

---

# **Evaluación del efecto de la nutrición NPK y su incidencia en la productividad en el cultivo de maíz (*Zea mays*)**

---

---

*Evaluation of the effect of npk nutrition and its impact on productivity in maize (zea mays) cultivation*

---

***Alejandra Aguirra<sup>1</sup>, David Monsalve<sup>2</sup>, Alejandro Giraldo Franco<sup>3</sup> y Sebastián Montoya Uribe<sup>4</sup>***

---

1 Semillero Ruminaceae (UCO). Correo: alejaaguirre444@gmail.com.

2 Grupo de ingeniería de investigación y desarrollo (CORONA). Correo: dmonsalve@corona.com.co.

3 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: agiraldo@uco.edu.co.

4 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ (UCO). Correo: smontoya@uco.edu.co.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1313-2319>.

---

## Resumen

---

En este estudio se examinó el impacto de la combinación de fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) junto con silicio en el rendimiento y la calidad del maíz (*Zea mays*) en Colombia. La adecuada fertilización desempeña un papel fundamental en la garantía de la seguridad alimentaria, pero la escasez de información sobre la optimización de nutrientes ha llevado a prácticas agrícolas subóptimas por parte de los agricultores. A través de un experimento llevado a cabo en Rionegro, Antioquia, se evaluaron diversas combinaciones y momentos de aplicación de NPK. Los resultados destacaron que la suplementación con NPK tuvo un impacto significativamente positivo en el crecimiento de las plantas de maíz en comparación con la fertilización convencional. Se evidenciaron notables diferencias en la altura de las plantas,

el número de hojas, el diámetro del tallo y las concentraciones de minerales en el maíz. Además, a través del modelo logístico, se identificó un punto máximo de acumulación de biomasa de 50,59 gramos en las plantas de maíz. El análisis de medidas repetidas en el tiempo puso de manifiesto que la aplicación secuencial de NPK a lo largo del ciclo de crecimiento resultó en un aumento constante en el crecimiento de las plantas y la acumulación de minerales esenciales en los tejidos del maíz. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar esta combinación de nutrientes para maximizar tanto la productividad como la calidad del maíz, enfatizando la necesidad de ajustar los tratamientos a lo largo del ciclo de crecimiento para obtener resultados óptimos.

---

### Palabras clave

---

Fertilización, Desarrollo, Sostenibilidad, Productividad, Optimización.

---

---

## Abstract

---

In this study, the impact of NPK (nitrogen, phosphorus and potassium) fertilizer combination together with silicon on yield and quality of maize (*Zea mays*) in Colombia was examined. Adequate fertilization plays a key role in ensuring food security, but the scarcity of information on nutrient optimization has led to suboptimal farming practices by farmers. Through an experiment conducted in Rionegro, Antioquia, various combinations and timing of NPK application were evaluated. The results showed that NPK supplementation had a significantly positive impact on corn plant growth compared to conventional fertilization. Notable differences were evident in plant

height, number of leaves, stalk diameter and mineral concentrations in maize. In addition, through the logistic model, a maximum biomass accumulation point of 50,59 g was identified in the maize plants. Repeated measures analysis over time revealed that sequential application of NPK throughout the growth cycle resulted in a steady increase in plant growth and accumulation of essential minerals in maize tissues. These findings underscore the importance of considering this nutrient combination to maximize both corn productivity and quality, emphasizing the need to adjust treatments throughout the growth cycle for optimal results.

---

### Keywords

---

Fertilization, Development, Sustainability, Productivity, Optimization.

---

## Introducción

En el panorama de la agricultura mundial, el maíz (*Zea mays*) se alza como un protagonista indiscutible, ejerciendo una influencia crucial en la seguridad alimentaria global. Estados Unidos, China y Brasil ostentan con razón los roles principales en la producción maicera a nivel global (CIMMYT, 2019). Mientras tanto, en el contexto colombiano, el año 2020 presenció la siembra de 157 552 hectáreas de maíz, generando una cosecha de 521 557 toneladas con un rendimiento de 1,83 toneladas por hectárea, destinadas principalmente a la alimentación animal (Minagricultura, 2021). En la incansable búsqueda de potenciar la productividad de este cultivo, la aplicación precisa de nutrientes fundamentales como el nitrógeno, el fósforo y el potasio se erige como un pilar inquebrantable. Sin embargo, las carencias informativas en el manejo de la fertilización han dado origen a recomendaciones genéricas y a una utilización poco razonada de los fertilizantes (Attanandana & Yost, 2004).

En este entorno desafiante, surge el silicio como una estrategia latente para catalizar la nutrición del maíz. La integración de este elemento ha revelado efectos positivos en una multiplicidad de cultivos, entre ellos, el maíz, avivando la productividad, la biomasa y la tolerancia al estrés hídrico (Meena et al., 2013; Korndorfer

& Lepsch, 2001; Kaya et al., 2006). La mirada se dirige hacia la optimización de aspectos fisiológicos y la mejora cualitativa del cultivo, insuflando optimismo en la consecución de cosechas más prósperas y robustas.

No obstante, los avances incuestionables en la producción de maíz, Colombia se enfrenta a un reto perentorio en términos de seguridad alimentaria, dado su marcado grado de dependencia en las importaciones de maíz, dejándola vulnerable ante las oscilaciones inherentes a los mercados internacionales (FAO, 2021). En este contexto, la imperante necesidad de elaborar estrategias que refuercen la producción interna y mitiguen la dependencia importadora se postula como un imperativo ineludible, consolidando así las bases de la seguridad alimentaria en el país (López, 2020).

El cultivo del maíz, pieza angular tanto en la seguridad alimentaria como en la economía de numerosas naciones, ha enfrentado obstáculos notables en el escenario colombiano en las últimas décadas. El declive en rendimientos y calidad ha conducido al país a incrementar las importaciones para satisfacer la demanda de alimentos y concentrados animales. El año 2022, por ejemplo, contempló la importación de más de 6,1 millones de toneladas de maíz amarillo, lo

que afectó sectores cruciales como la industria avícola debido al aumento en los precios de insumos esenciales como el maíz y la soya.

En este panorama complejo, la carencia de semillas certificadas y la limitada mecanización han convergido en rendimientos desalentadores. A pesar de los esfuerzos denodados de los agricultores por mantener una fertilización apropiada, la incertidumbre persiste en relación con la dosificación precisa y el momento idóneo para la aplicación de nutrientes, así como en la selección adecuada de fertilizantes, contemplando el reciclaje de nutrientes durante el ciclo vegetativo. Un manejo eficiente de la nutrición se postula como pilar esencial para asegurar rendimientos sostenibles y resultados económicos positivos, tanto en el cultivo de maíz como en los cultivos sucesores en rotación, como la soya.

El nitrógeno, el fósforo y el azufre, nutrientes que ejercen un férreo control sobre la productividad del maíz, demandan una atención urgente y una mejora en las prácticas de fertilización. Abordar este desafío se torna imperativo para garantizar un incremento sostenible en la productividad del cultivo de maíz y asegurar la seguridad alimentaria en la región.

El maíz, auténtico pilar en la alimentación humana y animal, adquiere una mayor relevancia en un contexto donde la población mundial ha experimentado un crecimiento notorio. Elevar la fertilización se postula como una vía para satisfacer la creciente demanda alimentaria, cuyo aumento ha sido evidente en los últimos años.

La necesidad de establecer niveles óptimos de fertilización, evitando la sobre fertilización y optimizando la utilización de recursos tales como el agua y los nutrientes del suelo, adquiere una relevancia ineludible en el marco de la conservación ambiental. El aumento en la productividad del maíz, resultado de prácticas de fertilización pertinentes no solo favorecerá los ingresos de los agricultores, sino que también contribuirá al desarrollo económico de las comunidades agrícolas.

En este contexto, Colombia se yergue como un ejemplo de superación. A pesar de sus notorias importaciones, ha conseguido trascender y ha logrado exportar maíz, generando beneficios sustanciales en diversas regiones del país.

La estandarización de programas de fertilización adaptados a las distintas zonas geográficas emerge como un motor para incentivar la investigación agrícola y el desarrollo tecnológico. Esto no solo repercutirá en el cultivo del maíz, sino que también beneficiará a otros cultivos de envergadura y al entorno ambiental en su conjunto. La agricultura moderna y sostenible precisa de una administración adecuada de los fertilizantes, estableciendo así un equilibrio armónico entre la producción y la conservación ambiental. Esta perspectiva nos guía hacia el corazón de esta tesis de pregrado en ingeniería agronómica, donde la búsqueda de la mejora continua y la sostenibilidad se alzan como pilares fundamentales.

## Objetivo general

Evaluar el efecto de la nutrición NPK en la productividad del cultivo de maíz (*Zea mays*), con el fin de determinar su incidencia en el rendimiento y calidad de los cultivos.

## Objetivos específicos

- Identificar la composición y proporciones óptimas de la mezcla NPK para la fertilización del cultivo de maíz, considerando las necesidades nutricionales específicas de la planta en diferentes etapas de crecimiento.
- Realizar un análisis comparativo entre el uso de la nutrición NPK y la fertilización tradicional (NPK) en términos de rendimiento del maíz, evaluando la productividad.
- Evaluar la incidencia de la nutrición NPK en el desarrollo vegetativo del maíz, analizando parámetros como altura de la planta, área foliar y vigor.

## Materiales y métodos

### Localización

El experimento se realizó en el hogar juvenil Santa María, propiedad de la Universidad Católica de Oriente, localizada en el municipio de Rionegro, Antioquia, vereda Canadá, a 6°04'23"N 75°22'44"W con una altura de 2185 msnm, temperatura promedio de 16.6 °C, humedad relativa de 80 %, precipitación de

1800 mm y topografía de plana a ondulada. Dicho predio pertenece a una zona de vida de bosque húmedo montano bajo (bh-MB), de acuerdo con la clasificación de Holdridge (2000).

### Procedimientos generales

El cultivo se estableció en un lote de aproximadamente 236,6 m<sup>2</sup>, el cual se delimitó y desmalezó para su preparación. Se trazaron hileras de siembra con una separación de 80 cm entre ellas. Para garantizar una organización eficiente, el terreno se dividió en 5 bloques, ajustados por la pendiente, cada uno conteniendo 9 hileras de siembra correspondientes a los tratamientos a evaluar. Cada hilera tuvo 25 plantas, sumando un total de 140 plantas por tratamiento, y se aseguró una separación de un (1) metro entre cada bloque.

En cuanto a la selección de las semillas, se optó por la variedad de maíz certificada ICA V-305. Para la siembra, se colocó una (1) plántula en cada sitio, manteniendo una distancia de 25 cm entre cada planta.

### Tratamientos

Se llevó a cabo un fraccionamiento de la fertilización NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) siguiendo la metodología propuesta por Montealegre (2009), que recomienda niveles específicos de extracción del cultivo: 140 kg/ha de N, 90 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 90 kg/ha de K<sub>2</sub>O. Con el objetivo de investigar los efectos de diferentes proporciones de esta fertilización, se diseñaron tratamientos que

proporcionaban el 50 %, 75 % y 100 % de la dosis recomendada. Además, se introdujo el silicio (SiO<sub>2</sub>) como nutriente adicional a través del producto, en dosis de 150 kg/ha, equivalente a 105 kg/ha de SiO<sub>2</sub>. Los tratamientos combinaron la fertilización NPK con el producto en diferentes proporciones: 50 % NPK, 75 % NPK y 100 % NPK. También se evaluaron tratamientos exclusivos de

SiO<sub>2</sub>, incluyendo 200 kg/ha (140 kg/ha de SiO<sub>2</sub>) más 75 % de la dosis NPK, y (150 kg/ha de SiO<sub>2</sub>) sin NPK. Como control, se incluyó un tratamiento sin NPK ni SiO<sub>2</sub>. La Tabla 2 presenta una descripción detallada de las dosis aplicadas en cada tratamiento, las cuales fueron distribuidas según las etapas vegetativas del cultivo durante el transcurso del experimento.

**Tabla 1**

*Dosificación de los tratamientos propuestos en la evaluación*

Tratamiento	Descripción Tratamiento	Dosis N (Kg/Ha)	Dosis P205 (Kg/Ha)	DOSIS K20 (Kg/Ha)	Dosis SiO <sub>2</sub> (Kg/Ha)
T1	Testigo	0	0	0	0
T2	N-P-K50%	70	45	45	0
T3	N-P-K 75%	105	67.5	67.5	0
T4	N-P-K 100%	140	90	90	0
T5	N-P-K 50% + Si	70	45	45	105
T6	N-P-K 75% + Si	105	67.5	67.5	105
T7	N-P-K 100% + Si	140	90	90	105
T8	Si	0	0	0	105
T9	N-P-K 75% ÷ 1.33 Si	105	67.5	67.5	140

**Nota.** Elaboración propia.

## Variables

Las variables evaluadas se midieron acorde con la metodología propuesta por el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT (Muñoz, Giraldo, & de Soto, 1993).

## Morfometría

**Altura de la planta (AP):** se midió en centímetros la distancia desde el suelo hasta la hoja superior (con lígula visible) cada 1,5 meses en cinco plantas por repetición,

tomadas al azar (siempre las mismas, para esto se marcaron), para un total de 25 plantas por tratamiento. Cuando las plantas alcanzaron la madurez de cosecha se midió desde el punto de la unión de la raíz y el tallo hasta la base de la espiga.

**Numero de hojas (NH):** se contabilizó el número de hojas completamente desarrolladas, con lígula visible, desde el suelo hasta la base de la espiga, cada 1,5 meses, en cinco plantas por repetición, tomadas al azar (siempre las mismas, para esto se marcarán), para un total de 25 plantas por tratamiento.

**Diámetro de tallo (DT):** a una altura determinada se midió el diámetro de los tallos cada 1,5 meses, en cinco plantas por repetición, tomadas al azar (siempre las mismas, para esto se marcarán), para un total de 25 plantas por tratamiento.

### ***Acumulación de biomasa y extracción de nutrientes del cultivo de maíz***

Se hicieron muestreos destructivos (planta completa) en 3 diferentes estados fenológicos; V3 (tres hojas), V6 (seis hojas); y en R3 (formación de espiga, Figura 1), de acuerdo con lo recomendado por (Ciampitti, Boxler, & García, 2006). Estos muestreos destructivos se hicieron para cada tratamiento, tomando 5 plantas. A estas plantas se les hizo las mediciones de peso fresco aéreo (tallo y hojas) peso fresco radical, peso seco aéreo (tallo y hojas) y peso seco radical evaluando así su Tasa relativa de

crecimiento. El contenido de nitrógeno (N) se determinó mediante el método de Kjeldahl (NTC 4657, 1999, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación). El fósforo (P) se cuantificó utilizando el método del ácido ascórbico, siguiendo la Norma Técnica Colombiana NTC 3191 (ICONTEC). El potasio (K) se evaluó mediante fotometría de llama, conforme a la AOAC 942.05. El calcio (Ca) y el magnesio (Mg) se midieron mediante espectrofotometría de absorción atómica siguiendo la NTC 309 (ICONTEC). El azufre (S) se cuantificó mediante la técnica de combustión en un analizador de azufre, de acuerdo con NTC 2072 (ICONTEC). El hierro (Fe) y el manganeso (Mn) se determinaron utilizando espectrofotometría de absorción atómica, siguiendo la NTC 259 (ICONTEC). El cobre (Cu) y el zinc (Zn) se midieron mediante espectrofotometría de absorción atómica, de acuerdo con la NTC 303 (ICONTEC). El boro (B) se cuantificó mediante espectrometría de emisión atómica, siguiendo la NTC 3703 (ICONTEC). El silicio (Si) se determinó utilizando espectrofotometría de absorción atómica, conforme a la NTC 295 (ICONTEC).

### **Análisis estadístico**

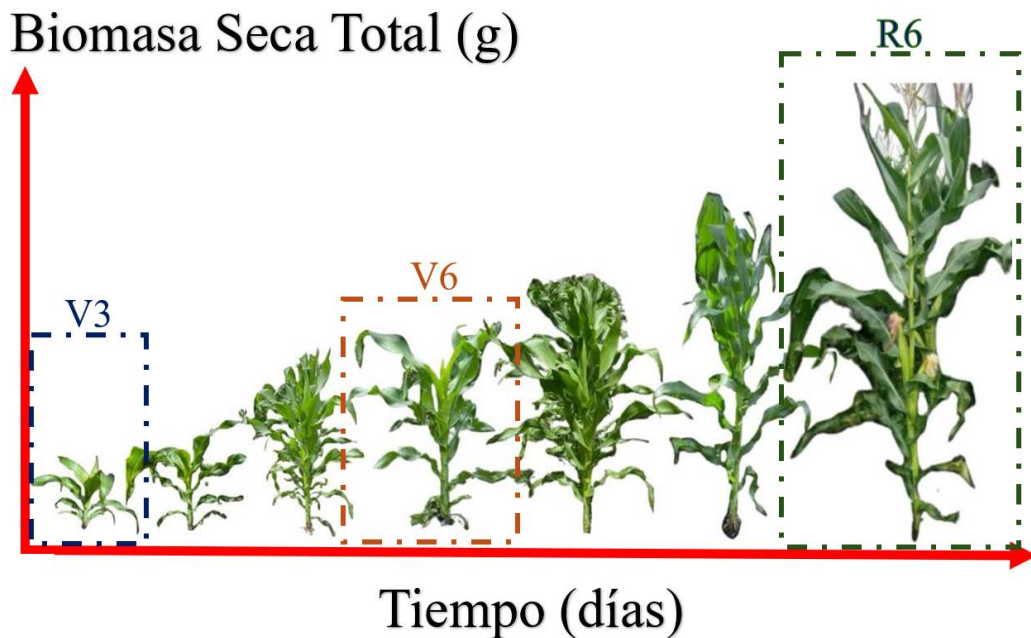
Los datos obtenidos en este trabajo fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con un arreglo de medidas repetidas en el tiempo (3 mediciones realizadas durante el período experimental), del mismo individuo (efecto aleatorio). El modelo estadístico

consideró como efecto fijo el tratamiento y tiene en cuenta el efecto aleatorio, buscando modelar la estructura de covarianza de los datos. Se analizaron las estructuras de Simetría compuesta, sin estructura y la combinación de estructura autorregresiva de primer orden dentro de individuos y efecto aleatorio entre individuos (Littell et al., 1998; Littell et al., 2000). Las estructuras de covarianza fueron comparadas utilizando el criterio de información de Akaike (AIC; Akaike, 1974)

y el criterio de información bayesiano (BIC; Schwarz, 1978). Para las variables acumulación de biomasa se realizó un análisis de regresión que incluyó diferentes modelos no lineales y se determinó el mejor ajuste a partir del criterio de información Akaike (AIC) y coeficiente de correlación  $R^2$ . La comparación entre tratamientos se realizó a partir del intervalo de confianza (IC) de los modelos seleccionados. Para todos los análisis se utilizó el software estadístico R (R Core Team, 2022).

**Figura 1**

*Esquema de la Metodología de Investigación del Experimento.*



**Nota.** Elaboración propia.

## Resultados

### Estudio de la morfometría en plantas: altura, número de hojas y diámetro del tallo

En todos los casos (altura, número de hojas, diámetro), la modelación con estructura autorregresiva de 1er orden (Mod.AR1) captura mejor los patrones y la variabilidad de los datos que la modelación simétrica compuesta (Mod.SC), esto debido a valores más bajos de AIC y BIC (tabla 1).

**Tabla 2**

Análisis de la estructura de covarianza de las estructuras simetría compuesta y la estructura autorregresiva de primer orden

	Mod.SC		Mod.AR1	
	AIC	BIC	AIC	BIC
<b>Altura (cm)</b>	6701.03	6795.27	5857.389	951.63
<b>Numero de hojas</b>	2043.75	2137.99	1985.866	2080.107
<b>Diámetro (cm)</b>	3980.21	4074.45	3902.7	3996.941

**Nota.** Mod.SC: Modelación simétrica compuesta; Mod.AR1: Modelación con estructura autorregresiva de 1er orden; AIC: criterio de información Akaike; BIC: criterio de información Bayesiano. (Littell et al., 1998; Littell et al., 2000).

Si bien se observan diferencias significativas en las tres características evaluadas (altura, número de hojas, diámetro) en los diversos tratamientos, es esencial destacar la significancia estadística del factor tiempo y, específicamente, de la interacción entre los tratamientos y tiempo en el caso de la variable altura y numero de hojas. Por lo tanto, resulta crucial realizar inferencias acerca de los efectos simples del experimento; esto revela diferencias estadísticas altamente significativas en las tres variables de interés (altura, diámetro y número de hojas) entre los nueve tratamientos evaluados en los tres momentos de tiempo (45 días, 90 días y 120 días).

**Tabla 3**

Contrastes de los efectos simples de los tratamientos en el tiempo

	Altura (cm)			Diámetro (cm)			Número de Hojas		
	45 días	90 días	120 días	45 días	90 días	120 días	45 días	90 días	120 días
<b>T1</b>	23.42 ± 2.3	198.56 ± 11.09 <sup>b</sup>	195.04 ± 14.79 <sup>b</sup>	25.66 ± 2.79 <sup>b</sup>	33.20 ± 3.97 <sup>b</sup>	32.66 ± 4.41	8.2 ± 1.08 <sup>ab</sup>	9.08 ± 0.99 <sup>c</sup>	9.88 ± 0.72
<b>T2</b>	24.95 ± 3.07	199.8 ± 11.75 <sup>b</sup>	200.02 ± 18.35 <sup>b</sup>	29.20 ± 2.73 <sup>a</sup>	37.31 ± 3.18 <sup>a</sup>	34.85 ± 4.12	8.48 ± 0.77 <sup>ab</sup>	10.52 ± 1.15 <sup>ab</sup>	9.96 ± 0.73

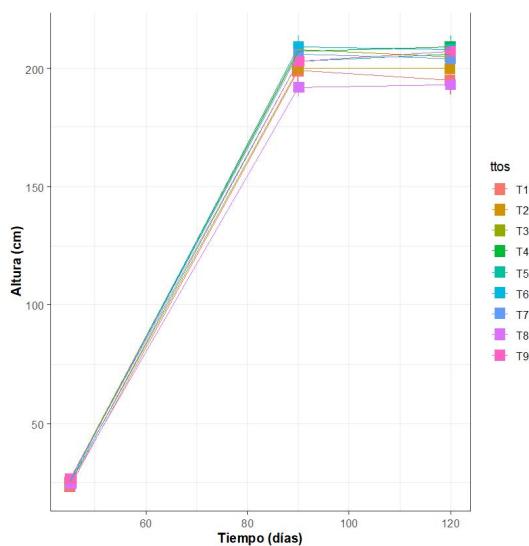
	Altura (cm)			Diámetro (cm)			Número de Hojas		
<b>T3</b>	26.54 ± 3.75	207.96 ± 10.31 <sup>a</sup>	205.44 ± 12.12 <sup>a</sup>	28.56 ± 3.26 <sup>ab</sup>	36.06 ± 3.77 <sup>ab</sup>	33.45 ± 2.80	7.92 ± 0.81 <sup>ab</sup>	10.16 ± 1.02 <sub>b</sub>	10.04 ± 0.67
<b>T4</b>	26.12 D 3.59	206.53 ± 10.59 <sup>a</sup>	209.364 ± 9.76 <sup>a</sup>	27.95 ± 3.10 <sup>ab</sup>	37.85 ± 3.63 <sup>a</sup>	34.30 ± 3.58	8.28 ± 0.73 <sup>ab</sup>	10.92 ± 1.18 <sup>a</sup>	9.88 ± 0.66
<b>T5</b>	24.63 ±3.49	202.85 ± 10.12 <sup>a</sup>	205.548 ± 14.49 <sup>a</sup>	27.21 ± 3.38 <sup>ab</sup>	35.14 ± 3.92 <sup>ab</sup>	32.58 ± 3.09	8.08 ± 0.86 <sup>b</sup>	10.68 ± 0.94 <sup>ab</sup>	10.28 ± 0.54
<b>T6</b>	25.28 ± 2.47	209.21 ± 14.29 <sup>a</sup>	208.38 ± 14.26 <sup>a</sup>	27.50 ± 3.44 <sup>ab</sup>	35.53 ± 4.34 <sup>ab</sup>	32.05 ± 4.02	7.92 ± 0.95 <sup>b</sup>	10.8 ±1.11 <sup>ab</sup>	10.16 ± 0.68
<b>T7</b>	26.31 ± 3.60	205.54 ± 10.46 <sup>a</sup>	204.164 ± 10.84 <sup>a</sup>	27.95 ± 3.49 <sup>ab</sup>	35.80 ± 3.11 <sup>ab</sup>	32.44 ± 2.97	8.84 ± 0.47 <sup>a</sup>	10.48 ± 0.82 <sub>ab</sub>	10.32 ± 0.69
<b>T8</b>	24.67 ± 2.72	192.19 ± 10.11 <sup>b</sup>	192.604 ± 10.54 <sup>b</sup>	26.58 ± 2.57 <sup>ab</sup>	36.13 ± 4.76 <sup>ab</sup>	33.38 ± 4.71	8.64 ± 0.56 <sup>a</sup>	10.68 ± 1.10 <sup>ab</sup>	10.16 ± 0.68
<b>T9</b>	26.53 ± 3.79	203.09 ± 11.26 <sup>a</sup>	206.504 ± 10.27 <sup>a</sup>	28.67 ± 3.62 <sup>ab</sup>	35.79 ± 4.32 <sup>ab</sup>	32.81 ± 5.20	8.72 ± 0.73 <sup>a</sup>	10.52 ± 0.77 <sup>ab</sup>	10.16 ± 0.62

**Nota.** Las medias con la misma letra en una columna no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

En cuanto a la altura de las plantas, se observó una marcada variación entre los tratamientos en los tres momentos. Los tratamientos T1, T2 y T8 presentaron alturas significativamente menores en comparación con los demás en los períodos de 90 y 120 días. Por otro lado, a los 120 días, el tratamiento T4 destacó significativamente con la altura más alta. Por otro lado, en cuanto al diámetro, el tratamiento T2 mostró diámetros significativamente mayores en los tres momentos en comparación con los demás tratamientos. En el caso del número de hojas, el tratamiento T7 exhibió un número significativamente mayor de hojas en todos los momentos de tiempo.

**Figura 2**

*Análisis temporal de la altura de las plantas de maíz*

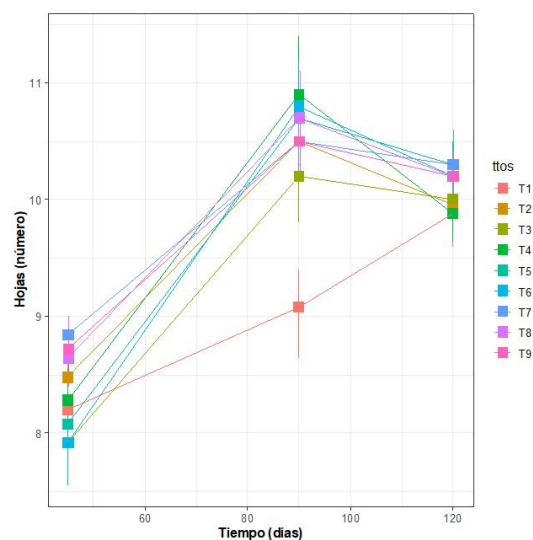


**Nota.** Elaboración propia.

Un hallazgo interesante es que el desarrollo máximo de la altura parece ocurrir en el intervalo de tiempo de 45 a 90 días (Figura 2), donde varios tratamientos alcanzan sus alturas máximas. Sin embargo, es importante destacar que después de los 120 días, se observa una disminución en esta variable para algunos tratamientos, lo que sugiere una posible limitación en el crecimiento o una respuesta negativa en etapas más avanzadas del ciclo de crecimiento.

**Figura 3**

Análisis temporal del número de hojas de las plantas de maíz



**Nota.** Elaboración propia.

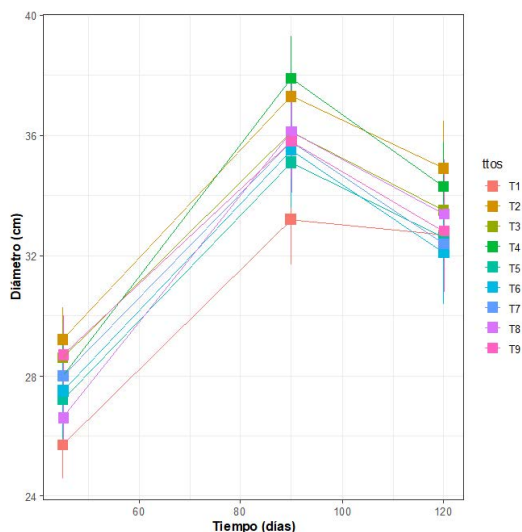
Estos resultados destacan la importancia de monitorear y gestionar cuidadosamente el crecimiento de las plantas de maíz a medida que avanzan en su desarrollo, ya que los tratamientos pueden tener un impacto

variable en diferentes fases del ciclo de cultivo; para futuras investigaciones, resultaría de gran interés explorar la posibilidad de reducir gradualmente ciertos componentes de la fertilización en busca de una fertilización más precisa y económica.

En el intervalo de tiempo comprendido entre los 90 y 120 días, se observaron cambios notables en el número de hojas de las plantas de maíz (Figura 3). Específicamente, durante este período, el tratamiento T4 experimentó una disminución significativa en el número de hojas en comparación con los demás tratamientos. Mientras que, en los 90 días, T4 mostraba un número competitivo de hojas, su desarrollo de hojas se vio ralentizado entre los 90 y 120 días. Este fenómeno contrasta con otros tratamientos, que mantuvieron o incluso aumentaron su número de hojas en este intervalo caso (T1). Estos resultados apuntan a la posibilidad de que el tratamiento T4, que implica la aplicación de la dosis más alta de nitrógeno (140-90-90 kg/ha N-P-K al 100%), no sea tan efectivo en fomentar un desarrollo continuo de hojas en comparación con otras opciones durante esta fase del ciclo de cultivo. Estos hallazgos enfatizan la importancia de considerar la variación de la dosificación a lo largo del ciclo de cultivo. No es necesario mantener una dosis constante en todo momento, ya que existen períodos en los que un exceso de nutrientes no es aprovechado por la planta, lo que puede generar impactos ambientales negativos y aumentar los costos de producción.

**Figura 4**

Análisis temporal del diámetro de las plantas de maíz



**Nota.** Elaboración propia.

Durante el estudio se identificaron cambios significativos en el diámetro de las plantas de maíz en diferentes momentos del ciclo de crecimiento (Figura 4). Entre los 45 y 90 días, se observó un crecimiento notorio en el diámetro, siendo el tratamiento T6 el que destacó en crecimiento en comparación con

los demás tratamientos, lo que sugiere una respuesta altamente positiva a las condiciones específicas de 105-67.5-67.5 kg/ha (N-P-K 75% + Si) en esta etapa. Sin embargo, entre los 90 y 120 días, se produjo una disminución marcada en el diámetro de las plantas, siendo el tratamiento T4 el más afectado con una reducción significativa. Mientras que otros tratamientos mantuvieron o aumentaron el diámetro de sus plantas, T4 experimentó una disminución notoria en este período, lo que podría indicar un efecto negativo o una limitación en el crecimiento en esta fase específica del ciclo de desarrollo.

### Análisis de biomasa radicular, área y total en cultivo de maíz

La tabla anterior presenta diversos modelos que fueron empleados y evaluados para las variables de biomasa seca, incluyendo la biomasa aérea, radicular y total (BSA, BSR y BST). En términos generales, el modelo logístico demostró un ajuste adecuado a los datos en las tres variables (BSA, BSR y BST), destacando un equilibrio efectivo entre su capacidad de ajuste y su complejidad, con coeficientes de determinación R<sup>2</sup> del 94.26 % (Figura 5).

**Tabla 4**

Modelos de regresión aplicados a datos de biomasa

Modelo	Biomasa Seca Aérea (BSA)			Biomasa Seca Radicular (BSR)			Biomasa Seca Total (BST)		
	AIC	BIC	R <sup>2</sup>	AIC	BIC	R <sup>2</sup>	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
<b>Lineal</b>	<b>771.84</b>	<b>780.56</b>	<b>91.98</b>	<b>336.60</b>	<b>345.32</b>	<b>88.76</b>	<b>799.94</b>	<b>808.66</b>	<b>92.99</b>
<b>Cuadrático</b>	752.84	764.46	93.14	333.25	344.87	89.20	774.87	786.49	94.26
<b>Potencial</b>	786.73	795.45	91.05	364.35	373.06	86.20	813.94	822.65	92.23

Modelo	Biomasa Seca Aérea (BSA)			Biomasa Seca Radicular (BSR)			Biomasa Seca Total (BST)		
	AIC	BIC	R2	AIC	BIC	R2	AIC	BIC	R2
Logístico	752.84	764.46	93.14	333.25	344.87	89.20	774.87	786.49	94.26
Gomperzt	752.84	764.46	93.14	333.25	344.87	89.20	774.87	786.49	94.26
Logarítmico	838.08	846.80	86.91	376.05	384.76	84.95	875.6	884.32	87.72

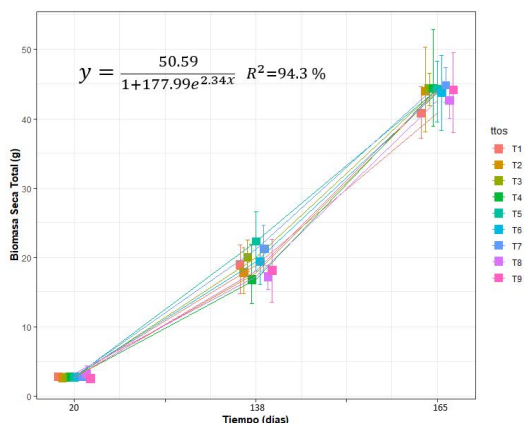
**Nota.** AIC: criterio de información Akaike; BIC: criterio de información Bayesiano; R<sup>2</sup>: coeficiente de correlación.

El análisis de regresión demostró que el modelo logístico empleado en esta investigación se adaptó de manera efectiva a los datos de biomasa en las plantas de maíz a lo largo del tiempo. Destacando una biomasa máxima teórica estimada en 50.59 g de Biomasa Seca Total, este valor representa el límite superior de acumulación de biomasa en el cultivo de maíz bajo las condiciones de este estudio. Proporcionando una visión clara de cómo la biomasa aumenta rápidamente al principio, se estabiliza y se aproxima a su valor máximo teórico a medida que transcurre el tiempo.

Según lo observado en los criterios de selección AIC, BIC y R<sup>2</sup> (tabla 5), los tratamientos T3 y T8 son los tratamientos en donde mejor se ajusta el modelo a los datos y que explican una mayor parte de la variabilidad con la variable de biomasa seca total con R<sup>2</sup> de 98.41 y 98.49 % respectivamente. Al analizar los modelos logísticos ajustados a nuestros tratamientos, observamos que el parámetro A, que representa el nivel máximo teórico de biomasa acumulada, varía entre los tratamientos. En este contexto, el Tratamiento 4 (T4) destaca al presentar el valor más alto de A, con una biomasa máxima teórica estimada de 57,41 gramos de biomasa seca total. Esto sugiere que el Tratamiento 4 tiene el potencial de acumular la mayor cantidad de biomasa en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta estimación se basa en el ajuste de los datos a un modelo logístico y que otros factores también pueden influir en la acumulación real de biomasa en el campo.

**Figura 5**

Análisis de regresión para la biomasa seca total



**Nota.** Elaboración propia.

En el análisis de las tasas de cambio de biomasa acumulada en los tratamientos (tabla 5), observamos que las tres tasas de cambio más altas se registraron en los tratamientos T8, T1 y T4 en los días 20, 138 y 165. En el día

20, estas tasas fueron de aproximadamente 0,000553, 0,000447 y 0,000493 gramos por día, respectivamente. Durante el día 138, las tasas de cambio más altas se mantuvieron en los mismos tratamientos, con valores de alrededor de 0,000178, 0,000142 y 0,000159 gramos por día. Por otro lado, las tres tasas de cambio medias se encontraron en los tratamientos T6, T7 y T2, con tasas iniciales de aproximadamente 0,000373, 0,000345 y 0,000391 gramos por día en

el día 20. Durante el día 138, estas tasas se mantuvieron en el mismo orden, con valores de aproximadamente 0,000121, 0,000112 y 0,000126 gramos por día. Finalmente, las tres tasas de cambio más bajas se registraron en los tratamientos T5, T9 y T3, con tasas iniciales de alrededor de 0,000304, 0,000407 y 0,000330 gramos por día en el día 20. En el día 138, estas tasas se mantuvieron, con valores de aproximadamente 0,000101, 0,000130 y 0,000111 gramos por día.

**Tabla 5**

Ecuaciones, AIC y R<sup>2</sup> para la biomasa seca total acumulada en el cultivo de maíz bajo diferentes fertilizantes

Tratamiento	Modelo (Logístico)	Tasa de Cambio	20 días	138 días (g/día)	165 días	AIC	BIC	R <sup>2</sup>
T1	$y=46.49/1+162.42e^{2.35x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-46.49 \cdot 162.42 \cdot 2.35 e^{2.35x}}{(1+162.42e^{2.35x})^2}$	0.00044718	0.00014242	3.59E-07	87.91	90.74	95.26 %
T2	$y= 53.06/1+179.49e^{2.25x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-53.06 \cdot 179.49 \cdot 2.25 e^{2.25x}}{(1+179.49e^{2.25x})^2}$	0.0003911	0.0001257	3.37E-07	96.36	99.19	93.20 %
T3	$y=50.10/1+200.46e^{2.44x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-50.10 \cdot 200.46 \cdot 2.44 e^{2.44x}}{(1+200.46e^{2.44x})^2}$	0.0003308	0.00011131	3.08E-07	73.73	76.57	98.41%
T4	$y=57.41/1+163.08e^{2.10x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-57.41 \cdot 163.08 \cdot 2.10 e^{2.10x}}{(1+163.08e^{2.10x})^2}$	0.0004931	0.00015899	4.25E-07	103.06	105.89	90.01%
T5	$y=47.65/1+242.69e^{2.68x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-47.65 \cdot 242.69 \cdot 2.68 e^{2.68x}}{(1+242.69e^{2.68x})^2}$	0.00030367	0.00010164	2.78E-07	92.50	95.33	94.61 %
T6	$y=50.13/1+182.31e^{2.37x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-50.13 \cdot 182.31 \cdot 2.35 e^{2.37x}}{(1+182.31e^{2.37x})^2}$	0.0003729	0.00012086	3.42E-07	93.98	96.81	93.97 %
T7	$y=49.65/1+207.42e^{2.52x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-49.65 \cdot 207.42 \cdot 2.52 e^{2.52x}}{(1+207.42e^{2.52x})^2}$	0.00034588	0.00011196	3.20E-07	82.00	84.83	97.32 %
T8	$y=55.81/1+117.31e^{1.98x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-55.81 \cdot 117.31 \cdot 1.98 e^{1.98x}}{(1+117.31e^{1.98x})^2}$	0.00055267	0.00017869	4.75E-07	71.53	74.36	98.49 %
T9	$y=52.22/1+198.89e^{2.32x}$	$\frac{dy}{dx} = \frac{-52.22 \cdot 198.89 \cdot 2.32 e^{2.32x}}{(1+198.89e^{2.32x})^2}$	0.00040708	0.00013097	3.55E-07	97.88	100.71	92.60 %

**Nota.** AIC: criterio de información Akaike; BIC: criterio de información Bayesiano; R<sup>2</sup>: coeficiente de correlación. Elaboración propia.

## Evaluación de cambios en la concentración de minerales en el maíz tras la aplicación de diferentes tratamientos

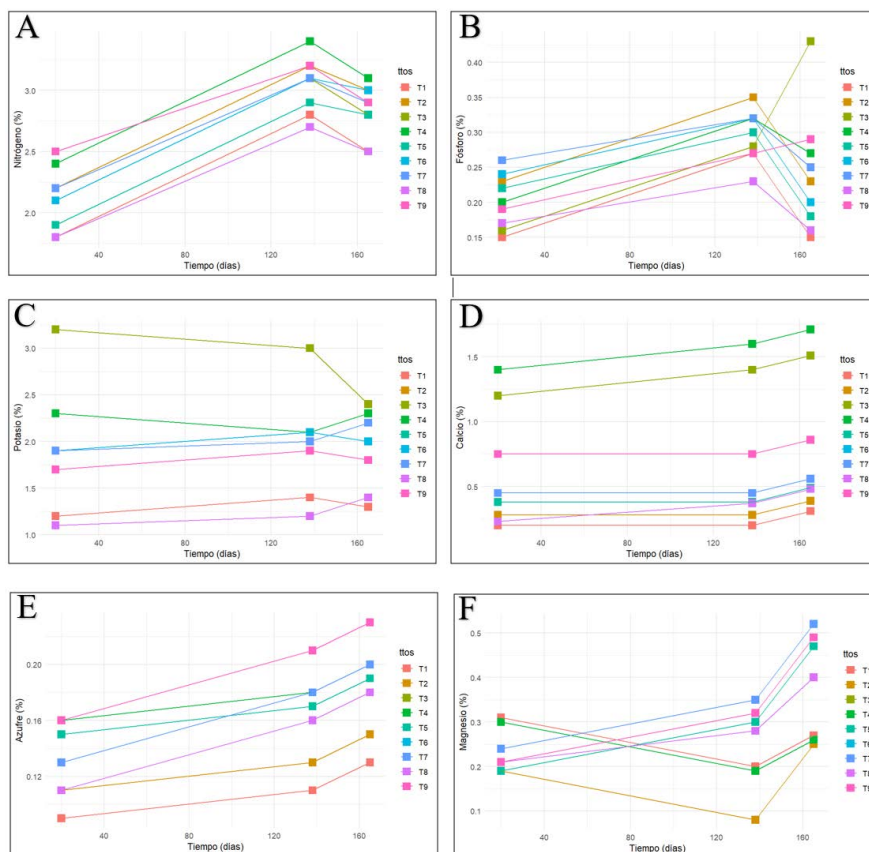
Las concentraciones minerales a lo largo del tiempo en el cultivo de maíz revelan patrones en la distribución de nutrientes. En el caso del nitrógeno (N), durante el período inicial

de 20 días, el tratamiento T4 (N-P-K 100 %) tiene la concentración más alta de nitrógeno, manteniendo su posición hasta el día 138, donde se iguala el tratamiento T3 (N-P-K 75 %) que también destaca en este aspecto, y esta tendencia se sostiene hasta el día 165 (Figura 6A).

En cuanto al fósforo (P), en el día 20, es el tratamiento T3 (N-P-K 75 %) el que exhibe la

concentración más elevada, y esta superioridad persiste en los días 138 y 165 (Figura 6B). Similar a lo encontrado en el potasio (K), que en el día 20 muestra notables niveles en los tratamientos T2 (N-P-K 50 %) y T3, y en el día 138, T3 ostenta la concentración más alta de potasio, seguido de cerca por T2 y T4. En el día 165, nuevamente, T3 y T4 poseen la concentración de potasio más elevada de todo el experimento (Figura 6C).

**Figura 6**  
Análisis foliar de macronutrientes



**Nota.** Elaboración propia.

Respecto al calcio (Ca), los datos indican consistentemente que el tratamiento T4 mantiene una concentración superior a los otros tratamientos (Figura 6D). Para el magnesio (Mg), en el día 20, el T5 (N-P-K 50 % + Si) se destaca con la concentración más alta, y en los días 138 y 165, T3 y T4 (N-P-K 100 %) exhiben niveles notablemente superiores de magnesio (Figura 6F). Para el azufre (S), T3 y T4 son consistentemente los tratamientos de mayor concentración en todos

los intervalos de tiempo (Figura 6E). En el caso del hierro (Fe) no se encuentran diferencias entre los tratamientos en ninguno de los momentos evaluados (Figura 6C). Por su lado el manganeso (Mn), en los días 138 y 165, T3 y T4 se destacan con las concentraciones más altas (Figura 7A).

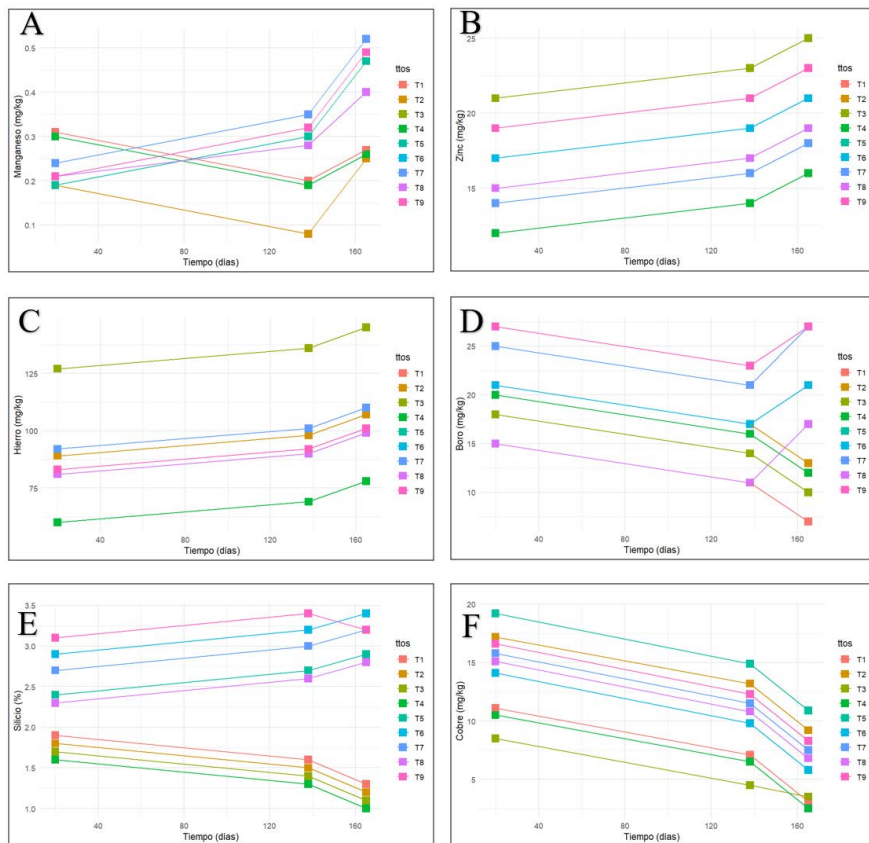
El cobre (Cu) en el día 20 es liderado por T9 (N-P-K 75 % + 1.33 Si), y en los días 138 y 165, T4 muestra una concentración significativamente

alta de cobre (Figura 7F). Para el zinc (Zn), T9 lidera en el día 20, mientras que en los días 138 y 165, T4 se destaca con niveles notables de zinc (Figura 7B).

Finalmente, el boro (B) T9 lidera en el día 20, y esta tendencia se mantiene en los días 138 y 165 (Figura 7D). Para el silicio (Si), el tratamiento T7 (N-P-K 100 % + Si) muestra la concentración más alta en todos los intervalos de tiempo (Figura 7E).

**Figura 7**

Análisis foliar de micronutrientes



**Nota.** Elaboración propia.

## Discusión

Considerando los resultados obtenidos en este estudio sobre la morfometría y la concentración de minerales en el cultivo de maíz, se destaca la importancia de la fertilización, especialmente en lo que respecta a nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el desarrollo fenológico de las plantas. Los tratamientos que incorporaron una dosis adecuada de estos nutrientes, como se evidencia en los tratamientos T3 y T4, demostraron un crecimiento vegetativo y un desarrollo de hojas óptimo en comparación con otros tratamientos (Barrios y Basso, 2018). Sin embargo, es crucial señalar que la interacción entre los tratamientos y el tiempo tuvo un impacto significativo en las características de altura y número de hojas. Esto sugiere que la administración de nutrientes debe ser cuidadosamente adaptada a las distintas etapas del ciclo de crecimiento del maíz, evitando la sobreestimulación en ciertas fases que pueden resultar en un crecimiento desigual o incluso negativo (Reyes, 2008). Además, la inclusión del silicio (Si) como elemento adicional en algunos tratamientos plantea la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor su efecto en las plantas de maíz, ya que su influencia no fue concluyente en este estudio, coincidiendo con hallazgos previos (Castellanos, Mello & Silva, 2015). En resumen, estos resultados respaldan la idea de una fertilización más precisa y adaptable a las distintas etapas del ciclo de crecimiento del maíz, teniendo en cuenta la variabilidad en las

concentraciones de minerales y la importancia de mantener un equilibrio nutricional para un desarrollo óptimo de las plantas (Salisbury & Ross, 1992; Potash and Phosphate Institute, 1997; Hernández, 1999).

## Conclusiones

- Con base en los resultados de este estudio, hemos identificado que la combinación de nutrientes NPK+ ha demostrado ser una opción prometedora para la fertilización del cultivo de maíz. En particular, los tratamientos T3 y T4 que incorporaron esta mezcla exhibieron un crecimiento vegetativo más robusto y un desarrollo de hojas óptimo en comparación con otros tratamientos.
- El análisis comparativo entre la nutrición NPK+ y la fertilización tradicional (NPK) revela resultados destacados en términos de productividad del cultivo de maíz. Los tratamientos que incorporaron la mezcla NPK+, en particular T3 y T4, demostraron un rendimiento significativamente superior en comparación con los tratamientos que utilizaron fertilización tradicional (NPK).
- La evaluación de la incidencia de la nutrición NPK+ en el desarrollo vegetativo del maíz ha arrojado resultados significativos. En particular, los tratamientos T3 y T4, que utilizaron esta combinación nutricional, mostraron un desarrollo vegetativo más robusto en términos de altura de la planta, área foliar y vigor en comparación con otros tratamientos.

## Anexos

### Análisis de varianza de la altura

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	624	297.1845	<.0001
ttos	8	624	102.2994	<.0001
tiempo	1	624	924.0163	<.0001
ttos:tiempo	8	624	57.8862	<.0001

### Análisis de varianza del número de hojas

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	624	78144.81	<.0001
ttos	8	624	6.91	<.0001
tiempo	1	624	352.09	<.0001
ttos:tiempo	8	624	4.39	<.0001

### Análisis de varianza del diámetro

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	624	18256.804	<.0001
ttos	8	624	5.057	<.0001
tiempo	1	624	122.643	<.0001
ttos:tiempo	8	624	0.787	0.614

---

## Referencias

---

- Ackermann, P., Gasparri, N. (2011). Efecto de la intensidad de uso agrícola del suelo sobre el balance de nitrógeno, fósforo y potasio. [Tesis de Ing. Agr]. Montevideo. Facultad de Agronomía.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE T Automat Contr*, 19, 716-723. <https://doi.org/10.1109/tac.1974.1100705>
- Association of Official Analytical Chemists International (2005). AOAC 942.05: Phosphorus (Total) in Fertilizers. <https://www.aoac.org/>
- Attanandana, T., y Yost, R. (2004). Estrategias de manejo de nutrientes por sitio específico. *Informaciones Agronómicas, INPOFOS*, 53. Quito, Ecuador
- Blandino, M., Trapani, S., Vitali, F., Valenti, D. y Platani, C. (2019). Influencia del suministro de macronutrientes en el rendimiento del forraje del maíz, la acumulación de nitratos y la eficiencia en el uso del agua en el entorno mediterráneo. *Fronteras en la ciencia vegetal*, 10, 1078.
- Cakmak, I. (2008). Enriquecimiento de fertilizantes con zinc: Una excelente inversión para la humanidad y la sanidad de los cultivos. *Planta y Suelo*, 322(1-2), 1-2.
- Campuzano, F., & Navas, A. (2006). *Cultivo de maíz*. Corpoica
- Cárdenas, M., et al. (2022). Rendimiento, rentabilidad y eficiencia agronómica de nitrógeno en maíz de seco con fertilización foliar complementaria de Zn y Mo. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(3), 239-249. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.030>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). (2019). The World Maize Facts and Trends 2020. Recuperado de <https://www.cimmyt.org/app/uploads/2020/10/WP-2020-World-Maize-Facts-and-Trends.pdf>
- DANE (2004). Maíz tecnificado en Colombia.
- Dobermann, A., Witt, C., Dawe, D., Abdulrachman, S., Gines, HC, Nagarajan, R., ... y Simbahan, G.C. (2003). Gestión de nutrientes específica del sitio para sistemas intensivos de cultivo de arroz en Asia. *Investigación de cultivos de campo*, 74(1), 37-66.

- Eghball, B. y Maranville, J.W. (2003). Efectos de la colocación de fósforo y potasio en el rendimiento del maíz y la absorción de nutrientes. *Diario de Agronomía*, 95(6), 1470-1477. <https://doi.org/10.15517/rac.v33i1.6734>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2021). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2021. Recuperado de <http://www.fao.org/state-of-food-agriculture/es/>
- FENALCE (2010). "El cultivo del maíz, historia e importancia". En: *Importancia de los cultivos presentados por fenalce*. Mayo-junio. pp. 10-19
- Flores, J., Silva, P., Avilés, R., García, MA, & Lira, R. (2016). El maíz (*Zea mays* L.) y su importancia estratégica en México. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 449-459.
- Fussell, B. (1992). *The story of corn*. North Point Press
- González, JA, et al. (2014). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(1), 29-38. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2022.009.03.059>
- González, JA, et al. (2022). Fuentes y dosis de fertilizantes nitrogenados en cultivo de maíz para ensilado. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3), 559-574.
- Hernández, J. et al. (2015). Fertilización nitrogenada en la producción del germinado de maíz como forraje fresco para la alimentación animal. Informe Técnico. Instituto Tecnológico Superior de la Zona Maya. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v30.n1.6047>
- Herrera-Estrella, L. (2018). El uso de subproductos industriales como fertilizantes agrícolas: una alternativa sostenible. *Ciencias*, 99, 49-56.
- Hogares juveniles campesinos (2004). "Producción agrícola". En: *Manual agropecuario: tecnologías orgánicas de la granja. Vol. 1*. Colombia: Hogares Juveniles Campesinos.
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 2072, 2002). Fertilizantes. Determinación de azufre. <https://www.icontec.org/>
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 259, 1989). Fertilizantes. Determinación de hierro, zinc, manganeso y cobre en extractos acuosos de fertilizantes y mezclas fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
-

- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 295, 1994). Fertilizantes. Determinación de silicio en extractos acuosos de mezclas fertilizantes y fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 303, 1989). Fertilizantes. Determinación de cobre, manganeso, cinc, hierro y plomo en mezclas fertilizantes y fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 309, 1989). Fertilizantes. Determinación de calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso y cobre en extractos acuosos de fertilizantes y mezclas fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
- ICONTEC (Norma Técnica Colombiana NTC 3703, 1998). Fertilizantes. Determinación de boro en extractos acuosos de mezclas fertilizantes y fertilizantes. <https://www.icontec.org/>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1999). NTC 4657: Calidad de suelos. Determinación del nitrógeno total. <https://www.icontec.org/>
- Jiménez-Meza, V., Sánchez-Monteón, A., Ramírez-Guerrero, L., & Navarrete-Valencia, A. (2017). Fertilización con Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el rendimiento de tres variedades de maíz. *Revista de Energía Química y Física*, 4(10), 57-64.
- Kaya, C. Tuna, L. Higgs, D. (2006) Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *J Plant Nutr* 29, 1469–1480. <https://doi.org/10.1080/01904160600837238>
- Korndorfer, G., Lepsch I. (2001). Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndorfer, G. (eds) *Silicon in agriculture. Studies in plant science*. Elsevier, Amsterdam, pp 133–147. [https://doi.org/10.1016/s0928-3420\(01\)80001-x](https://doi.org/10.1016/s0928-3420(01)80001-x)
- Littell, R.C., Henry, P.R. y Ammerman, C.B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J Anim Sci*, 76, 1216-1231. <https://doi.org/10.2527/1998.7641216x>
- Littell, R.C., Pendergast, J. and Natarajan, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Stat Med*, 19, 1793-1819. <https://doi.org/10.2527/1998.7641216x>
-

- López, L. A., & Rivas, T. F. (2020). Desafíos de la seguridad alimentaria en Colombia: una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 83-94.
- Méndez, D., Guevara, P., Torres, C., & Camacho, K. (2012). Perspectivas del cultivo de maíz, primer semestre de 2012. Colombia: Departamento de Información Económica y Estadística: Fenalce.
- Minagricultura (2021). Maíz. Dirección de cadenas agrícolas y forestales.
- Mora, M. L., et al. (2017). Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 215-226. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127>
- Roacho-Cortés, A.E. (2020). *Rangos críticos de nitrógeno en maíz: mediciones in situ*. [Tesis de maestría]. Colegio de Postgraduados. [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4346/1/Roacho\\_Cortes\\_EE\\_MC\\_Edafologia\\_2020](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4346/1/Roacho_Cortes_EE_MC_Edafologia_2020)
- Sánchez, R. M., Aníbal, G. O., & María, L. C. (2020). Estrategias de manejo de nutrientes para la producción de maíz: una revisión. *Agronomía*, 10(3), 452.
- Schwarz, G.E. (1978). Estimating the dimension of a model. *Ann Stat*, 6, 461-464.
-