentó un rendimiento promedio de 5912 kg ha-1, ubicándose en el grupo E, lo que indica un rendimiento considerablemente menor en comparación con todos los tratamientos que sí recibieron fertilización. Este resultado evidencia que la falta de aplicación de nutrientes limita significativamente el rendimiento del cultivo.

Las combinaciones que se encuentran en los grupos A, B, C y D presentan rendimientos superiores al del testigo, lo que demuestra que la aplicación de nitrógeno y azufre contribuye positivamente al incremento del rendimiento de mazorca con brácteas. Las combinaciones del grupo A, que incluyen los tratamientos (T5 y T4), mostraron los mayores rendimientos, con promedios de 15299 kg ha-1 y 14355 kg ha-1, respectivamente. Esto indica que estas combinaciones generan un incremento significativo en comparación con el testigo.

Por otro lado, los tratamientos del grupo B, T6, también superaron al testigo de manera significativa, aunque con un peso ligeramente menor que los tratamientos del grupo A. En el

grupo C se encuentra el tratamiento T4, que también mostró un incremento importante respecto al testigo, pero en menor medida que los tratamientos de los grupos A y B. Los tratamientos del grupo D, T3 y T2, presentaron pesos superiores al testigo, pero menores en comparación con los tratamientos de los grupos superiores.

Tabla 11

Análisis de varianza para el peso de mazorcas con brácteas (kg ha-1)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	948861.24	2	474430.62	4.00	0.0567
Tratamientos	204047421	6	34007903	286.67	0.0000
Nitrógeno (N)	80368611	2	40184305	338.73	0.0000
Azufre (S)	1638050	1	1638050	13.81	0.0029
N*S	38995893	2	19497947	164.36	0.0000
Error	1423576.8	12	118631.4		
Total	327422413	20			

CV = 3.19 %

El análisis de varianza realizado para evaluar el rendimiento de mazorca con brácteas en el cultivo de maíz amiláceo indicó que la interacción del nitrógeno (N) con el azufre (S) es significativa, ya que el valor de significación (p-valor = 0.0000) es menor al 0.05. Este resultado demuestra que el efecto combinado de ambos nutrientes tiene un impacto relevante en el peso de mazorca con brácteas, lo que indica que la respuesta de esta variable depende de la combinación específica de las dosis aplicadas.

Por otro lado, se observa que la fuente de variación correspondiente a los tratamientos presenta un efecto altamente significativo sobre el peso de mazorca, ya que el valor de significación (p-valor = 0.0000) es menor al 0.05. Esto indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, lo cual indica que tanto las combinaciones de nitrógeno y azufre como el tratamiento testigo generan resultados distintos en términos del rendimiento de mazorca.

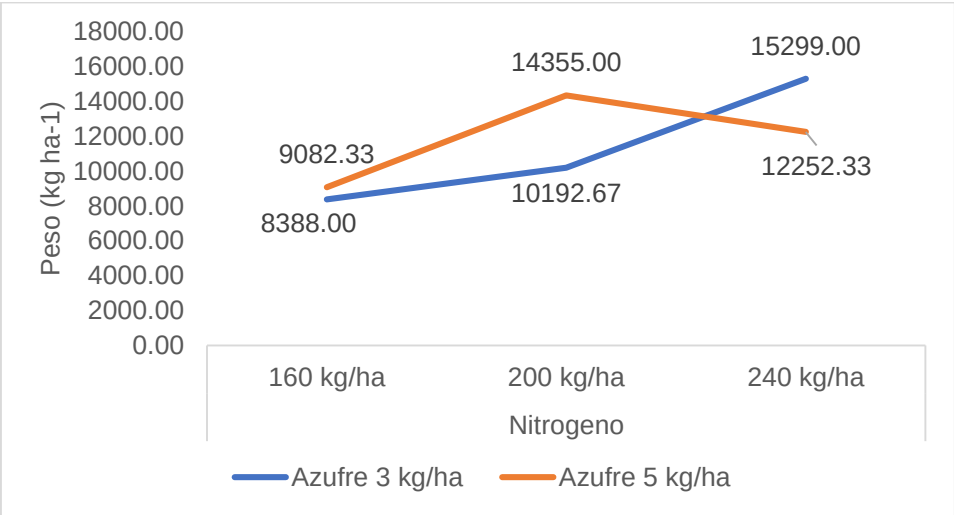
Al descomponer el efecto de los tratamientos en sus componentes principales, se identificó que tanto el nitrógeno (N) como el azufre (S) presentan efectos significativos de manera independiente, dado que los valores de significación para cada factor fueron de 0.000 y 0.0029, respectivamente, ambos menores al 0.05. Esto implica que ambos nutrientes, por separado, contribuyen de manera importante al incremento en el rendimiento de mazorca con brácteas, destacando la relevancia de una fertilización adecuada para maximizar el rendimiento del cultivo.

Los bloques no presentan un efecto significativo, dado que su valor de significación (p-valor = 0.0567) es mayor al 0.05. Esto indica que las diferencias entre las repeticiones no son estadísticamente relevantes para la variable evaluada, lo que indica que las condiciones experimentales fueron homogéneas y controladas adecuadamente.

El coeficiente de variación obtenido es de 3.19 %, lo que se considera adecuado para el experimento realizado. Este valor refleja una baja variabilidad de los resultados del peso de mazorcas con bráctea dentro de cada tratamiento evaluado, lo que indica una buena confiabilidad de los resultados obtenidos respecto a esta variable.

Figura 5

Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en el peso de mazorcas con brácteas



Peña (2011) indica que el peso de mazorcas con bráctea es uno de los parámetros que utiliza el productor para la conservación del mismo durante los días de condiciones ambientales adversas, y permite que las mazorcas con brácteas no obtengan ningún daño durante su ciclo productivo.

La Figura 5, muestra que cuando se aplican 3 kg/ha de azufre, el peso de mazorca con brácteas aumenta a medida que se incrementa la dosis de nitrógeno. En este nivel de azufre, el peso promedio pasa de 8388.00 kg ha-1 con 160 kg ha-1 de nitrógeno, a 10192.67 kg ha-1 con 200 kg ha-1 de nitrógeno, y alcanza su punto máximo con 240 kg ha-1 de nitrógeno, obteniendo un peso de 15299.00 kg ha-1. Este patrón muestra una clara tendencia ascendente, lo que indica que, con una dosis relativamente baja de azufre, el aumento en la dosis de nitrógeno tiene un efecto positivo directo sobre el rendimiento del cultivo, estos resultados obtenidos contrastan con lo obtenidos por Martínez (2015) donde refiere que, al utilizar dosis de 160 kg de nitrógeno, 46 kg de fosforo y 30 kg de Potasio y la adición de A. brasilense incidieron en el peso de la mazorca las cuales presentaron un peso de 610 g. Además, indica que al utilizar solo fertilización química (160N-46P-30K) obtuvo un peso promedio por mazorca de 567 g.

En la investigación de, Pérez (2004), señala que, en cuanto al rendimiento de choclo, con densidad de 50 000 plantas ha-1, obtuvo12.98 tha-1 de 41 296 choclos cosechados, superando al de la densidad de 41 666 plantas ha-1, con 11.74 tha-1, equivalente a 35 786 choclos cosechados. En cuanto a la fertilización con NK y niveles de S los rendimientos variaron de 13.03 a 12.95 tha-1, superando al control sin fertilizar que presentó 9.37 tha-1. Estas coinciden con los datos obtenidos ya que, pero debemos tener en cuenta que solo consideramos 24000 choclos por ha-1.

Por otro lado, cuando la dosis de azufre se incrementa a 5 kg ha-1, el patrón de peso es diferente. En este caso, el peso promedio aumenta inicialmente, pasando de 9082.33 kg ha-1 con 160 kg ha-1 de nitrógeno a 14355.00 kg ha-1 con 200 kg ha-1 de nitrógeno. Sin embargo, al

incrementar la dosis de nitrógeno a 240 kg ha-1, el peso disminuye a 12252.33 kg ha-1. Este comportamiento sugiere que, a dosis más altas de azufre, el efecto del nitrógeno sobre el peso de mazorca con brácteas es menos evidente, e incluso podría ser antagonista cuando se aplican dosis elevadas de ambos nutrientes, esto se relaciona con lo que menciona Ramos y Rodríguez (2023) indican que, al utilizar dosis de urea 46%N (264 kg ha-1 y 310 kg ha-1) obtuvo pesos promedios por mazorca de 393 g. y 369 g. los pesos de estas mazorcas son similares a los obtenidos en nuestra investigación.

La interacción entre nitrógeno y azufre es evidente al comparar los dos niveles de azufre en cada dosis de nitrógeno. Con 160 kg ha-1 de nitrógeno, el incremento en la dosis de azufre de 3 kg ha-1 a 5 kg ha-1 genera un pequeño aumento en el peso, de 8388.00 kg ha-1 a 9082.33 kg ha-1. Sin embargo, con 200 kg ha-1 de nitrógeno, el incremento en la dosis de azufre produce un aumento considerable en el peso, pasando de 10192.67 kg ha-1 a 14355.00 kg ha-1, estos resultados coinciden con lo que refiere, Salazar e Inguilan (2012) donde menciona que, Los resultados muestran que la adición de SAM 100 kg ha-1 (21%N – 24%S), produjo un rendimiento medio 226.58% superior al obtenido por el testigo que careció de azufre.

Por el contrario, con 240 kg ha-1 de nitrógeno, el aumento de la dosis de azufre provoca una disminución en el peso, pasando de 15299.00 kg ha-1 a 12252.33 kg ha-1, coincidiendo con lo que reporta, Pfeifauf (2024) en su trabajo de investigación “respuesta en rendimiento a distintas dosis y fuentes de nitrógeno en maíz tardío” donde observa que la fertilización con las dosis más altas redujo el rendimiento del cultivo respecto al testigo sin N. reportando también que esto se debe a un déficit hídrico. En el mismo estudio también mencionó que, se observó que hubo efecto positivo de la fertilización con N, aumentando el rendimiento en grano cuando se aplicaba fertilizante. La respuesta se dió con 30 kg N ha-1, y no se observaron diferencias significativas con respecto a dosis más altas, indicando que la menor dosis de N aplicada más el N aportado por el suelo cubrió los requerimientos de N del cultivo. Esto indica que la combinación específica

de dosis es crucial para maximizar el rendimiento del cultivo y que no siempre el aumento de ambos nutrientes genera mejores resultados.

4.1.4 Peso de mazorcas sin brácteas (kg ha-1)

Tabla 12

Prueba de Tukey para el peso de mazorcas sin brácteas (kg ha-1)

Tratamiento	Nitrógeno (kg ha-1)	Azufre (kg ha-1)	Rendimiento (kg ha-1)	Agrupación
T5	240	3	11516.67	A
T4	200	5	10218.33	B
T6	240	5	7720.67	C
T3	200	3	7200.67	C
T2	160	5	4997.33	D
T1	160	3	4804.00	D
	Testigo		3554.33	E

Martínez (2015) indica que el peso de la mazorca sin brácteas en un factor relevante que tienen en cuenta los agricultores, esto les ayuda a determinar el rendimiento y calidad del cultivo.

La tabla 12, muestra la prueba de Tukey para el peso de mazorca sin brácteas evidencia diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y el tratamiento testigo. El tratamiento testigo, que no recibió fertilización, obtuvo un peso promedio de 3554.33 kg ha-1, ubicándose en el grupo E, lo que refleja un rendimiento considerablemente menor en comparación con todos los tratamientos que sí recibieron fertilización. Esto indica que la falta de fertilización limita severamente el rendimiento del cultivo de maíz amiláceo.

El tratamiento T5 presentó el mayor peso promedio, con 11516.67 kg ha-1, ubicándose en el grupo A. Este tratamiento muestra un incremento significativo respecto al testigo, lo que evidencia la importancia de la fertilización en el aumento del peso de mazorca sin brácteas.

Asimismo, este resultado sugiere que una dosis alta de nitrógeno, combinada con una dosis moderada de azufre, tiene un efecto positivo en el rendimiento.

El tratamiento T4 se ubicó en el grupo B, con un peso promedio de 10218.33 kg ha-1. Aunque este tratamiento generó un peso inferior al del grupo A, sigue siendo significativamente superior al del testigo, lo que refuerza la relevancia de una fertilización adecuada.

En el grupo C se encuentran los tratamientos T6 (7720.67 kg ha-1) y T3 (7200.67 kg ha-1). Estos tratamientos presentan pesos intermedios, que son inferiores a los de los grupos A y B, pero aun significativamente superiores al peso del testigo. Esto sugiere que, aunque las combinaciones de estos tratamientos no son las más óptimas, siguen siendo eficaces en comparación con la ausencia de fertilización.

Los tratamientos que aplicaron T2 (4997.33 kg ha-1) y T1 (4804.00 kg ha-1) se agrupan en el grupo D. Estos tratamientos presentan pesos significativamente menores en comparación con los tratamientos de los grupos A, B y C, lo que indica que dosis más bajas de nitrógeno, incluso combinadas con azufre, son menos efectivas para maximizar el rendimiento.

Tabla 13

Análisis de varianza para el peso de mazorcas sin brácteas (kg ha-1)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	35054.57	2	17527.29	0.220	0.80568
Tratamientos	155630931	6	25938489	332.110	0.00000
Nitrógeno (N)	75186639	2	37593319	481.340	0.00000
Azufre (S)	171112.5	1	171112.5	2.191	0.16460
N*S	35158846	2	17579423	225.084	0.00000
Error	937217.43	12	78101.45		
Total	267119801	20			

CV = 3.91 %

El análisis de varianza realizado el peso de mazorcas sin brácteas en el cultivo de maíz amiláceo indicó que la interacción del nitrógeno (N) con el azufre (S) es significativa, ya que el valor de significación (p-valor = 0.00000) es menor al 0.05. Este resultado evidencia que el efecto combinado de ambos nutrientes tiene un impacto en el peso de mazorcas sin brácteas, lo que implica que la respuesta de esta variable depende de la combinación específica de las dosis aplicadas.

Por otro lado, se observa que la fuente de variación correspondiente a los tratamientos presenta un efecto altamente significativo sobre el peso de mazorcas sin brácteas, ya que el valor de significación (p-valor = 0.00000) es menor al 0.05. Esto demuestra que las distintas combinaciones de nitrógeno y azufre, así como el tratamiento testigo, generan resultados significativamente distintos en términos del peso obtenido.

Al descomponer el efecto de los tratamientos en sus componentes principales, se identificó que el nitrógeno (N) y azufre (S), tiene un efecto altamente significativo de manera independiente, dado que para cada uno de ellos el valor de significación es menor al 0.05. Esto indica que las distintas dosis de nitrógeno y de azufre aplicadas contribuyen de manera importante al incremento en el peso de mazorcas sin brácteas, lo que resalta la importancia de una fertilización adecuada con este nutriente para maximizar el rendimiento del cultivo.

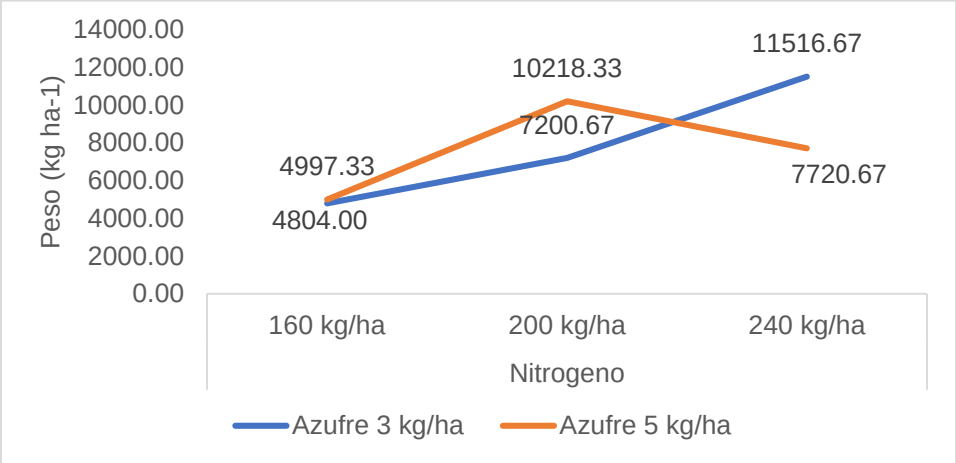
Los bloques no presentan un efecto significativo, dado que su valor de significación (p-valor = 0.80568) es mayor al umbral de significancia de 0.05. Esto indica que las diferencias entre las repeticiones no son estadísticamente relevantes para la variable evaluada, lo que indica que las condiciones experimentales fueron homogéneas y controladas adecuadamente.

El coeficiente de variación obtenido es de 3.91 %, lo que se considera adecuado para el experimento realizado. Este valor refleja una baja variabilidad de los resultados del peso de

mazorcas sin bráctea dentro de cada tratamiento evaluado, lo que indica una buena confiabilidad de los resultados obtenidos respecto para esta variable.

Figura 6

Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en el peso de mazorcas sin brácteas (kg ha-1)



La Figura 6, muestra el comportamiento del peso de mazorca sin brácteas en función de las dosis de nitrógeno (N) y azufre (S), los resultados revelan que cuando se aplica una dosis de 3 kg ha-1 de azufre, el peso de mazorca sin brácteas muestra una clara tendencia ascendente a medida que se incrementa la dosis de nitrógeno. En este nivel de azufre, el peso promedio pasa de 4804.00 kg ha-1 con 160 kg ha-1 de nitrógeno, a 7200.67 kg ha-1 con 200 kg ha-1 de nitrógeno, y alcanza su punto máximo con 240 kg ha-1 de nitrógeno, logrando un peso de 11516.67 kg ha-1. Estos datos coinciden con los que menciona Martinez (2015) donde reporta que, al utilizar dosis de 160 N, 46 P, 30 K, en combinación con A. brasilense obtuvo un peso promedio de 550 g de mazorca sin brácteas. En el mismo estudio menciona que al utilizar solo fertilización química 160N-46P-30K, obtuvo un peso promedio de 537 g por mazorca sin brácteas. Estos pesos por mazorca coinciden con lo que obtuvimos durante el pesado de las mazorcas sin brácteas.

Este patrón indica que, con una dosis relativamente baja de azufre, el incremento en la dosis de nitrógeno tiene un efecto positivo en el rendimiento del cultivo, evidenciando una respuesta favorable del maíz amiláceo ante la fertilización nitrogenada, esto coincide con lo que refieren Salazar e Inguilan (2012) quienes reportan que, la adición de azufre elemental también manifestó óptimos rendimientos, esto se debe a que el azufre (S), es parte de muchos aminoácidos y por lo tanto de proteína. Pudiendo incrementar la eficiencia del uso de N y P, especialmente para la formación de clorofila.

Roberts (2002), considera que los rendimientos altos y para ser rentables, dependen del balance adecuado de nutrientes. Además, indica que la sinergia producida por las interacciones positivas entre nutrientes esenciales hace que los rendimientos sean más altos que cuando los nutrientes se aplican por separado citado por, Salazar e Inguilan (2012)

Por otro lado, cuando la dosis de azufre se incrementa a 5 kg ha-1, el comportamiento del peso es distinto. En este caso, el peso promedio muestra un aumento inicial al pasar de 4997.33 kg ha-1 con 160 kg ha-1 de nitrógeno a 10218.33 kg ha-1 con 200 kg ha-1 de nitrógeno. Sin embargo, al aumentar la dosis de nitrógeno a 240 kg ha-1, el peso disminuye a 7720.67 kg ha-1, los datos anteriormente obtenidos coinciden con los mencionados por Ramos y Rodríguez (2023) quienes reportan que, al utilizar dosis de urea 46%N (264 kg ha-1 y 310 kg ha-1) obtuvieron pesos promedios por mazorca sin brácteas de 270.8 g. y 248.5 g. Este comportamiento indica que, a dosis elevadas de azufre, el efecto positivo del nitrógeno sobre el rendimiento del cultivo es menos evidente e incluso puede volverse antagonista en las dosis más altas.

La interacción entre nitrógeno y azufre es particularmente notoria al comparar los dos niveles de azufre en cada dosis de nitrógeno. Con 160 kg ha-1 de nitrógeno, el incremento de la dosis de azufre de 3 kg ha-1 a 5 kg ha-1 resulta en un aumento del peso, de 4804.00 kg ha-1 a 4997.33 kg ha-1. Sin embargo, con 200 kg ha-1 de nitrógeno, el incremento en la dosis de azufre

genera un aumento significativo en el peso, pasando de 7200.67 kg ha-1 a 10218.33 kg ha-1. Esto coincide con lo que menciona Fontanetto et al. (2009) en la investigación “Efecto de diferentes combinaciones de nitrógeno y azufre sobre el cultivo de sorgo granífero” donde reportan que, la mayor producción obtenida se correspondió con 120 kg/ha de N y 10 y 20 kg ha-1 de S. La respuesta al S sin el agregado de N fue prácticamente nula, demostrando que una deficiencia de N limita la expresión de la respuesta a la fertilización azufrada.

Por el contrario, con 240 kg ha-1 de nitrógeno, el aumento de la dosis de azufre tiene un efecto negativo, reduciendo el peso de 11516.67 kg ha-1 a 7720.67 kg ha-1. Esto indica que la combinación específica de dosis es crucial para maximizar el rendimiento del cultivo, y que dosis elevadas de ambos nutrientes no necesariamente garantizan un mejor rendimiento, lo antes mencionado contrasta con lo que concluyen Fontanetto et al. (2009) donde reportan que, existe una alta respuesta del sorgo granífero a la fertilización con N, con S y su combinación.

4.1.5 Longitud de mazorca (cm)

Tabla 14

Prueba de Tukey para la longitud de mazorcas sin brácteas (cm)

Tratamientos	Nitrógeno (kg ha-1)	Azufre (kg ha-1)	Longitud (cm)	Agrupación
T5	240	3	33.087	A
T4	200	5	31.560	A
T6	240	5	29.427	B
T3	200	3	28.477	B
T2	160	5	26.193	C
T1	160	3	15.687	D
		Testigo	14.000	D

La tabla 14, muestra la prueba de Tukey aplicada a la longitud de mazorca sin brácteas evidencia diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y el tratamiento testigo. El testigo, que no recibió fertilización, obtuvo una longitud promedio de 14 cm, ubicándose en el grupo D, lo que refleja un crecimiento considerablemente menor en comparación con los tratamientos que sí recibieron fertilización.

Los tratamientos T5 y T4 presentan las mayores longitudes promedio, de 33.087 cm y 31.560 cm respectivamente, ubicándose ambas en el grupo A. Esto indica que estas combinaciones generan un incremento significativo en la longitud de las mazorcas y son los tratamientos más efectivos.

Los tratamientos T6 y T3 se ubican en el grupo B, con longitudes promedio de 29.427 cm y 28.477 cm, respectivamente. Aunque ambos tratamientos superan significativamente al testigo, su efecto es ligeramente inferior en comparación con los tratamientos del grupo A.

En el grupo C se encuentra el tratamiento T2, con una longitud promedio de 26.193 cm, que también es significativamente superior al testigo, pero menor en comparación con los grupos A y B. Finalmente, las combinaciones que aplicaron T1 y el testigo se agrupan en el grupo D, con promedios de 15.687 cm y 14.000 cm, respectivamente. Estos resultados muestran que las dosis más bajas de nitrógeno generan longitudes que no son significativamente diferentes del tratamiento testigo.

Tabla 15

Análisis de varianza para la longitud de mazorcas sin brácteas (cm)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	1.500	2	0.750	1.76	0.2137
Tratamientos	1042.550	6	173.760	408.160	0.0000
Nitrógeno (N)	380.766	2	190.383	442.752	0.0000
Azufre (S)	49.303	1	49.303	114.657	0.0000
N*S	150.636	2	75.318	175.159	0.0000
Error	5.110	12	0.430		
Total	1629.865	20			

CV = 2.56 %

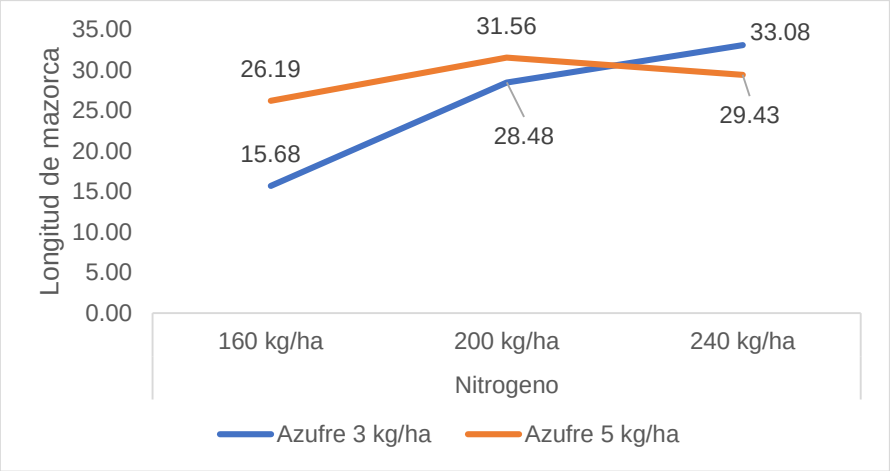
El análisis de varianza realizado para evaluar la longitud de mazorcas sin brácteas muestra que tanto los tratamientos como los efectos individuales del nitrógeno (N), el azufre (S) y su interacción (N*S) presentan diferencias significativas, ya que los valores de significación (p-valor) para todas estas fuentes de variación son menores al 0.05. Esto indica que las distintas combinaciones de dosis de nitrógeno y azufre influyen de manera importante en la longitud de las mazorcas sin brácteas.

Por otro lado, los bloques no presentan un efecto significativo (p-valor = 0.2137), lo que indica que las diferencias entre las repeticiones no son estadísticamente relevantes para la longitud de las mazorcas, y las condiciones experimentales fueron homogéneas.

El coeficiente de variación obtenido es de 2.56 %, lo que se considera adecuado para el experimento realizado. Este valor refleja una baja variabilidad de los resultados de la longitud de mazorcas sin bráctea dentro de cada tratamiento evaluado, lo que indica una buena confiabilidad de los resultados obtenidos respecto para esta variable.

Figura 7

Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en la longitud de mazorcas sin brácteas (cm)



La Figura 7, que muestra el comportamiento de la longitud de mazorca sin brácteas en función de las dosis de nitrógeno (N) y azufre (S) evidencia que cuando se aplica una dosis de 3 kg/ha de azufre, la longitud de mazorca sin brácteas aumenta a medida que se incrementa la dosis de nitrógeno. En este nivel de azufre, la longitud promedio pasa de 15.68 cm con 160 kg ha-1 de nitrógeno a 28.48 cm con 200 kg ha-1 de nitrógeno, alcanzando su punto máximo con 240 kg ha-1 de nitrógeno, con una longitud de 33.08 cm. Estos datos no coinciden con los que menciona Lopez et *al.* (2022) donde refiere que, al aplicar nitrógeno 276 kg ha-1 obtuvo una longitud promedio de 14,58 cm, mientras que el tratamiento sin nitrógeno y fertilización nitrogenada orgánica obtuvieron los promedios más bajos. Este patrón muestra una clara tendencia ascendente, lo que sugiere que, a una dosis relativamente baja de azufre, el nitrógeno tiene un efecto positivo en el desarrollo de las mazorcas.

Por otro lado, cuando la dosis de azufre se incrementa a 5 kg ha-1, el comportamiento es diferente. Aunque también se observa un incremento en la longitud al pasar de 160 kg ha-1 de nitrógeno (26.19 cm) a 200 kg ha-1 de nitrógeno (31.56 cm), la tendencia cambia al incrementar la dosis de nitrógeno a 240 kg ha-1, donde la longitud disminuye ligeramente a 29.43 cm, en el

estudio realizado por Salazar y Inguilán (2012) reporta que, con SAM 100 kg ha-1 (21%N – 24%S) y SAM 50 kg ha-1 (21%N – 24%S) y azufre elemental, dieron las mazorcas más largas de la evaluación con valores de 18.2, 17.6, 17.2 y 16.95 cm respectivamente

Este comportamiento sugiere que, en dosis más altas de azufre, el efecto del nitrógeno sobre la longitud de las mazorcas es menos pronunciado e incluso puede volverse negativo a dosis excesivas.

La interacción entre nitrógeno y azufre es evidente al comparar los dos niveles de azufre para cada dosis de nitrógeno. Con 160 kg ha-1 de nitrógeno, el aumento de la dosis de azufre de 3 kg ha-1 a 5 kg ha-1 resulta en un incremento significativo en la longitud promedio de las mazorcas, de 15.68 cm a 26.19 cm. Esto no coincide con lo que reporta Martínez Reyes (2015) respecto al nitrógeno donde señala que, el mejor tratamiento fue la fertilización química 80-23-15 + Chromobacterium violaceum, seguido de Fertilización química 160-46-30 %, con 15.0 cm, mientras que el de menor longitud de mazorcas fue el testigo absoluto con 13,5 cm. Sin embargo, con 240 kg ha-1 de nitrógeno, el aumento de la dosis de azufre genera una disminución en la longitud de las mazorcas, de 33.08 cm a 29.43 cm. Esto sugiere que la combinación específica de dosis de nitrógeno y azufre es crucial para maximizar la longitud de las mazorcas y que dosis excesivas de ambos nutrientes pueden tener un efecto negativo, esto tiene relación con el estudio de, Jones et al. (2021), titulado "Sulfur Toxicity in Crops: Implications for Photosynthesis and Crop Quality", señala que el exceso de azufre puede inducir estrés oxidativo en las plantas, afectando la fotosíntesis y la formación de clorofila. Esto genera una disminución en la eficiencia fotosintética, lo que afecta negativamente el rendimiento de cultivos como tomate, lechuga y espinaca.

4.1.6 Diámetro de mazorcas (cm)

Tabla 16

Prueba de Tukey para el diámetro de mazorcas sin brácteas (cm)

Tratamiento	Nitrógeno (kg/ha)	Azufre (kg ha-1)	Diámetro (cm)	Agrupación
T5	240	3	5.74	A
T4	200	5	5.53	B
T3	200	3	5.36	C
T6	240	5	5.09	D
T2	160	5	5.02	D
T1	160	3	4.98	D
		Testigo	4.82	E

La tabla 16, muestra de Tukey para el diámetro de mazorca sin brácteas revela que los tratamientos fertilizados presentan un mayor diámetro en comparación con el testigo, que obtuvo un promedio de 4.82 cm y se ubicó en el grupo E. El tratamiento más efectivo fue el que combinó 240 kg ha-1 de nitrógeno con 3 kg ha-1 de azufre, con un diámetro promedio de 5.74 cm, ubicándose en el grupo A.

Los tratamientos que aplicaron 200 kg ha-1 de nitrógeno con 5 kg ha-1 de azufre y 200 kg ha-1 de nitrógeno con 3 kg ha-1 de azufre se ubicaron en los grupos B y C, respectivamente, mostrando también un efecto positivo, aunque inferior al del grupo A. Por su parte, los tratamientos que aplicaron dosis más bajas de nitrógeno se agruparon en el grupo D, con promedios de diámetro que oscilaron entre 5.09 cm y 4.98 cm.

Tabla 17

Análisis de varianza para el diámetro de mazorcas sin brácteas (cm)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	0.059	2	0.0295	8.0569	0.0060
Tratamientos	1.9979	6	0.333	90.9593	0.0000
Nitrógeno (N)	0.7465	2	0.3732	100.865	0.0000
Azufre (S)	0.0975	1	0.0975	26.351	0.0002
N*S	0.5838	2	0.2919	78.892	0.0000
Error	0.0439	12	0.0037		
Total	3.5286	20			

CV = 1.16 %

El análisis de varianza realizado para evaluar el diámetro de mazorcas sin brácteas muestra que los factores de manera independiente influyen de manera significativa ($p<0.05$). La interacción entre nitrógeno y azufre también es significativa (p-valor = 0.0000), lo que indica que el efecto combinado de ambos nutrientes tiene un impacto relevante en el diámetro de las mazorcas, obteniendo resultados diferentes a los obteniendo cuando se aplican por separado. Esto indica una interacción sinérgica que favorece el desarrollo del cultivo.

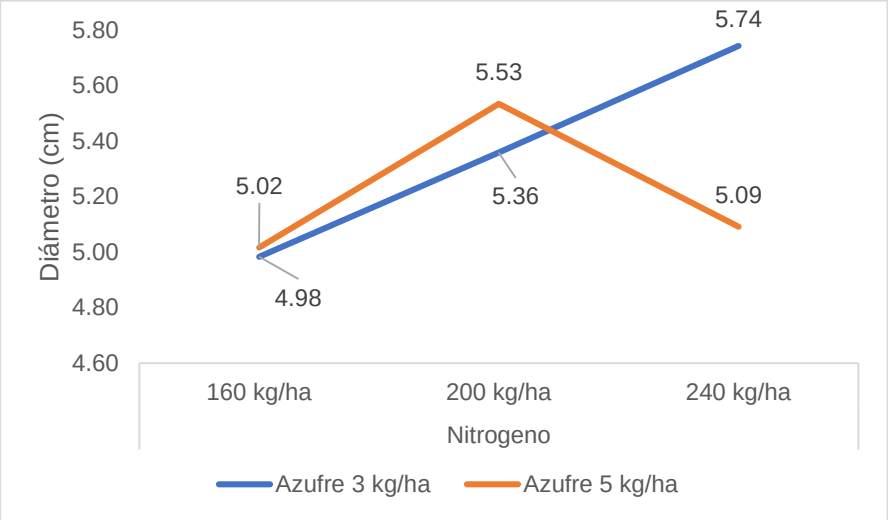
Los bloques también presentan un efecto significativo (p-valor = 0.0060), lo que implica que las diferencias entre las repeticiones son relevantes para la variable evaluada. Esto muestra que la variabilidad en las condiciones experimentales pudo haber influido en los resultados, lo cual debe considerarse al interpretar el experimento.

El coeficiente de variación obtenido es de 1.16 %, lo que se considera adecuado para el experimento realizado. Este valor refleja una baja variabilidad de los resultados del diámetro de

mazorcas sin bráctea dentro de cada tratamiento evaluado, lo que indica una buena confiabilidad de los resultados obtenidos respecto para esta variable.

Figura 8

Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en el diámetro de mazorcas sin brácteas.



La Figura 8, muestra que el diámetro de mazorca sin brácteas aumenta cuando se incrementa la dosis de nitrógeno combinada con una dosis de azufre 3 kg ha-1, alcanzando su valor máximo con 240 kg ha-1 de nitrógeno (5.74 cm) lo antes mencionado coincide para el factor nitrógeno con lo que refiere Lopez *et al.* (2022) donde indica que, el diámetro de la mazorca sobre el factor dosis de nitrógeno presentó diferencias significativas, registrándose los mayores valores promedios con las dosis aplicadas de 207 y 276 kg ha-1 de nitrógeno, resultado que fue influenciado por la importancia de este nutriente en la nutrición mineral en las plantas, lo que le permitió tener una mayor transformación de biomasa, dentro de su metabolismo fisiológico. Al respecto Salazar e Inguilán (2012) muestra que, el diámetro de la mazorca con SAM 100 kg ha-1 (21%N – 24%S) y SAM 50 kg ha-1 (21%N – 24%S) y azufre elemental presentaron valores promedio de 4.64, 4.55 ,4.3 y 4.22 cm.

Sin embargo, al aumentar la dosis de azufre a 5 kg ha-1, el efecto positivo del nitrógeno es menos evidente y, en dosis altas, puede incluso reducir el diámetro llegando hasta 5.09 cm., esto tiene relación con lo obtenido por Martínez Reyes (2015) señalando que, el mayor diámetro se obtuvo con fertilización química 80-23-15 + A. brasilense + C. violaceum, seguido de Fertilización química 160-46-30 y Chromobacterium violaceum + fertilización química 160-46-30, con 3.65 cm, 3.57 cm y 3.55 cm respectivamente, mientras que el de menor diámetro de mazorcas fue el Testigo absoluto con 3.42 cm.

Estos resultados indican una interacción sinérgica entre nitrógeno y azufre a dosis moderadas, mientras que combinaciones excesivas de ambos nutrientes pueden generar un efecto negativo, limitando el desarrollo del cultivo. Dosis equilibradas de nitrógeno y azufre son clave para maximizar el diámetro de las mazorcas, evitando efectos contraproducentes a dosis elevadas.

4.1.7 Peso de grano por mazorca (g)

Tabla 18

Prueba de Tukey para el peso de granos por mazorca (g)

Tratamientos	Nitrógeno (kg ha-1)	Azufre (kg ha-1)	Peso de granos por mazorca (g)	Agrupación
T5	240	3	312	A
T4	200	5	260.42	B
T3	200	3	209.83	C
T6	240	5	206.25	C
T2	160	5	147.83	D
T1	160	3	142.42	D
		Testigo	103.75	E

La prueba de Tukey para el peso de granos por mazorca muestra que las combinaciones de fertilización con 240 kg ha-1 de nitrógeno y 3 kg ha-1 de azufre generan el mayor peso

promedio de granos (312 g), ubicándose en el grupo A. Este tratamiento fue el más efectivo para mejorar el peso de granos. El tratamiento con 200 kg ha-1 de nitrógeno y 5 kg ha-1 de azufre alcanzó un peso de 260.42 g, clasificándose en el grupo B. Por su parte, los tratamientos con 200 kg ha-1 de nitrógeno más 3 kg ha-1 de azufre y 240 kg ha-1 de nitrógeno más 5 kg ha-1 de azufre obtuvieron pesos de 209.83 g y 206.25 g, respectivamente, ubicándose en el grupo C.

Los tratamientos con 160 kg ha-1 de nitrógeno más 5 kg ha-1 y 3 kg ha-1 de azufre mostraron menores pesos (147.83 g y 142.42 g) y se ubicaron en el grupo D. El tratamiento testigo, sin fertilización, obtuvo el menor peso promedio de 103.75 g, en el grupo E. Los tratamientos con mayores dosis de nitrógeno combinadas con dosis moderadas de azufre lograron los mayores pesos de granos por mazorca, mientras que la ausencia de fertilización y las dosis más bajas generaron los menores pesos.

Tabla 19

Análisis de varianza para el peso de granos por mazorca (g)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	299.7	2	149.85	2.67	0.1098
Tratamientos	94762.33	6	15793.72	281.62	0.0000
Nitrógeno (N)	43344	2	21672	386.4479	0.0000
Azufre (S)	1237.5313	1	1237.5313	22.06725	0.0005
N*S	19419.083	2	9709.5417	173.1373	0.0000
Error	672.97	12	56.08		
Total	159735.61	20			

CV = 3.79 %

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el peso de granos por mazorca muestra que la interacción entre nitrógeno y azufre es significativa (p-valor = 0.0000), lo que implica que

el efecto combinado de ambos nutrientes es relevante y genera un incremento distinto al observado cuando se aplican de manera independiente. Esto indica que hay un efecto sinérgico entre ambos nutrientes que favorece el peso de los granos por mazorca.

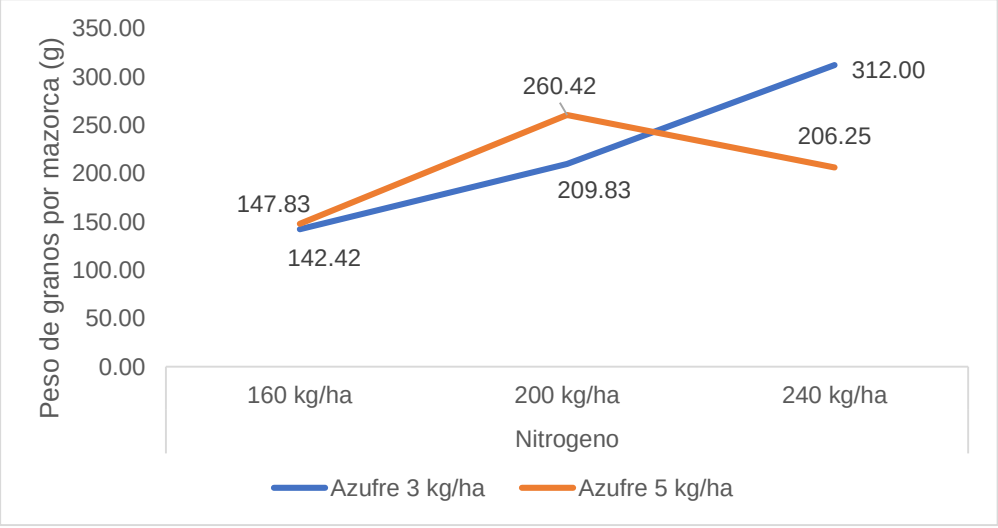
Por otro lado, tanto el nitrógeno como el azufre también influyen de manera significativa en el peso de granos por mazorca, dado que para ambos factores el valor de significación es menor al 0.05. Esto indica que ambos factores pueden generar resultados distintos de manera independiente.

Para los bloques no presentan un efecto significativo (p-valor = 0.1098), lo que indica que las diferencias entre las repeticiones no son estadísticamente relevantes para esta el peso de gramo por mazorca, lo cual indica que las condiciones experimentales fueron homogéneas.

El coeficiente de variación obtenido es de 3.79 %, lo que se considera adecuado para el experimento realizado. Este valor refleja una baja variabilidad de los resultados del peso de granos por mazorca dentro de cada tratamiento evaluado, lo que indica una buena confiabilidad de los resultados obtenidos respecto para esta variable.

Figura 9

Efecto de la interacción del nitrógeno y azufre en el peso de granos por mazorca (g)



La Figura 9, muestra que el mayor peso de granos por mazorca (312.00 g) se obtiene con 240 kg ha-1 de nitrógeno y 3 kg ha-1 de azufre. Cuando la dosis de azufre es de 3 kg ha-1, el peso de los granos aumenta de manera constante al incrementar las dosis de nitrógeno. Esto coincide con lo que refiere Salazar y Inguilán (2012) mencionan que, el sulfato de Amonio con las dosis de 50 y 100 kg ha-1 junto con los tratamientos S100 y S50 de 100 kg. ha-1, obtuvieron valores de 150.2, 144.3, 140.2 y 137.05 gr respectivamente.

Sin embargo, con 5 kg ha-1 de azufre, el peso de granos alcanza su máximo con 200 kg/ha de nitrógeno (260.42 g) y disminuye a 206.25 g con 240 kg ha-1 de nitrógeno, lo que indica un posible efecto negativo de dosis excesivas. Al respecto en el artículo publicado por Zhang et al. (2020), "Impact of Excessive Sulfur on Soil Health and Microbial Activity", refiere que, los niveles elevados de azufre en el suelo pueden causar acidificación, lo que disminuye la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. Además, el desequilibrio en la concentración de azufre interfiere con la actividad de microorganismos beneficiosos que son fundamentales para la descomposición de materia orgánica y la fijación de nitrógeno.

La combinación más efectiva para maximizar el peso de los granos por mazorca es 240 kg ha-1 de nitrógeno con 3 kg ha-1 de azufre. Dosis elevadas de ambos nutrientes pueden limitar el rendimiento, por lo que es clave manejar las dosis de forma equilibrada para evitar efectos adversos.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los tratamientos T2 (160 kg ha^{-1} de N y 5 kg ha^{-1}de S) con una altura de 3.55 m, T5 (240 kg ha^{-1} de N y 3 kg ha^{-1} de S) con 3.48 m. y T4 (200 kg ha^{-1} de N y 5 kg ha^{-1} de S) con 3.44m. alcanzaron el mejor resultado en la variable altura de planta, mientras tanto, el testigo presentó el menor crecimiento, con un valor de 2.95 m.

En cuanto al rendimiento en el peso de mazorcas con brácteas, los tratamientos T5 (240 kg ha^{-1} de N y 3 kg ha^{-1} de S), con un peso de 15,299.00 kg ha^{-1}, y T4 (200 kg ha^{-1} de N y 5 kg ha^{-1} de S), con 14,355.00 kg ha^{-1}, presentaron diferencias estadísticamente significativas en comparación con los tratamientos T6 (12,252.33 kg ha^{-1}), T3 (10,192.67 kg ha^{-1}), T2 (9,082.33 kg ha^{-1}) y T1 (8,388.00 kg ha^{-1}). Finalmente, el testigo registró el menor rendimiento, con un peso de 5,912.00 kg ha^{-1}.

El tratamiento T5 (240 kg ha^{-1} de N y 3 kg ha^{-1} de S) generó el mayor rendimiento en el peso de mazorcas sin brácteas, con 11,516.67 kg ha^{-1}, presentando diferencia estadísticamente significativa respecto al tratamiento T4 (200 kg ha^{-1} de N y 5 kg ha^{-1} de S), que obtuvo 10,218.33 kg ha^{-1}. finalmente, el testigo registró el menor rendimiento, con 3,554.33 kg ha^{-1}.

La mayor longitud y el mayor diámetro de mazorca se obtuvieron con el tratamiento de T5 (240 kg ha^{-1} de N y 3 kg ha^{-1} de S) con valores de 33.08 cm de longitud y 5.74 cm de diámetro. Mientras tanto, el testigo presentó los menores resultados, con valores de 14.00 cm de longitud y 4.82 cm de diámetro.

El mayor peso de granos por mazorca se obtuvo con el tratamiento T5 (240 kg ha^{-1} de N y 3 kg ha^{-1} de S) con un peso de 312 g. siendo estadísticamente significativo al tratamiento T4 (200 kg ha^{-1} de N y 5 kg ha^{-1} de S) con un valor de 260.42 g, Por el contrario, el testigo presentó un peso de 103.75 g por mazorca.

5.2 Recomendación

Llevar a cabo el experimento en otras regiones utilizando las mismas dosis y mismas combinaciones para determinar el efecto que puede ofrecer en altura de planta, número de mazorcas por planta, peso de mazorcas con brácteas, peso de mazorcas sin brácteas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de granos por mazorca.

Utilizar tratamientos de fertilización a base nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz amiláceo (Zea mys L.) variedad local, en el centro poblado El Cholocal, por presentar buenos resultados en rendimiento de mazorcas.

Realizar experimentos con diferentes dosis de nitrógeno (N) y azufre (S) en el cultivo de maíz, tanto en el centro poblado El Cholocal como en otras localidades.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

Bermúdez, A., Rivas, J., & Rodríguez, M. (2020). *El impacto de la fertilización en el rendimiento del maíz amiláceo en la Sierra peruana*. Revista de Ciencia y Tecnología Agrícola, 45(2), 123-130.

Cabrera Caruajulca, (2023). microorganismos eficaces en la productividad de maíz choclero inía 603 (*Zea mays* L.) en la estación experimental agraria – baños del inca, cajamarca.

Ramos y Rodríguez (2023) Efecto del nitrógeno en adición de Azospirillum brasilense y bioactivadores de microorganismos del suelo en el cultivo del maíz (Zea mays L.) Dorado F1 y su rentabilidad, Matagalpa, 2023.

COMPO EXPERT. (2025). Interacción positiva entre nutrientes y microorganismos: sinergismo para un rendimiento superior. Recuperado de https://www.compo-expert.com/es-AR/noticias/producto/sinergia-nutricional-en-trigo-claves-para-una-fertilizacion-eficiente

Castro (2018). Momentos de aplicación de la fertilización nitrogenada a base de sulfato de amonio en el cultivo de Maíz Choclo (Zea mays L.) en el valle del Medio Piura. Tesis. Piura – Perú 2018.

Cherres, (2017). Efecto de la fertilización nitrogenada en función a la densidad de siembra para la producción de maíz choclo (Zea mays L.) en el Valle del Chira. Tesis. U.N.P. Piura. Perú.

Cárdenas, E., Sánchez, J., & Hernández, A. (2020). Impacto de la fertilización nitrogenada y azufrada en el rendimiento del maíz en zonas andinas. Revista Agrícola Andina, 28(1), 45-57.

Del Monte, (2017) Nutrición, la clave del rendimiento en la producción de maíz. Blog.

FAO. (2020). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/3/ca9692es/ca9692es.pdf

Fertilizar (2013) nitrógeno y azufre. Sinergismo entre dos nutrientes. Artículo publicado en la Revista Fertilizar Nº26 año 2013. Autor: Ing. Agr. (PhD) Fernando Salvagiotti Fertilidad de suelos y Nutrición Vegetal EEA Oliveros INTA.

Jones, R., Zhang, W., & Patel, S. (2021). Sulfur Toxicity in Crops: Implications for Photosynthesis and Crop Quality. Plant Physiology and Biochemistry, 60(4), 312-319.

Real Academia Española (2023). Diccionario de la lengua española, 23. ed.

Castro (2018) Efecto de fertilizantes a base de Nitrógeno, Azufre y Magnesio en el incremento de la clorofila, proteína y rendimiento de maíz (Zea mays L.) en la zona de Babahoyo

García, A., Soto, P., & López, F. (2021). Sinergia entre nitrógeno y azufre en la producción de maíz amiláceo. Revista de Ciencia y Tecnología Agrícola, 17(2), 52-63.

Garcia (2005) Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur Av. Santa Fe 910 – (B1641ABO) Acassuso – Argentina fgarcia@inpofos.org.

Garcia Pando (2013). Guía técnica “Fertilización en el cultivo de maíz blanco amiláceo”. Calca – Cuzco – Perú.

Gordon et al. (1992). evaluación de dosis y métodos de aplicación de azufre y su efecto residual en el cultivo de maíz en dos localidades de Azuero, Panamá. agronomía mesoamericana 3: 52-56. 1992.

Istituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2022). Censos nacionales 2021: Características de la población rural. INEI. https://www.inei.gob.pe

INIA, (2021). Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro. Ministerio de agricultura y riego instituto nacional de innovación agraria.

Intagri, (2016) sinergismo y antagonismo entre nutrientes. Blog. Extraído de https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sinergismos-y-antagonismos-entre-nutrientes.

Lopez, F., Martínez, P., & Sánchez, J. (2018). Effects of Nitrogen and Sulfur Fertilization on Wheat Growth and Development. Plant Nutrition Journal, 42(1), 101-110.

Lopez et al. (2022) Eficiencia agronómica de nitrógeno y rendimiento de maíz amarillo con fertilización orgánica y mineral en época seca. Vol. 13 Nº 2. pp: 40-47. ISSN:1390-8103.

Lugo Pereira (2023). Aplicación de nitrógeno en el cultivo de maíz en diferentes estadios fenológicos. Rev. Inv. Cs. Agro. y Vet. vol.7 no.19 La Paz abr. 2023 Epub 19-Abr-2023. ISSN 2664-0902.

Lugo et. L. (2021). Red internacional para la investigación de las respuestas a la limitación de azufre en los cultivos. Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas (CBGP, UPM-INIA). Chile. Link. https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/326691-RED-RINAP

Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants (3ra ed.). Elsevier.

Martínez Reyes (2015) Evaluación de biofertilizantes en la producción del cultivo de maíz (Zea mays L.) en Villaflores, Chiapas. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS CIENCIAS AGROPECUARIAS - FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V. http://www.repositorio.unach.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/3008/1/RIBC144803.pdf.

Ministerio de Agricultura y Riego del Perú (2022). Boletín de estadísticas agrícolas 2022. https://www.minagri.gob.pe

Muedas Quispe (2019) Dosis de nitrógeno y potasio en la producción de Zea mays L. híbrido DK 7088 – Pangoa. SATIPO – PERÚ 2019. https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ Repositorio Institucional – UNCP

Obando Arequipa, E. S. (2019). Caracterización morfológica de maíz blanco Harinoso (Zea mays L.) material nativo “Chazo” de la provincia de Chimborazo [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional UTA. https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29726

Ortigoza-Guerrereño, J., López-Talavera, C. A., y Gonzalez-Villalba, J. D. (2019). Cultivo de Maíz. https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gkeatt/gt_04.pdf

Pereira et al. (2023) Aplicación de nitrógeno en el cultivo de maíz en diferentes estadios fenológicos. Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria. versión On-line ISSN 2664-0902. Rev. Inv. Cs. Agro. y Vet. vol.7 no.19 La Paz abr. 2023 Epub 19-Abr-2023

Perez Mori, (2004). Influencia de niveles de azufre en el rendimiento de choclo y grano de maíz ACP (Zea mays) con dos densidades de siembra en un entisols. URI: http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/1743 Fecha: 2004.

Pfeifauf (2024) Respuesta en rendimiento a distintas dosis y fuentes de nitrógeno en maíz tardío. facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Mar de la Plata.

Rosa Simón, Inés Golik (2018). Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química. Título del libro: Cereales de verano.

Rosen, C. (2019). *Nutrient management for corn production*. University of Minnesota Extension. https://extension.umn.edu/crop-production/nutrient-management-corn

Salazar y Inguilán (2012) efecto del azufre sobre el rendimiento del maíz zea mays l. en suelos de Pupiales, Nariño. universidad de Nariño facultad de ciencias agrícolas programa de ingeniería agronómica san juan de pasto 2012

Berrios et al. (2019) Efecto de la fertilización nitroazufrada sobre el rendimiento y calidad de tres genotipos de maíz con diferentes texturas de endospermo. https://www.redalyc.org/journal/4499/449961664007/html/

Senamhi, (2021). Maíz Amiláceo. Ficha técnica agroclimática. Ministerio del ambiente. FT: CT04 Maíz Amiláceo.

Torres y Vargas (2023). Efectividad de la fertilización nitroazufrada sobre el rendimiento de mazorcas del maíz INIAP 543-qpm en épocas seca y lluviosa. URI: http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2253 Fecha: 2023-1

Urbina Algabas, R. (2015). Control de calidad en la producción “tradicional” y “no convencional” de semillas de variedades de maíz (Zea mays L.) de polinización libre.

https://lac.harvestplus.org/wpcontent/uploads/2017/11/manual_semilla_maíz_biofortificado.pdf

Vasques, (2019) “Efecto de tres dosis de fertilización en el rendimiento de tres variedades de maíz amiláceo (Zea mays L.) en tres localidades del distrito de Cutervo, 2016-2017.

Vargas, A. H., Romero-Fernández, A. J., & Suarez-Torres, C. E. (2022). Modelo de gestión logística para pequeñas empresas agrícolas. Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología, 8(15), 1-12.

Velásquez, P., Solano, J., & Sánchez, L. (2022). *Uso combinado de nitrógeno y azufre en cultivos de maíz en suelos deficientes: Una revisión*. Agronomía y Sostenibilidad.

ANEXOS

Anexo 1

Resultados de análisis

Instituto Nacional de Innovación Agraria

CON REGISTRO N° LE - 200

INFORME DE ENSAYO

N° 091030-24 / SU / LABSAF - BAÑOS DEL INCA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: FERNADEZ TORRES JOSELITO
Propietario / Productor	: DAVID ALFARO
Dirección del cliente	: JR. AURELIO PASTOR A-33 - CAJAMARCA
Solicitado por	: CLIENTE
Muestreado por	: CLIENTE
Número de muestra(s)	: 1
Producto declarado	: Suelo
Presentación de las muestras(s)	: BOLSA DE PLÁSTICO
Referencia del muestreo	: RESERVADO POR EL CLIENTE
Procedencia de muestra(s)	: CACHACHI - CAJABAMBA - CAJAMARCA
Fecha(s) de muestreo	: 2024-08-16 (***)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2024-08-21
Lugar de ensayo	: LABSAF BAÑOS DEL INCA
Fecha(s) de análisis	: Del 2024-09-22 al 2024-09-17
Cotización del servicio	: 351-24-BI
Fecha de emisión	: 2024-09-18

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio			SU2015-BI-24	--	--	--	--	--
Matriz Analizada			Suelo	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo			2024-08-16	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)			17:00	-	-	-	-	-
Condición de la muestra			Conservada	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			PARCELA 1	-	-	-	-	-
Ensayo	**Unidad**	**LC**	**Resultados**					
pH.	unid. pH	0,1	7,9	-	-	-	-	-
Acidez Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,5	--	-	-	-	-	-
Aluminio Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,5	--	-	-	-	-	-
Carbonato De Calcio Equivalente	%	0,5	18,3	-	-	-	-	-
Materia Organica	%	0,1	3,3	-	-	-	-	-
Fósforo Disponible	mg/kg	0,5	9,8	-	-	-	-	-
Conductividad Electrica	mS/m	1,0	20,0	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/g	0,1	1,8	-	-	-	-	-
Potasio disponible (*)	mg/kg	0,5	56,7	-	-	-	-	-

Firmado digitalmente por: CABRERA HOYOS Hector Antonio FAU 20131300094 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18/09/2024 10:48:42-0500

Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliares
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
LABSAF (Nombre)
Dirección: (Dirección del laboratorio)
Email: (correo de contacto del laboratorio)

Página 1 de 4

www.inia.gob.pe

RECOMENDACIONES

Código de Muestra	Cultivo a Instalar	Cantidades de Nutriente Kg/Ha			Cantidades en Tn/Ha	
		N	P_2O_5	K_2O	CAL	ESTIERCOL
SU2015-BI-24	MAIZ	110	65	60	--	2,70

PLAN DE FERTILIZACION QUIMICA

Primera Fertilización Kg/Ha - Siembra	
Urea	
Fosfato Diamonico	
Sulfato de Potasio	

Porgrama de Fertilización	Siembra	Aporque
N		
P_2O_5		
K_2O		

Segunda Fertilización Kg/Ha - Aporque	
Urea	

Fuente	N	P_2O_5	K_2O	Azufre
Urea				

PLAN DE ABONO ORGANICO

Abonamiento Kg/Ha - Siembra
Incorporar Materia Organica Procesada

COMENTARIOS:

Firmado digitalmente por: CABRERA HOYOS Hector Antonio FAU 20131369894 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18/08/2024 10:41:18-0500

Anexo 2

Interpretación de análisis de suelos

PARÁMETRO	VALOR	INTERPRETACIÓN
Ph	7.9	Suelo ligeramente alcalino. Puede afectar la disponibilidad de los micronutrientes como el Fe, Zn y Mn.
Acidez intercambiable	0.0	Nula. Coherente con el Ph alto.
Aluminio intercambiable	0.0	Ausente. No hay toxicidad por aluminio.
Carbonato de calcio (CaCO3)	18.3	Contenido alto. Suelo calcáreo. Podría causar clorosis férrica en algunos cultivos. Reduce la eficacia de fertilizantes fosforados.
Materia orgánica	1.0%	Muy baja. Se requiere incorporar abonos orgánicos o enmiendas para mejorar la estructura del suelo
Fosforo disponible	1.6 mg/kg	Deficiente.
Conductividad eléctrica	0.09 ds/m	No salino
Nitrógeno total	0.05%	Bajo. Deficiencia importante. Requiere aplicación de N, fraccionado según el cultivo y etapa fenológica.
Potasio disponible	56.7 mg/kg	Nivel medio-bajo. Se requiere aplicar potasio, sobre todo en cultivos exigentes.

Anexo 3

Datos de bloques y tratamientos.

BLOQUES	TRATAMIENTOS	PARÁMETROS EVALUADOS						
		Altura de planta (m)	Número de mazorcas por planta (u)	Peso de mazorcas con brácteas (g)	Peso de mazorcas sin brácteas (g)	Longitud de mazorcas sin brácteas (cm)	Diámetro de mazorcas sin brácteas (cm)	Peso de granos por mazorca (g)
1	T1	3.21	1	350.3	200.6	15.9	5.1	143.1
2	T1	3.25	1	349.9	198.9	14.9	4.8	142
3	T1	3.23	1	348.5	201.1	16.2	5	142.1
	PROMEDIO	3.23	1	349.6	200.2	15.7	5.0	142.4
1	T2	3.54	1	377	209.6	26.1	5.2	147.1
2	T2	3.58	1	378.9	207.8	25.8	4.7	148.4
3	T2	3.52	1	379.4	210.1	26.6	5.1	147.9
	PROMEDIO	3.55	1	378.4	209.2	26.2	5.0	147.8
1	T3	3.12	1	425.7	300.3	28.6	5.5	209.9
2	T3	3.17	1	427.1	298.6	28.2	5.2	208.7
3	T3	3.14	1	423.2	301.1	28.9	5.4	210.8
	PROMEDIO	3.14	1	425.3	300.0	28.6	5.4	209.8
1	T4	3.46	1	596.8	425	31.9	5.7	260.3
2	T4	3.41	1	599.7	426.1	31.4	5.3	259.8
3	T4	3.45	1	597.8	426.2	31.6	5.6	261.2
	PROMEDIO	3.44	1	598.1	425.8	31.6	5.5	260.4
1	T5	3.5	1	638.6	479.2	33.2	5.9	313.1
2	T5	3.45	1	637.7	481.9	32.9	5.6	310.7
3	T5	3.48	1	635.9	478.4	33.1	5.5	312.2
	PROMEDIO	3.48	1.0	637.4	479.8	33.1	5.7	312.0
1	T6	3.06	1	512.4	322.5	29.2	5.1	206.9
2	T6	3.09	1	509	320.8	29.5	5.3	205.7
3	T6	3.07	1	510.5	321.7	29.5	4.8	206.3
	PROMEDIO	3.07	1	510.6	321.7	29.4	5.1	206.3
1	T0	2.9	1	245.7	148.7	14.1	4.8	103.7
2	T0	2.87	1	247.5	147.7	14.2	4.9	102.9
3	T0	2.9	1	245.9	148.8	13.6	4.7	104.6
	PROMEDIO	2.90	1	246.4	148.4	14.0	4.8	103.7

Anexo 4

Catalogo fotográfico del proyecto realizado en centro poblado El Cholocal, distrito de Cachachi, Provincia Cajabamba.

Figura 2

Preparación de terreno y surcado

Figura 3

Pesado de fertilizantes y delimitación de parcelas

Figura 4

Segunda fertilización y deshierbo

Figura 5

Campos experimentales Deshierbados

Figura 6

Riegos

Figura 7

Control de cogollero y maíz después de 3 semanas de deshierbo

Figura 8

Maíz iniciando floración

Figura 9

Realizando medida de altura de planta y cosecha de mazorcas

Figura 10

Pesado de mazorcas con brácteas y sin brácteas

Figura 11

Medida de longitud y diámetro de mazorcas