

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Efecto de la fertilización química y orgánica sobre variables de crecimiento y rendimiento en
el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad NK 4015 VIP3 en el municipio de Aguazul,
Casanare

Elián David Pérez Pastrana

Programa de Ingeniería Agronómica

2024

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA



Efecto de la fertilización química y orgánica sobre variables de crecimiento y rendimiento en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad NK 4015 VIP3 en el municipio de Aguazul, Casanare

Trabajo de investigación como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Elián David Pérez Pastrana

CC. 1006424441

Director

Ana Francisca González Pedraza

Doctora en Ciencias Mención Ecología

Programa de Ingeniería Agronómica

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación, en primer lugar, a Dios Todopoderoso, cuya guía y protección me permitieron llevar a cabo este proyecto con salud y fortaleza.

A mi madre, Carolina Pastrana Gámez, por ser mi pilar fundamental e incondicional a lo largo de este proceso, y a quien atribuyo este logro. A mi padre, Luis Orosman Pérez Ortiz, por su constante orientación y por inspirarme a incursionar en el ámbito de la agricultura, inculcándome el amor por el campo. A mi hermana, Karol Fernanda Pérez Pastrana, por ser mi compañera en cada desafío, brindándome el aliento necesario para superar los momentos difíciles.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi directora de tesis, Ana Francisca González Pedraza, por su asesoría experta y su inquebrantable compromiso con el éxito de mi investigación. Sus observaciones y recomendaciones fueron de un valor incalculable, y estoy profundamente agradecido por el tiempo y esfuerzo que dedicó a este proyecto.

Extiendo mi gratitud a mi familia, en especial a mis padres y a mi hermana, así como a mis amigos, por su incondicional apoyo y confianza en mí. Sus palabras de aliento y motivación representaron un impulso significativo durante todo este proceso.

Finalmente, agradezco a todos mis profesores y compañeros de clase por el conocimiento compartido y la inspiración brindada a lo largo de mi formación académica. Su influencia ha sido determinante para mi crecimiento tanto académico como personal.

Contenido

Dedicatoria	3
Agradecimientos	4
Resumen.....	10
Abstract	11
Introducción	12
Planteamiento del problema.....	14
Justificación	15
Objetivos	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos.....	16
Delimitación del estudio	16
Marco teórico	18
Antecedentes	18
Marco contextual	22
Generalidades de la planta de maíz.....	22
Clasificación taxonómica del maíz	23
Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo del maíz	24
Marco Legal	24
Metodología	27
Diseño experimental y tratamientos.....	28
Análisis estadístico.....	31
Resultados y discusión	32
Conclusiones	54

Recomendaciones	55
Bibliografía	56
Anexos	60

Lista de figuras.

Figura 1. Área delimitada finca La Candelaria, Vereda Bella vista - Aguazul Casanare. (Google Eart).	
.....	17
Figura 2. Número de mazorcas por planta en cuatro diferentes tratamientos..	17
Figura 3. Rendimiento por hectárea en los diferentes tratamientos .	17
Figura 4. Peso del grano seco en los diferentes tratamientos	17
Figura 5. Peso de 1000 granos en los diferentes tratamientos	17
Figura 6. Humedad de granos en los diferentes tratamientos	17

Lista de tablas.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz (<i>Z. mays</i> L.).....	23
Tabla 2. Características Agronómicas de la variedad de maíz amarillo NK 4015 VIP3	23
Tabla 3. Condiciones agroclimáticas del maíz (<i>Z. mays</i> L.) y oferta de la región	27
Tabla 4. Resultados del ANOVA del número de hojas a los 30 días después de la siembra (NH 30 DDS).	32
Tabla 5. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre el número de hojas en <i>Z. mays</i> L. (NK 4015 VIP3) a los 30 días después de la siembra.....	33
Tabla 6. ANOVA para el Número de Hojas a los 60 días después de la siembra (NH 60 DDS)	33
Tabla 7. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre el número de hojas en <i>Z. mays</i> L. (NK 4015 VIP3) a los 60 días después de la siembra.....	35
Tabla 8. ANOVA para el Número de Hojas a los 90 días después de la siembra (NH 90 DDS)	36
Tabla 9. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre el número de hojas en <i>Z. mays</i> L. (NK 4015 VIP3) a los 90 días después de la siembra.....	37
Tabla 10. ANOVA para el Número de Hojas a los 120 días después de siembra (NH 120 DDS)	38
Tabla 11. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre el número de hojas en <i>Z. mays</i> L. (NK 4015 VIP3) a los 120 días después de la siembra.	38
Tabla 12. ANOVA para altura de la planta (AP) a los 30 días después de siembra (AP 30 DDS)	40
Tabla 13. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre la altura de la planta en <i>Z. mays</i> L. (NK 4015 VIP3) a los 30 días después de la siembra.	41
Tabla 14. Análisis de Varianza (ANOVA) de la Altura de la Planta (AP) a los 60 días después de siembra (DDS).....	41
Tabla 15. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre la altura de la planta en <i>Z. mays</i> L. (NK 4015 VIP3) a los 60 días después de la siembra.	42
Tabla 16. Análisis de Varianza (ANOVA) de la Altura de la Planta (AP) a los 90 días después de siembra (DDS).....	43
Tabla 17. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre la altura de la planta en <i>Z. mays</i> L. (NK 4015 VIP3) a los 90 días después de la siembra.	44
Tabla 18. Análisis de Varianza (ANOVA) para Altura de la Planta (AP) a los 120 días después de siembra (DDS).....	44

Tabla 19. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre la altura de la planta en <i>Z. mays</i> L. (NK 4015 VIP3) a los 120 días después de la siembra.	45
Tabla 20. Análisis de Varianza (ANOVA) de área foliar	47
Tabla 21. Medias, desviación estándar y letras de significancia de Área foliar e Índice de Área Foliar	48

Resumen

El presente estudio se centró en el establecimiento de un proyecto productivo de maíz (*Zea mays* L.) híbrido amarillo de la variedad Nk 4015 Vip3, como modelo de producción agrícola en el municipio de Aguazul, Casanare. Se implementó un diseño experimental de bloques completamente al azar, compuesto por cuatro tratamientos y cinco repeticiones, con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización química y orgánica sobre las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz. La implementación del cultivo se llevó a cabo en un ciclo productivo sobre una superficie de 1.000 m² la cual fue subdividida en 20 unidades experimentales. Cada parcela experimental tuvo dimensiones de 10 metros de longitud por 2 metros de ancho, totalizando una superficie de 20 m² por parcela. El manejo agronómico del maíz incluyó la aplicación de cuatro tratamientos diferenciados: testigo sin fertilizante, fertilización química, fertilización orgánica y fertilización mixta. Además, se realizaron monitoreos continuos, manejo integrado de arvenses, control integrado de plagas y enfermedades, y se llevó a cabo la cosecha siguiendo las prácticas agronómicas recomendadas para optimizar el rendimiento del cultivo. Los resultados mostraron que el Tratamiento 2 (100% químico) fue el más efectivo, logrando las mayores alturas y número de hojas en todas las etapas. El Tratamiento 4 (50% químico + 50% orgánico) se posicionó como una alternativa sostenible, obteniendo resultados intermedios sin diferencias significativas con el tratamiento químico en algunas variables. En cambio, el área foliar no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Se destaca el impacto de la fertilización en el desarrollo del maíz, sugiriendo que, aunque el fertilizante químico optimiza el crecimiento, las combinaciones químico-orgánicas ofrecen un equilibrio prometedor entre productividad y sostenibilidad. Estudios a largo plazo son recomendados.

Palabras Claves: maíz, desarrollo, manejo, planta.

Abstract

The present study focused on the establishment of a productive project of yellow hybrid corn (*Zea mays* L.) of the variety Nk 4015 Vip3, as a model of agricultural production in the municipality of Aguazul, Casanare. A completely randomized block experimental design was implemented, composed of four treatments and five repetitions, with the objective of evaluating the effect of chemical and organic fertilization on the growth and yield variables of the corn crop. The implementation of the crop was carried out in a production cycle on an area of 1,000 m² which was subdivided into 20 experimental units. Each experimental plot had dimensions of 10 meters long by 2 meters wide, totaling a surface area of 20 m² per plot. The agronomic management of corn included the application of four different treatments: control without fertilizer, chemical fertilization, organic fertilization and mixed fertilization. In addition, continuous monitoring, integrated weed management, integrated pest and disease control were carried out, and the harvest was carried out following the recommended agronomic practices to optimize crop performance. The results showed that Treatment 2 (100% chemical) was the most effective, achieving the highest heights and number of leaves in all stages. Treatment 4 (50% chemical + 50% organic) was positioned as a sustainable alternative, obtaining intermediate results without significant differences with the chemical treatment in some variables. The leaf area, however, showed no significant differences between treatments. The impact of fertilization on maize development is highlighted, suggesting that although chemical fertilizer optimizes growth, organic-chemical combinations offer a promising balance between productivity and sustainability. Long-term studies are recommended.

Keywords: maize, development, management, plant.

Introducción

El maíz es una planta monocotiledónea muy cultivada a lo largo del mundo, siendo uno de los alimentos de consumo básico en muchas poblaciones, perteneciente a la familia de las Poáceas, de la tribu Maydeas, las especies del género *Tripsacum* son formas salvajes parientes del maíz, también con origen americano, pero sin valor económico directo (Paliwal, 2001).

El nombre científico del maíz es de origen indio caribeño, significa literalmente “lo que sustenta la vida” pero también diferentes regiones le han dado otros nombres en español como oroña, danza, zara, millo, mijo o panizo, elote, choclo o jojoto (Urango, 2018).

Es un cultivo de régimen anual, su ciclo vegetativo oscila entre 120 a 140 días, desde la siembra hasta la cosecha dependiendo del material genético, el medio ambiente, las prácticas culturales y las plagas y/o enfermedades (Agrosavia, 2022).

El maíz es uno de los cereales más antiguos a nivel mundial. En 2022, se produjeron 1,1 mil millones de toneladas de maíz, lo que lo convierte en el cereal más importante del mundo, superando al trigo y al arroz. Además, como planta, el maíz tiene múltiples usos y puede ser utilizada en varias etapas de su desarrollo. De igual forma, se pueden distinguir más de cincuenta variedades de maíz, siendo las más comunes el maíz blanco y el amarillo. China acumula la mayor cantidad de área sembrada de maíz en el mundo, contribuyendo con el 21% del total. Sin embargo, el principal productor es Estados Unidos y en 2021 produjo cerca de una tercera parte de la producción mundial; cabe destacar que estos dos países producen en conjunto más del 50% del maíz mundial. Colombia, por su parte, ocupa los puestos 50 y 53 en área sembrada y producción de este cereal, respectivamente (Bolsa mercantil de Colombia BMC, 2023).

En Colombia, el maíz es el tercer cultivo con mayor superficie de siembra después del café y el arroz. A pesar de ello, es el país con mayor volumen de importaciones en Suramérica y el séptimo en el mundo. El maíz tiene una dimensión social importante en la alimentación de millones de colombianos, aportando el 9% del suministro diario de energía de su dieta, a través del consumo de alimentos como arepas y mazamorra, entre otros. En promedio, un colombiano consume 30 kg de maíz al año; el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) es un organismo internacional sin fines de lucro que se dedica a la investigación científica y capacitación relacionada con el maíz y el trigo (CIMMYT, 2021).

La Variedad NK 4015 VIP3, es un híbrido de color amarillo, de excelente color, bastante oscuro. Posee un porte medio, con altura de la planta en promedio de 289 a 294 cms; así mismo presenta un promedio de 14 a 16 hojas días desarrolla a cosecha. Es un híbrido que llega a cosecha con el tallo verde, además presenta resistencia al volcamiento teniendo un buen anclaje a la base que lo hace resistente a los fuertes vientos. Las características principales de esta mazorca, es que son muy delgadas, a mayor número de hileras se va obtener mayor número de granos. Este híbrido es resistente a lepidópteros, esto permite buen expresamiento a nivel fenológico, a nivel del híbrido como competidor, buenos rendimientos en producción, en conclusión, esta variedad ofrece una alta calidad de grano y un potencial de rendimiento superior (Nk semillas, 2021).

Dada la importancia del maíz en Colombia y el potencial de la variedad NK 4015 VIP3, este estudio se enfoca en evaluar cómo la fertilización química y orgánica afecta las propiedades del suelo y el rendimiento de este cultivo en el municipio de Aguazul, Casanare. Específicamente, se comparó el impacto de estos dos tipos de fertilización en algunas propiedades fisicoquímicas del suelo, incluyendo la porosidad, el pH y la materia orgánica. Este análisis permitió entender mejor cómo cada tipo de fertilizante influye en la salud y sostenibilidad del suelo. Adicionalmente, se evaluó el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz, evaluando altura de las plantas, la producción de granos y la biomasa.

Esta investigación busca ofrecer recomendaciones prácticas para optimizar el manejo de fertilizantes en este cultivo esencial, promoviendo un enfoque más sostenible y económicamente viable para los agricultores en la región del Casanare y de todo el país.

Planteamiento del problema

En la región de Aguazul, Casanare, muchos agricultores dedicados al cultivo de maíz, ya sea criollo o transgénico, enfrentan desafíos para llevar a cabo una fertilización adecuada de sus cultivos. Esto se debe a diversos factores, como la falta de conocimiento sobre las necesidades nutricionales específicas del maíz en sus diferentes etapas de crecimiento lo cual conduce a problemas de exceso o déficit de nutrientes en el suelo, lo que resulta en una aplicación inadecuada de fertilizantes y un uso ineficiente de insumos, lo que aumenta los costos de producción.

Otro factor para considerar es la escasez de estudios de suelo, ya que pocos agricultores realizan estos análisis periódicamente, lo que les impide identificar deficiencias nutricionales específicas en su terreno y dificulta la selección y aplicación de los fertilizantes más apropiados. Además, existe un acceso limitado a insumos de calidad y restricciones económicas. Los fertilizantes representan un gasto significativo para los agricultores, y algunos pueden enfrentar limitaciones financieras para adquirirlos en las cantidades y momentos adecuados

En este sentido, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo afectan los tipos de fertilización química y orgánica las propiedades edáficas y el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Z. mays* L.) variedad NK 4015 VIP3 en el municipio de Aguazul, Casanare?

Hipótesis nula: Los tipos de fertilización química y orgánica no generan efectos significativos en las propiedades edáficas, ni en el desarrollo ni en el rendimiento del cultivo de maíz (*Z. mays* L.) variedad NK 4015 VIP3 en el municipio de Aguazul, Casanare.

Hipótesis alternativa: Los tipos de fertilización química y orgánica generan efectos significativos en las propiedades edáficas, así como en el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Z. mays* L.) variedad NK 4015 VIP3 en el municipio de Aguazul, Casanare.

Justificación

El cultivo de maíz es uno de los principales productos agrícolas en la región de Aguazul, Casanare, y representa una fuente importante de ingresos para los productores locales. Sin embargo, los rendimientos obtenidos suelen ser inferiores al potencial productivo de las variedades cultivadas, debido en parte a problemas relacionados con la fertilización. En este contexto, es fundamental generar información confiable y específica sobre las necesidades nutricionales del cultivo de maíz en la zona, así como evaluar los tratamientos de fertilización más adecuados para optimizar el rendimiento y la calidad del producto final (Secretaría-de-Agricultura, 2020)

Esto es particularmente relevante para variedades mejoradas como la NK 4015 VIP3, la cual ha sido desarrollada para ofrecer un mayor potencial de rendimiento. Mediante la evaluación del impacto de diferentes tratamientos de fertilización en variables del suelo y el rendimiento del cultivo, este proyecto busca aportar conocimientos científicos que permitan determinar las dosis y combinaciones de fertilizantes más adecuadas para satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo de maíz en las diferentes etapas fenológicas, favoreciendo un mejor aprovechamiento de los nutrientes y un óptimo desarrollo del cultivo. Analizando los efectos de los tratamientos de fertilización sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo, lo que permitirá identificar prácticas que contribuyan a mantener y mejorar a largo plazo. Cuantificar el impacto de los diferentes tratamientos en el rendimiento y la calidad del cultivo de maíz permitirá determinar las opciones más rentables y productivas para los agricultores de la región. Asimismo, este análisis posibilitará generar información técnica y científica valiosa que pueda ser utilizada en programas de transferencia de tecnología y capacitación para los productores locales. En consecuencia, se promoverá la adopción de prácticas de fertilización más eficientes y sostenibles, beneficiando así a toda la comunidad agrícola del área. (Agricultura, 2021).

Además, este proyecto contribuirá a promover el uso racional de los fertilizantes, lo que no solo puede mejorar la rentabilidad de los cultivos, sino también reducir el impacto ambiental asociado al uso excesivo o inadecuado de estos insumos a través de prácticas de manejo agronómico sostenible y técnicas de fertilización balanceada. Este proyecto radica en la

necesidad de generar conocimientos científicos específicos que permitan optimizar el manejo nutricional del cultivo de maíz en la región de Aguazul, Casanare, mejorando la productividad, rentabilidad y sostenibilidad de esta importante actividad agrícola (García, 2009).

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el impacto de la fertilización química y orgánica sobre de variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Z mays L.*) variedad NK 4015 VIP3 en el municipio de Aguazul, Casanare.

Objetivos Específicos

Analizar el efecto de la fertilización química y orgánica sobre las variables de crecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad NK 4015 VIP3 en el municipio de Aguazul, Casanare.

Comparar el impacto de la fertilización química y orgánica en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad NK 4015 VIP3 en el municipio de Aguazul, Casanare.

Delimitación del estudio

El objetivo fue evaluar el efecto de cuatro tratamientos de fertilización aplicados al suelo sobre diversas variables del cultivo de maíz (*Z. mays L.*). Se implementó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables del cultivo evaluadas incluyeron el Área foliar, índice de Área Foliar (IAF), número de hojas por planta, altura de las plantas, número de mazorcas por planta, rendimiento del cultivo, calidad del grano y humedad.



Figura 1. Área delimitada finca La Candelaria, Vereda Bella vista - Aguazul Casanare. (Google Eart 2024).

Marco teórico

Antecedentes

Internacionales

En un estudio realizado por Fortis-Hernández et al. (2009), se evaluó el impacto de la aplicación de abonos orgánicos en la producción de forraje de un híbrido de maíz amarillo bajo riego por goteo, el experimento se desarrolló en el Ejido La Concha, municipio de Torreón, Coahuila en México. Los tratamientos experimentales incluyeron el uso de biocompost (30 Mg ha⁻¹), vermicompost (10 Mg ha⁻¹), fertilización química estándar (200-100-100 kg ha⁻¹ de N-P-K) y un control sin fertilización. Se midieron variables como producción de forraje verde, materia seca, altura de planta, proteína cruda, fibra detergente ácida y neutra, nitratos, energía neta de lactancia, conductividad eléctrica y porcentaje de sodio intercambiable. Los resultados mostraron que los tratamientos con vermicompost y biocompost alcanzaron los rendimientos más altos de forraje verde, con 64 Mg ha⁻¹ y 56 Mg ha⁻¹ respectivamente. En términos de materia seca, los rendimientos fueron de 13 Mg ha⁻¹ para vermicompost y 11 Mg ha⁻¹ para biocompost. Aunque el tratamiento con fertilizantes químicos tuvo un menor rendimiento de forraje verde (48 Mg ha⁻¹), registró la mayor concentración de proteína cruda (12,68%). Los tratamientos con biocompost y vermicompost, aunque inferiores en proteína cruda, se situaron dentro del rango óptimo para este cultivo. En cuanto a la fibra ácido detergente, el biocompost resultó ser el más alto, indicativo de una reducción en la calidad del forraje comparado con otros tratamientos. Este estudio sugiere que, mientras que la vermicompost y biocompost pueden mejorar significativamente el rendimiento del forraje, la fertilización química podría ser preferible para maximizar el contenido de proteína cruda y equilibrar la calidad nutricional del forraje producido.

En el estudio realizado por Antúñez-Ocampo et al. (2023), se evaluó el impacto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y silicio en el rendimiento del maíz en el estado de Guerrero, México. Se realizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones para testar combinaciones de fertilización de N-P-K con dos niveles (90-60-00 y 60-40-00) y de silicio con tres niveles (sin Si, Fermiphos y Silifosca®). Las variables evaluadas fueron; el tamaño de la mazorca (longitud y diámetro) y el rendimiento de grano del cultivo. Los resultados mostraron

que la fertilización N-P-K por sí sola no tuvo un impacto significativo en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en el diámetro de la mazorca, que se incrementó en un 2% con la fórmula 90-60-00. Sin embargo, la adición de silicio (especialmente con Fermiphos y Silifosca®) produjo aumentos significativos en la longitud y diámetro de la mazorca, así como en el rendimiento de grano, con incrementos de hasta el 32% en tamaño y rendimiento cuando se combinó con la fórmula de fertilización 90-60-00.

Cuervo-Parra et al. (2024) investigaron el impacto de diferentes esquemas de fertilización en el rendimiento del maíz Chalqueño en el municipio de Apan, Hidalgo, México. El estudio en cuestión tenía como objetivo evaluar diferentes esquemas de fertilización en el maíz Chalqueño, específicamente analizando su impacto en el crecimiento y rendimiento del cultivo. Se empleó un diseño experimental en bloques al azar con tres repeticiones, evaluando cuatro tratamientos de fertilización durante los ciclos agrícolas de 2019 y 2020. Los tratamientos incluyeron un control sin fertilización (T1), uso exclusivo de fertilizante químico (T2), uso exclusivo de fertilizante orgánico (T3), y una combinación de fertilizantes químicos y orgánicos (T4). La aplicación del fertilizante para los tratamientos T2, T3 y T4, se realizó en tres ocasiones con dos concentraciones diferentes: la primera durante la siembra de las semillas, la segunda a los 35 días y la tercera a los 65 días, previo al inicio de la floración masculina. Por otra parte, su dosis para fertilizantes químicos es baja y recomendada para el caso de los fertilizantes orgánicos. Los resultados del estudio revelaron diferencias significativas entre los tratamientos a lo largo de los dos años. El tratamiento combinado (T4) resultó ser el más efectivo, logrando los rendimientos más altos tanto en 2019 como en 2020. En contraste, el tratamiento control (T1) mostró los rendimientos más bajos en ambos años. Estos hallazgos indican que la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos puede ser la estrategia más beneficiosa para optimizar el rendimiento del maíz bajo las condiciones climáticas variables de la región.

Castañón y Latournerie (2004) llevaron a cabo un estudio para analizar la respuesta de familias S1 de maíz (*Z. mays* L. L.) a diferentes niveles de pH del suelo en tres localidades de Veracruz, México, durante la temporada de primavera-verano de 1997. Este estudio tenía como objetivos principales medir la respuesta de estas familias de maíz en ambientes con y sin problemas de acidez del suelo, estimar parámetros genéticos relevantes y seleccionar las familias S1 basándose en su rendimiento medio. Se evaluaron 129 familias S1, derivadas de la población de maíz SA-6 del CIMMYT, en dos repeticiones por ambiente, midiendo variables

como la floración masculina y femenina, altura de planta, altura de mazorca, sincronía de la floración, prolificidad, número de mazorcas podridas y rendimiento de grano. Los resultados mostraron diferencias significativas entre localidades, familias y la interacción localidad-familia en todas las variables evaluadas. Las características fueron especialmente afectadas en el ambiente con suelo ácido. Los valores de heredabilidad para las características estudiadas fueron altamente significativos, y los coeficientes de variación genética más altos se observaron para el rendimiento de grano y el número de mazorcas podridas. Las familias seleccionadas demostraron superioridad en seis de las variables evaluadas, sugiriendo que su recombinación podría mejorar aún más la tolerancia a la acidez del suelo en la población de maíz.

Izquierdo (2012) investigó la evaluación del cultivo de maíz (*z mays*), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento; este estudio tuvo dicho lugar en Ecuador en la provincia de Pichincha. Para la investigación establecida se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres tratamientos y con tres repeticiones. Las variables a valorar fueron; Producción en Kg. MS/ha/Ciclo, altura de las plantas, número de plantas y plantas por sitio (tallos) y por parcela, número de mazorcas, número de hojas por planta, componentes botánicos y calidad del forraje.

Nacionales

Cardona et al. (2021) investigaron el crecimiento del maíz criollo Capachi morado en Andes, Antioquia, utilizando diferentes fuentes de fertilizantes. Dada la escasez de estudios sobre esta variedad, el estudio se propuso evaluar cómo diferentes tratamientos de fertilizantes afectan su desarrollo. Se implementó un diseño completamente al azar con seis tratamientos; los tratamientos empleados fueron: Tratamiento 1 (micorriza 30 g/planta). Tratamiento 2 (fertilizante orgánico mineral BP-150, aplicando 30, 40 y 50 cc/planta. Tratamiento 3 (micorrizas + BP-150). Tratamiento 4 (Triple 15, aplicando 5, 10 y 15 g/planta). Tratamiento 5 (micorrizas + Triple 15) y Tratamiento 6 (Testigo) y doce repeticiones, incluyendo aplicaciones de micorrizas, fertilizante orgánico mineral BP-150, combinaciones de ambos, fertilizante Triple 15, y un tratamiento testigo. Se evaluaron variables de crecimiento tales como: la altura de la planta, diámetro de la copa, longitud de raíz, materia seca, área foliar, y otros índices de crecimiento. Los resultados indicaron que los tratamientos con Triple 15, solo y en combinación

con micorrizas, mostraron los mejores resultados en todas las variables medidas, concluyendo que el uso adecuado de fertilizantes químicos puede significativamente promover el crecimiento del maíz Capachi morado.

Murillo (2021) investigó el impacto de una enmienda a base de óxidos y silicatos en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en la empresa Agroinsumos Manantial, ubicada en Granada, Meta. La investigación aplicó un diseño experimental descriptivo con bloques al azar, comparando la enmienda en dos diferentes dosis con un control que utilizó manejo agrícola tradicional sin enmiendas. El estudio incluyó tres tratamientos; dos conformados por dos dosis y otro por el manejo agricultor, cada uno con 4 repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales. Los resultados mostraron que el tratamiento con la enmienda aplicada a una dosis de 1,500 kg/ha resultó ser el más efectivo, mejorando significativamente el rendimiento y la producción del maíz. Este efecto fue evidenciado a través de análisis fisicoquímicos del suelo y evaluación de variables vegetativas y productivas del cultivo. El estudio concluye que la enmienda de óxidos y silicatos puede ser una alternativa viable para mejorar la productividad del maíz bajo condiciones específicas.

Marco contextual

Generalidades de la planta de maíz

La planta del maíz es una monocotiledónea anual de elevado porte frondosa, con un sistema radicular fibroso y un sistema caulinar con pocos macollos. Las yemas laterales en la axila de las hojas de la parte superior de la planta formarán una inflorescencia femenina (mazorca) cubierta por hojas y que servirán como reserva. Las mazorcas son espigas de forma cilíndrica con un raquis central donde se insertan las espiguillas por pares estando cada espiguilla con dos flores postiladas, una fértil y otra abortiva, en hileras paralelas. Las hojas que se desprenden de los nodos son alternas, lanceoladas y acuminadas, con pequeñas lígulas, naciendo en los nudos de forma alternada (Sánchez- Ortega, 2014).

Los entrenudos y las yemas florales están cubiertos por una vaina. La parte superior de la planta está compuesta de una espiga central con algunas ramificaciones laterales que es donde se producirán los granos de polen (inflorescencia masculina en panícula dominante). La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y las anteras pudiendo ser verdosa o amarillenta. A lo largo del eje central las espiguillas se distribuyen de forma polística estando protegidas por dos glumas (superior e inferior). El lema del flósculo estéril es ovada, membranosa, sin nervios, mientras que el flósculo fértil es orbicular, sinquilla. Ambas inflorescencias presentan espiguillas apareadas (Carril, 2015).

El sistema radicular presenta una parte de raíces adventicias seminales que constituye cerca del 52 % de la planta además de ser el principal sistema de fijación y absorción de la planta, mientras que el sistema nodular es el 48% de la masa total de raíces de la planta. La función de las raíces de anclaje es mantener la planta erecta para así evitar su caída. En cuanto a su sistema caulinar, cuando tienen tres hojas sobre la superficie son ya visibles las plántulas, pero sus puntos de crecimiento aún están bajo tierra. El tallo formado presenta varias estructuras básicas denominada fitómero: meristemo apical, profilo, hojas e internudos. El tallo es simple, erecto, pudiendo alcanzar alturas entre 2 y 6 metros de altura, con numerosos nudos y entrenudos. Las panojas son las estructuras donde se desarrolla el grano en un número variable de hileras (12 a 16) produciendo de 300 a 1000 granos; en total, el grano constituye alrededor

del 42% del peso seco de la planta. Hay distintos tipos de grano según los compuestos químicos que contenga (Kato et al., 2009).

Clasificación taxonómica del maíz

El maíz pertenece a la familia de las Poaceas, es una planta monocotiledónea, gramínea, actualmente es el cereal con el mayor volumen de producción a nivel mundial (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz (*Z. mays* L.)

Reino	Plantae
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Mays</i>
Variedad o híbrido	NK 4015 VIP3

Fuente: Mycobank, 2020.

El material vegetal que se va a utilizar en el proyecto de investigación es la variedad de maíz amarillo NK 4015 VIP3 desarrollado por NK semillas (Tabla 2), este híbrido presenta alta calidad de grano y un potencial de rendimiento superior. Es resistente a lepidópteros, esto nos permite buen expresamiento a nivel fenológico, a nivel del híbrido como competidor y buenos rendimientos en producción.

Tabla 2. Características Agronómicas de la variedad de maíz amarillo NK 4015 VIP3

Ciclo	Intermedio
Cosecha	113 – 179 días
Madurez	96 – 136 días
50% floración	46 – 66 días
Color	Amarillo
Tipo	Semi Cristalino
Peso 1000 semillas	290 g
# Hileras promedio	16
Índice de desgrane	83%

Altura Planta	259 – 294cm
Altura mazorca	117 – 133cm
Porte	Medio

Fuente: NK semillas

Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo del maíz

El efecto de la fertilización orgánica en el cultivo del maíz ha sido ampliamente estudiado y ha demostrado beneficios significativos.

Mejora la fertilidad del suelo: Los fertilizantes orgánicos aportan nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes de forma gradual y prolongada. Incrementan el contenido de materia orgánica en el suelo, mejorando su estructura, porosidad, capacidad de retención de agua y aireación. Favorecen la actividad biológica del suelo, lo que contribuye a la mineralización de nutrientes y al ciclaje de los mismos (Martínez et al. 2020).

Rendimiento del cultivo: Numerosos estudios han demostrado que la aplicación de fertilizantes orgánicos, como el estiércol, compost o abonos verdes, puede aumentar significativamente el rendimiento del maíz en comparación con el uso exclusivo de fertilizantes químicos (Wakene et al., 2014).

Calidad del grano: La fertilización orgánica puede mejorar la calidad nutricional del grano de maíz, aumentando el contenido de proteínas, aceites y vitaminas (Adediran et al., 2014; Sánchez-Baca et al., 2019).

Resistencia al estrés: Los suelos enriquecidos con materia orgánica tienen una mayor capacidad de retención de agua, lo que puede ayudar al cultivo de maíz a tolerar mejor los períodos de sequía (Adesemoye y Kloepper, 2009). La fertilización orgánica puede mejorar la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades al promover un crecimiento más vigoroso y equilibrado (Kutu y Asiwe, 2010).

Sostenibilidad: Los fertilizantes orgánicos son una fuente renovable y pueden contribuir a la sostenibilidad del sistema agrícola al reducir la dependencia de insumos externos y disminuir el impacto ambiental (Nziguheba et al., 2016).

Marco Legal

RESOLUCIÓN No.115708 (27/12/2021) “Por la cual se establecen los requisitos para obtener la Autorización Sanitaria y de Inocuidad en los predios productores de animales destinados a la producción de carne y/o leche para el consumo humano”

ARTÍCULO 10. Requisitos de Buenas Prácticas para la Alimentación Animal.

10.1. Los alimentos comerciales para animales (alimentos completos, suplementos alimenticios y sales mineralizadas) que se utilicen en el predio, deben contar con registro ICA.

10.2. No utilizar en la alimentación de los animales productos o subproductos de cosecha de cultivos ornamentales, leche de retiro, mortalidades, excretas ni desechos de alimentación humana (lavazas).

10.3. En las praderas y cultivos destinados a la alimentación de los animales, que emplee plaguicidas, fertilizantes y demás insumos agrícolas, estos deben contar con registro ICA de acuerdo con la normatividad vigente, respetando los periodos de carencia consignados en el rotulado del producto cuando corresponda.

10.4. Las formas de aplicación, uso y manejo de estiércol y efluentes (aguas servidas con desechos sólidos y líquidos) utilizados como abonos en pastizales y cultivos destinados a la alimentación de los animales deben evitar la contaminación ambiental y el riesgo biológico.

10.5. Contar con áreas, contenedores y/o instalaciones para el almacenamiento de alimentos para animales, suplementos nutricionales, sales mineralizadas, de tal forma que se mantenga su calidad y se evite el riesgo de contaminación cruzada, prevengan su deterioro, contaminación y la proliferación de plagas.

10.6. En caso de disponer de bebederos estos deben ser funcionales, que aseguren y permitan el acceso a voluntad de los animales de forma permanente, acordes con el sistema productivo, especie y cantidad de animales; deben estar elaborados con materiales que faciliten su limpieza y desinfección cuando se requiera, así como permanecer limpios y en buen estado (ICA, 2021, p.8).

RESOLUCIÓN ICA No. 00375 (27 de febrero de 2004) Por la cual se dictan las disposiciones sobre Registro y Control de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola en Colombia.

ARTÍCULO 1o. Es objeto de la presente Resolución: a) Orientar la producción, importación, exportación, comercialización, uso y manejo adecuado y racional de los

Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola para prevenir y minimizar daños a la salud humana, la sanidad agropecuaria y el ambiente bajo las condiciones autorizadas y para facilitar el comercio nacional e internacional. b) Establecer requisitos y procedimientos unificados y armonizados con reglamentaciones internacionales vigentes, para el registro y el control legal y técnico de los Bioinsumos y Extractos Vegetales de uso agrícola, especialmente en lo relacionado con terminología, clasificación, composición garantizada, rotulado y parámetros para verificación de la conformidad (ICA, 2004, p.1-p.2).

Acuerdo No. 186.

Reglamento Estudiantil, Universidad de Pamplona.

Por el cual compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado de la Universidad de Pamplona. CAPÍTULO VI. TRABAJO DE GRADO.

Metodología

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la finca Candelaria, ubicada en la vereda Bella Vista del municipio de Aguazul, Casanare, situada en las coordenadas 4°55'19"N y 72°27'38"W. La Tabla 3 presentó un análisis comparativo entre las condiciones agroclimáticas prevalentes en la región y los requerimientos edafoclimáticos específicos para el cultivo de (*Z. mays* L.). La temperatura óptima para el maíz varía entre 18 y 26°C, mientras que en la región se registró un rango de 20 a 28°C. En términos de precipitación, el maíz demanda más de 400 mm, y la región ofreció 1600 mm, lo cual resultó favorable. La acidez del suelo en la zona es de 5,0 compatible con los requerimientos del *Z. mays* que mostró un desarrollo óptimo en un rango de pH entre 5,5 y 7,5. La altimetría regional alcanzó los 320 msnm, en contraste con el rango altitudinal óptimo de 0 a 1.800 msnm para el cultivo. La humedad relativa en la región fue del 82 %, en contraste con el rango requerido para el maíz, que es de entre 50 % y 90 %. Finalmente, mientras la región presentó suelos de textura franco arenosa, el *Z. mays* L. evidenció mayor desarrollo en suelos de textura franca (Alcaldía de Aguazul-Casanare, 2021).

Tabla 3. Condiciones agroclimáticas del maíz (*Z. mays* L.) y oferta de la región

	Ofertas agroclimáticas de la región	Requerimientos edafoclimáticos del cultivo
Temperatura (°C)	20 a 28	18 a 26
Precipitación (mm)	1600	>400
pH	5,0	5,5 a 7,5
Altitud (m.s.n.m)	320	0 a 1.800
Humedad relativa (%)	82	50 a 90
Tipo de suelo	Franco arenoso	Franco

Fuente: IDEAM & Alcaldía de Aguazul-Casanare

Diseño experimental y tratamientos

Se desarrolló un diseño experimental completamente al azar en un área de 1000 m² implementando cuatro tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento para garantizar la validez estadística de los datos obtenidos. La unidad experimental se situó en una zona edáfica de topografía plana y características homogéneas para minimizar la variabilidad debido a heterogeneidad edáfica y radiación solar. Los tratamientos implementados fueron los siguientes:

Tratamiento 1: Control o Testigo sin Fertilización - Esta parcela constituyó la unidad testigo sin aplicación de fertilizantes, fungiendo como comparador para evaluar los efectos de la ausencia de fertilización en el desarrollo fenológico del *Z. mays* L.

Tratamiento 2: Fertilización Química 18-18-18 al 100% - Se implementó una dosificación en promedio de 20 gramos completa del fertilizante químico según recomendaciones agronómicas para *Z. mays* L., evaluando la eficacia de la fertilización química convencional.

Tratamiento 3: Fertilización Orgánica con Humus al 100% - Este tratamiento comprendió la aplicación exclusiva de un kilogramo por m² de fertilizante orgánico, con el propósito de cuantificar su impacto independiente en *Z. mays* L.

Tratamiento 4: Fertilización Mixta (50% Químico + 50% Orgánico) - Se implementó una combinación proporcional de fertilizantes químicos y orgánicos para examinar efectos sinérgicos o compensatorios de la estrategia mixta de fertilización.

Cada tratamiento consistió en una sección del área experimental total, distribuida aleatoriamente para minimizar los efectos de la variabilidad ambiental. Las dimensiones específicas de cada unidad experimental se determinaron considerando los requisitos espaciales del cultivo y las labores agronómicas, asegurando representatividad estadística adecuada para cada tratamiento.

Además, se implementaron bordes de protección sin tratamiento alrededor de cada unidad experimental para prevenir la contaminación cruzada entre tratamientos. El monitoreo sistemático y registro meticuloso de intervenciones agronómicas, variables meteorológicas y prácticas culturales se mantuvieron durante el período experimental para garantizar la integridad y reproducibilidad de los resultados obtenidos.

Tamaño de las parcelas

El tamaño de cada parcela experimental fue de 10 metros de longitud por 2 metros de ancho, sumando un total de 20 metros cuadrados por parcela. Esta dimensión se seleccionó para proporcionar un espacio adecuado que permitiera una evaluación precisa de las variables agronómicas clave, como el Índice de Área Foliar (IAF), calculado mediante la fórmula: (Área foliar promedio por planta x Número total de plantas) / 1000 m². Además, se evaluaron variables como el número de hojas por planta, la altura de la planta y el número de mazorcas por planta, considerando una densidad de siembra típica para el maíz de aproximadamente 65,000 plantas por hectárea. Esta configuración facilitó las operaciones agronómicas necesarias, incluidas la fertilización y el riego, permitiendo una distribución representativa de las plantas dentro de cada parcela (CIMMYT, 2017).

Adicionalmente, se definió la unidad experimental dentro de cada parcela para concentrar la recopilación de datos y minimizar los posibles efectos de borde. La unidad experimental abarcó un área central de cada parcela, específicamente una sección de 8 metros de longitud por 1,5 metros de ancho, totalizando 12 metros cuadrados. Esta área se eligió estratégicamente para la recolección de datos, excluyendo los bordes periféricos de cada parcela, donde las condiciones podían diferir ligeramente debido a influencias externas o a la variabilidad en las prácticas de manejo. La selección meticulosa de la unidad experimental fue crucial para asegurar la integridad y precisión de los resultados obtenidos en el estudio.

Aplicación de tratamientos

Se iniciaron los tratamientos de fertilización poco después de la siembra del maíz, aprovechando el periodo de rápido crecimiento radicular. Se programó una aplicación inicial de fertilizante en el momento de la siembra o inmediatamente después de la emergencia del cultivo, con el fin de estimular el desarrollo temprano.

En el caso de los fertilizantes químicos, se adoptó la práctica convencional de aplicar una porción del fertilizante como "arranque" durante la siembra o en las primeras semanas post-emergencia. Este enfoque tuvo como objetivo promover un desarrollo robusto desde las etapas iniciales del ciclo de crecimiento del maíz. Las aplicaciones se realizaron en momentos clave del desarrollo del cultivo, tales como al inicio del crecimiento vegetativo, antes de la floración y durante el llenado de grano. Esto implicó realizar aplicaciones cada 4 a 6 semanas, ajustando el cronograma según las necesidades específicas del cultivo y las recomendaciones del fabricante.

En cuanto al fertilizante orgánico, considerando que requiere más tiempo para mineralizarse y estar disponible para las plantas, se aplicó justo antes de la siembra o en el momento de esta. Se utilizó compost (humus), aplicándolo una o dos veces durante la temporada de crecimiento. El humus fue seleccionado por ser considerado uno de los mejores abonos orgánicos, mejorando significativamente las propiedades físicas del suelo, al proporcionar mejor estructura y reducir la compactación en suelos arenosos.

Variables del cultivo de maíz

Área foliar en cm² (AF): Se midió tomando en la hoja intermedia el ancho máximo (a) y la longitud máximo (l), multiplicándolos y luego por el número de hojas. Para calcular el área foliar se utilizó la fórmula de Muñoz et al. (1983):

$$AF = (a \times l) \times (75) / 100. \text{ Donde } a: \text{ ancho medio (cm); } l: \text{ longitud (cm).}$$

Índice de área foliar (IAF): Se determinó midiendo el área foliar total por metro cuadrado y dividiendo este valor por el área de suelo ocupada, utilizando un integrador de área foliar. Esta medición se realizó durante la etapa de floración, momento en que el maíz alcanza sus valores máximos de área foliar. Para cada tratamiento, se evaluaron de dos a cuatro plantas mediante el método destructivo (largo x ancho x 0,75) según Wilhelm et al. (2000) y CIMMYT (2017).

Número de hojas por planta: Se contó manualmente, registrando todas las hojas completamente desarrolladas por planta. Esta variable se evaluó a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (CIMMYT, 2017).

Altura de la planta en cm: Se midió desde la base del tallo hasta la punta de la hoja más alta utilizando una cinta métrica. Esta medición se llevó a cabo a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (CIMMYT, 2017).

Número de mazorcas por planta: Se contabilizó al final del ciclo de crecimiento, registrando el número de mazorcas completamente formadas por planta en cada parcela experimental (CIMMYT, 2012).

Rendimiento por hectárea (kg.ha⁻¹): Se evaluó durante la cosecha, recolectando todas las mazorcas de cada parcela experimental para cada tratamiento y repetición. Posteriormente, se desgranaron y pesaron los granos secos, extrapolando el peso obtenido a hectáreas (CIMMYT, 2012).

Calidad del grano: Se determinó el peso de 1000 granos seleccionando aleatoriamente 1000 granos, los cuales se pesaron para calcular su peso promedio por parcela para cada tratamiento (CIMMYT, 2012).

Humedad: Se midió el contenido de humedad de los granos utilizando un medidor para análisis de granos Grain Analysis Computer GAC 2500 de DICKEY-john (modelo INTL).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza univariado (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$) para cada una de las variables evaluadas. Además, se aplicaron pruebas post hoc, como la prueba de Tukey, para identificar entre cuáles tratamientos se presentaban diferencias significativas, siempre que se cumplieran los supuestos de independencia de datos, homogeneidad de varianza y normalidad. Para el procesamiento y análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico STATISTICA versión 10 de 2011 (StatSoft, Inc. (2011)).

Resultados y discusión

Análisis de los resultados del efecto de tratamientos sobre el número de hojas a los 30 días después de la siembra (NH 30 DDS)

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de cuatro tratamientos sobre el número de hojas (NH 30 DDS) en un cultivo experimental. Los resultados detallan la significancia estadística del factor "Tratamiento" y permiten realizar comparaciones múltiples para identificar diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del ANOVA del número de hojas a los 30 días después de la siembra (NH 30 DDS).

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (df)	Media de Cuadrados (MS)	F	p
Intercepto	661,2500	1	661,2500	1469,444	0,000000
Tratamiento	8,5500	3	2,8500	6,333	0,004903
Error	7,2000	16	0,4500		

El valor de $p = 0,0049$ para el factor "Tratamiento" indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en relación con el número de hojas (NH 30 DDS).

El análisis comparativo entre tratamientos muestra que el Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) es significativamente diferente del Tratamiento 1 (Control sin fertilizante) en términos del número de hojas ($p = 0,003241$), destacando la eficacia del fertilizante químico en este aspecto. Por otro lado, entre el Tratamiento 1 y el Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico) se observa una tendencia hacia la significancia ($p = 0,053301$), lo que sugiere un posible efecto positivo del tratamiento combinado, aunque no alcanza un nivel de significancia estadística del 5%. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos restantes (1 vs 3, 2 vs 3, 2 vs 4 y 3 vs 4), lo que indica que estos tratamientos tienen efectos similares en el número de hojas (Tabla 5).

Tabla 5. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre el número de hojas en *Z. mays* L. (NK 4015 VIP3) a los 30 días después de la siembra.

Tratamiento	N	Media (NH 30 DDS)
Tratamiento 1	5	4,80±0,84a
Tratamiento 2	5	6,60±0,55b
Tratamiento 3	5	5,60±0,55ab
Tratamiento 4	5	6,00±0,71ab

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos. Media ± desviación estándar seguida por letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

Los resultados muestran que el Tratamiento 2 fue el más efectivo para promover el crecimiento foliar, mientras que el Tratamiento 1 es el menos efectivo. Los Tratamientos 3 y 4 presentaron efectos similares entre sí y con el Tratamiento 2, lo que indica que podrían ser alternativas viables en términos de efectividad. Esta información es valiosa para elegir estrategias de fertilización u otros factores aplicados en los tratamientos que puedan optimizar el crecimiento de hojas en el cultivo.

Análisis de los resultados del efecto de tratamientos sobre el número de hojas (NH 60 DDS)

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA), se encontró un efecto significativo de los tratamientos en el número de hojas (NH 60 DDS) con un valor de $F = 13,587$ y un $p = 0,000115$, lo cual indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al número de hojas (Tabla 6).

Tabla 6. ANOVA para el Número de Hojas a los 60 días después de la siembra (NH 60 DDS)

Fuente	S S	Grados de libertad	MS	F	p
Intercepto	1960,2	1	1960,2	3733,714	0
Tratamientos	21,4	3	7,133	13,587	0,000115
Error	8,4	16	0,525	-	-

Los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey permiten detallar las diferencias entre tratamientos: El Tratamiento 1 (Control sin fertilizante) presentó un promedio de 8,40 hojas, siendo significativamente menor que los tratamientos 2 y 4. Estos resultados indican que la aplicación de fertilizantes tiene un impacto positivo en el crecimiento foliar del maíz, ya que tanto el fertilizante químico como la combinación de fertilizante químico y orgánico resultaron en un mayor número de hojas en comparación con la ausencia de fertilización. La diferencia significativa con el Tratamiento 2, que empleó únicamente fertilizante químico, subraya que este tipo de fertilización es particularmente efectiva para incrementar la cantidad de hojas.

El Tratamiento 2, con un 100% de fertilizante químico, alcanzó un promedio de 11,20 hojas, el valor más alto entre todos los tratamientos evaluados. Este tratamiento mostró diferencias significativas respecto al control y al tratamiento de fertilización orgánica, lo cual sugiere que el fertilizante químico en dosis completa optimiza de manera eficiente la disponibilidad de nutrientes, promoviendo un crecimiento foliar más vigoroso. Esta superioridad frente al fertilizante orgánico evidencia la rapidez y eficacia con la que los nutrientes del fertilizante químico son absorbidos por la planta, lo cual repercute en un mayor desarrollo foliar en un corto plazo.

Por otro lado, el Tratamiento 4, que combinó un 50% de fertilizante químico con un 50% de fertilizante orgánico, logró un promedio de 10,40 hojas, superando al control pero sin mostrar diferencias significativas respecto a los tratamientos 2 y 3. Este resultado sugiere que la combinación de ambos tipos de fertilizantes ofrece un crecimiento intermedio, aprovechando parcialmente las ventajas del fertilizante químico en términos de eficacia y las posibles mejoras de sostenibilidad asociadas al uso de fertilizante orgánico. En general, aunque el fertilizante químico en su totalidad resultó ser el más efectivo, la combinación con orgánico ofrece un equilibrio que podría ser beneficioso en prácticas agrícolas sostenibles (Tabla 7).

Tabla 7. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre el número de hojas en *Z. mays* L. (NK 4015 VIP3) a los 60 días después de la siembra.

Tratamiento	N	Media (NH 60 DDS)
1	5	8,40±0,89a
2	5	11,20±0,84c
3	5	9,60±0,55ab
4	5	10,40±0,55bc

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos. Media $\pm$ desviación estándar seguida por letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

En general, el Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) fue el más efectivo para incrementar el número de hojas en maíz, seguido por el Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). El Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico) mostró un crecimiento foliar intermedio, mientras que el Tratamiento 1 (Control sin fertilización) tuvo el menor número de hojas. Estos resultados destacan la importancia de la fertilización, particularmente el impacto rápido y significativo del fertilizante químico en la promoción del crecimiento foliar en maíz.

Este análisis permite señalar que la elección del tipo y dosis de fertilizante puede influir significativamente en el desarrollo foliar, lo cual es fundamental para optimizar el rendimiento de los cultivos.

Análisis de los resultados del efecto de tratamientos sobre el número de hojas a los 90 días después de la siembra (NH 90 DDS)

A continuación, se presentan los resultados de los tratamientos de NH a los 90 días después de siembra (DDS) organizados en tres tablas: ANOVA, comparaciones múltiples de Tukey y la tabla de medias con desviación estándar y letras de agrupación (Tabla 8). El análisis de varianza (ANOVA) muestra que los tratamientos tienen un efecto estadísticamente significativo en el número de hojas a los 90 días (NH 90 DDS), con un valor de $F = 17,833$ y un $p = 0,000023$. Esto indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto

al número de hojas. Tratamiento 1 (Control sin fertilizante): Este tratamiento, sin aplicación de fertilizante, obtuvo una media de 10,80 hojas, siendo significativamente diferente del Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) y del Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Esto sugiere que la fertilización contribuye positivamente al crecimiento foliar en comparación con la ausencia de fertilización.

Tabla 8. ANOVA para el Número de Hojas a los 90 días después de la siembra (NH 90 DDS)

Fuente	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercepto	2928,200	1	2928,200	7320,500	0,000000
Tratamientos	21,400	3	7,133	17,833	0,000023
Error	6,400	16	0,400	-	-

Con una media de 13,60 hojas, el Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) mostró el mayor número de hojas y fue significativamente diferente del Tratamiento 1 (Control) y del Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico). La mayor producción de hojas en este tratamiento indica que el fertilizante químico proporciona los nutrientes necesarios de manera rápida y eficiente, promoviendo un crecimiento foliar superior.

El Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico) presentó un promedio de 11,60 hojas, intermedio entre el control y el fertilizante químico. Aunque mejoró el crecimiento foliar en comparación con la falta de fertilización, fue significativamente diferente del tratamiento de fertilización química, lo que sugiere que el fertilizante orgánico tiene un efecto positivo, aunque menos inmediato que el fertilizante químico.

El Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico) obtuvo una media de 12,40 hojas, superior al control y comparable con el tratamiento orgánico. Este tratamiento fue significativamente diferente del control y del tratamiento químico. La combinación de ambos tipos de fertilización muestra un balance positivo en el crecimiento foliar, integrando las ventajas de ambos tipos de nutrientes (Tabla 9).

Tabla 9. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre el número de hojas en *Z. mays* L. (NK 4015 VIP3) a los 90 días después de la siembra.

Tratamiento	N	Media (NH 90 DDS)
1	5	10,80±0,84a
2	5	13,60±0,55c
3	5	11,60±0,55ab
4	5	12,40±0,55bc

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico).

Nota: Las letras en la última columna indican agrupaciones basadas en la prueba de Tukey. Media ± desviación estándar seguida por letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

El Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) resultó en el mayor número de hojas, destacándose como el tratamiento más efectivo para incrementar el crecimiento foliar del maíz a los 90 días después de siembra. La combinación de fertilizante químico y orgánico (Tratamiento 4) también resultó en un incremento significativo, demostrando ser una alternativa viable para optimizar el crecimiento foliar. El uso exclusivo de fertilizante orgánico (Tratamiento 3) mejora el crecimiento respecto al control, aunque su efecto es menor en comparación con el fertilizante químico. Estos resultados sugieren que, para maximizar el crecimiento de hojas en etapas tempranas, el fertilizante químico completo es la opción más efectiva, mientras que una combinación de fertilizantes puede ofrecer una alternativa intermedia con beneficios tanto de crecimiento como de sostenibilidad.

Análisis de los resultados del efecto de tratamientos sobre el número de hojas a los 120 días después de la siembra (NH 120 DDS)

El análisis de varianza (ANOVA) muestra que los tratamientos tienen un efecto estadísticamente significativo en el número de hojas a los 120 días (NH 120 DDS), con un valor de $F = 40,736$ y un $p = 0,000000$. Esto indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al número de hojas (Tabla 10).

Tabla 10. ANOVA para el Número de Hojas a los 120 días después de siembra (NH 120 DDS)

Fuente	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercepto	5577,800	1	5577,800	7693,517	0,000000
Tratamientos	88,600	3	29,533	40,736	0,000000
Error	11,600	16	0,725	-	-

El Tratamiento 1, sin aplicación de fertilizantes (control), mostró una media de 13,20 hojas, siendo significativamente inferior a todos los demás tratamientos. Este resultado sugiere que la fertilización, ya sea química, orgánica o una combinación de ambas, favorece notablemente el crecimiento foliar en comparación con la ausencia total de nutrientes añadidos, indicando que los nutrientes disponibles en el suelo sin fertilización son insuficientes para maximizar el desarrollo foliar.

Por otro lado, el Tratamiento 2 (100% fertilizante químico) resultó en el mayor número de hojas, con una media de 18,80, y mostró diferencias significativas respecto al tratamiento de control y al tratamiento combinado (Tratamiento 4). Esto sugiere que el fertilizante químico proporciona los nutrientes necesarios de manera más rápida y eficiente, promoviendo un crecimiento foliar superior. Los tratamientos 3 (100% orgánico) y 4 (50% químico + 50% orgánico) también mostraron mejoras notables, con medias de 17,60 y 17,20 hojas respectivamente, aunque con un efecto algo menos inmediato en comparación con el químico. Estos resultados indican que el fertilizante orgánico, así como su combinación con el químico, contribuyen de manera positiva al crecimiento, integrando las ventajas de ambos tipos de nutrientes y ofreciendo una alternativa sostenible frente al uso exclusivo de fertilizantes químicos (Tabla 11).

Tabla 11. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre el número de hojas en *Z. mays* L. (NK 4015 VIP3) a los 120 días después de la siembra.

Tratamiento	N	Media (NH 120 DDS)
--------------------	----------	---------------------------

1	5	13,20±0,45a
2	5	18,80±0,84c
3	5	17,60±0,89bc
4	5	17,20±1,10b

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Las letras en la última columna indican agrupaciones basadas en la prueba de Tukey. Media $\pm$ desviación estándar seguida por letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

El Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) resultó en el mayor número de hojas, destacándose como el tratamiento más efectivo para incrementar el crecimiento foliar del maíz a los 120 días después de siembra. La combinación de fertilizante químico y orgánico (Tratamiento 4) también resultó en un incremento significativo, demostrando ser una alternativa viable para optimizar el crecimiento foliar. El uso exclusivo de fertilizante orgánico (Tratamiento 3) mejora el crecimiento respecto al control, aunque su efecto es menor en comparación con el fertilizante químico. De acuerdo con los resultados, para maximizar el crecimiento de hojas en etapas avanzadas, el fertilizante químico completo es la opción más efectiva, mientras que una combinación de fertilizantes puede ofrecer una alternativa intermedia con beneficios tanto de crecimiento como de sostenibilidad.

Los resultados obtenidos en este estudio difieren de los reportados por Izquierdo (2012), ya que en su investigación no se observaron diferencias significativas entre las variedades analizadas, lo que indicaría una producción foliar similar entre ellas. Sin embargo, en el presente análisis, la variedad GUARANDA se destaca por presentar un promedio superior de 10 a 11 hojas por planta, diferenciándose estadísticamente de las demás. Por otro lado, la variedad Nk 4015 VIP3, bajo el tratamiento (T2), alcanzó un promedio de 19 hojas por planta, lo que lo posiciona como el tratamiento más eficiente para promover un crecimiento foliar óptimo.

Análisis de los resultados para la altura de la planta a los 30 días después de siembra (AP 30 DDS)

El ANOVA muestra un efecto significativo de los tratamientos en el área de la planta a los 30 días (AP 30 DDS), con $F = 218,017$ y $p = 0,000000$, lo que sugiere que existen diferencias significativas en el crecimiento del área de planta entre los tratamientos (Tabla 12).

Tabla 12. ANOVA para altura de la planta (AP) a los 30 días después de siembra (AP 30 DDS)

Fuente	SS	Grados de libertad	MS	F	p
Intercepto	51918,05	1	51918,05	5933,491	0,000000
Tratamientos	5722,95	3	1907,65	218,017	0,000000
Error	140,00	16	8,75	-	-

El tratamiento 1, sin aplicación de fertilizante, mostró una media de 24,40 para la altura de la planta. Se observa una diferencia significativa con todos los demás tratamientos, lo cual sugiere que la falta de fertilización limita el desarrollo en comparación con los tratamientos fertilizados. Con una media de 66,80, el Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) resultó en el mayor crecimiento de la planta, siendo significativamente diferente del tratamiento de control y del tratamiento con fertilización orgánica. Este resultado indica que el fertilizante químico tiene un efecto inmediato y notable en la expansión de la planta. El Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico) obtuvo un promedio de 48,20 para la altura de la planta. Este valor es significativamente mayor que el tratamiento sin fertilización, pero menor que el tratamiento con 100% fertilizante químico, lo que sugiere que el fertilizante orgánico es efectivo, aunque su efecto es menor en comparación con el químico.

En la combinación 50% Químico + 50% Orgánico (Tratamiento 4) las plantas alcanzaron una media de 64,40, con resultados comparables al tratamiento de fertilización química completa (Tratamiento 2). Este resultado demuestra que una combinación de fertilizante químico y orgánico puede proporcionar un balance adecuado de nutrientes, promoviendo un crecimiento significativo de la planta (Tabla 13).

Tabla 13. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre la altura de la planta en *Z. mays* L. (NK 4015 VIP3) a los 30 días después de la siembra.

Tratamiento	N	Media (AP 30 DDS)
1	5	24,40±1,67a
2	5	66,80±1,92c
3	5	48,20±3,63b
4	5	64,40±3,91c

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Las letras en la última columna indican agrupaciones basadas en la prueba de Tukey. Los tratamientos con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas.

El tratamiento con 100% de fertilizante químico (Tratamiento 2) fue el más efectivo para incrementar la altura de la planta a los 30 días después de la siembra, destacándose por su alta eficacia en comparación con los demás tratamientos. La combinación de fertilizante químico y orgánico (Tratamiento 4) también produjo una altura de la planta significativa y comparable a la obtenida con el tratamiento químico completo, lo que sugiere que esta mezcla puede ser una estrategia eficiente para promover el crecimiento sin depender exclusivamente de fertilizantes químicos. Por otro lado, el fertilizante orgánico (Tratamiento 3) mostró beneficios en relación con el tratamiento sin fertilización, aunque fue menos efectivo que el fertilizante químico, indicando una respuesta positiva, pero de menor magnitud en el crecimiento.

Altura de la Planta (AP) a los 60 días después de siembra (DDS)

La prueba ANOVA mostró diferencias significativas entre los tratamientos en la variable "Altura de Planta (AP 60 DDS) ($p = 0,000024$) (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis de Varianza (ANOVA) de la Altura de la Planta (AP) a los 60 días después de siembra (DDS).

Fuente	Suma de Cuadrados (SS)	de Grados de Libertad (df)	de Media Cuadrática (MS)	F	Valor p
Intercepto	170385,8	1	170385,8	2770,501	< 0,000001
Tratamientos	3280,2	3	1093,4	17,779	0,000024
Error	984,0	16	61,5		

En la tabla 15 se resumen las medias, desviaciones estándar y las letras de significancia para cada tratamiento. El Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) produjo la mayor altura de planta (112 cm), siendo significativamente superior al resto de los tratamientos, mientras que el Tratamiento 1 (Control) mostró la menor altura (77,8 cm), siendo significativamente inferior tanto al Tratamiento 2 como al Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Este último presentó resultados intermedios, diferenciándose del Tratamiento 1 y Tratamiento 2. Por su parte, el Tratamiento 3 (100% Orgánico) no mostró diferencias significativas con el Tratamiento 1 ni con el Tratamiento 4, pero sí con el Tratamiento 2, lo que evidencia un efecto diferenciador del uso de fertilizantes químicos en la altura de las plantas.

Tabla 15. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre la altura de la planta en *Z. mays* L. (NK 4015 VIP3) a los 60 días después de la siembra.

Tratamiento	N	Media (AP 60 DDS)
1	5	77,80±7,85c
2	5	112,00±9,30a
3	5	85,00±6,20bc
4	5	94,40±7,70b

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Las letras en la última columna indican agrupaciones basadas en la prueba de Tukey. Media ± desviación estándar seguida por letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

De acuerdo con los resultados presentados se puede ver que la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos (Tratamiento 4) es una estrategia viable para incrementar la altura de la planta, mientras que el uso exclusivo de fertilizante químico proporciona los mayores valores en esta variable.

Altura de la Planta (AP) a los 90 días después de siembra (DDS).

El análisis ANOVA muestra diferencias significativas entre los tratamientos en la variable "Altura de Planta (AP 90 DDS)". Los resultados se resumen en la tabla 16. El análisis confirma diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p = 0,000002$).

Tabla 16. Análisis de Varianza (ANOVA) de la Altura de la Planta (AP) a los 90 días después de siembra (DDS).

Fuente	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (df)	Media Cuadrática (MS)	F	Valor p
Intercepto	587216,5	1	587216,5	4060,971	< 0,000001
Tratamientos	11163	3	3721	25,733	0,000002
Error	2313,6	16	144,6		

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Las letras en la última columna indican agrupaciones basadas en la prueba de Tukey.

El Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) produjo la mayor altura de planta a los 90 días después de siembra (202,4 cm), siendo significativamente superior a todos los demás tratamientos, mientras que el Tratamiento 1 (Control sin fertilizante) presentó la menor altura (136,6 cm), siendo significativamente inferior a los demás. El Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico) y el Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico) mostraron alturas intermedias (168 cm y 178,4 cm, respectivamente), sin diferencias significativas entre ellos, pero ambos fueron significativamente superiores al Tratamiento 1 e inferiores al Tratamiento 2. Esto

evidencia que el uso exclusivo de fertilizante químico es más eficiente para incrementar la altura de las plantas, mientras que los tratamientos con fertilizantes orgánicos o combinados ofrecen resultados intermedios (Tabla 17).

Tabla 17. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre la altura de la planta en *Z. mays* L. (NK 4015 VIP3) a los 90 días después de la siembra.

Tratamiento	N	Media (AP 90 DDS)
1	5	136,60±13,65c
2	5	202,40±7,64a
3	5	168,00±13,13b
4	5	178,40±12,70b

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Las letras en la última columna indican agrupaciones basadas en la prueba de Tukey. Media $\pm$ desviación estándar seguida por letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

En conclusión, el uso exclusivo de fertilizante químico (Tratamiento 2) es la estrategia más efectiva para maximizar la altura de las plantas, mientras que los tratamientos con componentes orgánicos ofrecen resultados intermedios.

Análisis de la Altura de la Planta (AP) a los 120 días después de siembra (DDS)

El análisis ANOVA muestra diferencias altamente significativas entre los tratamientos en la variable "Altura de Planta (AP 120 DDS)". El ANOVA para Altura de la Planta (AP) a los 120 días después de siembra (DDS) evidencia diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,000001$) (Tabla 18).

Tabla 18. Análisis de Varianza (ANOVA) para Altura de la Planta (AP) a los 120 días después de siembra (DDS)

Fuente	Suma de Cuadrados (SS)	de Grados de Libertad (df)	Media Cuadrática (MS)	F	Valor p
Intercepto	884521,8	1	884521,8	16517,68	< 0,000001
Tratamientos	9947,4	3	3315,8	61,92	< 0,000001
Error	856,8	16	53,6		

El análisis de comparación de media de Tukey permitió evidenciar que el Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) produjo la mayor altura de planta a los 120 días después de siembra (233,8 cm), siendo significativamente superior a todos los demás tratamientos. El Tratamiento 1 (Control sin fertilizante) presentó la menor altura (173,8 cm), siendo significativamente inferior a los demás. El Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico) y el Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico) mostraron alturas intermedias (213,6 cm y 220 cm, respectivamente), sin diferencias significativas entre ellos, pero ambos fueron significativamente superiores al Tratamiento 1 e inferiores al Tratamiento 2. Esto confirma que el fertilizante químico exclusivo es el más efectivo para maximizar la altura de las plantas, mientras que las estrategias que incluyen componentes orgánicos ofrecen resultados intermedios y beneficios moderados (Tabla 19).

Tabla 19. Efecto de fertilizantes orgánicos y químicos sobre la altura de la planta en *Z. mays* L. (NK 4015 VIP3) a los 120 días después de la siembra.

Tratamiento	N	Media (AP 120 DDS)
1	5	173,80±5,89c
2	5	233,80±6,87a
3	5	213,60±7,99b
4	5	220,00±8,28b

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico).

Las letras en la última columna indican agrupaciones basadas en la prueba de Tukey. Media $\pm$ desviación estándar seguida por letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

Los resultados de este estudio difieren de los reportados por Fortis-Hernández et al. (2009), ya que en su investigación no se identificaron diferencias significativas ($Pr > F = 0.2610$), obteniéndose una media final de 186,00 al término del ciclo vegetativo. En contraste, en la presente investigación se obtuvieron medias para los diferentes tratamientos de T1 (173,80), T2 (233,80), T3 (213,60) y T4 (220,00). En este caso, se evidenció la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2, mientras que los tratamientos T3 y T4 mostraron comportamientos similares entre sí.

Los resultados obtenidos en esta investigación difieren de los reportados por Castañón y Latournerie (2004), quienes documentaron una altura promedio de planta (AP) de 110 cm. Este valor se atribuye a la presencia de un suelo ácido con alta concentración de aluminio, alcanzando un 44 % de saturación, un nivel superior al umbral crítico del 30 %, lo que genera efectos adversos en el desarrollo del maíz. En contraste, en el presente estudio se observaron diferencias significativas con una mayor altura promedio de las plantas. El tratamiento T1 presentó la menor altura promedio, con 174 cm, mientras que el tratamiento T2 alcanzó el mayor crecimiento, con un promedio de 234 cm.

Los resultados obtenidos presentan cierta similitud con las diferencias reportadas por Izquierdo (2012), quien evaluó tres variedades distintas. En su estudio, las variedades Guaranda (258 cm) e INIAP 180 (244 cm) se ubicaron en el rango más alto (A) en términos de altura de planta, medida en metros, debido a características fisiológicas específicas que favorecen un mayor tamaño de estas plantas. En contraste, la variedad MISHKA presentó una altura promedio de 199 cm, clasificándose en el rango (B) como la variedad más baja, lo cual se refleja directamente en la menor cantidad de materia verde producida por esta. Por otro lado, en la presente investigación se obtuvieron valores cercanos en las mediciones, aunque es importante señalar que el estudio de Izquierdo se enfocó en diferentes variedades, mientras que mi trabajo consideró el efecto de diferentes tratamientos.

El análisis de varianza (ANOVA) muestra que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para el área foliar (AF) con un valor de $p = 0,094$, ligeramente superior al nivel de significancia típico de 0,05. Esto indica que, aunque se observan diferencias en los valores medios de los tratamientos, estas no son suficientemente grandes para ser consideradas estadísticamente significativas (Tabla 20). El intercepto presentó un valor altamente significativo ($p = 0,000$), lo cual indica que hay un efecto importante del promedio general en los datos. En relación con los tratamientos, aunque el valor de $F = 2,527$ muestra cierta variabilidad entre los tratamientos, esta no es suficiente para concluir diferencias significativas.

Tabla 20. Análisis de Varianza (ANOVA) de área foliar

Fuente de variación	SS	df	MS	F	p
Intercepto	294,880.6	1	294,880.6	2,892.76	0.000000
Tratamientos	772.6	3	257.5	2.527	0.094211
Error	1,631.0	16	101.9		
Total	297,284.2	20			

Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se observa una tendencia en los datos. El Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico) presentó el mayor promedio de área foliar, lo que sugiere que una combinación de fertilizantes podría ser beneficiosa. Como alternativa, el Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) mostró resultados competitivos, seguido de cerca por el Tratamiento 3 (100% Orgánico). El Tratamiento 1 (Control sin fertilizante) tuvo el menor promedio, indicando que la fertilización es esencial para incrementar el área foliar en el cultivo. Asimismo, se observó que los valores del Índice de Área Foliar (IAF) fueron altamente variables según la etapa fenológica de las plantas y el tratamiento aplicado. Por otro lado, en la presente investigación se registraron valores más elevados. El tratamiento T2 (100 % fertilizante químico) obtuvo el mayor promedio, con 3,389, mientras que el tratamiento T1 (testigo sin fertilizante) presentó el promedio más bajo, con 0,674. Los tratamientos T3 (fertilizante orgánico) y T4 (50 % fertilizante químico y 50 % fertilizante

orgánico) mostraron resultados similares, con promedios de 1,973 y 1,836, respectivamente (Tabla 21).

Tabla 21. Medias, desviación estándar y letras de significancia de Área foliar e Índice de Área Foliar

Tratamiento	N	Área Foliar (cm ²)	Índice de Área Foliar (IAF)
1	5	112,1±10,49a	0,67
2	5	122,2±9,68a	3,3
3	5	121,8±11,26a	1,97
4	5	129,6±8,79a	1,83

Tratamiento 1 (Control sin fertilizante); Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico); Tratamiento 3 (100% Fertilizante Orgánico); Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico). Las letras en la última columna indican agrupaciones basadas en la prueba de Tukey. Media ± desviación estándar seguida por letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

Los resultados obtenidos presentan cierta similitud en algunos tratamientos con las diferencias reportadas por Cardona et al. (2021), quienes evaluaron seis tratamientos con doce repeticiones. El análisis estadístico indicó que no se observaron diferencias significativas en esta variable durante las semanas 3, 5 y 7 de evaluación. Sin embargo, se destacaron los tratamientos T4 (Triple 15) y T5 (Triple 15 combinado con micorrizas), que alcanzaron áreas foliares (AF) de 4.473,27 cm² y 3.219,80 cm², respectivamente, siendo los de mejor desempeño. En contraste, el tratamiento T6 (testigo) presentó el menor valor. En la presente investigación, se registraron valores muy similares entre los tratamientos T3 (fertilizante orgánico) y T4 (50 % fertilizante químico y 50 % fertilizante orgánico), con áreas foliares de 4.122 cm² y 4.210 cm², respectivamente. El mayor valor de AF se obtuvo en el tratamiento T2 (100 % fertilizante químico), con un promedio de 7.781 cm², mientras que el tratamiento T1 (testigo sin fertilización) presentó la menor área foliar, con un promedio de 1.542 cm².

Los resultados evidenciaron que el tratamiento T2 (100 % fertilizante químico) registró el índice más alto de área foliar, mientras que los tratamientos T3 (fertilizante orgánico) y T4

(50 % fertilizante químico y 50 % fertilizante orgánico) presentaron valores similares. En contraste, el tratamiento T1 (testigo sin fertilización) mostró el índice de área foliar más bajo.

Los resultados obtenidos en este estudio no mostraron similitudes con las diferencias reportadas por Cardona et al. (2021). Al analizar el comportamiento de los datos de esta variable, se determinó que las plantas tratadas con T4 (Triple 15) alcanzaron los mejores resultados, con un promedio de 0,480. En contraste, las plantas del tratamiento testigo (T6) presentaron los rendimientos más bajos, con un promedio de 0,225.

Número de mazorcas por planta

El número de mazorcas por planta no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p>0,05$). Si bien no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, los resultados indican una tendencia favorable hacia la aplicación de fertilizante químico. Se sugiere realizar réplicas del experimento con un tamaño muestral más amplio para validar estas observaciones y analizar posibles interacciones con otros factores agronómicos (Figura 2).

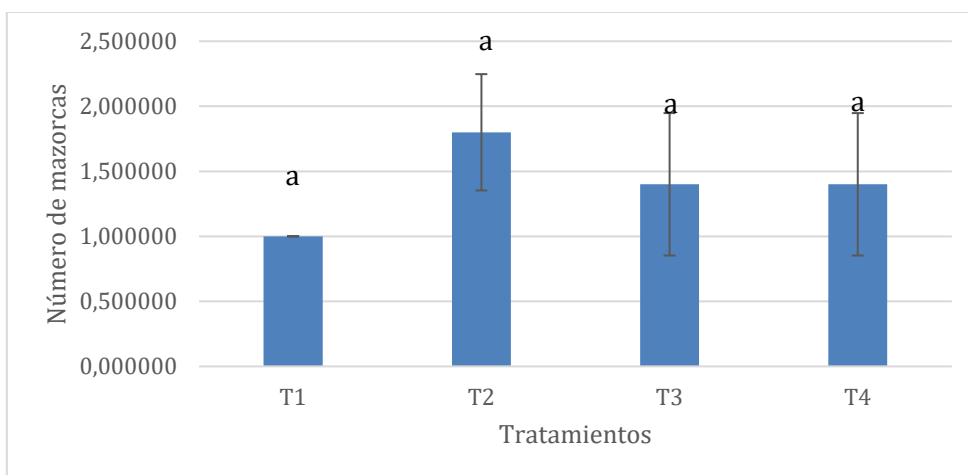


Figura 2. Número de mazorcas por planta en cuatro diferentes tratamientos.

Rendimiento por hectárea

La figura 3 presenta los rendimientos promedio de cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y T4) junto con sus errores estándar, y las letras sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas entre ellos. El tratamiento T2 tiene el mayor rendimiento promedio, seguido por

T4, T3 y finalmente T1, que muestra el menor rendimiento. Las barras de error reflejan la variabilidad asociada a cada tratamiento, siendo más pronunciada en T1 y menos en T3, lo que coincide con los datos de consistencia. Las diferencias significativas entre tratamientos sugieren que las intervenciones aplicadas tienen impactos distintos en el rendimiento, con T2 destacándose como la opción más productiva.

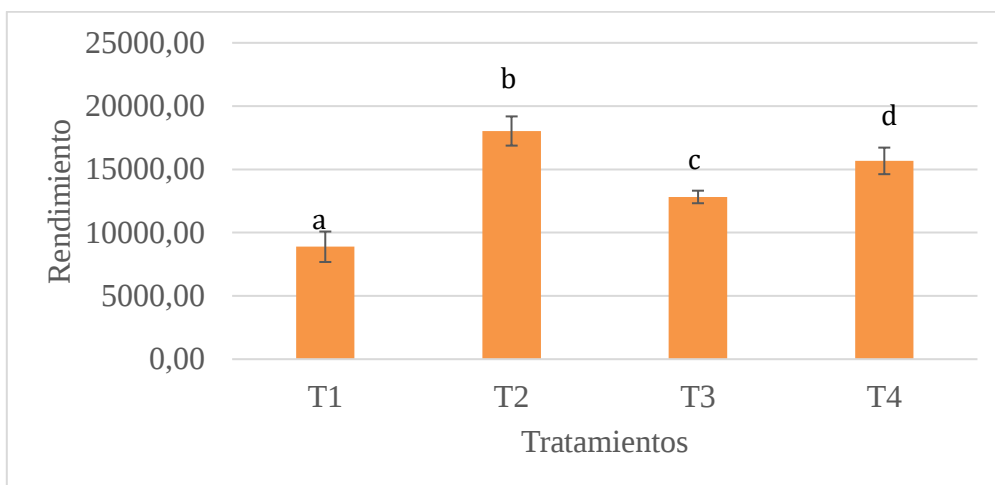


Figura 3. Rendimiento por hectárea en los diferentes tratamientos.

La figura 4 presenta los rendimientos promedio de cuatro tratamientos (T1, T2, T3 y T4) junto con sus errores estándar, y las letras sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas entre ellos. El tratamiento T2 tiene el mayor rendimiento promedio, seguido por T4, T3 y finalmente T1, que muestra el menor rendimiento. Las barras de error reflejan la variabilidad asociada a cada tratamiento, siendo más pronunciada en T1 y menos en T3, lo que coincide con los datos de consistencia. Las diferencias significativas entre tratamientos sugieren que las intervenciones aplicadas tienen impactos distintos en el rendimiento, con T2 destacándose como la opción más productiva.

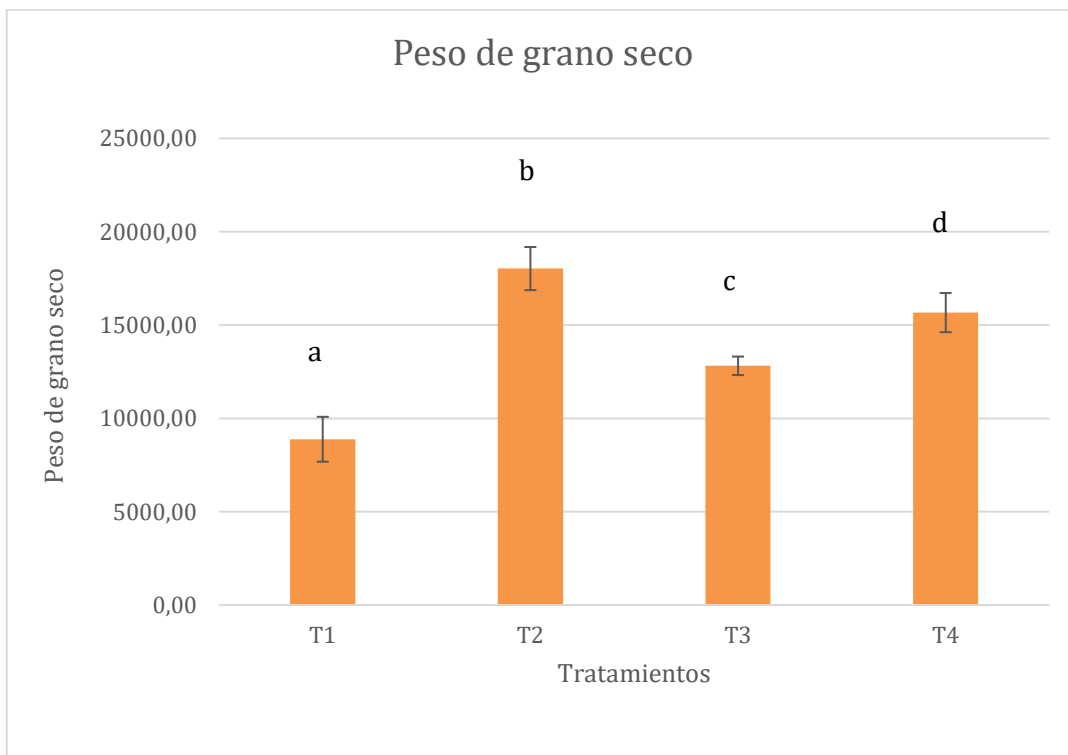


Figura 4. Peso del grano seco en los diferentes tratamientos.

Los resultados obtenidos no muestran correspondencia con las diferencias reportadas por Castañón y Latournerie (2004), quienes en su estudio reportaron un rendimiento promedio de $4.701 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. En contraste, en la presente investigación se obtuvo un rendimiento de $277 \text{ kg}/1000 \text{ m}^2$. Es importante señalar que nuestro estudio se llevó a cabo en una parcela experimental de menor escala, lo que explica la significativa discrepancia observada entre los resultados.

Calidad del grano

La figura 5 muestra el peso de grano seco para cuatro tratamientos: T1 (testigo sin fertilizante), T2 (fertilización química), T3 (fertilización orgánica) y T4 (50% químico + 50% orgánico). El tratamiento T2 alcanzó el mayor peso promedio de grano seco, seguido por T4, T3 y finalmente T1, que presentó el menor rendimiento. Las barras de error reflejan la variabilidad asociada a los datos de cada tratamiento, siendo más destacadas en T1, lo cual indica mayor inconsistencia en los resultados. Las letras sobre las barras (a, b, c, d) confirman diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Esto sugiere que el uso de fertilización química (T2) y combinada (T4) mejora significativamente el rendimiento en

comparación con el uso exclusivo de fertilización orgánica o la ausencia de fertilización. T4 representa una alternativa interesante al combinar beneficios de ambas prácticas, con menor impacto ambiental que el fertilizante químico puro.

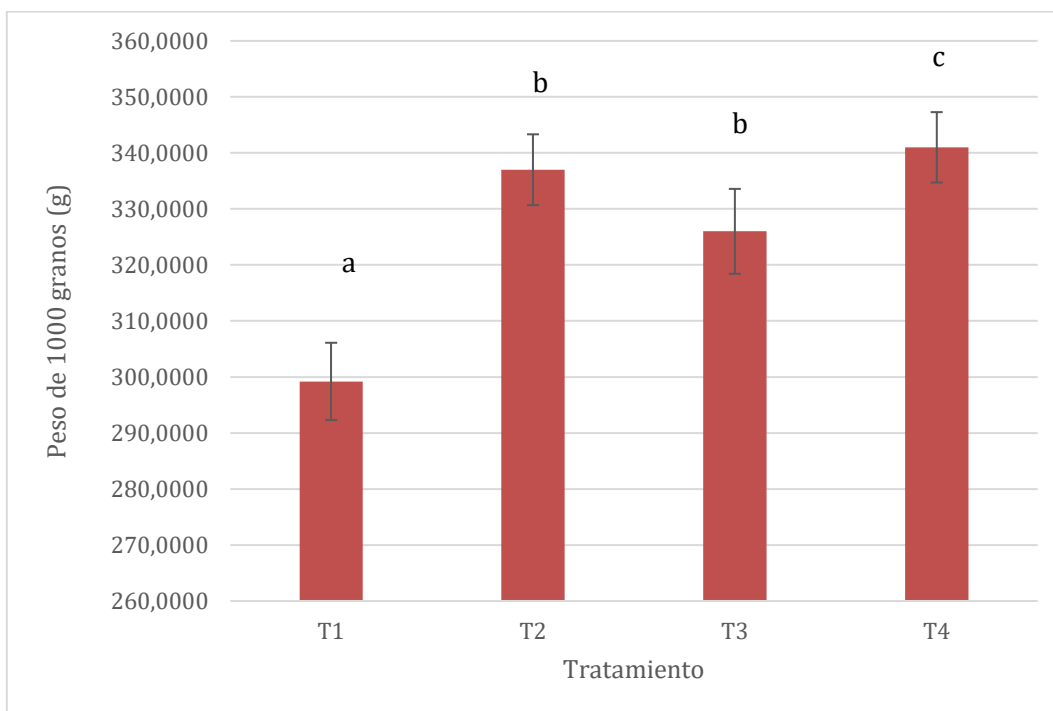


Figura 5. Peso de 1000 granos en los diferentes tratamientos.

El experimento evaluó cuatro tratamientos de fertilización (testigo sin fertilizante, químico, orgánico y 50% químico + 50% orgánico) midiendo el peso de 1000 granos, la desviación estándar, el error estándar y el intervalo de confianza del rendimiento. Los resultados muestran que el fertilizante químico (T2) logró el mayor peso promedio (341 g) y la menor variabilidad, destacándose como el tratamiento más efectivo para mejorar la productividad. El tratamiento combinado (T4) obtuvo un peso similar (337 g), demostrando ser una alternativa competitiva y más sostenible. El fertilizante orgánico (T3) aumentó significativamente el rendimiento respecto al testigo (T1), pero con menor eficiencia que los tratamientos químicos, probablemente debido a la liberación más lenta de nutrientes. El testigo presentó el menor rendimiento (299,2 g), confirmando la necesidad de fertilización para mejorar la calidad del cultivo. Estos resultados sugieren que, aunque el fertilizante químico es más efectivo, la

combinación con fertilizantes orgánicos podría ser una estrategia equilibrada para optimizar la productividad y reducir el impacto ambiental.

Humedad de granos

El experimento evaluó cuatro tratamientos de fertilización (testigo sin fertilizante, fertilización química, fertilización orgánica y una combinación de 50 % fertilizante químico + 50 % fertilizante orgánico) para determinar el contenido de humedad en los granos. Los resultados indicaron que el porcentaje de humedad fue relativamente uniforme entre los tratamientos. El tratamiento T2 (fertilización química) presentó el mayor porcentaje, con un 42 %, seguido por el tratamiento T1 (testigo sin fertilización) con un 41 %. El tratamiento T3 (fertilización orgánica) registró un 40,7 %, mientras que el tratamiento T4 (combinación de fertilización química y orgánica) mostró el menor porcentaje de humedad, con un 40,4 %.

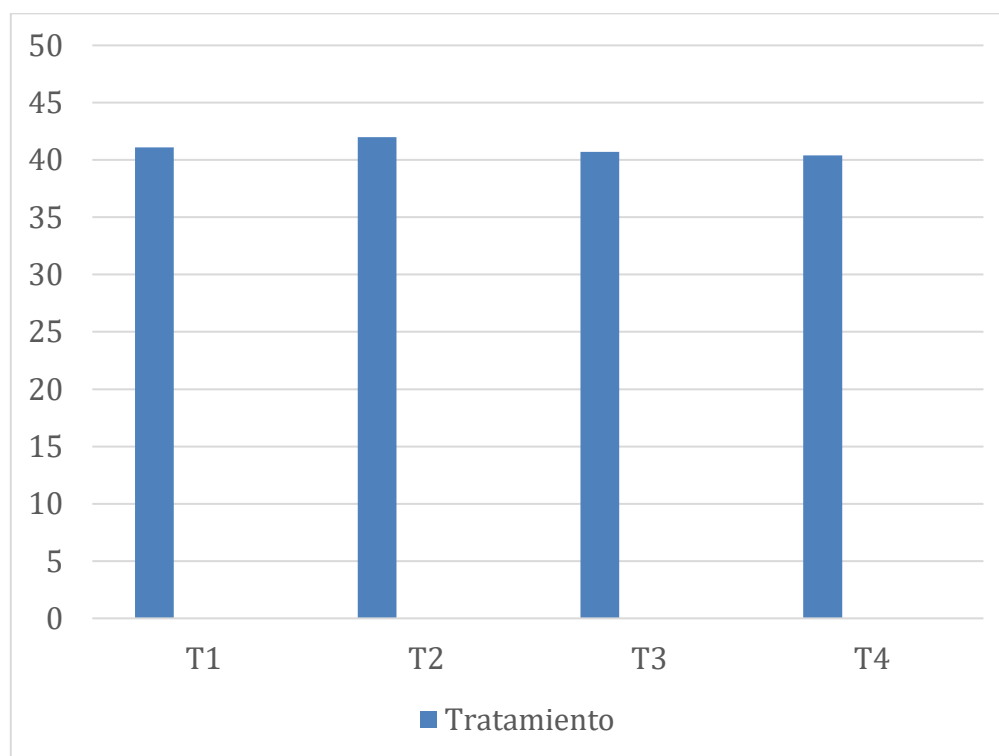


Figura 6. Humedad de granos en los diferentes tratamientos

Los resultados obtenidos no presentan concordancia con las diferencias reportadas por Castañón y Latournerie (2004), quienes informaron un porcentaje de humedad del 14% en su

estudio. En contraste, en la presente investigación, el tratamiento T2 (100% fertilizante químico) mostró el mayor porcentaje de humedad, con un 42%, mientras que el menor porcentaje, de 40,4%, correspondió al tratamiento T4 (50% químico + 50% orgánico). Es relevante destacar que las discrepancias significativas en los resultados pueden atribuirse a que, en nuestro estudio, la determinación del contenido de humedad en el grano se realizó a los tres meses, dado que el material fue destinado para ensilaje y no para cosecha.

Conclusiones

A lo largo de las evaluaciones a los 30, 60, 90 y 120 días después de siembra (DDS), el Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) resultó ser el más eficiente, mostrando consistentemente el mayor número promedio de hojas en las plantas, superando de forma significativa a los demás tratamientos. Como alternativa, el Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico) también presentó buenos resultados, ubicándose en posiciones intermedias y con valores estadísticamente superiores al Control (Tratamiento 1) en la mayoría de las evaluaciones. Esto indica que la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos puede ser una estrategia viable para obtener un balance entre rendimiento y sostenibilidad.

En términos de altura de la planta, el Tratamiento 2 (100% Fertilizante Químico) fue consistentemente superior en todas las mediciones (30, 60, 90 y 120 DDS), logrando las mayores alturas promedio y diferencias estadísticamente significativas con los demás tratamientos. Como alternativa, el Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico) mostró buenos resultados, alcanzando alturas intermedias en cada evaluación y destacándose sobre el Tratamiento 1 (Control). Esto sugiere que, aunque el fertilizante químico es el más efectivo para maximizar el crecimiento, la mezcla con fertilizante orgánico también puede ofrecer beneficios importantes.

En cuanto al área foliar, si bien las diferencias no son estadísticamente significativas, los datos sugieren que el Tratamiento 4 (50% Químico + 50% Orgánico) puede ser la mejor opción para optimizar el área foliar, seguido por el Tratamiento 2 (100% Químico) como una alternativa eficiente. Esto resalta la importancia de los fertilizantes para maximizar el desarrollo foliar en las plantas.

En general, el mejor tratamiento que respondió a la evaluación de las variables edáficas fue el T2 (100% fertilizante químico) mientras el de menor importancia y rendimiento fue el T1 (Testigo sin fertilizante); sin embargo, es importante resaltar que el T4 (50% Químico + 50% Orgánico) es una buena opción en cuanto a rendimiento en el cultivo debido a que reduce el impacto ambiental y causa menos daños a comparación del T2 (100% Fertilizante Químico).

Recomendaciones

Implementar la combinación de fuentes de fertilización, tanto química como orgánica, para maximizar la eficiencia en la nutrición del cultivo.

Prolongar este experimento en investigaciones futuras dentro del programa de Ingeniería Agronómica.

Continuar el monitoreo de las propiedades edáficas para analizar el impacto a largo plazo de los tratamientos aplicados.

Optimizar la aplicación de elementos nutritivos durante todo el ciclo de cultivo para incrementar los niveles de productividad.

Bibliografía

- Agricultura, s. d. (2019). casanare.gov.co. Obtenido de casanare.gov.co:
<https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Agricultura/Paginas/default.aspx>
- Agrosavia, L. G. (1995). El cultivo del maíz. Obtenido de
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13456/Ver_Documento_13456.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Analitik, V. (2021). Llega a Colombia nueva semilla de maíz más productiva y más alta calidad. Obtenido de <https://www.valoraanalitik.com/llega-a-colombia-nueva-semilla-de-maiz-mas-productiva-y-alta-calidad/>
- Antúñez-Ocampo, O. M., Sabino-López, J. E., Hernández-Galeno, C. del Á., Espinosa-Rodríguez, M., & Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. (2023). Rendimiento

- del maíz (*Zea mays* L.) en respuesta a la fertilización con nitrógeno, fósforo y silicio al suelo. *Terra Latinoamericana*, 41, e1682. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1682>
- Castañón, G., & Latournerie Moreno, L. (2004). Comportamiento de familias S1 de maíz en distintos pH del suelo. *Bragantia*, 63(1), 63-72.
- Cardona Restrepo, K. T., Escobar Posada, E. A., Ramírez Franco, L. A., & Rivera Hernández, J. F. (2021). Efecto de diferentes tipos de fertilizantes en el crecimiento del maíz criollo, Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia. *Temas Agrarios*, 26 (2), 140-151. <https://doi.org/10.21897/rta.v26i2.2847>
- CIMMYT. (2021). Maíz para Colombia Vision 2030. Obtenido de <https://fenalce.co/wp-content/uploads/2021/10/Maiz-para-Colombia.pdf>
- Bolsa Mercantil de Colombia, B. M. (2023). Análisis de producto maíz. Obtenido de https://www.bolsamercantil.com.co/sites/default/files/2023-12/Analisis_de_producto_Maiz_2023.pdf
- Cuervo-Parra, J. A., López-Pérez, P. A., Aparicio-Burgos, J. E., & Mora, M. A. (2024). Rendimiento de maíz Chalqueño (*Zea mays* L.) bajo diferentes esquemas de fertilización en el municipio de Apan, Hidalgo, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2024), Art. No. 025.
- Earth, G. (s.f.). Google Earth. Obtenido de <https://www.google.com/intl/es/earth/about/versions/>
- García Montealegre, J. P. (2019). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34519>. Obtenido de [casanare.gov.co](https://www.casanare.gov.co): <https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Agricultura/Paginas/default.aspx>
- CIMMYT - Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2012). *Manual de determinación de rendimiento*. <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/3c50e668-eb9-42d2-b6ca-651ba7ca492e/content>
- CIMMYT - Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2017). *Protocolos para realizar mediciones de plantas en las plataformas de investigación*. <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/871b2151-23b5-433d-9213-1e4f0f6b0a78/content>

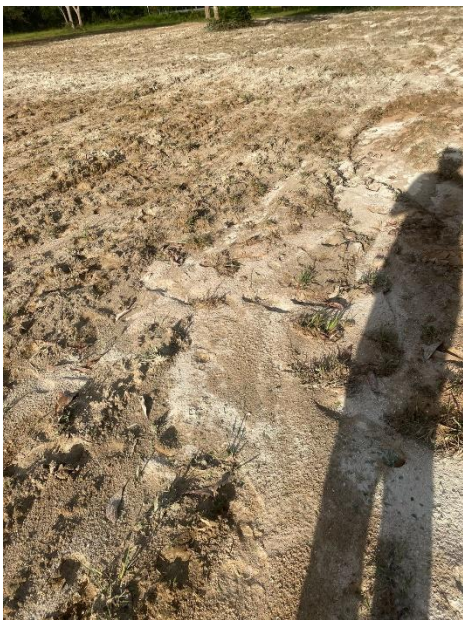
- Jiménez Ortiz, M. M., Gómez Álvarez, R., Oliva Hernández, J., Granados Zurita, L., Pat Fernández, J. M., & Aranda Ibáñez, E. M. (2019). Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *Nova Scientia*, 11(23). <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1957>
- McLean E. O. (1982). Soil pH and lime requirements. Methods of soil analysis: part II- Chemical and Microbiological Properties. En Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monographs N° 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 199-223.
- Murillo Hernández, L. T. (2021). Efecto de la aplicación de una enmienda a base de óxidos y silicatos sobre variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la empresa Agroinsumos Manantial, ubicada en Granada, Meta [Trabajo de Grado Pregrado, Universidad de Pamplona]. Repositorio Hulago Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/3062>
- NK Semillas. (2021). Catálogo Colombia: Amarillo NK4015. <https://nksemillas.com.co/wp-content/uploads/catalogo/Colombia/Amarillo/NK4015.pdf>.
- Ortiz, M., Delatorre Castillo, J. P., Sepúlveda, I., Low, C., Ruiz, K. B., & Delatorre Herrera, J. (2021). Efectos de distintas concentraciones de boro y pH en el crecimiento de *Zea mays* var. Capia blanco, un maíz ancestral de Chile. *Idesia*, 39(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000200111>
- Paliwal. (2001). FAO. Obtenido de Introducción al maíz y su importancia: <https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s02.htm>
- Pérez-López, L., Argente-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Cervantes-Ortiz, F., Aguirre-Mancilla, C. L., & González Aguilera, J. (2023). Morfología y componentes del rendimiento de híbridos simples de maíz blanco y amarillo en el Valle del Yaqui. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui. <https://doi.org/10.5039/agraria.v19i1a3533>
- Scharf, P. C., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Davis, J. G., Hubbard, V. C., & Lory, J. A. (2015). Variabilidad a escala de campo en la dosis óptima de fertilizante nitrogenado para maíz. *Agronomy Journal*, 97(2), 452-461.

- Secretaria-de-Agricultura. (2020). gobernacion de casanare. Obtenido de Gobernacion de Casanare:
<https://www.casanare.gov.co/Dependencias/SecretariaGeneral/Paginas/Datos-Abiertos-Secretaria-de-Agricultura.aspx>
- Tanaka, A. Yamaguchi, J. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 120 p.
- Urango, L. A. (2018.). *Componentes del maíz en la nutrición humana*. En: Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México. Fondo Editorial Biogénesis. Universidad de Antioquía. Pp. 185-208 pp. Obtenido de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/download/336229/20791758/#:~:text=Los%20valores%20var%C3%ADan%20as%C3%AD%3A%20l%C3%ADpidos,3211%20a%203567%20Kcal%20FKg>.
- Westman, C., Hytönen, J. & Wall, A. (2006). Loss-on-ignition in the determination of pools of organic carbon in soils of forests and afforested arable fields. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 37, 1059-1075. <https://doi.org/10.1080/00103620600586292>
- Wilhelm, W. W.; Ruwe, F. and Schlemer, M. R. 2000. Comparison of three leaf area index meters in corn canopy. *Crop Sci*. 40:1179–1183.

Anexos



Anexo 1 (Adecuación del terreno)



Anexo 2 (Aplicación de Cal dolomita)



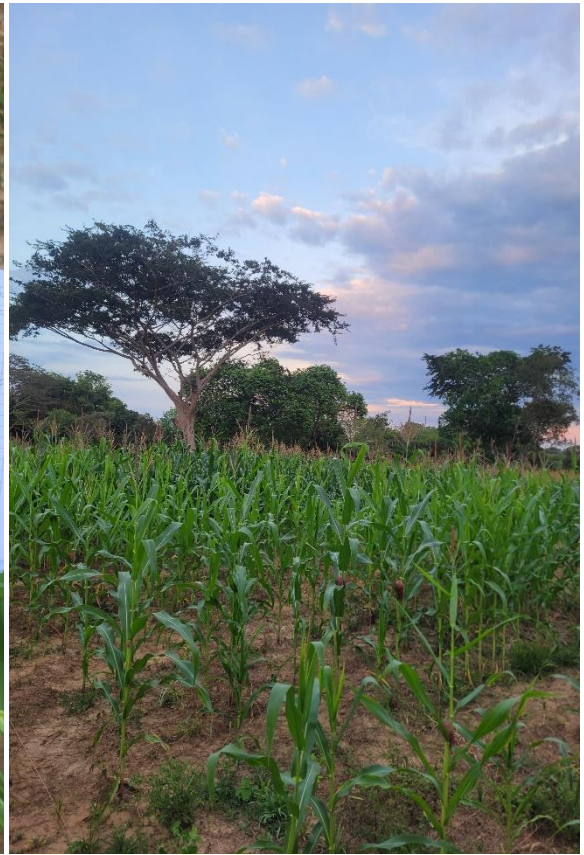
Anexo 3 (Delimitación de parcelas)



Anexo 5 (Aplicación de tratamientos)



Anexo 6 (Aplicación de herbicidas, control de arvenses)



Anexo 7 (Medición de números hojas-altura planta)





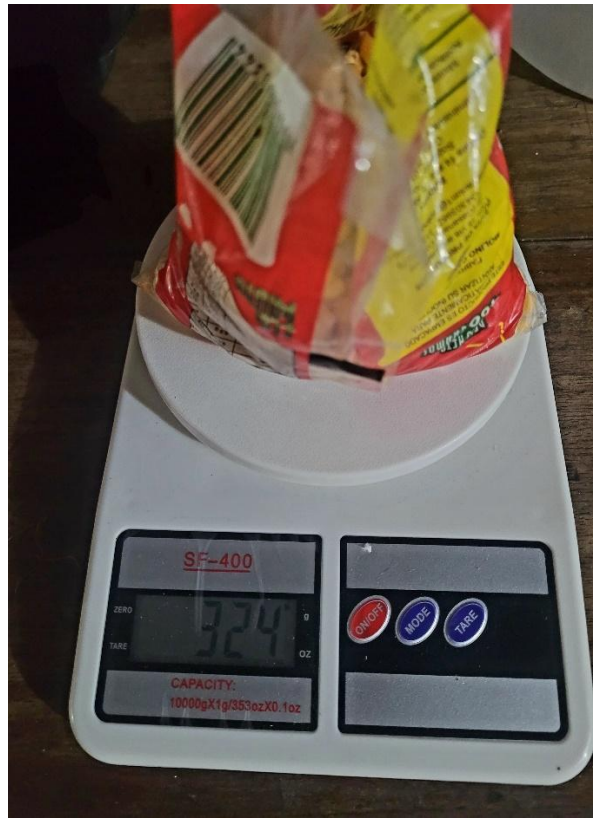
Anexo 8 (Medición ancho máximo y longitud máxima de hojas)





Anexo 9 (Mazorcas por planta)





Anexo 10 (Calidad-peso 1000 granos)





Anexo 11 (Contenido de humedad de granos)